

X İÇİN TASARIM METODOLOJİLERİ

Tasarımda Mükemmellik için Teori, Uygulama ve Yaklaşımlar



Dr. Öğr. Üyesi AYŞEGÜL PARALI

X İÇİN TASARIM METODOLOJİLERİ

**Tasarımda Mükemmellik için Teori,
Uygulama ve Yaklaşımlar**

Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül PARALI

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editör
Prof. Dr. Vural ÇAĞLIYAN

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Mart, 2026

Yayımcı Sertifika No
45813

ISBN
978-625-8513-23-6

©copyright
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres: Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480, Mamak,
Ankara, Türkiye.

Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuspublishing.com
e-mail: platanuskita@gmail.com



Platanus Publishing®

İÇİNDEKİLER

BİRİNCİ BÖLÜM

X İÇİN TASARIM METODOLOJİSİ

1.1. X için Tasarım Metodolojisi Kavramı ve Kapsamı	5
1.2. X için Tasarım Metodolojisinin Gelişimi.....	11
1.3. X için Tasarım Metodolojisinin Amacı ve Önemi	20
1.4. X için Tasarım Metodolojisinin Yapısı	22
1.5. X için Tasarım Metodolojileri.....	29
1.5.1. Montaj için Tasarım.....	29
1.5.2. Üretim için Tasarım Metodolojisi	36
1.5.3. Demontaj için Tasarım	41
1.5.4. Çevre için Tasarım.....	47
1.5.5. Sürdürülebilirlik için Tasarım.....	55
1.5.6. Geri Dönüşüm ve Yeniden Üretim için Tasarım.....	61
1.5.7. Lojistik için Tasarım.....	70
1.5.8. Kalite için Tasarım	78
1.5.9. Güvenilirlik için Tasarım.....	84
1.5.10. Tedarik Zinciri için Tasarım.....	90
1.5.11. Estetik için Tasarım	95
1.5.12. Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım.....	100
1.5.13. Altı Sigma için Tasarım.....	105
1.5.14. Maliyet için Tasarım.....	111
1.5.15. Sağlamlık/Robust için Tasarım	115
1.6. X için Tasarım Metodolojilerinin Uygulanabilirliği	119

İKİNCİ BÖLÜM

TEKSTİL SEKTÖRÜNDE ÜRÜN GELİŞTİRME SÜRECİNDE X İÇİN TASARIM METODOLOJİLERİNİN KULLANIMI

2.1. Dünyada ve Türkiye’de Tekstil ve Hazır Giyim Sektörü	125
2.1.1. Dünyada Tekstil ve Hazır Giyim Sektörü	125
2.1.2. Türkiye’de Tekstil ve Hazır Giyim Sektörü	127
2.2. Tekstil ve Hazır Giyim Sektöründe Ürün Geliştirme	130
2.2.1. Genel Ürün Geliştirme Süreci	130
2.2.2. Tekstil ve Hazır Giyim Sektöründe Ürün Geliştirme Süreci	142
2.3. Tekstil ve Hazır Giyim Sektöründeki Ürün Geliştirme Sürecinde X için Tasarım Metodolojilerinin Kullanımı	147
2.4. Ürün Geliştirme Sürecinde X için Tasarım Metodolojilerinin Etkinliğinin Artırılmasında Yararlanılabilecek Araç ve Teknikler....	154
2.4.1. Eşzamanlı Mühendislik	155
2.4.2. Süreç Tasarımı	157
2.4.3. Ürün Yaşam Döngüsü	158
2.4.4. Kalite Fonksiyon Yayılımı	160
2.4.5. Taguchi Yöntemi	161
2.4.6. Hızlı Prototipleme	162
2.4.7. Değer Analizi	163
2.5. Yeni Ürün Geliştirme Sürecinde X için Tasarım Metodolojilerinin Etkinliğini Arttıran Kritik Başarı Faktörleri	164
KAYNAKÇA	168

ÖNSÖZ

Küresel pazarlarda rekabetin giderek yoğunlaştığı ve üretim sistemlerinin hızla dönüştüğü günümüzde, işletmeler için sürdürülebilir başarı yalnızca üretim kapasitesi ile değil, doğru ürünün doğru zamanda ve optimize edilmiş süreçlerle sunulabilmesi ile mümkün olmaktadır. Müşteri beklentilerinin çeşitlendiği ve dinamik bir yapı kazandığı bu ortamda, ürün geliştirme süreçlerinin etkinliği stratejik bir belirleyici haline gelmiştir.

Bu çalışma, tekstil ve hazır giyim sektörü özelinde, tasarımın yalnızca estetik bir unsur değil, aynı zamanda mühendislik, üretim ve yönetim boyutlarını içeren bütüncül bir süreç olduğunu ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, “X için Tasarım” (Design for X – DfX) metodolojileri; ürünün henüz tasarım aşamasında üretilebilirlik, maliyet, kalite, sürdürülebilirlik ve bakım gibi kritik parametrelerin birlikte değerlendirilmesini sağlayan sistematik bir yaklaşım olarak ele alınmaktadır.

Çalışma kapsamında, literatürde yer alan temel kuramsal yaklaşımlar ile son yıllarda öne çıkan dijitalleşme, yapay zeka, dijital ikiz teknolojileri, Endüstri 5.0 ve sürdürülebilirlik politikaları birlikte değerlendirilmiştir. Özellikle Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde şekillenen yeni üretim paradigması, DfX metodolojilerinin önemini daha da artırmaktadır.

Bu kitabın; akademisyenlere, araştırmacılara, tasarımcılara ve sektör profesyonellerine, ürün geliştirme süreçlerinin daha sistematik, verimli ve sürdürülebilir şekilde yapılandırılmasına noktasında katkı sağlaması hedeflenmektedir.

GİRİŞ

Uluslararası pazarlarda artan rekabet koşulları, işletmelerin müşteri odaklı ve yenilikçi ürün geliştirme yaklaşımlarını benimsemelerini zorunlu hale getirmiştir. Müşteri beklenti ve ihtiyaçlarının doğru analiz edilmesi ve bu bilgilerin hızlı bir şekilde ürün geliştirme süreçlerine entegre edilmesi, rekabet avantajı elde etmenin temel unsurlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu doğrultuda, müşteri gereksinimlerine uygun, kaliteli ve zamanında pazara sunulabilen ürünlerin geliştirilmesi, işletmelerin sürdürülebilir başarısında kritik rol oynamaktadır.

Ürün geliştirme sürecinde işletmelere rekabet üstünlüğü kazandıran başlıca unsurlar arasında; disiplinlerarası ekip çalışması, eş zamanlı mühendislik yaklaşımının uygulanması ve gelişmiş tasarım metodolojilerinin etkin kullanımı yer almaktadır. Bu bağlamda literatürde “X için Tasarım (XİT)” (Design for X – DfX) olarak adlandırılan metodolojiler, ürünün yaşam döngüsü boyunca performansını optimize etmeyi amaçlayan sistematik yaklaşımlar olarak tanımlanmaktadır.

XİT metodolojileri, ürün tasarım sürecinin erken aşamalarından itibaren üretim, montaj, kullanım, bakım ve geri dönüşüm gibi tüm yaşam döngüsü aşamalarını dikkate alarak, tasarım kararlarının bu süreçler üzerindeki etkilerini bütüncül bir şekilde değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşımın temel amacı; üretilebilirliği artırmak, maliyetleri düşürmek, kaliteyi iyileştirmek ve zaman kayıplarını minimize etmektir. Aynı zamanda, ürün ve üretim sistemleri arasındaki uyumu güçlendirerek daha verimli ve sürdürülebilir üretim yapılarının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

Türkiye ekonomisi açısından stratejik öneme sahip olan tekstil ve hazır giyim sektörü; üretim, ihracat ve istihdam açısından önemli bir konumda yer almaktadır. Ancak küresel rekabetin artması ve rakip ülkelerin teknolojik yatırımları, sektörün mevcut avantajlarını yeniden değerlendirmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, hızlı üretim kabiliyeti, esnek yapı ve pazar yakınlığı gibi mevcut avantajların, XİT metodolojileri ile desteklenmesi sektörün rekabet gücünü artıracak önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışma iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, X için Tasarım metodolojisinin kavramsal çerçevesi, gelişimi ve alt metodolojileri literatür temelinde ele alınmıştır. İkinci bölümde ise tekstil ve hazır giyim sektöründe ürün geliştirme süreçlerinde XİT metodolojilerinin uygulanabilirliği, kullanılan araç ve teknikler ile organizasyonel faktörler incelenmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

X İÇİN TASARIM METODOLOJİSİ

Çalışmanın bu bölümünde X için Tasarım metodolojileri kuramsal olarak ele alınmış genel yönleri ile açıklanmış X için Tasarım metodolojisinin tanımı, gelişimi, amacı ve önemi, yapısı ve uygulamabilirliği irdelenmiştir. X için Tasarım metodolojilerinin daha anlaşılır olması için en önemli onbeş metodoloji bu bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

1.1. X için Tasarım Metodolojisi Kavramı ve Kapsamı

Günümüzde küresel ölçekte faaliyet gösteren işletmeler pazar taleplerindeki dalgalanmalar, ürün çeşitliliğinin artması ve süreçlerin karmaşıklığı nedeniyle pekçok zorlukla karşılaşmaktadırlar. Özellikle işletmeler rekabetlerini arttırmak veya koruyabilmek, varlıklarını sürdürebilmek gibi nedenlerle ürün çeşitliliği için artan talep ve daha kısa geliştirme süresi, müşteri memnuniyeti, ürün maliyeti ve kalitesi konularında yoğun bir baskı ile karşı karşıyadırlar. Bu baskılar işletmeleri ürünlerinin gerçekleştirilmesinde çeşitli süreçlere odaklanmaya zorlamaktadır. Bu yüzden işletmeler geleneksel ürün tasarımından eş zamanlı ürün tasarım süreçlerine geçiş yapmaktadırlar. Bu süreçler arasında özellikle X için Tasarım süreci dikkat çekmektedir. Ürün tasarımının, ürünün yaşam döngüsünün tüm aşamalarında ürünün özellikleri üzerinde büyük bir etkisi olduğu yaygın olarak kabul edilen bir görüştür. Bu görüşe göre ürünün tasarımı ve geliştirilmesi sırasında ürün yaşam döngüsünün tüm yönlerinin dikkate alınması gerekir. Literatürde, bir ürünün tasarımı ve geliştirilmesi sürecinde, ürün yaşam döngüsünün tüm yönlerinin dikkate alınarak tasarlandığı ve geliştirildiği, çeşitli yaşam döngüsü aşamalarını temsil eden tasarım metodolojileri X için Tasarım (XİT, Design for X-DFX) olarak adlandırılmaktadır (Tichem ve Storm, 1997). Burada X, ürünün, üretimin veya tüm ürün yaşam döngüsünün bir özelliğini (kalite, maliyet, üretim, montaj, demontaj, çevre, kullanım, lojistik...vs) temsil eder (Whitney, 2004). Günümüzde ise bu kavram, Endüstri 4.0 ve Endüstri 5.0'ın getirdiği dijital dönüşümle birlikte, sadece ürünün fiziksel özelliklerini değil, aynı zamanda siber-fiziksel sistem entegrasyonunu, veri analitiğini ve yapay zeka destekli optimizasyonu da kapsayan çok boyutlu bir çerçeveye evrilmiştir (Laovisutthichai ve Lu, 2025; Gdoura vd., 2025).

XİT metodolojisi, artan talepleri karşılamak ve ürünlerin geliştirme süresi, ürün maliyeti ve kalitesi gibi hedeflere ulaşmak aynı zamanda ortaya çıkan eşzamanlı tasarım uygulamalarına yardımcı olmak amacıyla 2. Dünya Savaşı'ndan sonra ortaya çıkan bir yaklaşımdır (Boothroyd ve Alting, 1992).

İlk XİT metodolojisi olarak Montaj için Tasarım metodolojisi 1960'larda İngiltere'de Salford Üniversitesinde geliştirilmiş (Whitney, 2004) ve Montaj için Tasarım terimi ilk olarak Boothroyd ve Dewhurst tarafından kullanılmıştır (Arnette vd., 2014). XİT metodolojisi zaman içerisinde hızlı bir şekilde genişlemiş ve yıllar içinde ürün geliştirmede önemli bir unsur haline gelmiştir (Huang, 1996). O zamanlardan bu yana XİT metodolojisi ürün tasarımında, çeşitli araçlar, teknikler ve felsefe olarak geniş bir uygulama yelpazesini kapsayacak şekilde geliştirilmiştir (Arnette vd., 2014). XİT metodolojisindeki tasarım kuralları tipik olarak yönergeler şeklinde ifade edilir (Becker ve Wist, 2013) ve bu da XİT metodolojilerini uygularken tasarımcının tüm ürün geliştirme süreci boyunca birçok yönereyi izlemesi gerektiği anlamına gelir. Kavramsal aşamadan başlayarak uygulama ve ayrıntılı tasarım ile birlikte bu yönergeler ve kurallar optimum tasarım çözümünü sağlayan kısıtlamalardır (Arnette vd., 2014). Aynı zamanda XİT metodolojilerinin tasarım yönergeleri, yenilik sürecinin ilk aşamasında işletmelere yaşam döngüsü odaklı genel bilgileri içeren bir temel oluşturmaktadır (Hepperle vd., 2011). Güncel yaklaşımlar, bu yönergelerin artık sadece manuel süreçleri değil, aynı zamanda yapay zeka destekli üretken tasarım (generative design) algoritmalarını ve dijital ikiz simülasyonlarını da kapsadığını, böylece tasarımın çok daha erken aşamalarında karmaşık optimizasyonların yapılabilmesini göstermektedir (Lu vd., 2026; Gonçalves vd., 2025).

Literatürde XİT metodolojisi için pek çok farklı tanıma rastlanmıştır. XİT metodolojisi kavramının ve tanımının netleştirilmesi çalışmanın anlaşılabilirliğinin artırılması açısından önemlidir. Bu bağlamda literatürde yer alan tanımlardan bazıları Tablo 1.1'de sunulmuştur.

Tablo 1. 1. Literatürde Yer Alan Bazı X için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Boothroyd vd.	1994	Çok disiplinli çapraz fonksiyonel ekipler tarafından mümkün olduğunca tasarımın erken aşamalarında sıklıkla yer alarak, ortak işlemler için yapılması ve yapılmaması gerekenlerden oluşan özel tasarım kılavuzları, piyasada mevcut ticari yazılım paketleri ve araçlarının uygulanmasıdır.
Huang	1996	İşletmelerin ürün geliştirme sürecini yönetme biçimini değiştirmesine yardımcı olabilecek bir felsefe ve yöntemdir.
Huang ve Mak	1998	Ürünlerin ve ürünlerle ilgili süreçlerin ve sistemlerin eşzamanlı optimizasyonu ve iyileştirilmesi için kullanılan çağdaş ürün geliştirme teknikleridir.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Kuo vd.	2001	Ürün kalitesini, üretkenliği ve esnekliği arttırarak, çevrim süresini ve yaşam döngüsü maliyetlerini azaltarak müşteri ihtiyaçlarını daha iyi karşılamaya yardımcı olan yöntemdir.
Lang vd.	2002	Dahili işlevler ve harici tedarik zinciri ortakları tarafından ortaya çıkan gereksinimleri koordine etme ve iletişim kurmak için potansiyel bir yönetim yaklaşımıdır.
Herrmann vd.	2004	Ürün ömrü boyunca kalite, üretim veya çevre gibi çeşitli tasarım hususlarından birini geliştirmeyi temsil eden bir tasarım karar destek aracıdır.
Meerkamm ve Koch	2005	Bir tasarımcının tasarımını desteklemek için ürünün planlama ve kavramsal tasarım aşamasında temel sınırlarını ve koşullarını ayrıntılı olarak tanımlayan ve ürünler, süreçler ve işletmelerle ilgili ürün geliştirme kararları vermek için bir tür yönetim aracıdır.
Weber	2006	Tasarım süreci boyunca tasarım mühendisliği çalışmalarında bir ürünün öngörülen ürün yaşam çevriminin (Product Life Cycle-PLC) bütün bölümleri ile ilgili bilgiler içeren bir metodolojidir.
Malinowski ve Nowak	2007	Faydalı sonuçlar sağlayan, ürün tasarımı ve optimizasyonu için ürün ömrünün belirli yönlerini (imalat, montaj, çeşitlilik, test edilebilirlik, hizmet verilebilirlik, çevre, güvenilirlik, kullanım, vb.) ele alan bir metodolojidir.
Babu vd.	2008	Ürünün tasarım ve üretim kararlarını vermede birbirleriyle olan ilişkilerini inceleyerek ortaya çıkaran, tipik bir ürün geliştirmedeki bileşenleri içeren, aynı zamanda farklı çağdaş ürünleri veya üreticilerin ürünlerini eş zamanlı değerlendiren, böylece kullanıcı artı ve esilerini tam olarak ortaya koyan yeni ve önemli bir araçtır.
Tomiyama	2009	Ürünün üretilebilirliği, montaj edilebilirliği, çevreye etkileri, geri dönüşümü, kalitesi gibi bütün faktörleri henüz tasarım sürecinde dikkate alan ürün geliştirme yöntemidir.
Tan	2010	Üretim, montaj, kalite, maliyet, güvenilirlik, çevre ve demontaj vb. gibi optimize edilmek istenen ve ürün yaşam döngüsü aşamasında üründe olması beklenen özelliklerin temsidir.
Lehto, vd.	2011	İşletmenin iç fonksiyonları ve dış tedarik zinciri ortaklarının her ikisinde de ortaya çıkan ihtiyaçları ve tasarım gereksinimleri koordine eden bir yönetim yaklaşımı olmanın yanında farklı disiplinlerde farklı uygulamaların gerçekleştirilmesine olanak sağlayan multidisipliner bir yönetim anlayışıdır.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Becker ve Wits	2013	Ürün tasarımını minimum üretim maliyeti ve işlem ile taşıma gereksinimini hızlı bir şekilde gerçekleştiren ve tasarlanmış ürünü en üst kalite seviyesine ulaştıran bir stratejidir.
Elverum vd.	2015	Ürün ömrü boyunca (üretim, montaj, test, tedarik, sevkiyat, teslimat, işletme, servis, elden çıkarma) toplam faydayı optimize etmek ve hedef kaliteyi, maliyeti, performansı ve pazara sunma süresini karşılamak için maliyet, performans ve pazarlama süresini içine alan sistematik ve proaktif bir ürün tasarım yaklaşımıdır.
Gatenby ve Foo	2016	DFX; rekabetçi ve karlı ürün gerçekleştirmenin anahtarı olup, ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca kalite, maliyet ve performans hedeflerini optimize eden sistematik bir yaklaşımdır.
Radziwill ve Benton	2017	Nesnelerin İnterneti (IoT) bağlamında DFX'i, ürünlerin siber-fiziksel sistemler içerisindeki kalitesini, bağlantısallığını ve veri güvenliğini tasarım aşamasında optimize eden entegre bir kalite çerçevesi olarak tanımlamıştır.
Uz Zaman vd.	2018	Eklemeli İmalat (AM) için Tasarım (DfAM) odaklı, tasarım niyetini karmaşık geometrik kısıtlamalar ve malzeme özellikleriyle birleştiren, üretim kısıtlamalarını erken aşamada simüle eden bir metodolojidir.
Benabdellah vd.	2019	DFX'i, ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilirlik boyutlarını (ekonomik, ekolojik, sosyal) ve işletme varlığını optimize eden, çok disiplinli ve kapsamlı bir tasarım felsefesi olarak tanımlamıştır.
Sassanelli vd.	2020	Döngüsel Ekonomi bağlamında DFX, ürün yaşam döngüsü boyunca çevrimleri kapatmayı ve yavaşlatmayı amaçlayan, karar verme süreçlerini destekleyen bir metodolojidir.
Favi vd.	2022	Mühendislik topluluğunda DFX, tasarım hedefleri için genel bir yer tutucu (placeholder) terim olup, belirli bir 'X' değişkeni tasarımda başarıya ulaşmanın anahtarıdır.
Mesa vd.	2023	Döngüsel ekonomi prensiplerini ve ürün dayanıklılığını (durability) tasarımın erken aşamalarına entegre eden, ürünlerin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini minimize etmeyi hedefleyen bütünsel bir DFX yaklaşımıdır.
Montazeri vd.	2024	İnşaat sektöründe DfMA'nın (Üretim ve Montaj için Tasarım) güncel trendlerini ve gelecekteki yönelimlerini, sürdürülebilirlik ve dijitalleşme ekseninde inceleyen, entegre bir tasarım ve üretim felsefesidir.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Laovisutthichai ve Lu	2025	Mimarlık, mühendislik ve inşaat (AEC) sektöründe "Mükemmellik için Tasarım" (DFX) kavramını, bilgi yönetimi tabanlı bir çerçeve ile tanımlayan, ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca kalite, maliyet ve sürdürülebilirlik hedeflerini optimize etmeyi amaçlayan bir yaklaşımdır.
Gdoura vd.	2025	Endüstri 5.0 bağlamında yalın üretim gereksinimlerini ve parametrelerini üretim sistemlerine entegre eden, insan-robot iş birliği ve sürdürülebilirlik odaklı bir DFX metodolojisidir.
Lu vd.	2026	Üretken Yapay Zeka (Generative AI) çağında DFX'i, otonom tasarım optimizasyonu ve insan-makine ortak yaratımı süreçlerini yöneten, en üst düzey (Design for Excellence) mühendislik disiplini olarak tanımlamıştır.

Yukardaki tanımlardan yola çıkarak XİT metodolojisi; ürün tasarım süreçlerinin üretim sistemleriyle uyumunu sağlayan; üründe olması istenen bütün özelliklerin tasarım aşamasında ürüne kazandırılması için yüksek kaliteli, daha düşük maliyetli ve daha hızlı ürün geliştirerek ürün mükemmeliğinin sağlanması amacıyla iş süreçlerinde kullanılan işletmenin iç fonksiyonları ve dış tedarik zinciri ortaklarının her ikisinde de ortaya çıkan ihtiyaçları ve tasarım gereksinimlerini koordine eden, farklı uygulamaların gerçekleştirilmesine olanak sağlayan multidisipliner bir yönetim anlayışı olarak tanımlanabilir. Bu tanım günümüzde "Dijital İkiz" (Digital Twin) teknolojileri ve "Yapay Zeka" (AI) destekli karar sistemleriyle genişleyerek, ürünün sanal ortamda optimize edilmesini ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasını sağlayan proaktif bir mühendislik felsefesine dönüşmüştür (Brarda vd., 2025; Möller vd., 2025).

İşletmeler rekabet edebilmek ve başarıya ulaşmak için müşterilerinin beklentilerini ve farklı gereksinimlerini karşılayacak ürünler geliştirmeli, üretmeli ve sunmalıdır. İşletmelerde tasarımcıların ürün geliştirme ekiplerinin ve mühendislerinin yaşadığı en büyük zorluklardan biri yalnızca müşteri beklentilerini ve gereksinimlerini karşılamakla kalmayıp aynı zamanda tasarım sürecine getirilen kısıtlamaları da karşılayacak ürünler sunmaktır. Bunun yanında tasarımcıların, mühendislerin ve ürün geliştirme ekiplerinin yaşadığı bir diğer zorluk ise en uygun, en önemli tasarıma karar vermeleri ve değerlendirmeleridir. XİT metodolojisi ürün geliştirme sürecinin planlanması aşamasında temel kararları desteklemek için çeşitli stratejiler sunar ve sonraki aşamalarda da rehberlik sağlar (Meerkamm ve Koch, 2005). Bu rehberlik, Endüstri 5.0'ın insan odaklı yaklaşımıyla birleşerek, tasarımcıların sezgisel yaratıcılığını yapay

zekanın analitik gücüyle harmanlayan "İnsan-Makine Ortak Yaratımı" (Human-Machine Co-creation) süreçlerini desteklemektedir (Yu vd., 2025).

Müşteri ihtiyaçları ve ürün özellikleri, ürün geliştirmenin konsept aşamasındaki temel kurallardır. Bununla birlikte, tasarım çalışmaları sırasında ürün geliştirme ekipleri (tasarımcı, tasarım mühendisi...vb) ürün özellikleri ve müşteri ihtiyaçları ile karşı karşıya kaldıklarında belirli tasarım konularıyla bağlantı kurmakta güçlük çekerler. Bu nedenle, birçok tasarımcı ve tasarım mühendisi, XİT metodolojilerini kullanarak ve ürün yaşam döngüsünün belirli tasarım yönlerini ele alarak ürün geliştirme çalışmalarını gerçekleştirirler. Burada X, ürünün kalite, güvenilirlik, montaj uygunluğu, sağlamlık, çevreye olan etkisi, ergonomi ve estetik değeri gibi birçok kriterden birine karşılık gelir (Sancın vd., 2008). Aynı zamanda X, tasarım odağını tanımlayan bir değişkendir ve ürün yaşam döngüsü iş süreci ve performans ölçütleri (yetenek) olmak üzere iki bölümden oluşur. Örneğin, montaj maliyetleri için tasarımda "montaj" ürünün yaşam döngüsü iş sürecini, "maliyet" performans ölçütlerini (yetenek) temsil eder. Akademik olarak bu tanım, XİT metodolojisinin nasıl çalıştığına dair önemli bir ipucudur (Huang ve Mak, 1998a).

Günümüzde bu yapı, geleneksel parametrelerin ötesine geçerek siber-fiziksel sistemlerin karmaşıklığını ve döngüsel ekonominin gerekliliklerini de kapsayacak şekilde evrilmiştir (Sassanelli vd., 2020; Mesa vd., 2023). Bu bağlamda "X" değişkeni artık sadece fiziksel bir özelliği değil, aynı zamanda ürünün dijital ikiziyle olan bağlantısını veya bilgi yönetimi tabanlı yeni nesil tasarım kriterlerini de temsil edebilmektedir (Laovisutthichai ve Lu, 2025). Bu yeni nesil XİT yaklaşımında, ürün yaşam döngüsü iş süreci "dijitalleşme" veya "geri kazanım" gibi modern evreleri içerirken; performans ölçütleri ise "üretken yapay zeka uyumu" veya "döngüsel ekonomi prensipleri" gibi sürdürülebilirlik ve teknoloji odaklı yeteneklerle tanımlanmaktadır (Lu vd., 2026; Sassanelli vd., 2020). Böylece tasarımcılar, klasik mühendislik kısıtlamalarını modern dijital dönüşüm gereklilikleriyle aynı metodolojik çatı altında birleştirerek ürün geliştirme süreçlerini daha bütünsel bir perspektifle yönetebilmektedirler (Mesa vd., 2023).

XİT metodolojilerine duyulan ihtiyaç; tasarımcılar tarafından, tasarım süreci boyunca ortaya çıkan her faktörün ve değişkenin, ortaya çıkan sorun ve kısıtlamaların ürün tasarımları üzerindeki etkilerini göz önüne alan ürün tasarımı fikrinden kaynaklanmaktadır. XİT metodolojileri, ürünün ve süreçlerin performans özelliklerini analiz etmek, bunlardaki problemleri ve eksiklikleri saptamak ve vurgulamak, bu problemlere çözüm aramak, ürün ve süreçlerde değişiklikler önermek (tavsiyeyi yeniden tasarlamak) ve önceliklendirmeyi

içermektedir. Aynı zamanda ürünün performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine dayanmaktadır (Chincholkar, 2002).

XİT metodolojisi aynı zamanda işletmelerin ürün geliştirme sürecini yönetme biçimini değiştirmesine yardımcı olabilecek bir felsefe ve bir yöntem olarak değerlendirilmekte, tasarımcıya ürün, süreç ve ürün yaşam çevrimi ile ilgili ürün geliştirme kararlarını vermesinde yardımcı olabileceği düşünülmektedir (Huang, 1996). İşletmeler ürün yaşam çevriminin farklı aşamalarında yer alan rekabetçi hedefleri etkili bir şekilde vurgulama olanağına sahip olmak için XİT metodolojilerini iletişim geliştirmek ve rekabetçi hedeflere yönelik yetenekler kazanmak için potansiyel bir araç olarak kullanabilmektedirler (Lehto vd., 2011).

XİT metodolojisi ürün geliştirme sürecinde alınan kararların ne derece başarılı olduğunu incelemekte ve ürünün geliştirilmesine odaklanmaktadır (Martikainen, 2012). Geleneksel ürün geliştirme yaklaşımında ürün geliştirme sıralı işlemlerden oluşur ve belirli iterasyonlar sonucunda gerçekleşir ve tasarım hedefleri yerine tasarım toleransları esas alınır. Ayrıca işletme içinde her bir çalışma ekibinin ya da işletme bölümünün kendine özgü tasarım fikirleri ve yöntemleri vardır (Driscoll, 2002: 318). XİT metodolojisinde ürün geliştirme süreci geleneksel ürün geliştirme sürecinin aksine, elde edilecek ürünün bütün faktörleri ve müşterinin istekleri dikkate alınarak üründe olması gereken tüm özellikler tasarım aşamasında netleştirilir. Aynı zamanda XİT metodolojisinde ürün geliştirme süreci çapraz fonksiyonel ekipler ile birlikte yapılan eş zamanlı bir süreçtir (Watson ve Radcliffe, 1998; Tomiyama vd., 2009).

1.2. X için Tasarım Metodolojisinin Gelişimi

Üretim tarihi ve sanayi devrimleri boyunca üreticiler, sanayiciler ve işletmecilerin amacı, verimlilik ve üretkenliğin artırılması, esnekliğin artırılması, yaşam çevriminin kısaltılması, maliyetlerin düşürülmesi, kalitenin geliştirilmesi ve sosyal imajın geliştirilmesi olarak sıralanabilir. Bu amaçlara ulaşmanın yolu planlı üretimle birlikte konsept ürünlerin, süreçlerin ve sistemlerin tasarımında tüm etkileşim konularını dikkate alan, birden fazla disiplin fonksiyonları arasında iş birliğine dayalı bir uygulama olan ve mevcut kaynakların en iyi şekilde kullanılmasını sağlayan etkili yaklaşım olarak ortaya çıkmış olan XİT metodolojilerinin kullanımıdır (Huang, 1996).

Elli yıldan uzun bir süredir yapılan araştırmalar, üretim anlayışlarını ve çeşitli tasarım konularındaki karar alma süreçlerini iyileştirmiştir. Birçok disiplinde birçok konuyu kapsayan pek çok XİT metodolojisi geliştirilmiştir. Bu süreçte XİT metodolojileri üretimin ötesinde tüm tedarik zincirine yayılmış ve tasarımın ekonomik, ekolojik, sosyal ve işletme varlığı üzerindeki etkisinin dikkate alınmasını sağlamıştır. Bu nedenle üretim, montaj, demontaj, tedarik zinciri,

çevre, kalite, geri dönüşüm, yeniden üretim, estetik ve benzeri gibi konulara odaklanarak zaman içinde çok sayıda farklı XİT metodolojisi geliştirilmiştir (Benabdellah vd., 2019).

Tüm bu süreç Henry Ford'un 1920'li yıllarda başlayan üretim anlayışının üretim sistemlerine yeni bir perspektif kazandırması ve eş zamanlı mühendislik ile birlikte *Üretim için Tasarım* ve *Montaj için Tasarım* metodolojilerinin temellerinin atılması ile başlamıştır (Andersson vd., 2014). Henry Ford 1931 yılında, sahip olduğu imkanlar ile birlikte küçük, bütünleşik, çok disiplinli takımlarla kendi bünyesinde oluşturduğu yeni üretim tekniklerini kullanarak, hedef pazar (düşük orta sınıf) için dünyanın ilk düşük maliyetli otomobilini tasarlamış ve üretmiştir. Böylece Ford Motorda eşzamanlı mühendisliğin temelleri atılmıştır. Eş zamanlı mühendisliğin ortaya çıkması ile birlikte İkinci Dünya Savaşı sırasında üretim ve montaj uygulamaları konusunda yoğun çalışmalar başlamıştır (Ziemke ve Spann, 1993). Bu çalışmaların sonucunda, ilk XİT metodolojileri olan *Montaj ve Üretim için Tasarım*, ürünlerin üretilebilirliğini hedeflemiş ve ortaya çıkan eşzamanlı tasarım uygulamalarına yardımcı olmak amacıyla İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra geliştirilmiştir (Boothroyd ve Alting, 1992). O yıllarda, eşzamanlı mühendisliğin alt kümesi olarak geliştirilen *Üretim için Tasarım* ve *Montaj için Tasarım* hem yönetimde hem de mühendislikte önemli iki kavram olarak karşımıza çıkmaktadır (Ziemke ve Spann, 1993). Aslında *Üretim için Tasarım* İkinci Dünya savaşında ve sonrasında eşzamanlı mühendislik uygulamalarına yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiş gibi görünse de (Boothroyd ve Alting, 1992) geçmişi ikiyüz yıl öncesine dayanmaktadır. Bir Fransız olan LeBlance 1788 yılında el yapımı bir tüfek üretimi için tek tek değiştirilebilir parça kavramını tasarlamıştır. Bu parçalar üzerinde sınırlı toleranslar uygulamış ve temel üretim süreçlerini geliştirmiştir (O'Driscoll, 2002). Bununla birlikte, *Üretim için Tasarım* 20. yüzyılın ikinci çeyreğine kadar sanayi de tam olarak anlaşılamamıştır (Trybula ve Konopka, 1995). Aslında, 1920'lerde, Henry Ford bir çeşit *Üretim için Tasarım* yöntemi kullanmasına rağmen, 1950'li yıllardan 1970'li yıllara kadar Batılı işletmelerde yaygın olarak kullanılmamıştır (Andersson vd, 2014).

İkinci Dünya Savaşı sırasında yaşanan gelişmeler pek çok üretim şeklinin ortaya çıkmasına sahne olmuştur. Örneğin birçok üretim tesisi normal üretimden askeri üretime dönüşmeye başlamış ve kullanımda olan ürünler, özellikle otomotiv ürünleri, toplumu çalışmaya devam ettirmek için büyük ölçüde yeniden üretilmiştir. Böylece o yıllarda yeniden üretim endüstrisi ortaya çıkmış ve *Yeniden Üretim için Tasarımın* temelleri atılmıştır (Sundin, 2004). Ayrıca savaş uçaklarının, silah sistemlerinin ve roketlerin etkinliğini ele almak üzere kurulan güvenilirlik mühendisliği ile *Güvenilirlik için Tasarımın* ilk temelleri yine İkinci

Dünya Savaşı yıllarında atılmış ve savunma sanayiinde güvenilirlik mühendisliği ile ilgili birçok standart üretilmiştir. O yıllarda güvenilirlik mühendisliğinin endüstrideki uygulamaları, öncelikle bir tasarım güvenilirliği etkinliği değil, tasarım sonrası değerlendirme ve kalite güvencesi disipliniydi (Huang ve Jin, 2008). Güvenilirlik mühendisliğinin uygulanması konusundaki büyük atılım, 1950'lerin sonlarında, büyük füze silah sistemi için askeri sözleşmelerde güvenilirlik unsurları gibi özel gereksinimlerin yer almasıyla yapılmıştır (Kuo ve Zhang, 1995).

1957 yılında Matousek tarafından mühendislik tasarımına sistematik bir yaklaşım sunulmuş, Niebel ve Baldwin tarafından *Ürün için Tasarım* konusunda bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler temel çizim becerileri, tasarım özellikleri, üretim verileri ve montaj konularını içermektedir. Aynı zamanda bu çalışmalar XİT ile ilgili değerli metinler arasında yer almaktadır (Huang, 1996). 1958 yılında, XİT bağlamında *Üretim için Tasarım* metodolojisi ilk kez Bolz tarafından o dönemlerde çok popüler olan *Metal Mühendisliği Süreçleri* kitabında anlatılmış ve üretim sürecinde hazırlanan metal parçaların üretimini geliştirmede, tasarımcılara yardımcı olacak bir dizi yönerge hazırlanmıştır (Hoque vd., 2013).

1960'lı yıllarda ürün geliştirme süreçlerinde üretilebilirlik ve kontrol edilebilirliğin yolları aranırken, üretim verimliliği ve güvenliğini en üst düzeye çıkarmak, ürünlerin ve işlemlerin tasarımını kolaylaştırmak için rehberlik sağlayan sistematik süreçler de geliştirilmiştir. O yıllarda bu anlamda dikkat çeken en önemli gelişme, kaliteyi üretim sürecine dahil eden Kalite Fonksiyon Yayılımıdır (Benabdellah vd., 2019). Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) geliştirilmesi ile birlikte ürün tasarımında kalitenin geliştirilmesi gündeme gelmiştir. Ürün tasarımının kaliteye olan etkisinin araştırılması 1960'lı yıllardan beri Japon mühendis Genichi Taguchi'nin, büyük ölçüde deney teorisinin tasarımına dayanan çeşitli istatistiksel araçlar ve kalite geliştirme kavramlarına dayanmaktadır. O zamandan beri, tasarımcılar ve üreticiler kalitenin üründe tasarlanması gerektiğinin önemi üzerinde durmaktadırlar (Kuo ve Zhang, 1995). Günümüzde, bu yaklaşım *Kalite için Tasarım* olarak adlandırılan daha popüler bir teknik haline gelmiştir (Benabdellah vd., 2019). Taguchi'nin istatistiksel yöntemleri, günümüzde büyük veri analitiği ve yapay zeka algoritmalarıyla birleşerek, tasarımın erken aşamalarında otonom optimizasyon sağlayan "Mükemmellik için Tasarım" (Design for Excellence) felsefesinin temel taşlarını oluşturmaktadır (Lu vd., 2026).

1960'lı yılların başlarında, XİT öncü çalışması olarak bilinen *Montaj için Tasarım*, sanayileri etkisi altına alan yeni tarz otomatik üretimin ilk dalgası olmuştur (Causey, 1999; Ehrs, 2012). *Montaj için Tasarım* terimi ilk olarak Boothroyd ve Dewhurst tarafından kullanılmıştır (Arnette vd., 2014). Ayrıca

Montaj için Tasarım ile ilgili 1960'ların başlarında birçok işletme tarafından ürün tasarımı sürecinde kullanmak için yönergeler hazırlanmıştır. Bilinen en iyi örneklerden bir tanesi General Elektrik tarafından dâhili kullanım için yayınlanan *Üretim Verimliliği El Kitabı*'dır. Bu kitaptaki üretim verileri, tasarımcıların verimli ve etkili tasarım için üretim bilgilerini edinebilecekleri ve bu üretim bilgilerini bir referans olarak kullanacakları yönergelerden oluşmaktadır. Bu yönergeler, bugün bildiğimiz *Montaj için Tasarım* metodolojisinin temelini oluşturmaktadır (Mital vd., 2008). XİT metodolojisi olarak *Montaj için Tasarım* metodolojisi 1960'larda İngiltere'de Salford Üniversitesinde gerçekleştirilen otomatik besleme ve otomatik yerleştirme tasarımı üzerine ortak araştırmaların bir sonucudur. Bununla birlikte, ürünün basitleştirilmesi ve toplam üretilen maliyetlerin düşürülmesi nedeniyle pek çok yöntem geliştirilirken sayısız üründe zamansız maliyet tasarrufu sağlayan manuel *Montaj için Tasarım* uygulaması günümüzde de geçerli bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Boothroyd ve Alting, 1992; Whitney, 2004). Modern üretim ekosistemlerinde ise Montaj için Tasarım (DfA), modüler ve saha dışı inşaat süreçlerinde dijitalleşme odaklı bir karar destek mekanizması olarak yeniden konumlandırılmaktadır (Rankohi vd., 2022).

1970'lerin ortalarında *Montaj için Tasarım* metodolojisi en ekonomik ve en verimli montaj için en iyi bileşenleri tasarlamak amacıyla tasarımcıların ürün tasarım aşamasında montaj problemlerini hesaba katabilecekleri bir analiz metodu olarak üretimde kullanılmaya başlanmıştır (Taylor, 1997; Hsu vd., 1998; Wongdeethai, 2006; Scur vd. 2013). *Montaj için Tasarım* üretimde kullanılması ile sağlanan faydalarının keşfedilmesi bundan sonraki XİT metodolojilerinin gelişmesine lokomotif olmuştur (Meerkam, 1994; Huang, 1996).

1970'ler ve 1980'lerde modern üretim ve teknolojik gelişmelerin etkisi ile rekabetin artması, müşteri beklentilerinin de artmasına neden olmuştur. Yaşanan bu gelişmelerin etkisi ile çevresel kaygılar da artmaya başlamıştır. Bu noktada ürün ömrünü uzatma ve yaşam çevrimini tamamlamış malzeme ve bileşenleri geri kazanma düşünceleri ön plana çıkmaya başlamıştır. Böylece işletmeler yeşil bir imaj çizerek kârlarını arttırmayı ve müşteri beklentilerini karşılamayı hedeflemiştir. Bu bağlamda işletmeler tasarım etkinliklerini ve ürün verimliliklerini en üst düzeye çıkarmak için sürdürülebilir üretime yeniden üretim uygulamasını optimize edilmek için çalışmalar başlatmışlardır. Bu çalışmalar yeniden üretim sürecinin de tasarım aşamasında ele alınmasını ve *Yeniden Üretim için Tasarım* metodolojisinin gelişmesini sağlamıştır (Ijomah, 2009). Bu yaklaşım, günümüzde "Döngüsel Ekonomi için Tasarım" (Design for Circularity) ve ürün dayanıklılığı (durability) ilkeleriyle birleşerek, ürünlerin sadece üretilebilirliğini değil, aynı zamanda yeniden kullanılabilirliğini merkeze alan proaktif bir stratejiye dönüşmüştür (Mesa vd., 2023).

İkinci Dünya savaşında temelleri atılan güvenilirlik konusunda 1970-1980 yılları arasında bazı araştırmacılar bir sistemdeki emniyet seviyesini izlemek ve karar vericilere nerede ve nasıl hareket edecekleri konusunda gerekli bilgileri sağlamak için güvenlik performansı göstergesi veya risk analizi tekniklerini dikkate almışlardır. Bunun yanında bazı işletmeler, ürün güvenliği konusunun özellikle kurum kültüründe tasarım sürecine paralel olarak ele alınması gerektiğini öne sürmüşler (Benabdellah vd., 2019), sıfır başarısızlığı hedef alarak çalışmalarını arttırmışlar ve *Güvenilirlik için Tasarım* konusunda yeni standartlar oluşturmuşlardır (Raheja, 2012).

Taguchi'nin 1980'li yıllarda yaptığı çalışmalarda parametre ve tolerans tasarımının sağlam, yüksek kaliteli ürünlerin üretilmesinde önemi vurgulanmış ve Kalite Fonksiyon Yayılımı Yayılımı ile ifade edilmiştir. Ürün tasarımının kalitesini başka bir ürünün tasarımıyla karşılaştırmak için kullanılan bu fikirler *Altı Sigma için Tasarım* gibi spesifik kalite yönetim yaklaşımına da ilham olmuştur (Arnette vd., 2014). *Altı Sigma için Tasarım* metodolojisi süreçleri ve ürünleri iyileştirmek için nesnel ve istatistiksel düşünce kullanımıyla bir disiplin kurma aracı olarak ortaya çıkmıştır. Altı Sigma yöntemi, Motorola tarafından ilk defa 1980'lerde tanıtılmıştır. Motorola'da yapılan çalışmalarda üretim süreçlerinin optimizasyonuna yönelik istatistiksel araçların sistematik bir şekilde uygulanmasıyla, ortak düzey olan Üç Sigmanın, Altı Sigmaya yükseltilmesi amaçlanmıştır (Batalha, 2012). Benzer amaçlara ve özelliklere sahip olmaları nedeniyle bazı kaynaklarda *Kalite için Tasarım*, *Altı Sigma için Tasarım* olarak da tanımlanabilmektedir (Benabdellah vd., 2019).

İlk kez 1983 yılında XİT kavramı, üretim yöntemlerini daha verimli hale getirmek ve zaman, maliyet ve hataları azaltmak için kullanılmıştır. 1980'lerin sonlarında, KFY'nin etkisiyle XİT metodolojisinin, eşzamanlı mühendislik hareketinin bir parçası olduğu vurgulanmıştır. Ardından, XİT metodolojileri üretimin ötesinde tüm tedarik zincirine yayılmış ve zaman içinde çok sayıda farklı XİT metodolojisi geliştirilmiştir (Benabdellah vd., 2019)

1984 yılında, General Elektrik'in elektronikte mükemmellik merkezi tarafından, *Üretilebilirlik Derecelendirme Sistemi* olarak adlandırılan elektronik devre kartı seviyesi montajını değerlendirmek için bilgisayarlı bir yaklaşım geliştirilmiş ve Üretim için Tasarımın belirli amaçları için bir araç sağlamaya yönelik birçok farklı girişimde bulunulmuştur. Ancak, bu çalışmalar beklenen faydayı sağlamamıştır (Trybula ve Konopka, 1995). 1986'da Stoll, üretim sürecini kolaylaştırmak ve erken tasarım aşamasında maliyet tahminlerini sağlamak için *Üretim için Tasarım* yönergelerinden oluşan bir kontrol listesi hazırlamıştır. Hazırlanan yönergeler *Üretim için Tasarım* ile ilgili uygulamaların sistematik ve tanımlanmış bir listesini oluşturmuştur. Böylece bu yönergelerin,

yaratıcılığı teşvik eden ve *Üretim için Tasarıma* giden yolu gösterecek yönergeler olduğu belirtilmiştir (Kuo vd., 2001).

1980'lerin ortasında ürün tasarımı, ürünlerin çevresel etkilerini azaltmaya yönelik uygulamaların yapılması ile ilgili düşünceler ortaya çıkmıştır. 1990'ların başlarında ise bu düşünceler eyleme geçmiş, çevresel taleplerin karşılanması ve kaynakların korunması için geliştirilen yeni fikir ve deneyimler tasarım çalışmalarının hedefleri arasında yerini almıştır. Böylece tasarım çalışmalarına yeni bir yaklaşım getirilmiş, tasarım aşamasında ürünlerin çevre üzerindeki etkisini en aza indiren, *Çevre için Tasarım*, *Yeşil Tasarım* veya *Çevreye Duyarlı Tasarım* olarak adlandırılan bir kavram ve yöntem ortaya çıkmıştır. Tüm bu kavramlar genel olarak günümüzde *Eko Tasarım* adı altında birleşmektedir (Giudice vd., 2006). Bu eko-tasarım yaklaşımları, günümüzde Endüstri 4.0'ın dijitalleşme ve Endüstri 5.0'in insan odaklılık (human-centricity) prensipleriyle harmanlanarak, esnek (resilient) ve sürdürülebilir üretim sistemleri için dinamik bir DFX çerçevesi sunmaktadır (Leng vd., 2025).

1990'larda, tedarik zinciri yönetimi kararlarının ürün tasarım kararlarıyla senkronize edilmesine yapılan vurgu, XİT serisinin bir başka yönü olan *Tedarik Zinciri için Tasarımı* ortaya çıkmıştır (ElMaraghy ve Mahmoudi, 2009). 1990'lı yıllarda, *Tedarik Zinciri için Tasarım* veya *Lojistik için Tasarımın* temelleri Lee ve Billington tarafından atılmıştır (Lamothe vd., 2006). *Tedarik Zinciri için Tasarım* terimi ilk olarak 1992 yılında Lee ve Billington tarafından yazılan bir makalede kullanılmıştır. Lee ve Billington bu makalede, ürün tasarım sürecini geliştirmek için bir fırsat olarak *Tedarik Zinciri için Tasarım* kavramını tanıtmışlardır (Chiu vd., 2007; Claypool, 2011). Bu çalışmalar, belirli bir tedarik zincirinin maliyetlerini ve teslim süresini artırmak için bir ürün ailesinin tasarımını uyarlamada, bir ürün varyantının ertelenmesi (zaman, yer veya form erteleme), ürün ve süreç modülerizasyonu veya standardizasyonu, malzeme faturalarında bir bileşenin tersine çevrilmesine neden olan operasyon tersleri, güvenlik stoklarındaki sonuçların nedenleri gibi çeşitli çıkarların altını çizmiştir (Lamothe vd., 2006). Bu entegrasyon, günümüzde siber-fiziksel sistemler ve dijital ikizler aracılığıyla tasarımcıların yapay zeka ile ortak yaratım (human-machine co-creation) süreçlerine dahil olduğu interaktif bir ekosisteme evrilmiştir (Lu vd., 2026).

1990'lı yıllar depolama alanlarının veya ürünlerin küresel olarak artması, dünyayı geri dönüştürmek ve yeniden kullanmak için düzenleyici ve gönüllü girişimlere yol açmıştır (Justel, 2006). Bu girişimler ise ürün tasarımı, mühendislik ürünlerinin geri dönüştürülmesi fikrinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Özellikle, gelecekte ürünlerin geri dönüşümünün artacağı ve çevre dostu ürünler tasarlanması gerektiği kabul edilmiştir (Thormark, 2001). Bununla

birlikte, tasarım ve üretimin 1990'lı yıllarda, çevresel bilinçle üretim ve ürün iyileştirme çalışmalarının, çevre düzenlemeleri ve öncelikli olarak çevresel konularda müşteri perspektifine göre uygulanması, çevreye ve topluma karşı bir yükümlülük haline gelmiştir (Güngör ve Gupta, 1999). Böylece azalan çevresel kaynakların oranı da dahil olmak üzere çevresel sorunların ürün geliştirme çalışmalarında dikkate alınması ve özellikle çevre kavramı birçok hükümetin, işletmenin, araştırmacının ve halkın dikkatini çekmiştir (Güngör, 2006). Bu anlamda, birçok araştırmacı ve işletmeci çevresel etkilerin, ürün tasarımı sürecinde azaltılabilecek ve çevresel konulara tam olarak cevap verebilecek *Çevre için Tasarım* konusunu gündeme getirmişlerdir. Bu bağlamda, *Çevre için Tasarım* konusu ilk olarak 1991 yılında Allenby ve Fullerton tarafından tanıtılmış ve 1994 yılında Fiksel ve Wapman tarafından geliştirilmiştir (Benabdellah vd., 2019).

Çevre için Tasarım, ürün geliştirme sürecinin kavramsal tasarım aşamasından nihai ürünün teslimatına kadar, çevre standartları ve gereksinimlerinin karşılanmasını sağlayacak ve ürün yaşam çevriminin sonuna kadar olan tüm süreci kapsayacak şekilde ele alınmıştır. Böylece, ürünün geri dönüşüm ve yeniden üretimi (parçaların ve ürünlerin yeniden kullanımı da dahil) yoluyla eski ürünlerden malzeme ve parçaların geri kazanılmasıyla depolama alanlarına gönderilen atık miktarının en aza indirilmesi gündeme gelmiştir (Güngör ve Gupta, 1999). Yaşanan bu gelişmelerin ışığında *Çevre için Tasarım*, *Geri Dönüşüm* ve *Yeniden Üretim için Tasarım* kavramları da ürün tasarımı aşamasında ele alınması gereken kavramlar olarak ürün geliştirme sürecinde ve XİT metodolojileri arasında yerlerini almışlardır. 1990'lı yılların sonlarından bu yana XİT metodolojileri yeni ürünlerin geliştirilmesinde işletmeler tarafından yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Kuo vd., 2001; Yang vd., 2007). XİT metodolojileri 1990'lı yıllardan beri çevresel kaygıların artması, yeni düzenlemeler ve 'yeşil' ürünler satmanın işletmelere sağladığı rekabet avantajı nedeniyle genişlemiş ve ürünün tüm ömrünü ve sürecini kapsar hale gelmiştir (Cowan vd., 2000; Sheu ve Chen, 2007; Mottonen vd., 2009). Günümüzde ise bu yaklaşımlar, döngüsel ekonomi prensipleriyle daha da derinleşerek, ürünlerin uzun ömürlülüğü ve yeniden kullanılabilirliği için tasarımın kritik rolünü vurgulamaktadır (Omidzadeh, 2024; Weiss, 2023).

Tüm bu gelişmelerin yanısıra, 1990'lı yılların sonlarında işletmeler ürünün üretim sürecinde sahip olması gereken özelliklerinin ve üretim süreçlerinin iyileştirilmesi çabalarına devam etmişlerdir. Rekabetçi ürünlerin hemen hemen aynı işlevselliği sağladığı gerçeği ile karşı karşıya kalan işletmeler bu süreçte, küresel pazarda rakiplerine göre farkı yakalamak için ürün tasarımında estetik özellikleri de dikkate almaları gerektiğinin farkına varmışlardır. Dengeli

fiyatlarla birlikte estetik, genellikle fark yaratan ve başarı veya başarısızlıkla sonuçlanan tek faktördür. Bu bağlamda, ürün tasarımında estetiğin de gözönüne alınması gerçeği ortaya çıkmış ve *Estetik için Tasarım* konusu gündeme gelmiştir. *Estetik için Tasarım*, ürün kabulünü arttırmadaki rolü nedeniyle, kavramsal tasarım ve şekil tasarımı aşamasında XİT metodolojileri arasında yerini almıştır (Breemen vd., 1998). Güncel literatürde ise estetik, yapay zeka destekli üretken tasarım araçları ve insan-makine ortak yaratım süreçleriyle yeni boyutlar kazanmakta, tasarımcıların estetik niyetlerini daha hızlı ve etkin bir şekilde gerçekleştirmesine olanak tanımaktadır (Lu vd., 2026; Yu vd., 2025; Singh ve Sarkar, 2025).

XİT metodolojileri, özellikle son yirmi yılda hem uygulayıcı hem de araştırmacılar tarafından giderek daha fazla ilgi görmüştür. 2000'li yıllara gelindiğinde, ürün yaşam döngüsünün farklı evrelerine uygun ürün tasarımı için birden fazla XİT metodolojisi yönergesi ele alınmış ve bu yönergeler ürün geliştirme ve planlama için genel tasarım önerileri olarak sunulmuştur (Hepperle vd., 2011). Özellikle, ürünlerin geri dönüşümünün ve yeniden üretiminin artacağı ve çevre dostu ürünler tasarlanması gerektiği kabul edilmiş ve *Çevre için Tasarım*, *Geri Dönüşüm için Tasarım* ve *Yeniden Üretim için Tasarım* metodolojilerinden ekonomik olarak faydalanılmaya başlanmıştır (Thormark, 2001). Yeniden üretilmiş veya yeniden kullanılmış bir ürün bir defadan fazla bir araya getirilirken, bu da ürünün sökülmesinin ve yeniden montajın önemli bir yönünü oluşturmaktadır (Go vd., 2015). Bununla birlikte, mevcut sanayide kullanılan *Yeniden Üretim için Tasarım* ve *Geri Dönüşüm için Tasarımın* ekonomik olarak uygulanabilir hale getirilebilmesi için kullanılan ürünlerin demontajının gerekli olduğu kabul edilmiştir. Özellikle atılan ve kullanılan ürün miktarının çarpıcı bir şekilde artması nedeniyle demontaj çoğu endüstriyel ülkede önemli bir hale gelmiştir (Kuo vd., 2001). Günümüzde ise demontaj süreçleri, robotik sistemler ve yapay zeka algoritmalarıyla desteklenerek daha verimli ve otomatik hale gelmekte, döngüsel ekonomiye geçişte kritik bir rol oynamaktadır (Hybel vd., 2025; Hernández, 2025).

2000'li yıllardan sonra, yeni tasarımlar yapılandırılırken ürün tasarımcıları *demontaj kolaylığı kavramını* da ele almaya başlamışlardır. Böylece, yeni ürünlerin demontaj ve servis kolaylığı analizi için bir tasarıma ihtiyaç duyulmasıyla *Demontaj için Tasarım* fikri ortaya çıkmıştır (Güngör, 2006; Sodhi vd, 2004). *Demontaj için Tasarım*, ürünün geri kazanımı, yeniden üretimi ve geri dönüşümü (parçaların ve ürünlerin yeniden kullanımı dâhil) yoluyla eski veya eski ürünlerden gelen bileşenlerin ve malzemelerin geri kazanılması, depolama alanlarına gönderilen atık miktarının en aza indirilmesi ve çoğunlukla tahribatsız sökme işlemlerinin etkili hale getirilmesi amacıyla XİT metodolojilerine dâhil

edilmiştir (Güngör, 2006). Ayrıca çoğu endüstrileşmiş ülke, *Demontaj için Tasarımın* etkilerine sahip olan ve yüksek bir çevre bilinci ile atık bertarafının pratik yönlerini yansıtan, hem de *Geri Dönüşüm için Tasarım* ve *Yeniden Üretim için Tasarım* konularını destekleyen yasalar geliştirmişlerdir (Bogue, 2007).

2000'li yıllarda toplum ve pazar daha sofistike hale gelmiş ve üretim teknolojileri daha da gelişmiş ve çarpıcı bir şekilde artmıştır. İşletmeler pazarda rekabet etmek ve başarılı olmak için güvenilirlik ve fiziksel kalitenin ötesinde, ürünlerinin estetik ve öznel kalitesine daha fazla dikkat etmek zorunda kalmışlardır. Böyle bir rekabet ortamında, kazanan ve kaybedenleri ayıran özellikler ve ölçütlerin genellikle ürünlerin kullanılabilirlik ve estetik özellikleri olduğu vurgulanmıştır (Liu, 2003). 2003 yılında Liu, ürün geliştirme sürecinde, tasarımıdaki estetiği nicel olarak incelemiş ve *Estetik için Tasarım* metodolojisi ile ilgili yönergeler geliştirmiştir. Liu *Estetik için Tasarım* metodolojisini *Mühendislik Estetiği* olarak adlandırmıştır. Mühendislikteki tasarım öğeleri, kullanılabilirliğine ve işlevselliğine değer katan belirli bir güzellik unsuruna sahiptir. Bu bağlamda *Estetik için Tasarım* metodolojisi araştırma ve geliştirme odağında mutlaka yer alacak XİT metodolojilerinden biri olarak kabul edilmiştir (Mokarian, 2007).

Ürünlerin performansını arttırmak için geliştirilen XİT metodolojilerine ek olarak günümüzün ürün gereksinimleri olan ürünlerin güvenilirliği, üst düzey kalite beklentileri ve sağlamlığı geliştirmek için *Sağlamlık/Robust için Tasarım* metodolojisi geliştirilmiştir (Park vd., 2006). Taguchi tarafından Japonya'da geliştirilen kalite yaklaşımının temeli olarak *Sağlamlık/Robust için Tasarım* metodolojisi günümüzde tüm dünyada başarı ile uygulanmaktadır (Apak, 2012). Bu sağlamlık yaklaşımları, günümüzde dijital ikizler ve yapay zeka destekli kestirimci analizlerle birleşerek, ürünlerin yaşam döngüsü boyunca performansını optimize etmeyi ve beklenmedik arızaları önlemeyi hedeflemektedir (Sala vd., 2025; Kerkeni vd., 2025).

Özetle XİT metodolojilerinin gelişiminde ilk olarak daha fazla üretim ve daha iyi montaj yapabilmek için *Üretim ve Montaj için Tasarım* metodolojileri ortaya çıkmıştır. İkinci olarak ise *Üretim ve Montaj için Tasarımla* birlikte; geri dönüşüm, yeniden üretim, demontaj, tedarik zinciri, lojistik, sürdürülebilirlik, bakım ve kullanılabilirlik gibi diğer yaşam döngülerini içine alan XİT metodolojileri ortaya çıkmıştır. Üçüncü olarak XİT metodolojiler; kalite, altı sigma, maliyet, estetik, çevre, güvenilirlik, sağlamlık vb. gibi rekabet gücünün önemli yönlerini kapsayacak şekilde ortaya çıkmıştır. Dördüncü olarak, tüm mühendislik üretim sanayilerinde *Üretim ve Montaj için Tasarım* kendisine daha fazla kullanıcı bulmuştur. Sonuçta, ürün geliştirmede XİT metodolojileri arasındaki entegrasyon ve denge analizi gibi yeni konular daha fazla araştırma

konusu olmuştur. Bu çoğalma ve genişleme *Üretim için Tasarım, Çevre için Tasarımı, Geri Dönüşüm İçin Tasarım, Kalite için Tasarım, Güvenilirlik için Tasarım, Sağlamlık/Robust için Tasarım, Maliyet için Tasarım* vb. gibi yeni terimlerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. XİT bu şartlarda kendi kısaltmaları için bir şemsiye olarak tasarlanmıştır. Günümüzde ise bu şemsiye, Endüstri 5.0 ve yapay zeka çağının getirdiği yeni zorluklar ve fırsatlarla birlikte, "Mükemmellik için Tasarım" (Design for Excellence) felsefesi altında sürekli olarak genişlemekte ve derinleşmektedir (Lu vd., 2026; Yu vd., 2025).

1.3. X için Tasarım Metodolojisinin Amacı ve Önemi

XİT metodolojisi, ürün tasarım sürecinde sistematik geliştirme süreçlerinin, üretimin ve ürünün bütünü oluşturarak parçaların bir araya getirilmesi için kullanılan bir tekniktir. Amaç, tasarlanan parçaların en kolay ve en hızlı bir biçimde üretilmesi, üretim kayıplarının azaltılması, zamandan tasarruf edilmesi ve maliyetlerin düşürülmesi, üründe olması istenilen en yüksek kalitenin gerçekleştirilmesidir (Lehto vd., 2011). Aynı zamanda üretim, montaj, bakım gibi ürün geliştirme sürecinde yer alan diğer işlemleri basitleştirmek ve kolaylaştırmaktır (Estorilio ve Simião, 2006; Hepperle vd., 2011). Günümüzde bu amaçlar, dijital fabrikalar ve akıllı üretim sistemleri çerçevesinde, ürünün dijital ikizi üzerinden gerçek zamanlı simülasyonlar yapılarak üretim öncesi belirsizliklerin minimize edilmesine evrilmiştir (Brarda vd., 2025).

XİT metodolojisi hedeflenen amaca ulaşmak için öncelikle ürün tasarımında olası problemleri ve eksiklikleri belirlemeye çalışmaktadır. XİT metodolojisi, belirlenen problemlere çözüm ararken, ürün veya süreçlerde yapılacak değişiklikler ve bu değişikliklerin ürünün öngörülen performansı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesini önermektedir. Bu sayede ürün tasarım sürecinin ilerleyen aşamalarında oluşabilecek yeni tasarımlardan kaçınılması öngörülmektedir. Kısacası XİT metodolojisi, bir ürünün tasarım sürecinde ve ürün yaşam çevriminin diğer aşamalarında, olası problemlerin mümkün olduğunca azaltılmasını ve tasarım performansını göz önünde bulundurarak tasarlanmasını amaçlamaktadır (Chincholkar, 2002). Modern tasarım ekosistemlerinde bu amaç, "Mükemmellik için Tasarım" (Design for Excellence) yaklaşımıyla genişleyerek; sadece teknik sorunların giderilmesini değil, aynı zamanda ürünün çevresel sürdürülebilirliğini ve döngüsel ekonomi prensiplerine uyumunu da kapsayan bütünsel bir optimizasyonu hedeflemektedir (Mesa vd., 2023; Lu vd., 2024).

XİT metodolojisi, ileri performans ölçütlerini esas alarak, ürün geliştirme sürecini iyileştirmek ve optimize etmek amacıyla, işletmelerin ürün geliştirme biçimlerini değiştiren ve rekabet güçlerini artırmalarına yardımcı olan pek çok

XİT metodolojisinin geliştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda bu metodolojilerin uygulanması için ortak bir çerçeve sunmaktadır (Huang ve Mak, 1997b). Bu bağlamda geliştirilen XİT metodolojilerinin ürün tasarımı ve ürün geliştirilmesi sürecinde karar vermeyi kolaylaştırması, paydaşların ürün tasarım tercihlerinin oluşturacağı etkiyi bilmeleri ve ürün geliştirme sürecinin verimliliğini artırması amaçlanmaktadır (Riou ve Mascle, 2009:). Aynı zamanda ürün tasarım süreçlerinin üretim sistemleriyle uyumunun sağlanması ve maliyetlerin düşürülmesi de XİT metodolojilerinin geliştirilmesindeki amaçları arasında yer almaktadır (Babu vd., 2008; Hepperle vd., 2011). 2024-2025 dönemi çalışmaları, bu ortak çerçevenin artık "Üretken Yapay Zeka" (Generative AI) ve makine öğrenmesi algoritmalarıyla desteklendiğini; bu sayede paydaşların tasarım tercihlerinin karmaşık sistemler üzerindeki etkisinin otonom olarak analiz edilebildiğini vurgulamaktadır (Lu vd., 2026; Garro ve Sorrenti, 2025).

XİT metodolojileri temelde tasarımcının, ürün tasarımı ve ürün geliştirme sürecinde kalite, maliyet ve çevre etkisi gibi özellikleri mümkün olduğunca erken ele almasını ve tasarımcıların uzmanlık sahibi olamayacakları alanlarda tasarım kararlarına rehberlik edecek bilgiler sağlarken tasarlanan ürünün belirli bir özelliğini veya yönünü iyileştirmeyi amaçlar. Bu amaçlara ulaşmak için XİT metodolojileri tasarımcıların dikkate alması gereken özelliklere ve yaşam evrelerine vurgu yapar ve en uygun tasarımı gerçekleştirmek için çeşitli araçların da yardımıyla destek verir (Holt ve Barnes, 2010). Endüstri 5.0 perspektifinde bu rehberlik, insan odaklı (human-centric) bir yapıya bürünerek, tasarımcıların yaratıcılığı ile yapay zekanın veri işleme gücünü birleştiren "İnsan-Makine Ortak Yaratımı" (Human-Machine Co-creation) süreçlerini desteklemeyi amaçlamaktadır (Gdoura vd., 2025; Yu vd., 2025).

Yukarıda yapılan açıklamalar ışığında XİT metodolojilerinin genel amaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Tasarlanan parçaların en kolay ve en hızlı bir biçimde üretilmesi,
- Üretim kayıplarının azaltılması,
- Zamandan tasarruf edilmesi ve maliyetlerin düşürülmesi,
- Üründe olması istenen en yüksek kalitenin gerçekleştirilmesi,
- Ürün geliştirme sürecinde yer alan diğer işlemlerin basitleştirilmesi ve kolaylaştırılması,
- Ürünün tasarım sürecinde ve ürün yaşam çevriminin diğer aşamalarında olası problemlerin mümkün olduğunca azaltılması,

- Ürün tasarımı ve ürün geliştirilmesi sürecinde karar vermeyi kolaylaştırması,
- Paydaşların ürün tasarım tercihlerinin oluşturacağı etkiyi bilmelerine olanak sağlaması,
- Ürün geliştirme sürecinin verimliliğini artırması,
- Ürün tasarım süreçlerinin üretim sistemleriyle uyumunun sağlanması,
- Ürün tasarımı ve ürün geliştirme sürecinde kalite, maliyet ve çevre etkisi gibi özelliklerin mümkün olduğunca erken ele almasının sağlanması,
- Ürün tasarım sürecinde tasarımcılara tasarım kararlarına rehberlik edecek bilgiler sağlanması.
- Ürün yaşam döngüsünün dijital ikizler aracılığıyla gerçek zamanlı simülasyonu ve optimizasyonu.
- Yapay zeka ve makine öğrenmesi ile tasarım kararlarının otonom desteklenmesi
- Döngüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik kriterlerinin tasarımın en erken aşamasına entegrasyonu

XİT metodolojisi, rekabetçi ve kârlı ürün geliştirmenin temelini oluştururken, aynı zamanda kaliteli mal ve hizmetlerin teminini sağlar. Geleneksel olarak bir ürünün pazarlama süresini kısaltma ve yaşam döngüsü maliyetlerini en aza indirme özelliğiyle öne çıkan bu yaklaşım (Gatenby ve Foo, 1990), günümüzde Endüstri 5.0 ve yapay zeka çağının getirdiği dinamiklerle stratejik bir boyut kazanmıştır. Modern XİT uygulamaları, sadece maliyet ve zaman optimizasyonunun ötesine geçerek, sürdürülebilirlik niteliklerini (Omidzadeh vd., 2024), müşteri deneyimini (Mitrache vd., 2025) ve döngüsel ekonomi prensiplerini ürün geliştirme sürecine entegre etmektedir. Bu sayede, ürünlerin yaşam döngüsü maliyetleri daha etkin bir şekilde yönetilirken (Konig ve Vielhaber, 2024), aynı zamanda yenilikçilik ve bilgi yaratımı yoluyla sürdürülebilir rekabet avantajı elde edilmektedir (Belkadi ve Bachiri, 2025; Raina vd., 2026). Bu bütünsel yaklaşım doğrultusunda müşteri memnuniyetinin sağlanması kaçınılmaz hale gelmiş, XİT metodolojisi ürün tasarımı ve geliştirme sürecinde vazgeçilmez bir araç olarak konumlanmıştır (Lu vd., 2026).

1.4. X için Tasarım Metodolojisinin Yapısı

XİT'in yeni ürün geliştirme sürecinde işletmeler için zorlukların üstesinden gelmede başarılı bir yol olduğu kanıtlanmış olsa da XİT'in başarılı bir şekilde

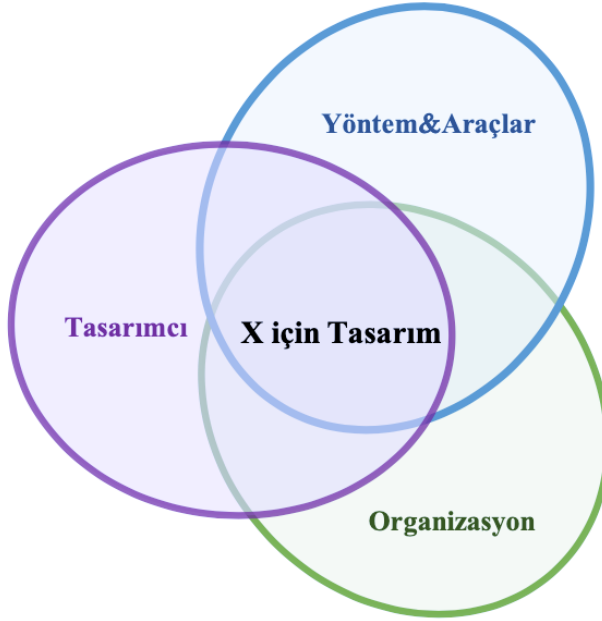
uygulanması için işletmelerin kurumsal reformlar, sorumlulukların açık bir şekilde paylaşılması ve eğitimin yanı sıra kültürel değişiklikler gerekmektedir. Bunları gerçekleştirebilmek için işletmeler çapraz fonksiyonel ekipler, yetkilendirmeler, tasarım çalışmaları, standardizasyon, bilgi paylaşımı ve sürekli iyileştirme vb. gibi konuları dikkate almalıdırlar. Bu bağlamda işletmelerin öncelikle XİT genel yapısını oluşturmaları gerekmektedir (Mottonen vd., 2009). Ayrıca bu yapı "Endüstri 4.0" ve "Endüstri 5.0" dinamikleriyle genişleyerek; fiziksel unsurların yanı sıra siber-fiziksel sistemlerin ve veri yönetişiminin de dahil olduğu daha entegre bir çerçeveye evrilmiştir (Laovisutthichai ve Lu, 2025).

XİT'in genel yapısı incelendiğinde (Lehto vd., 2011);

- Tasarımcı,
- Yöntem ve araçlar,
- Organizasyondan oluştuğu görülmektedir.

Tasarımcı genellikle XİT yönergelerini pratikte uygulayan nitelikli bir Ar-Ge mühendisi veya tasarım mühendisi iken; günümüzde bu rol, yapay zeka araçlarıyla iş birliği yapan ve veri analitiği yetkinliğine sahip "hibrit tasarımcı" profiline dönüşmektedir (Lu vd., 2026). Yöntemler, tasarımcının izlediği prosedürler ve yönergeler olarak görülebilir. İhtiyaçları iletmek için kullanılan tipik araçlar arasında e-tablolar, yazılımlar, tasarım yapısı matrisleri, morfolojik çizelgeler ve benzeri araçlar bulunur. Modern araç seti ise artık bulut tabanlı iş birliği platformlarını, dijital ikiz simülasyonlarını ve üretken yapay zeka (GenAI) destekli optimizasyon yazılımlarını da içermektedir (El Hend vd., 2025; Anwer vd., 2025). Organizasyon ise ekip çalışması, iş birliği, iletişim, süreçler ve işletme politikaları gibi konuları kapsar (Lehto vd., 2011; Mottonen vd., 2009). Tüm bu öğelerin bir araya gelmesi XİT metodolojisinin yapısını oluşturur. Şekil 1.1'de XİT metodolojisinin yapısı şematik olarak verilmiştir.

Şekil 1. 1. X için Tasarım Yapısı



Kaynak: Mottonen, vd., 2009

Tasarımcı

Tasarımcı, temel tasarım faaliyetleri içerisinde XİT metodolojilerini uygular, tasarım kararları alır ve farklı araçlar kullanarak geliştirilecek ürünler için teknik çizimler hazırlar (Mottonen vd., 2009). Tasarım faaliyeti, tespit edilen bir ihtiyaca çözüm oluşturmak için mevcut bilgileri uzmanlığı ile birleştirerek ürüne dönüştürür. Dönüşüm soyuttan somuta kadar tasarımın bir gelişimini oluşturmaktadır (Lang vd., 2002). Tasarım aslında ürün özelliklerinde ve işlevlerde karar verme sürecidir. Bu bağlamda tasarımcı, bu süreçte çeşitli yaklaşım ve araçlar kullanmaktadır. Bununla birlikte, buradaki kilit nokta tasarımcının, ürün ve süreçler için somut ve soyut fikir üretme yeteneğine sahip olmasıdır (Cowan vd., 2000). Tasarımcının gereken başlıca geleneksel faaliyetler aşağıdaki gibi özetlenebilir (Lang vd., 2002):

- Sorunların ve ihtiyaçların tanımlanarak analiz edilmesi,
- Araştırma ve bilgi toplama,
- Fikir yaratma ve yaratıcı düşünme,
- Çözüm üretilmesi, bilgi üretimi ve analizi,
- Çözümleme ve değerlendirme,
- Çözüm optimizasyonu.

➤ Prototip hazırlama.

Günümüzde ise tasarımcının bu fikirleri üretmesi ve gerçekleştirmesi için izlemesi gereken bu geleneksel adımlarını "Üretken Tasarım" (Generative Design) iş akışlarıyla desteklemelidir. Bu yeni modelde tasarımcı, sadece çözüm üretmekle kalmayıp, yapay zeka tarafından üretilen binlerce tasarım varyasyonunu XİT kriterlerine göre filtreleyen bir "karar verici" ve "sistem küratörü" rolünü üstlenmektedir (Lu vd., 2026; Berger vd., 2024).

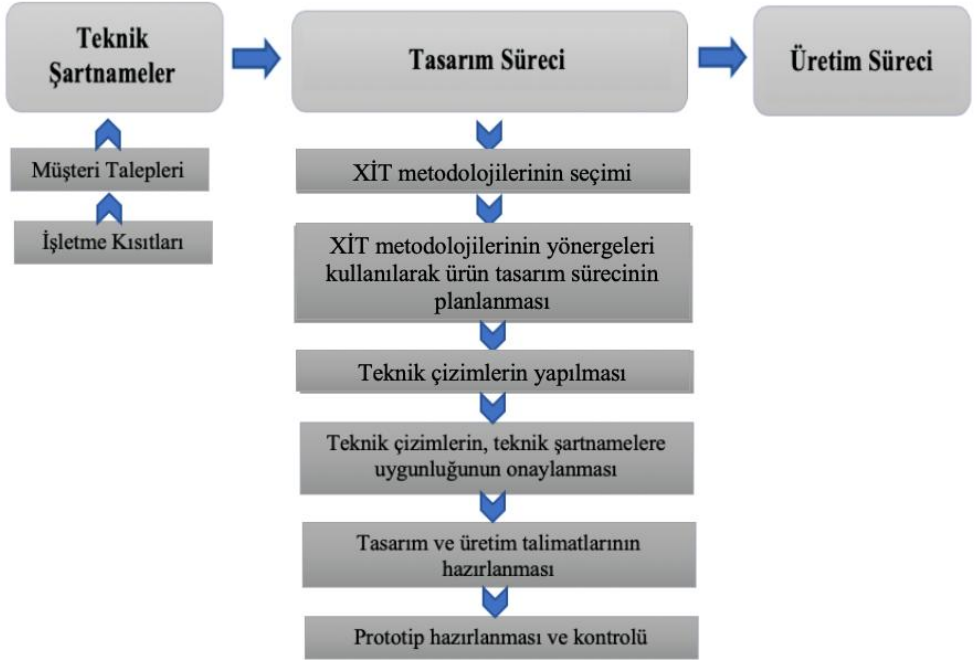
Tasarımcı, ürün geliştirme sürecinde tatmin edici bir tasarım/ürün elde edene kadar yukarıdaki adımları takip eder. Bu aşamada gerek işletme beklentileri gerekse müşterilerin ihtiyaç ve taleplerinden oluşan pek çok kısıtlamanın dikkate alınması gerekmektedir. Bu da tasarımcının en zor görevlerinden biridir. Ürün geliştirme ve tasarım süreci boyunca tasarımcı, ürün kalitesi, üretim maliyeti, hizmet süresi ve pazara çıkış sürelerini de değerlendirmeli ve gerekli önlemleri almalıdır. Bu bağlamda, tasarımcı bu değerlendirme ve önlemleri dikkate alarak ürün geliştirme ve ürün tasarım faaliyetlerini yürütmelidir (Tichem ve Strom, 1997: 158). Bu noktada, işletme beklentileri ve müşterilerin ihtiyaç ve talepleri genellikle çatışmaya neden olsa da tasarımcı, öncelikli gereksinimin ne olduğuna karar vermek zorundadır. XİT metodolojilerini uygulayan tasarımcının amacı, verilecek karara en uygun çözümü bulmak ve tasarım aşamasında mümkün olduğunca erkenden karar vermek olmalıdır (Mottonen vd., 2009). Bu karar süreci günümüzde "Dijital İkiz" teknolojileri sayesinde ürünün fiziksel prototipi üretilmeden önce siber ortamda test edilerek çok daha hızlı ve düşük riskli hale getirilmiştir (Anwer vd., 2025).

XİT metodolojilerini uygulayan bir tasarımcı tasarım süreci boyunca yukarıda sözü edilen faaliyetleri takip etmektedir. Öncelikle müşteri talepleri ve işletme kısıtları doğrultusunda oluşturulan teknik şartnameler belirlenmektedir. Belirlenen teknik şartnameler aynı zamanda tasarımın kısıtları ve tasarımcının da yol haritasını oluşturmaktadır. Tasarımcı, tasarım kısıtlarını ve yol haritasını belirledikten sonra tasarım sürecine başlamaktadır. Bu süreçte oluşturulan teknik şartnameye uygun olarak, geliştirilecek olan ürünün, ürün yaşam çevriminde hangi özelliklerinin olması isteniyorsa o özelliğe uygun XİT metodolojileri seçilmektedir. Seçilen XİT metodolojilerinin yönergeleri kullanılarak ürün tasarımı yapılmaktadır. Yapılan ürün tasarımı bu aşamada teknik çizimlerden oluşmaktadır. Son olarak, başarılı bir XİT gerçekleştirilmesi için bir prototip ve açık tasarım talimatlarının hazırlanması gerekmektedir. Teknik çizimler üzerinde, teknik şartname ve kısıtların uygunluğu onaylandıktan sonra tasarlanan ürünün tasarım talimatları hazırlanarak prototipi üretilerek kontrolü yapılmaktadır. Hazırlanan prototip ürünün, teknik şartname ve kısıtlara

uygunluğu da onaylanırsa, üretim süreci başlatılmaktadır. Modern süreçlerde bu fiziksel prototip aşaması, "Endüstriyel Metaverse" ve "Sanal Gerçeklik" (VR) uygulamalarıyla desteklenerek, tasarımcıların ve paydaşların sanal bir ortamda ürünle etkileşime girmesine ve XİT kriterlerini bu dijital ortamda doğrulamasına imkan tanımaktadır (Xiao vd., 2025).

Buraya kadar yapılan açıklamalar doğrultusunda XİT metodolojilerinde tasarımcının çalışma süreci Şekil 1.2’de şematik olarak gösterilmektedir.

Şekil 1. 2. X için Tasarım Metodolojilerinde Tasarımcı Çalışma Süreci



Kaynak: Mottonen vd., 2009’ dan geliştirilmiştir.

Yöntemler ve Araçlar

XİT metodolojisinin tasarım sürecinde, tasarım hedeflerine ulaşmak için tasarımcılara rehberlik eden ve tasarım sürecini otomatikleştiren çeşitli yöntemlere ve araçlara ihtiyacı vardır. XİT metodolojilerinde ürün geliştirilmesine yardımcı olan yöntem ve araçlar aynı zamanda modern ürün geliştirme sürecinde ihtiyaç duyulan çapraz işlevsel entegrasyonu da kolaylaştırmaktadır (Mottonen vd., 2009).

XİT metodolojisinin tasarım sürecinde, tasarımcıların kullandığı tasarım yöntem ve araçları (Tichem ve Storm, 1997)

- Tasarım değerlendirme araçları,
- CAD (bilgisayar destekli tasarım) entegre değerlendirme araçları,
- CAD / CAPP (bilgisayar destekli süreç planlaması) tabanlı değerlendirme araçları şeklinde sınıflandırmaktadır.

Tasarım değerlendirme araçları, nitel ve nicel değerlendirmeler yapan bilgisayar tabanlı araçlardan oluşmaktadır. Tasarım değerlendirme araçları, tasarımın değerlendirilmesi için sistematik bir yaklaşım sunmaktadır.

CAD (bilgisayar destekli tasarım) entegre değerlendirme araçları, tasarımın ayrıntılı aşamalarında veya ayrıntılı tasarım gerektiren durumlarda, tasarımı analiz etmek ve tasarımcıya geribildirim oluşturmak için bilgisayarlı modellemenin gücünü kullanarak tasarım sürecinde (Mottonen, vd., 2009);

- İşlemleri otomatikleştirerek,
- Model tasarımı ile elde edilen verilerin yorumlarını sağlayarak,
- Kullanıcı girişi ihtiyacını azaltarak,
- Kullanıcı girişi hatalarını önleyerek,
- Otomatik düzeltme ve analiz sonuçlarını vererek tasarımcıya yardımcı olmaktadır.

CAD / CAPP (bilgisayar destekli süreç planlaması) tabanlı değerlendirme araçları ise (Tichem ve Storm, 1997; Mottonen vd., 2009);

- Doğru yaşam döngüsü değerlendirmesinin yapılmasında,
- Ürün ve süreç entegrasyonunun gerçekleştirilmesinde,
- Teslimat süresinin azaltılmasında,
- Tüm XİT sorunlarının ortadan kaldırılmasında, parça üretimi ve montaj yönlerinin tespiti için, CAD çıktılarına ilaveten süreç planlarının otomatik olarak oluşturulmasında tasarımcıya yardımcı olmaktadır.

Teknolojinin de ilerlemesi ile birlikte son yıllarda bu sınıflandırmaya "Veri Odaklı ve Yapay Zeka Tabanlı Değerlendirme Araçları"nı (AI-driven DFX tools) eklenmiştir. Bu yeni nesil araçlar, geçmiş tasarım verilerinden öğrenerek tasarımcıya proaktif öneriler sunmakta ve XİT kurallarını (imalat, montaj, sürdürülebilirlik vb.) tasarım anında otomatik olarak kontrol etmektedir (El Hend vd., 2025; Garro ve Sorrenti, 2025).

Organizasyon

XİT metodolojisinin ürün geliştirme ve tasarım sürecinde, sadece bireysel olarak tasarımcının değil aynı zamanda tüm organizasyonun desteğine ihtiyacı vardır (Herrmann vd., 2004). XİT metodolojisini desteklemek ve kişilerin, süreçlerin ve araçların entegrasyonunu kolaylaştırmak için farklı yöntemler kullanılır. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Mottonen vd., 2009);

- Tasarım ekibinin ve üretim personelinin tasarım doğrulama ekibine dahil edilmesi için değiştirilmesi,
- Tasarımcılara ve üreticilere çapraz eğitim vererek birbirlerinin kısıtlamalarını daha iyi anlayabilmelerinin sağlanması,
- Tasarımın iyileştirilmesi için karşılıklı yarar sağlayan önerilerde bulunulması ve hatlardaki sorunlara ortak sorumluluk atanmasıdır.

XİT metodolojisi organizasyon yapısında yer alan tasarım ve üretim ekipleri, ürünün başarısı için müşterek sorumluluk ve hesap verebilirliğe sahip olmalıdırlar. Bununla birlikte bu tür bir organizasyon eğitim, seyahat ve ekip oluşturma konularında uzun vadeli bir yatırım gerektirir. En önemlisi işletmeler, XİT yatırımları için maliyet avantajlarını değerlendirmek ve bu yatırımları gerçekleştirmek için güçlü bir üst düzey desteğine sahip olmalıdır. Bunun yanı sıra, işletmelerde XİT'ın başarılı bir şekilde uygulanması için örgütsel reformlar, sorumlulukların net paylaşımı ve eğitimin yanı sıra kültürel değişiklikler de gerekmektedir (Herrmann vd., 2004).

Günümüzde organizasyonel yapı, "Çevik Tasarım" (Agile Design) ve "İnsan-Makine Ortak Yaratımı" (Human-Machine Co-creation) ilkeleriyle yeniden şekillenmektedir. Bu modelde, sadece bölümler arası değil, aynı zamanda tasarımcılar ve akıllı algoritmalar arasındaki iş birliği de organizasyonun başarısı için kritik bir faktör haline gelmiştir (Yu vd., 2025).

XİT metodolojilerinin doğası gereği tasarım süreci boyunca tek bir tasarımcı, tek başına her şeyi yapamaz veya bilemez. Bu sorunun üstesinden gelmek için farklı yaşam döngüsü aşamaları ve işlevlerinden katılımcıları içeren çapraz işlevsel ekipler kurulmalıdır (Huang, 1996a). XİT metodolojilerinin uygulanması bağlamında bir organizasyonda farklı bölümlerinden farklı çalışanların birleştirilmesi, çapraz işlevsel ekiplerin güçlendirilmesi, çalışanların iş birliğinin örgütsel amaçlarla güvence altına alınması, çapraz işlevsel ekiplerin rollerinin açıkça belli olması ve güçlü bir yönetim desteğinin olması esasen önemlidir (Cooney, 2004). Ayrıca XİT metodolojisinin yapısı gereği organizasyonda bilgi paylaşımından faydalanılmalıdır (Mottonen, vd., 2009)

1.5. X için Tasarım Metodolojileri

Tasarım süreci boyunca ve ürün mühendisliği aşamasında tasarımcılara yardımcı olmak için son yıllarda birçok XİT metodolojisi geliştirilmiştir (Favi vd., 2016: 275; Batalha, 2012: 54; Chiu ve Okudan, 2011a: 135). Bu bölümde literatürde XİT metodolojileri kapsamında üzerinde en çok durulan; Üretim İçin Tasarım (Design for Manufacturing), Montaj için Tasarım (Design for Assembly), Demontaj için Tasarım (Design for Disassembly), Geridönüşüm/Yeniden Üretim için Tasarım (Design for Recycle/Remanufacturing), Lojistik için Tasarım (Design for Logistics), Kalite için Tasarım (Design for Quality), Güvenilirlik için Tasarım (Design for Reliability), Tedarik Zinciri için Tasarım (Design for Supply Chain), Çevre için Tasarım (Design for Environment), Sürdürülebilirlik için Tasarım (Design for Sustainability), Bakım Kolaylığı için Tasarım (Design for Maintainability), Maliyet için Tasarım (Design for Cost), Estetik için Tasarım (Design for Aesthetic), Altı Sigma için Tasarım (Design for Six Sigma) ve Sağlamlık/Robust için Tasarım (Design for Robust) metodolojilerine yer verilmiştir.

1.5.1. Montaj için Tasarım

Montaj için Tasarım metodolojisi, XİT metodolojisinin öncü çalışması olarak bilinmektedir. Montaj için Tasarım metodolojisi, ürün tasarımının minimum maliyetle üretilmesi amacıyla geliştirilen teknolojilerden ve yöntemlerden biridir (Boothroyd vd., 2002). Bu metodoloji, 1950'li yılların sonları ve 1960'ların başında üretim otomasyonunu desteklemek üzere elektronik ve bilgi teknolojilerindeki gelişmelerin etkisiyle ortaya çıkan ve üçüncü sanayi devrimine zemin hazırlayan otomatik üretim dalgasının bir sonucu olarak şekillenmiştir (Liao vd., 2017). Bu tarihsel gelişim sürecinin devamında ise, dördüncü ve beşinci sanayi devrimleriyle birlikte (Endüstri 4.0 ve 5.0), Montaj için Tasarım (DfA), siber-fiziksel sistemler ve insan-robot iş birliği (HRC) ile optimize edilen akıllı bir karar destek mekanizması olarak yeniden tanımlanmıştır (Dhanda vd., 2025; Islam vd., 2025).

XİT metodolojisinin gelişiminde de belirtildiği gibi, Montaj için Tasarım metodolojisi 1960'larda İngiltere'de Salford Üniversitesinde yapılan çalışmanın sonucudur (Whitney, 2004). Montaj için Tasarım metodolojisi terim olarak ilk defa Boothroyd ve Dewhurst tarafından kullanılmış (Arnette vd., 2014) ve 1970'lerin ortalarında Boothroyd ve Dewhurst tarafından, tasarımcıların ürün tasarım aşamasında montaj problemlerini hesaba katabilecekleri bir analiz metodu olarak, en ekonomik ve en verimli montaj için, en iyi bileşenleri tasarlamak amacıyla geliştirilmiştir (Scur vd., 2013).

Montaj için Tasarım metodolojisi, XİT metodolojileri arasında en iyi bilinen ve en yaygın kabul gören yaklaşımlardan biridir. Günümüzde Lucas, General Electric, General Motors, Mercedes-Benz, Nissan Motors gibi birçok büyük işletmede yaygın olarak kullanılmaktadır (Favi vd., 2016: 275). Bu yaygın kullanımın günümüzdeki yansıması olarak ise, modern endüstride söz konusu yaklaşım, özellikle Tesla ve Apple gibi teknoloji devlerinin üretim hatlarında robotik montajı kolaylaştırmak ve parça sayısını radikal biçimde azaltmak amacıyla temel bir strateji olarak benimsenmiştir. Örneğin Tesla, 'Giga-casting' (dev döküm) uygulamasıyla geleneksel olarak 70'ten fazla parçadan oluşan arka gövde şasisini tek bir döküm parçaya indirgeyerek montaj operasyonlarını ve kaynak noktalarını %90 oranında azaltmıştır (Burggräf vd., 2024; Akkawi vd., 2025; Yang vd., 2025). Benzer şekilde Apple, ürün tasarımlarını robotik montaj ve söküm süreçlerine (örneğin 'Daisy' ve 'Liam' robotik sistemleri) tam uyumlu hale getirerek hem üretim verimliliğini artırmış hem de döngüsel ekonomi prensipleri çerçevesinde malzeme geri kazanımını optimize etmiştir (Carou, 2025; Akkawi vd., 2025). Montaj için Tasarım metodolojisinin teorik ve kavramsal olarak daha iyi anlaşılabilmesi için literatürdeki önemli çalışmalarda yer alan bazı tanımlar Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1. 2. Literatürde Yer Alan Bazı Montaj için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Andreasen vd.	1988	Bir ürünün iyi yapılandırılmış bir ürün olarak yapı elemanı ve bileşen programına sokulması sürecidir.
Boothroyd	1994	Eş zamanlı mühendislik ve yaşam döngüsü maliyet analizlerinin önemli bir parçası olarak, ürün tasarımını basitleştirerek ve ürün tasarımındaki parça sayısını azaltarak bir ürünün montaj maliyetlerini düşürmeyi amaçlayan ve daha sonra kalan parçaların kolayca monte edilmesini sağlayan ve ürün geliştirme sürecinde kullanılan sistematik bir analiz sürecidir.
Lefever ve Wood	1996	Tasarım basitleştirmeleri ile ürünün montajı için gerekli işlemleri azaltmak, her bileşenin işlenmesini iyileştirmek veya gerekli işlemleri değiştirmek için bir ürünün kolayca monte edilebileceği şekilde tasarlandığı bir süreçtir.
Hsu vd.	1998	Ürün tasarımını minimum maliyetle üretilebilmesi için geliştiren teknolojilerden biridir.
Daabub ve Abdalla	1999	Genel üretim maliyetlerinde önemli düşüslere yol açan bir tekniktir.
Booker vd.	2005	Parça sayısını en aza indirmek, parça montajını kolaylaştırmak ve montaj işlemi maliyetlerini yansıtmak için kullanılan tekniktir.
Mital vd.	2008	İşlevsellik ve birleştirilebilirlik yönleri üzerine eşzamanlı odaklanma yoluyla elde edilen, kolay ve düşük maliyetli montaj için ürün tasarımını geliştirme sürecidir.
Sreekumar	2010	Bileşenlerin eklenip eklenemeyeceğini belirlemek, genel ürün yapısını analiz etmek için bakım ve güvenilirliği göz önüne alarak, uzun vadede ürünün genel performansını artırmak için kullanılan bir tasarım yaklaşımıdır.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Ehrs	2012	Tasarımcılar, mühendisler ve montaj görevlilerinden oluşan çapraz işlevsel bir ekip tarafından ürünün amaca uygunluğunu arttırmak için gerçekleştirilen bir tasarım yöntemidir.
Barbosa ve Carvalho	2013	Ürün geliştirmenin sürecinin kavramsal aşamasından itibaren üretim aşamasına kadar ürünün işlevselliğinden ödün vermeksizin gerekli parça sayısının azaltılması, maliyetlerin düşürülmesi ve ürün kalitesinin iyileştirilmesi için kullanılan güçlü bir araçtır.
Lockett vd.	2014	Üreticilere, ürün geliştirmenin ilk aşamalarından itibaren iyileştirilmiş kalite, daha düşük maliyet ve daha kısa tasarım döngüsü ile dünya standartlarında ürünler oluşturmalarına yardımcı tekniklerdir.
Go vd.	2015	Parça birleşimini, birleştirme yöntemlerini ve gerekli parçaların işlenmesini kolaylaştırmak için parçalarda kullanılacak bağlantı elemanlarını standartlaştırarak, farklı bağlantı elemanlarının sayısının ve malzeme taşıma, montaj ve montaj süreçlerinin azaltılmasıdır.
Favi vd.	2016	Tasarımcının bir düşünce süreci ve rehberliği sağlayarak ürünün montaj işlemini destekleyecek bir şekilde geliştirilebileceği bir metodolojidir.
Battaia vd.	2018	Montaj sistemlerinin tasarımında, işçi verimliliğini artırmak, montaj hataları azaltmak ve üretim çevrim sürelerini kısaltmak için kullanılan sistematik bir yaklaşımdır.
Ezpeleta vd.	2021	Büyük ve ağır parçaların saha dışında montajı için tasarım (DfA), SMED metodolojisine benzer şekilde montaj işlemlerinin analizi, standart zamanların tahmini ve montaj süresinin hesaplanması yoluyla ürün tasarımının optimize edilmesini sağlayan bir metodolojidir.
Rankohi vd.	2022	Modüler üretim sektöründe, saha dışı montaj süreçlerini optimize etmek ve lojistik karmaşıklığı azaltmak için tasarımın en erken aşamasında uygulanan bir karar destek çerçevesidir.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Zhai vd.	2023	Ürün tasarımının montaj kolaylığı açısından değerlendirilmesi için montaj verimliliği endeksi (AEI) ve montaj tasarım endeksi (ADI) olmak üzere iki ana bileşenden oluşan ve montaj verimliliğini artırmak amacıyla kullanılan bir metodolojidir.
Montazeri vd.	2024	Sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm hedefleriyle bütünleşik olarak, ürünün montaj kolaylığını yaşam döngüsü karbon ayak iziyle eşleştiren bütünsel bir tasarım yaklaşımıdır.
Hernández	2025	Endüstri 4.0/5.0 ekosisteminde, dijital ikizler ve yapay zeka aracılığıyla montaj süreçlerini gerçek zamanlı simüle eden ve tasarım varyasyonlarını otonom optimize eden siber-fiziksel bir metodolojidir.
Qin	2026	Ürünün sadece fiziksel birleşimi değil, aynı zamanda robotik sistemlerle uyumu ve dijital izlenebilirliğini de kapsayan bir metodolojidir.

Bu tanımlardan yola çıkarak, Montaj için Tasarım (DfA) metodolojisi; çapraz işlevsel ekipler aracılığıyla ürünün amaca uygunluğunu artırmayı hedefleyen, tasarımın basitleştirilmesi ve parça sayısının azaltılması yoluyla montaj süreçlerini optimize eden, ürün çevrim süresini kısaltarak geliştirme ve üretim maliyetlerini minimize eden ve ürün kalitesini artıran; günümüzde ise dijitalleşme, siber-fiziksel sistemler ve insan-robot iş birliği ile bütünleşerek akıllı üretim ortamlarında karar destek mekanizması olarak konumlanan bütüncül bir tasarım yaklaşımı olarak tanımlanabilir.

Montaj için Tasarım metodolojisinin temel amacı, parça sayısını en aza indirmektir. Bu amaç doğrultusunda işletmelerde Montaj için Tasarım metodolojisinin kullanılmasındaki diğer amaçlar ise (Dhanda vd., 2025; Hernández, 2025);

- Malzeme maliyetlerinin azaltılması,
- İşçiliğin ve otomatik montaj maliyetlerinin azaltılması,
- Montaj çevrim sürelerinin azaltılması,

- Daha yüksek ürün kalitesi ve güvenilirliğinin sağlanması, şeklinde sıralanabilir.
- Robotik ve otonom montaj sistemlerine tam uyumluluk,
- Ürün yaşam döngüsü boyunca karbon salınımının ve enerji tüketiminin azaltılması.

Montaj için Tasarım metodolojisi ile ilgili yapılan çalışmalar montaj maliyetlerinin azalmasının yanısıra işletmelere pek çok fayda sağladığını göstermiştir. Örneğin 1988'de Ford Motor Company işletmesi, orjinal Ford Taurus otomobil serisinin üretiminde Montaj için Tasarım metodolojisini uygulamış ve bu uygulama sonucunda milyarlarca dolar tasarruf sağladığını bildirmiştir. Benzer şekilde General Motors ve Pontiac Grand Prix'sini yapan Fairfax Kansas'daki montaj fabrikası ve Atlanta yakınlarındaki Taurus ve Mercury Sable modellerinin üretiminde Montaj için Tasarım metodolojisini uygulamasının sonucunda üretimde %41 verimlilik artışı sağlamıştır (Boothroyd vd., 2011).

Aynı şekilde 1998-1999 yıllarında Dell Corporation, PC'ler için Optiframe şasisinin tasarımında Montaj için Tasarım metodolojisini uygulamasının sonucunda, Dell'in işçilik masraflarını azaltarak işletme verimliliğini arttırmış ve ilgili tedarik zinciri optimizasyon programından alınan malzeme maliyetlerinde milyon dolarlık tasarruf elde etmiştir (Boothroyd vd., 2011). Benzer şekilde, 2006-2007 yıllarında Hypertherm Inc. plazma kesme sistemlerinin tasarımında Montaj için Tasarım programını başarıyla uygulayarak parça sayısında %50 ve montaj süresinde %40 oranında azalma sağlamıştır (Assembly Mag, 2007). 2008-2010 yılları arasında IDEXX Laboratories, Catalyst Dx kan analizörünün yeniden tasarımında Montaj ve Üretim İçin Tasarım (DFMA) metodolojisini kullanarak 183 parçadan oluşan karmaşık bir alt montajı tek bir enjeksiyon kalıplı parçaya dönüştürmüş; bu sayede parça sayısını %83, montaj süresini ise %75 oranında azaltarak toplam maliyette %38 tasarruf elde etmiştir (IDEXX Case Study, 2010). 2010-2013 döneminde ise ITT Aerospace Controls, kelebek vana tasarımında Montaj ve Üretim İçin Tasarım (DFMA) analizlerini uygulayarak toplam malzeme ve işçilik maliyetlerinde %76,6 gibi dramatik bir düşüş kaydetmiştir (ITT Case Study, 2013). Daha yakın bir tarihte, 2024 yılında NCR Voyix, 2760 POS terminalinin yeniden tasarımında vidaları tamamen ortadan kaldıran ve geçmeli montaj tekniklerine dayanan Montaj ve Üretim İçin Tasarım (DFMA) yaklaşımıyla parça sayısını %85 oranında azaltmış ve 1,1 milyon dolarlık işçilik tasarrufu sağlamıştır (NCR Voyix Case Study, 2025). 2025 yılına ait güncel vaka çalışmaları incelendiğinde ise bir çok uluslu üreticinin Montaj için Tasarım (DFA) yazılımlarını kullanarak sadece tek bir ürünün yeniden tasarımıyla yıllık

3 milyon dolardan fazla tasarruf sağladığını göstermektedir (DFMA Case Study, 2025).

Montaj için Tasarım metodolojisinin işletmeler tarafından verimli bir şekilde uygulanması sonucu, ürünün işlevselliğinden ödün vermeksizin gerekli parça sayısının azaltılması ile birlikte ciddi kazançlar elde edilir. Ayrıca bu süreçte maliyetlerin düşmesi ve ürün kalitesinde bir iyileşme de kaçınılmazdır (Batalha, 2012; Barbosa ve Carvalho, 2013). Montaj için Tasarım metodolojisinin uygulanması sonucu işletmeler, ürün çevriminin kısılması, geliştirme maliyetinin en aza indirilmesi ve prototipten üretim aşamasına sorunsuz bir geçiş yapılması vb. faydalar sağlayacak ve mühendislik maliyetlerini düşürerek daha sağlam ve güvenilir ürün elde edeceklerdir (Khan, 2008). Ayrıca modern üretimde, insan-robot simbiyozu ve biyoeconomi odaklı yaklaşımlar, DfA prensiplerini sürdürülebilir enerji kullanımı ve kaynak verimliliği ile birleştirerek işletmelere stratejik bir rekabet avantajı sunmaktadır (Gdoura vd., 2025).

Güncel literatürde Montaj İçin Tasarım (DFA) metodolojisinin, montaj kusurlarını %80'e varan oranlarda azalttığı ve ürün güvenilirliğini doğrudan artırdığı vurgulanmaktadır (Alfath vd., 2025). Daha az sayıda bileşen kullanımı; parça bazlı hata olasılığının düşmesi, daha az iş istasyonu ihtiyacı ve kısalan montaj süreleri ile sonuçlanmaktadır. Bu parametrelerin tamamı, ürün kalitesindeki iyileşmenin yanı sıra işletme verimliliğinde de çarpan etkisi yaratan bir artışa işaret etmektedir. Montaj için Tasarım ayrıca daha basit montaj işlemlerinin tanımlanmasına yardımcı olur ve ürünün daha iyi bir araya getirilmesine ve daha az yeniden işleme meydana gelir (Booker vd., 2005).

Modern yaklaşımlar, Montaj İçin Tasarım (DFA) metodolojisinin yalnızca montaj kolaylığı sağlamakla kalmayıp, "ilk seferde doğru" (right-first-time) üretim felsefesini destekleyerek yeniden işleme (rework) oranlarını minimize ettiğini ve yapısal güvenilirliği optimize ettiğini göstermektedir (Golański, 2025).

Bu bağlamda, Montaj için Tasarım metodolojisinin sağladığı stratejik faydalar aşağıdaki gibi katwgorize edilebilir (Ehrs, 2012; Roxas vd., 2023; Montazeri vd., 2024; Golański, 2025; Lu vd., 2026);

- *Operasyonel Verimlilik ve Üretkenlik:* Montaj süreçlerinin basitleştirilmesiyle işgücü ve yatırım kaynaklarının kullanım etkinliği artmakta, çevrim süreleri (cycle time) kısalmaktadır.
- *Değer Odaklı Kalite İyileştirmesi:* Ürün kalitesindeki artış, son kullanıcı nezdinde ürün değerini yükseltmekte ve garanti maliyetlerini düşürmektedir.

- *Kârlılık ve Ekipman Optimizasyonu:* Montaj sistemindeki darboğazların giderilmesiyle mevcut ekipmanların kullanım oranı (OEE) ve sistemin genel kârlılığı artmaktadır.
- *Sürdürülebilirlik ve İş Güvenliği:* Malzeme israfının %15-25 oranında azaltılmasıyla çevresel etki minimize edilmekte ve daha ergonomik montaj süreçleri sayesinde çalışma ortamı iyileştirilmektedir.

Montaj için Tasarım metodolojisinden kaynaklanan faydalara, nicelleştirilmesi zor diğer maliyet azaltmaları, envanterdeki azalma, kayıtların tutulmasında azalma, malzeme akışı ve üretim akışındaki iyileştirmeler vb. eklenebilir (Daabub ve Abdalla, 1999).

Bunlara ek olarak, dijital dönüşüm (Endüstri 4.0) ve yapay zeka destekli tasarım süreçleriyle entegre edilen DFMA yaklaşımı; envanter yönetiminde hassasiyet, tedarik zinciri maliyetlerinde düşüş ve malzeme akışında gerçek zamanlı iyileştirmeler gibi nicelleştirilmesi zor ancak stratejik önemi yüksek avantajlar sunmaktadır (Ube, 2025; Decos, 2024).

Buraya kadar yapılan açıklamalardan yola çıkarak Montaj için Tasarım yönteminin modern üretim ekosistemindeki rolü;

- Parça sayısının ve malzeme israfının radikal biçimde azaltılması,
- Ürün kalitesinin ve yapısal güvenilirliğin en üst seviyeye çıkarılması,
- Montaj işlemlerinde yüksek düzeyde standardizasyon sağlanması,
- Kapasite ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi,
- Montaj sisteminin kârlılığının artırılması,
- Ürün çevriminin kısılması,
- Daha az montaj zamanı,
- Verimliliğin artması ve pazara sunma süresinin (time-to-market) kısılması gibi ürün ve işletme için kritik birçok rekabet avantajı sağladığı söylenebilir.

1.5.2. Üretim için Tasarım Metodolojisi

Üretim için Tasarım (DfM), ürün tasarımının üretim süreçleri üzerindeki etkisini optimize etmeyi amaçlayan kritik bir XİT metodolojisidir. Üretim için Tasarım metodolojisi, üretim sürecinde Montaj için Tasarım metodolojisinin başarılı bir şekilde uygulanması sonucu ortaya çıkmıştır (Kuo vd. 2001). Bu yaklaşım, ürünlerin daha kolay, daha hızlı ve daha düşük maliyetle üretilmesini

sağlamak için tasarım aşamasında üretim kısıtlamalarını ve yeteneklerini dikkate alır. Üretim için Tasarım, tasarım ve üretim arasındaki boşluğu kapatarak, ürün geliştirme sürecinin verimliliğini ve etkinliğini artırır.

Üretim için Tasarım metodolojisi yeni bir kavram değildir. Geçmiş 200 yıl öncesine dayanmaktadır (Trybula ve Konopka, 1995; O'Driscoll, 2002). Bir Fransız olan LeBlanc, 1788 yılında el yapımı olan tüfek üretiminde değiştirilebilir parça kavramını geliştirmiştir. Bileşenler üzerinde sınırlı toleranslar uygulamış ve tekrarlanabilirlik için temel üretim süreçlerini geliştirmiştir (O'Driscoll, 2002). Bununla birlikte Üretim için Tasarım 20. Yüzyılın ikinci çeyreğine kadar sanayi de tam olarak anlaşılamamıştır (Trybula ve Konopka, 1995). Aslında, 1920'lerde, Henry Ford bir çeşit Üretim için Tasarım metodolojisi kullanmasına rağmen 1970'li yıllara kadar Batılı işletmelerde yaygın bir uygulama değildir (Andersson vd., 2014).

Üretim için Tasarım metodolojisi ilk kez Bolz tarafından 1958 yılında popüler olan *Metaller Mühendisliği Süreçleri* kitabında anlatılmıştır. Kitapta bir dizi üretim süreci ile hazırlanan metal parçaların üretimini geliştirmede tasarımcıya yardımcı olacak bir dizi yönerge hazırlanmıştır. Daha sonra General Electric 1960 yılında iç kullanım için üretilebilirliği göz önüne alarak bireysel parça tasarımı için bir el kitabı yayınlanmıştır (Hoque vd., 2013).

Üretim için Tasarım terim olarak Boothroyd ve Dewhurst'un 1970'lerin sonlarında mekanik yapıların montajını değerlendirmek için bir metodoloji geliştirmesi sonucu kullanılmıştır. 1980'den beri Üretim için Tasarım erken tasarım aşamasında üretilen parçaların maliyetini tahmin etmek için kullanılmaktadır (Trybula ve Konopka, 1995: 442).

1986'da Stoll, üretim sürecini kolaylaştırmak ve erken tasarım aşamasında maliyet tahminleri sağlamak amacıyla Üretim için Tasarım metodolojisini oluşturacak tasarım uygulaması ile ilgili ifadelerden oluşan sistematik ve tanımlanmış bir yönerge hazırlamıştır (Kuo vd., 2001: 245-246; Arnette vd., 2014: 377-378). Stoll tarafından hazırlanan yönerge bir ürünün optimum üretim maliyeti, üretim kalitesi ve yaşam döngüsünün optimum başarısı için tasarlanmasına neden olan politikalar, teknikler, uygulamalar ve desteklenebilirlik, kullanılabilirlik, güvenilirlik ve geri dönüştürülebilirlik tutumlarının tümünü kapsadığı için günümüzde kullanılan Üretim için Tasarım metodolojisi olarak kabul görmüştür (Kuo vd., 2000:447).

Çalışmada Üretim için Tasarım metodolojisinin teorik ve kavramsal olarak daha iyi anlaşılabilmesi için literatürdeki bazı çalışmalarda yer alan tanımlar Tablo 1.3' de verilmiştir.

Tablo 1. 3. Literatürde Yer Alan Bazı Üretim için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Stoll	1990	Bir ürünün optimum üretim maliyeti, kalitesi ve yaşam döngüsünün başarısı için tasarlanmasına neden olan politikalar, teknikler, uygulamalar ve tutumlardır.
Boothroyd ve Dewhurst'a	1994	Üretilabilir bileşenlerin nasıl tasarlanacağına odaklanan mühendislik tasarımının özel bir parçasıdır.
Kuo ve Zhang	1995	Üretilecek ürünler için tüm tasarım hedeflerini ve kısıtlamaları aynı anda düşünen bir sistem yaklaşımıdır.
Huang	1996	Ürün tasarımı sırasında, sistematik olarak geliştirme süreçlerini, üretimi ve ürünün bütünü oluşturulan parçaların bir araya getirilmesini sağlayan bir tekniktir.
Chang vd.	1998	Ürün tasarımı ve süreç planlamasının entegrasyonudur.
Herrmann vd.	2000	Kapasite gereksinimlerini analiz ederek üretim döngüsü sürelerini tahmin eden, yeni bir ürün tasarımının üretim sisteminin performansını belirleyen yöntemidir.
Da Silve vd.	2002	Tasarım sürecinde sistematik olarak üretilabilirlik hususlarını içeren bir ürün tasarımı yaklaşımıdır.
Prabhakaran vd.	2006	Ürünlerin basitleştirilmesi, üretim maliyetlerinin azaltılması, kalitenin geliştirilmesi ve piyasaya sürülme süresinin kısaltılması için kullanılan yöntemidir.
Gonçalves-Coelho ve Moura o,	2007	Tasarım sürecine üretim bilgisi sağlamak için güçlü bir araçtır.
Sancın vd.	2008	Üretim süreci ve maliyetleri ile doğrudan ilgilenen, ürün kalitesinden ödün vermeksizin düşük üretim maliyetlerine neden olan evrensel bir üretim tasarımıdır.
Sreekumar ve Anoop	2010	Üretim kolaylığıyla bir ürün veya bileşenin tasarlanması sürecidir.
Batalha	2012	Ürünün üretim süreci maliyetini ve döngü zamanını azaltmasını amaçlayan proje işlevlerinin eş zamanlı geliştirilmesidir.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Andersson vd.	2014	Üretim maliyetlerini doğrudan ele alan strateji ve yöntemler ile ürün kalitesini düşürmeden üretim maliyetlerini düşürmenin bir yoludur.
Benabdellah vd.	2019	DfM, ürün yaşam döngüsünün tamamında üretim verimliliğini, kaliteyi ve sürdürülebilirliği optimize etmek amacıyla tasarım kararlarını yönlendiren sistematik bir çerçevedir.
Fractory	2021	Tasarımda yaratıcılık veya kaliteden ödün vermeden, ürünlerin verimli, güvenilir ve ölçeklenebilir bir şekilde üretilebilmesi için ürünleri tasarlamaktır.
Rankohi vd.	2022	İnşaat sektöründe DfMA (Üretim ve Montaj için Tasarım) uygulamalarını, modüler ve saha dışı üretim süreçlerini optimize etmek amacıyla kullanılan, dijitalleşme odaklı bir çerçevedir.
Roxas vd.	2023	DfMA ve DfD (Söküm için Tasarım) uygulamalarının inşaat sektöründeki faydalarını ve son gelişmelerini inceleyen, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi odaklı bir yaklaşımdır.
Peruzzini vd.	2024	Endüstri 5.0 için akıllı üretim sistemleri tasarlamak amacıyla insan-otomasyon simbiyozuna dayalı bir çerçeve öneren, DfM prensiplerini içeren bir yaklaşımdır.
Ionescu ve Ionescu	2025	Endüstri 5.0 bağlamında akıllı üretim sistemlerinin tasarımını ve geliştirilmesini ele alan, insan merkezli ve sürdürülebilir üretim hedeflerini gözetten bir yaklaşımdır.
Jing vd.	2026	Endüstri 5.0 bağlamında otomatik üretilebilirlik rehberliği ve analizi sağlayan, insan merkezli proaktif bir tasarım metodolojisidir.

Bu tanımlardan yola çıkarak Üretim için Tasarım metodolojisi, tasarımcıların tasarım sürecinin ilk evrelerinde üretim maliyetlerini tahmin etmelerini sağlayan, tasarım sürecinde sistematik olarak üretilebilirlik konularını içeren, üretilecek ürünler için tüm tasarım hedeflerini ve kısıtlamaları aynı anda düşünen bir sistem yaklaşımı ve ürünlerin sadeleştirilmesi, üretim maliyetlerinin azaltılması,

kalitenin geliştirilmesi ve piyasaya sürülme süresinin kısaltılması için kullanılan bir tasarım yöntemi olarak tanımlanabilir.

Üretim için Tasarım metodolojisinin temel amaçları; çeşitli özelliklerin ve ürünlerin sınırlandırılmasına dayanan bir ürün tasarımında, dikkate alınan bileşen parçaları için uygun materyalleri ve üretim süreçlerini belirlemek (Kuo ve Zhang, 1995; Andersson vd., 2014); üretim maliyetlerini en aza indirmek veya gereksiz tasarım tekrarını önlemek suretiyle ürün geliştirme maliyetlerini düşürmek (Holt ve Barnes, 2010); tasarlanan parçaların en kolay ve en hızlı biçimde üretilmesi, üretim kayıplarının azaltılması, zaman ve maliyetlerin düşürülmesi, en yüksek ürün kalitesinin gerçekleştirilmesi (Haik, 2003) şeklinde sıralanabilir.

Üretim için Tasarım metodolojisinde, bir ürünün üretim maliyetlerinin yaklaşık %70'i (maliyet, işleme ve montaj) tasarım kararlarıyla ve sadece %20'si (süreç planlaması veya makine aleti seçimi gibi) üretim kararlarıyla belirlenmektedir. Bu bağlamda Üretim için Tasarım metodolojisinin üretim sistemi içindeki odak noktası, tasarımcının bir ürünün üretim maliyetini ve zorluğunu azaltmasına yardımcı olmak için yapılandırılmış tasarım ilkeleri veya yönergeleridir (Chang vd.,1998). Üretim için Tasarım metodolojisi ürün geliştirme ve tasarım sürecinde üretimin entegrasyonunu kolaylaştırmak için CAD / CAM teknolojisi ile birlikte kullanılmaktadır (Arnette vd., 2014).

Üretim için Tasarım metodolojisinin temel faydaları ürünlerin basitleştirilmesi, üretim maliyetlerinin azaltılması, kalitenin geliştirilmesi, piyasaya çıkış süresinin azaltılması (Prabhakaran vd., 2006), ürün performanslarının artması, bakım ve hizmet verebilirlik çabalarının ve garanti maliyetlerinin azalması (Youssef, 1994). Üretim için Tasarımın metodolojisinin işletmelere sağladığı diğer faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Mozota, 2002; Bucolo ve King, 2014):

- Ürünlerin piyasaya sürülmesini hızlandırır,
- Müşteriler arasındaki iş birliğini geliştirir,
- Tedarikçilerle ilişkileri geliştirir,
- Pazarlama ve üretim arasındaki koordinasyonu geliştirir,
- Yeni pazarlar yaratır,
- Yenilik konusunda müşteri algısını geliştirir,
- Teknoloji transferleri üretir,
- İşletmelerin daha yüksek bir fiyatla satış yapmasına izin verir,

- Tüketicilerin ürün algılarına katkıda bulunur.

1.5.3. Demontaj için Tasarım

Demontaj için Tasarım (DfD), ürünlerin kullanım ömrü sonunda kolayca sökülebilmesini, bileşenlerinin ayrıştırılabilmesini ve böylece yeniden kullanım, geri dönüşüm veya geri kazanım süreçlerine etkin biçimde dâhil edilebilmesini hedefleyen bir XİT metodolojisidir (Favi ve Germani, 2014). Bu yaklaşım, artan çevresel kaygılar ve döngüsel ekonomi prensiplerinin yaygınlaşmasıyla birlikte günümüzde kritik bir önem kazanmış; atık miktarının azaltılması ve kaynak verimliliğinin artırılması yoluyla sürdürülebilirliğe önemli katkılar sağlayan temel bir tasarım yaklaşımı hâline gelmiştir.

DfD kavramının temelleri, özellikle 1990'lı yıllarda çevresel bilincin artması ve kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerden kaynaklanan atık miktarındaki yükselişe yönelik endişelerle atılmıştır. Bu dönemde, ürünlerin geri dönüştürülebilirliği ve yeniden kullanılabilirliği ön plana çıkmış, üretim endüstrisinde atık oluşumunu azaltmaya yönelik yeni yaklaşımlar geliştirilmeye başlanmıştır (Boothroyd ve Alting, 1992; Thormark, 2001: 61). Artan katı atık miktarları ve depolama alanlarının çevresel etkileri, geri dönüşüm ve yeniden üretim faaliyetlerinin hız kazanmasına ve bu doğrultuda düzenleyici ve gönüllü girişimlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Justel, 2006). Ancak bu süreçlerin etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için ürünlerin öncelikle demonte edilebilir olması gerekliliği açıkça ortaya konmuştur (Kuo vd., 2001).

Demontaj, bir ürünün çeşitli nedenlerle fiziksel olarak bileşenlerine veya alt bileşenlerine ayrılması süreci olarak tanımlanmakta olup (Güngör, 2006), özellikle kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerde geri kazanım süreçlerinin ilk ve kritik aşamasını oluşturmaktadır. Bu süreç, geri kazanılan malzemelerin uygun saflık düzeyinin korunması açısından büyük önem taşımaktadır (Go vd., 2015). 2000'li yıllarla birlikte ürün geliştirme çalışmalarında demontaj kolaylığı kavramı tasarım sürecine entegre edilmeye başlanmış; ürünlerin demontaj, bakım ve servis kolaylığını dikkate alan tasarım yaklaşımlarına duyulan ihtiyaç doğrultusunda DfD metodolojisi gelişmiştir (Sodhi vd., 2004). Bu bağlamda DfD, ürünün geri kazanımı, yeniden üretimi ve geri dönüşümünü destekleyen önemli bir XİT metodolojisi olarak literatürde yerini almıştır (McAloone, 1998: 20; Kuo vd., 2001: 246).

DfD metodolojisi, yalnızca ürünlerin sökülebilirliğini artırmakla kalmayıp; bakım kolaylığı, servis ömrünün uzatılması ve çevresel etkinin azaltılması gibi çok boyutlu faydalar sağlamaktadır. Ürünün kolay demonte edilebilir olması, onarım süreçlerini kolaylaştırarak kullanım süresini uzatmakta ve böylece yaşam

döngüsü boyunca çevresel etkilerin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Justel, 2006; James vd., 2017). Bu yönüyle DfD, üretim otomasyonunda Montaj için Tasarım (DfA) ile birlikte değerlendirilmekte; geri dönüşüm, yeniden üretim ve bakım odaklı üretim yaklaşımlarını kapsayan bütüncül bir çerçeve sunmaktadır (James vd., 2017).

Bununla birlikte Demontaj için Tasarım, Geri Dönüşüm için Tasarım ve Yeniden Üretim için Tasarım gibi tamamlayıcı metodolojilerle birlikte ele alınmakta ve ürün geri kazanım süreçlerinin etkinliğini artıran temel bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır (Chiu vd., 2011: 5). Bu metodolojilerin önemi, özellikle endüstriyel ülkelerde artan ürün tüketimi ve buna bağlı olarak yükselen atık miktarları nedeniyle giderek artmıştır. Ayrıca DfD, geri dönüşüm ve yeniden üretim süreçlerinin ürün yaşam döngüsünün sürekliliğine katkı sağlaması bakımından Çevre için Tasarım yaklaşımı ile de doğrudan ilişkilidir (Sreekumar, 2010: 119). Bu doğrultuda birçok endüstrileşmiş ülke, Demontaj için Tasarım prensiplerini destekleyen ve çevresel sürdürülebilirliği teşvik eden yasal düzenlemeler geliştirmiştir (Bogue, 2007: 285).

Günümüzde ise Demontaj için Tasarım, Endüstri 4.0 ve Endüstri 5.0 ile birlikte daha ileri bir boyuta taşınmıştır. Akıllı üretim sistemleri, siber-fiziksel sistemler ve yapay zekâ destekli teknolojiler, demontaj süreçlerinin planlanmasını ve optimize edilmesini mümkün kılmaktadır (Heisel vd., 2025; Jing vd., 2026). Özellikle robotik demontaj sistemleri ve yapay zekâ tabanlı planlama yaklaşımları, ürünlerin kullanım ömrü sonu süreçlerini daha verimli, hızlı ve otomatik hâle getirmektedir (Ameur vd., 2025). Bu gelişmeler, Demontaj için Tasarımın yalnızca bir tasarım yaklaşımı olmaktan çıkarak dijitalleşmiş üretim ekosisteminin önemli bir bileşeni hâline geldiğini göstermektedir. Demontaj için Tasarım, döngüsel ekonomi prensiplerinin temel yapı taşlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Ürünlerin kolayca sökülebilir olması, malzeme ve bileşenlerin değer zinciri içinde kalmasını sağlayarak kaynak tüketimini ve atık oluşumunu minimize etmektedir. Bu yönüyle Demontaj için Tasarım, yalnızca çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda yeni iş modelleri ve ekonomik fırsatların geliştirilmesine de zemin hazırlayan stratejik bir tasarım yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır (Pierzchlewicz vd., 2025; Gonçalves vd., 2025).

Yapılan literatür araştırmasında Demontaj için Tasarım metodolojisinin pek çok tanımına ulaşılmıştır. Literatürde yer alan bazı çalışmalardaki diğer tanımlar Tablo 1.4' de verilmiştir.

Tablo 1. 4. Literatürde Yer Alan Bazı Demontaj için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
McAloone	1998	Tasarımcının ürün geliştirme sürecinde Montaj için Tasarım uygulamasında ürün ömrünün herhangi bir noktasında nasıl söküleceğini düşünmesinde yardımcı olan bir tekniktir.
Thormark	2001	Montajdan geliştirilen yeni bir boyut olarak çoklu malzemelerin kolayca sökülmesini sağlayan bir tasarımıdır.
Tsai vd.,	2003	Bakım masraflarının azaltılması için ürünün kullanım ömrü boyunca ortaya çıkan sökme işlemlerinin optimize edilmesidir.
Hauschild vd.	2005	Bir ürünün ve parçalarının, kullanım ömrünün sonunda yeniden kullanılabilir, yeniden üretilebilir veya geri dönüştürülebilir olmasını sağlayan, geri dönüşüm ve yeniden üretim için öncülük eden, geri dönüşüm akışının bir parçasıdır.
Takeuchi ve Saitou	2006	Ürün bakımı, geri dönüşüm ve yeniden kullanım gibi ömrünü tamamlamış ürünlerin demontaj süresinin tahminini sağlayan ve sökme kolaylığını artıran bir tasarım yöntemi ve kılavuzudur.
Bogue	2007	Azaltılmış enerji kullanımı, nakliye, ambalajlama, geri dönüşüm, atık azaltma, bertaraf gibi her türlü sorunu kapsayan ve bu hususlardan ortaya çıkan bir disiplindir.
Alhomsı ve Zwolinski	2008	Ürünlerin bakım, geri dönüşüm, yeniden üretim ve diğer ilgili süreçler için daha etkili hale getirilmesi için önemli bir tasarım konseptidir.
Ramani vd.	2010	Tehlikeli malzemelerin ortadan kaldırılması, gerekli koruma önlemlerinin artırılarak bir ürünün sökülmesini ve yeniden üretim tasarımı kolaylaştıran eko tasarım yöntemidir.
Mule	2012	Ürün geliştirme sürecinde, ürünün kullanım ömrünün sonunda ekonomik olarak yeniden kullanılabilir bileşenlere ve malzemelere ayrılmasını, geri kazanılmasını, ürünün yeniden kullanımını ve yeniden üretimini tasarlayan bir tekniktir.
Arnette vd.	2014	Geri dönüştürülebilir malzemenin tekrar kullanımını kolaylaştıran ve geri dönüştürülemeyen malzemenin güvenli bir şekilde bertaraf edilmesini sağlayan bir ürün tasarımı tekniğidir.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
James	2017	Üretim otomasyonu içerisinde tasarım, bakım kolaylığı, daha kolay üretim, geri dönüşüm gibi pek çok yöntemi kapsayan ve tasarım aşamasına dahil edilmesi gereken bir tekniktir.
Fractory	2021	Tasarımda yaratıcılık ve kaliteden ödün vermeksizin, geri dönüştürülebilir ürünlerin verimli, güvenilir ve ölçeklenebilir biçimde üretilebilmesini mümkün kılan bir tasarım yaklaşımıdır.
Rankohi vd.	2022	Modüler ve saha dışı üretim süreçlerini optimize etmek amacıyla kullanılan, dijitalleşme odaklı bir çerçevedir.
Roxas vd.	2023	Demontaj için Tasarım uygulamalarının üretim sektöründeki faydalarını ve son gelişmelerini inceleyen, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi odaklı bir yaklaşımdır.
Peruzzini vd.	2024	Endüstri 5.0 için akıllı üretim sistemleri tasarlamak amacıyla insan-otomasyon simbiyozuna dayalı bir çerçeve öneren, Montaj için Tasarım prensiplerini de içeren bir yaklaşımdır.
Ionescu vd.	2025	Endüstri 5.0 bağlamında akıllı üretim sistemlerinin tasarımını ve geliştirilmesini ele alan, insan merkezli ve sürdürülebilir üretim hedeflerini gözetten bir yaklaşımdır.
Jing vd.	2026	Endüstri 5.0 bağlamında Montaj için Tasarım uygulamak için yeni bir yaklaşım geliştiren, otomatik üretilebilirlik rehberliği ve analizi sağlayan, insan merkezli proaktif bir tasarım metodolojisidir.

Bu tanımlardan yola çıkarak Demontaj için Tasarım, üretim otomasyonu içerisinde bakım ve üretim masraflarının azaltılması için ürünün kullanım ömrü sonunda yeniden kullanılabilir, yeniden üretilebilir veya geri dönüştürülebilir olmasını sağlayan bir teknik; tehlikeli malzemelerin ortadan kaldırılması, gerekli koruma önlemlerinin arttırılarak ürünün sökülmesini kolaylaştıran, ürünün çevresel, teknik ve ekonomik özellikleri arasında en iyi uyumu gerçekleştiren çok amaçlı ve önemli bir eko tasarım yöntemi; azaltılmış enerji kullanımı, nakliye, ambalajlama, geri dönüşüm, atık azaltma ve bertaraf gibi her türlü sorunu kapsayan ve bu hususlardan ortaya çıkan bir disiplin olarak tanımlanabilir.

Ürün tasarımı 1990 yılında mühendislik ürünlerinin geri dönüştürülmesi fikri ile başlayan Demontaj için Tasarım metodolojisine yönelik araştırmalar, Avrupa ve Kuzey Amerika'daki birçok Üniversitede ve işletmede gerçekleştirilmiştir. 2000'li yıllarda Demontaj için Tasarım kabul görmüş bir XİT metodolojisi olmuş ve bu metodolojiden ekonomik olarak faydalanılmaya başlanmıştır. Ayrıca gelecekte ürünlerin geri dönüşümünün artacağı ve çevre dostu ürünler tasarlanması gerektiği kabul edilmiştir (Thormark, 2001:61). Çoğu endüstrileşmiş ülke belirgin Demontaj için Tasarım etkilerine sahip hem yüksek bir çevre bilincini hem de atık bertarafının pratik yönlerini yansıtan ve geri dönüşümü yöneten yasalar ortaya koymuşlardır. Örneğin; 2001 yılında Japonya kısa bir süre içinde çöp depolama alanlarının bitmek üzere olduğunu hesaplamış bu nedenle hükümet ev aletlerinin geri dönüşüm maliyetini perakende fiyatına ekleyen bir yasa çıkarmıştır. Ardından o yıllarda Japonya'da üretilen televizyonların yüzde 80'inden fazlası geri dönüştürülmüş ve aynı yıl içinde bilgisayar üreticilerinin eski ürünleri geri alması ve geri dönüşüme sokması için bir yasa haline getirilmiştir (Bogue, 2007: 285). 2005 yılında Avrupa'da Atık Elektrikli ve Elektronik Cihazlar direktifi yürürlüğe girmiştir. Bu direktif uyarınca (Justel, 2006: 377):

- Ürünün %50 den fazlası geri dönüştürülmelidir,
- İşletmeler ürün yaşam sonu için sorumlu olmalıdır,
- Kullanışlı bileşenleri faydalı olmayanlardan ayırmak için ürünler demonte edilebilir olmalıdır,
- Faydalı bileşenler tekrar kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir olmalıdır,
- Bunların dışında kullanılamaz bileşenler depolama alanlarında gerekli imha için depolanmalıdır.

Genel olarak Demontaj için Tasarım metodolojisinde, Montaj için Tasarım metodolojisine benzer yöntemler izlendiği görülse de uygulamada oldukça farklıdır (Kroll ve Carver, 1999: 192). Montaj için Tasarımın metodolojisinin aksine, Demontaj için Tasarım metodolojisi yalnızca maliyetleri düşürmeye odaklanmaz aynı zamanda yeniden kullanıma veya geri dönüşüm değerine sahip parçaların iyileştirilmesine dayanan alternatif demontaj yollarını değerlendirir (Holt ve Barnes, 2010: 124).

Demontaj için Tasarım metodolojisinin başarılı olması için üç kritik disiplinin uygulanması gerekmektedir (Go vd., 2015: 22):

- Malzemelerin seçimi ve kullanımı,

- Bileşenlerin tasarımı ve ürün mimarisi,
- Bağlantıların, konektörlerin ve bağlantı elemanlarının seçilmesi ve kullanılmasıdır.

Demontaj işlemleri, ürünün tasarım aşamasında dikkate alındığı takdirde ürünü oluşturmak için kullanılan parça sayısı, bağlantı elemanlarının tasarım aşamasında belirlenmesi ve demontaj işlemlerinin verimliliği üzerinde büyük bir etki yaratmaktadır. Bu nedenle Demontaj için Tasarımın ürün tasarımı aşamasında kullanılması önemlidir. Bu bağlamda XİT metodolojilerinde de Demontaj için Tasarıma özel bir önem verilmiştir (Alting ve Legarth,1995: 572).

Bu bağlamda Demontaj için Tasarımın genel amacı, demontaj maliyetlerini azaltan tasarım özelliklerini ve niteliklerini arttırmak (Sodhi vd., 2004: 69) ve yararlı alt montajlar arasındaki doğru sınırları bulmaktır (Thormark, 2001: 62). Demontajın toplam maliyeti birkaç bileşeni (lojistik, malzeme taşıma, vb.) içeriyor olsa da kilit noktası fiili demontaj eylemiyle ilişkili maliyet ve çabadır (Sodhi vd., 2004: 69). Ayrıca Demontaj için Tasarım ürün geri kazanımı, yeniden üretme ve geri dönüşüm (parçaların ve ürünlerin yeniden kullanımı dahil) yoluyla eski veya eski ürünlerden gelen bileşenleri ve malzemeleri geri kazanarak depolama alanlarına gönderilen atık miktarını en aza indirmeyi ve çoğunlukla tahribatsız sökme işlemlerini daha etkili hale getirmeyi amaçlamaktadır (Güngör, 2006: 35- 36). Alt amaçlar ise aşağıdaki gibi özetlenebilir (Bogue, 2007: 285);

- Bir ürünü, ürün yaşam çevrimi sonunda kolayca sökülebilecek şekilde tasarlamak,
- Malzemelerin yeniden kullanımını, yeniden üretilmesini veya geri dönüşümünü optimize etmek,
- Parçaların maliyetlerini azaltmak ve parçaların tasarım özellik ve niteliklerini arttırmak,
- Tüketici elektroniği (bilgisayarlar, cep telefonları, televizyonlar), ev aksesuarları (çamaşır makineleri, ocaklar, kurutucular) gibi gelişmiş ürünler ve gelişmiş dünyadaki baskın atık akımları hızlı bir şekilde geride bırakmaktır.

Son on yılda birçok araştırmacı tarafından, Demontaj için Tasarım metodolojisi için en iyi demontaj sırasını bulmak amacıyla algoritmalar ve diyagramlardan oluşan çeşitli yöntem ve araçlar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem ve araçlar aşağıda verilmiştir (Favi ve Germani, 2014: 309; Vongbunyong ve Chen, 2015: 13-18):

- Demontaj öncelik grafiği

- Demontaj ağacı
- Durum diyagramı
- AND / OR grafiği (Hypergraph)
- Tam Demontaj
- Sökme Sırası Planlama
- Matematiksel programlama yöntemi
- Sezgisel yöntemler
- Yapayzeka yöntemleri

Geliştirilen bu yöntem ve araçların doğru zamanda ve en uygun şekilde kullanılması için Demontaj için Tasarım ilke ve yönergeleri oluşturulmuştur. Bu ilke ve yönergeler, tasarımcılar açısından ürün tasarımı aşamasında kolay demonte edilebilir kuralların bir araya getirilmesi için temel oluşturacak şekilde kurulmuştur. Bu kurallar, tasarım aşamasında geniş bir şekilde uygulanamayacak olsalar bile, Demontaj için Tasarım sürecinin yönetilmesine yardımcı olmaları açısından önemlidir. Çünkü Demontaj için Tasarımın yol haritasını çizmek ve tasarımı yapmak için ilke ve yönergelere ihtiyaç vardır (Crowther, 2005: 5; Soh vd., 2015: 578).

Demontaj için Tasarım metodolojisinin bir işletmede uygulanması sonucunda elde edilecek faydalar; çevresel etkinin azaltılması, ömrünü tamamlamış ürünlerin değerinin artırılması yanında bu alandaki teknolojilerin gelişmesine olanak sağlaması, üretim ve geri kazanım süreçlerindeki atıkları büyük ölçüde azaltması, ürün geliştirme süresinin azaltılması, geliştirme maliyetlerinin azaltılması, ürün ömrünü uzatılması şeklinde sırlanabilir (Gray ve Charter, 2007: 29; Mule, 2012: 1).

1.5.4. Çevre için Tasarım

Çevrenin korunması 21. yüzyılda önemli bir konu haline gelmiştir. Özellikle kirlilik seviyesinin artması hava, su, iklim, ekolojik yaşam ve insan nüfusu üzerinde dramatik değişikliklere yol açmıştır. Gelecek kuşaklara yönelik artan endişe, doğal kaynakların tüketilmesi, çevrenin korunması ihtiyacı ve kirlenme seviyelerinin azaltılması konularında farkındalığın artmasına neden olmuş, çevre dostu olunmasını amaçlayan yeşil harekete yol açmıştır. Bu eğilim, bir tasarımcının ürün tasarımı, çevre dostu tasarım yönergeleri ve üretim yöntemlerini tercih ettiği bir yaklaşım olan yeşil tasarım veya Çevre için Tasarıma yol açmıştır (Sreekumar, 2010: 119). Günümüzde bu yaklaşım, sadece yerel çevresel etkileri değil, aynı zamanda Yapay Zeka (AI) destekli çevresel

zeka sistemleri aracılığıyla küresel iklim krizine karşı proaktif bir savunma mekanizması olarak evrilmektedir (Forbes, 2026; World Economic Forum, 2026).

Yaklaşık 30 yıl önce, *Yeşil Tasarım*, olumsuz çevresel etkileri azaltmak amacıyla, ürün tasarımı ve ürün geliştirmeye bu çevresel etkileri entegre etme sürecini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Yeşil tasarım terimi, o dönemler siyasette kullanılan *Yeşil Partiler* deyiminden etkilenmiş ve ürün tasarımıyla çevresel kaygıları vurgulamak için kullanılmış bir kelimedir. 1980' lerin sonlarında, *Yeşil* ifadesi *Ekolojik Tasarım* olarak çevre dostu ürünler için kullanılan yeni bir ifadeye dönüşmüştür. Böylece Siyasi kullanımdan ayrılmanın yanı sıra, aynı zamanda daha güçlü bilimsel bir çağrışım yaratılmıştır. Günümüzde, ürün tasarımıyla çevresel faktörlerin entegrasyonu ile ilgili neredeyse tüm süreçler ve yaklaşımlar eko-tasarım terimi altında toplanmaktadır. Brundtland Raporu'nun yayınlanmasından sonra, *Sürdürülebilirlik* ve sürdürülebilir tasarım ile birlikte çevresel, sosyal ve ekonomik yönleri birleştiren ürün ve hizmetleri geliştirmek için yöntemler tanımlayan kavram ve yaklaşımlar ortaya çıkmıştır. Bunlardan en önemlisi Çevre için Tasarımdır (Plouffe vd., 2011: 574).

Modern perspektifte bu gelişim, Endüstri 5.0'ın insan merkezli ve dayanıklı üretim vizyonu ile birleşerek, ürünlerin sadece az zarar vermesini değil, aynı zamanda ekosistemi onarıcı (regenerative) özellikler taşımasını hedefleyen bir noktaya ulaşmıştır (Rejeb vd., 2025; Khan, 2025).

Çevre için Tasarım ile ilgili çalışmaların ilk temelleri 1970'lerin başında atılmıştır. Ancak 1987'den sonra, Dünya Komisyonu'nun Brundtland Raporu'nda sürdürülebilir kalkınmayı tanımlaması ile çevre ve kalkınma konusundaki kararlılığından sonra hız kazanmıştır. Bununla birlikte, Çevre için Tasarım metodolojisi 1992 yılına kadar tam olarak uygulanmamıştır (Duaksz ve Torkelsson, 2014).

2000'li yıllardan sonra maliyet, zaman ve kalite gibi çalışma kısıtlamaları konusunda deneyim sahibi tasarımcıların *çevre korumasını* bir tasarım hedefi olarak ele almaları ile birlikte yepyeni bir tasarım metodolojisi olarak Çevre için Tasarım, XİT metodolojisinde kendine bir yer edinmiştir. Böylece Çevre için Tasarım XİT metodolojileri kapsamında, tasarım sürecinin her aşamasında ve organizasyonun tüm disiplinler arası üyelerini kapsayan, eko-tasarımın bileşenlerini ve çevresel performansını ele alacak bütünsel bir yaklaşım ve destek mekanizması olarak değerlendirilmiştir (Holt ve Barnes, 2009; Raja Ghazilla vd., 2015; Rio vd., 2017).

Çevre için Tasarım aynı zamanda demontaj, geri kazanım, geri dönüştürülebilirlik, mevzuata uygunluk, maliyet, elden çıkarma, sağlık ve güvenlik etkisi ve tehlikeli madde minimizasyonu gibi tasarımla ilgili çeşitli konuların birleşimidir (Mizuki vd., 1996). Bu bağlamda Çevre için Tasarım, ürün geliştirme aşamasından üretimine kadar ürünün verimliliğini artırma ve ürünün yaşam döngüsü aşamaları boyunca fayda ve faydasını optimize etme çabaları ile ilgili Geri Dönüşüm için Tasarım; Yeniden Üretim için Tasarım; Demontaj için Tasarım; Maliyet için Tasarım ve Sürdürülebilirlik için Tasarım gibi belirli XİT metodolojilerini içeren bir tasarım metodolojisi (Borland ve Wallace, 2000; Hundal, 2000; Fitzgerald vd., 2007). Genel olarak, Çevre için Tasarım, tasarım performansının çevresel, sağlık ve güvenlik hedeflerine göre yeni ürün ve süreç geliştirme aşamasında sistematik olarak ele alınması olarak tanımlanmıştır (Bras, 1997; Xiaochuan, 2004; Rosen ve Kishawy, 2012). Yapılan literatür araştırmasında Çevre için Tasarım metodolojisinin pek çok tanımına ulaşılmıştır. Literatürde yer alan bazı çalışmalardaki diğer tanımlar Tablo 1.5’ de verilmiştir.

Tablo 1. 5. Literatürde Yer Alan Bazı Çevre için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Fiksel	1993	Yeni ürün ve süreç geliştirme sırasında çevresel ve insan sağlığı ile ilgili tasarım sorunlarının ve ürün yaşam döngüsü boyunca güvenliğin sistematik olarak tasarlanmasıdır.
Glantschnig	1994	Çevresel etkinin mümkün olduğunca azaltıldığı ürünler elde etmek için kullanılan mühendislik tasarım programıdır.
Mizuki vd.	1996	Tüm ürün ve proses ömrü boyunca çevresel, sağlık ve güvenlik hedeflerine göre tasarım performansının sistematik bir şekilde değerlendirilmesidir.
Rose	2000	Çevresel etkiyi azaltmak için üretim sırasında endüstriyel kalıntıların en aza indirilmesi, kullanım ömrünün tasarlanması, ambalajın iyileştirilmesi ve kullanımın azaltılması gibi ürün geliştirme faaliyetlerini kapsayan tasarımıdır.
Johansson	2002	Performans, maliyet ve kalite gibi önemli ürün kriterlerinden ödün vermeksizin bir ürünün çevresel etkisini tüm yaşam döngüsü boyunca en aza indirmeyi amaçlayan ürün geliştirmede takip edilen adımlardır.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Hauschild vd.	2004	Bir ürünün çevresel performansını iyileştirmeyi amaçlayan bir tasarım faaliyetidir.
Fürstner ve Anışi	2005	Çevresel niteliklerin bir ürünün tasarımına dahil edilmesinin sistematik bir yoludur.
Knight ve Jenkins	2009	Ürün tasarımına sadece çevresel değerlendirmelerin eklenmesi değil aynı zamanda ekolojik ilkeleri kullanarak sosyal ve etik yönleri kapsayan sürdürülebilir tasarım ve yenilikçi uygulamaların da kullanılmasını içeren bir tekniktir.
Ulrich ve Eppinger	2012	Ürün yaşam döngüsünün sonunda yenilenemez enerji ve malzemelerin yanı sıra sentetik ve inorganik emisyonların ve diğer zehirli atıkların kullanımını azaltarak ürünlerin çevresel etkilerini analiz etmek ve en aza indirmek için kullanılan bir yöntemdir.
Ghazilla vd.	2015	Tüm ürün ve süreç yaşam döngüsü boyunca çevresel, sağlık, güvenlik ve sürdürülebilirlik hedefleri ile ilgili olarak tasarım performansının sistematik bir şekilde değerlendirilmesidir.
Rio vd.	2017	Küresel ürün ve hizmet yaşam döngüsünün çevresel değerini geliştirmek için tasarım süreci boyunca diğer tasarım parametreleri arasında çevresel parametre optimizasyonunu destekleyen sistemik bir yaklaşımdır.
Rodrigues vd.	2019	Çevresel hususların ürün geliştirme süreçlerine tutarlı bir şekilde entegre edilmesi ve bu sürecin simülasyon tabanlı çerçevelerle desteklenmesidir.
Cicconi	2020	Yeşil ürünlerin üretiminde en iyi uygulamalara değer kazandırmak amacıyla kullanılan, etkileşimli ve işbirlikçi bir eko-tasarım yaklaşımıdır.
Willskytt	2021	Döngüsel ekonomi çağında, ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel performansını iyileştirmek için kullanılan bütünsel bir mühendislik disiplindir.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Barkhausen vd.	2022	Enerji verimliliğinden döngüsel ekonomiye geçiş sürecinde, ürünün kullanım aşaması dışındaki çevresel etkilerini de kapsayan geniş kapsamlı bir düzenleyici tasarım çerçevesidir.
Horani	2023	Sürdürülebilirlik kavramlarının tümevarımsal içerik analizi yoluyla ürün tasarımına aktarıldığı, çevresel zeka ve veri odaklı karar verme süreçlerini içeren bir metodolojidir.
Duarte vd.	2024	Ürün tasarım firmalarında çevresel sürdürülebilirlik uygulamalarının teknik entegrasyonunu ve döngüsel iş modellerini destekleyen operasyonel bir yapıdır.
Rejeb vd.	2025	Endüstri 5.0 ve Döngüsel Ekonomi prensiplerinin yakınsamasıyla, üretim süreçlerinde kaynak verimliliğini maksimize eden stratejik bir çerçevedir.

Bu tanımlardan yola çıkarak Çevre için Tasarım, ürün geliştirme sürecinde, üretim endüstrilerinin dünya çapında kurumsal entegrasyon ve sürdürülebilir kalkınma yönündeki güdümünden kaynaklanan tasarım ortamının etkin şekilde uygulanması için tasarım ölçütlerinin, yönergelerin ve doğrulama yöntemlerinin geliştirilmesinde ve karar vermede faydalı bir rehber; tüm ürün ve süreç yaşam döngüsü boyunca çevresel, sağlık, güvenlik ve sürdürülebilirlik hedefleri ile ilgili olarak tasarım performansını değerlendiren sistematik bir yaklaşım; yaşam döngüsünün sonunda yenilenemez enerji ve malzemelerin yanı sıra sentetik ve inorganik emisyonların ve diğer zehirli atıkların kullanımını azaltarak ürünlerin çevresel etkilerini analiz etmek ve en aza indirmek için kullanılan bir yöntem ve çevresel etkiyi azaltmak için üretim sırasında endüstriyel kalıntıların en aza indirilmesi, kullanım ömrünün tasarlanması, ambalajın iyileştirilmesi ve kullanımının azaltılması gibi ürün geliştirme faaliyetlerini kapsayan mühendislik tasarım programı olarak tanımlanabilir.

Çevre için Tasarımın genel amacı tasarım ekiplerinin maliyet, kalite ve zamanlama kısıtlamalarından ödün vermeden eko verimli ürünler yaratmalarını sağlamaktır. Eko-verimli bir ürün, hem olumsuz çevresel etkileri en aza indiren hem de yaşam döngüsü boyunca değerli kaynakların korunmasını maksimize eden bir ürün olarak tanımlanabilir (Fiksel ve Wapman, 1994). Bu bağlamda Çevre için Tasarımın temel amacı bir ürünün tasarımdan üretime, kullanılmasına

ve en son atılmasına kadar tüm yaşam döngüsüne göre çevresel etkisinin azaltılmasıdır. Bununla birlikte temel amaç çerçevesinde *çevresel etkinin azaltılması* kavramı, ekosistem üzerindeki doğrudan etkilerin sayısallaştırılması ve en aza indirilmesidir. Güncel literatürde bu yaklaşımın, yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), döngüsel ekonomi ve dijitalleşme araçları ile entegre biçimde ele alındığı görülmektedir (Hauschild vd., 2018; Bocken vd., 2016). Çevre için Tasarım aynı zamanda çevresel performansın optimasyonu olarak da anlaşılmalıdır. Bu doğrultuda Çevre için Tasarımın alt amaçları aşağıda verilmiştir (Giudice vd., 2006; Bocken vd., 2016; Geissdoerfer vd., 2017; Tao vd., 2019; Lu vd., 2020; Nayeri vd., 2025):

- *Atık ve kaynak yönetiminin optimize edilmesi:* Üretim ve tüketim süreçlerinde atık oluşumunun en aza indirilmesi, malzeme ve enerji kullanımının optimize edilmesi ve döngüsel ekonomi ilkeleri doğrultusunda kaynak verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir
- *Yaşam sonu stratejilerinin entegrasyonu:* Ürünlerin kullanım ömrü sonunda yeniden kullanım, yeniden üretim, geri dönüşüm ve geri kazanım süreçlerine uygun olacak şekilde tasarlanması; tehlikeli ve toksik maddelerin minimize edilmesi ve malzeme seçimlerinin bu doğrultuda yapılması amaçlanmaktadır.
- *Enerji verimliliği ve düşük emisyonlu üretim:* Üretim süreçlerinin enerji tüketimini azaltacak ve sera gazı emisyonlarını minimize edecek şekilde planlanması, temiz üretim teknolojilerinin entegrasyonu ve sürdürülebilir üretim sistemlerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir.
- *Kullanım aşamasında çevresel etkinin azaltılması:* Ürünlerin kullanım sürecinde enerji ve kaynak tüketimini minimize edecek şekilde tasarlanması; kullanıcı davranışları ve kullanım senaryoları dikkate alınarak operasyonel verimliliğin artırılması amaçlanmaktadır.
- *Dijitalleşme ve veri temelli çevresel optimizasyon:* Dijital ikizler (Digital Twins), büyük veri analitiği ve yapay zekâ destekli simülasyon araçları kullanılarak ürünlerin yaşam döngüsü boyunca karbon ayak izi, enerji tüketimi ve çevresel etkilerinin tasarım aşamasında öngörülmesi ve optimize edilmesi hedeflenmektedir.

Çevresel yönetim sistemlerini ürün geliştirmeye entegre etmek, stratejik bir yaklaşım ihtiyacı olarak, sadece organizasyon içindekilerin geliştirilmesini değil,

aynı zamanda tüm üretim ve tüketim zincirinin de katılımını gerektirecektir (Knight ve Jenkins, 2009).

Bu amaçlar doğrultusunda Çevre için Tasarımın başarılı bir şekilde uygulanması, üst ve orta düzey yönetimin yanı sıra çapraz-fonksiyonel ekiplerle (örn. tasarım, üretim, pazarlama, satış, muhasebe vb. arasında) iletişimi ve bağlılığı gerektirir. Çevre için Tasarım çevresel etki ölçümleri, veri, veri yönetimi ve maliyet değerlendirmeleri dahil olmak üzere tasarım optimizasyonu gibi çeşitli tasarım ve teknoloji tabanlı faaliyetlerin koordinasyonunu gerektirir. Çevresel sorunların çözümü için ürün geliştirme sürecinin en başında farklı teknolojilerin çevresel etkileri büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, bir üründe kullanılmak üzere seçilen teknoloji ürünün çevresel performansı için hayati öneme sahiptir. Geliştirilecek ürün bir dizi farklı teknolojiyi içerdiğinden bir işletmenin teknoloji stratejisini kurarken çevresel konular halihazırda dahil edilmelidir (Johansson, 2002). Çevresel performansın ve çevresel etkinin ölçülmesi için gerekli ölçütler belirlenmeli, bölümler arası bilgi akışı desteklenmeli ve Çevre için Tasarıma dayalı kararlar için bir alt yapı oluşturulmalıdır. Tasarım aşamasında Çevre için Tasarımın herhangi bir yönünün ele alınmaması çabaların etkililiğini ve faydasını muhtemelen sınırlandıracaktır (Mizuki vd., 1996). Bu bağlamda Avrupa komisyonu tarafından Çevre için Tasarımın etkisini ve faydasını ortaya koyacak yönergeler geliştirilmiştir. Bu yönergeler aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Niinimäki, 2013):

- *Mümkün olduğunca düşük etkili malzemeler kullanın:* Taşıma ve işleme için doğal kaynakların (enerji ve su gibi) çok az veya hiç kaynak gerektirmeyen malzeme kullanın, biyolojik çeşitliliği tehdit etmeyen toksik olmayan, sürdürülebilir şekilde üretilmiş veya geri dönüştürülmüş malzeme kullanın.
- *Kaynak verimliliğine odaklanın:* Mümkün olduğunca az doğal kaynak tüketen üretim süreçleri, hizmetler ve ürünler yaratın.
- *Yüksek kalite ve dayanıklılığa yatırım yapın:* Estetik olarak yaşlanan ve dolayısıyla ürün değiştirmenin etkisini azaltan daha uzun ömürlü ve daha iyi işleyen ürünler yapın.
- *Yeniden kullanım, geri dönüşüm ve yenileme yapın:* yeniden kullanılabilir, geri dönüştürülebilir veya kompost haline getirilebilir ürünler tasarlayın.

Bu yönergeleri ürünün yaşam döngüsü aşamalarına göre uygulamak, yararlı bilgi elde etmek, ürün tasarımı ve geliştirme sürecinde eko-verimli bir müdahale için tüm fırsatları keşfetmek mümkündür (Giudice vd., 2006). Çevre için Tasarım

yönergelerinin etkili bir şekilde uygulanması, ürün kalitesini ve maliyeti artırırken çevresel etkileri de azaltmaktadır (Ulrich ve Eppinger, 2012). Ayrıca, işletmelere çevresel performanslarının yanında karlarını da iyileştirme fırsatları sunar (XiaoChuan, 2004). Çevre için Tasarım metodolojisinin etkin bir şekilde uygulanması, yalnızca çevresel etkilerin azaltılmasına değil, aynı zamanda üreticiler açısından önemli ekonomik, operasyonel ve stratejik faydalar sağlanmasına da olanak tanımaktadır. Günümüzde bu faydalar, dijitalleşme, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir üretim yaklaşımlarının etkisiyle daha da genişlemiş ve çok boyutlu bir yapı kazanmıştır. Bu kapsamda, Çevre için Tasarımın üreticilere sunduğu güncel potansiyel faydalar aşağıda sıralanmaktadır:

- *Çevresel etkinin azaltılması ve sürdürülebilirlik performansının artırılması:* Ürün ve süreçlerin tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerinin minimize edilmesi, karbon ayak izinin düşürülmesi ve sürdürülebilirlik hedeflerine uyum sağlanması mümkün olmaktadır.
- *Kaynak ve enerji verimliliğinin optimize edilmesi:* Hammadde, enerji ve su kullanımının azaltılması sayesinde üretim maliyetleri düşürülmekte, aynı zamanda kaynak kıtlığına karşı dirençli üretim sistemleri geliştirilmektedir.
- *Döngüsel ekonomi stratejilerinin desteklenmesi:* Yeniden kullanım, geri dönüşüm, yeniden üretim ve ürün yaşam süresinin uzatılması gibi uygulamalarla malzeme döngüsellliği sağlanmakta ve atık oluşumu minimize edilmektedir.
- *Dijitalleşme ile çevresel performansın izlenebilirliği ve optimizasyonu:* Dijital ikizler, yapay zekâ ve veri analitiği gibi teknolojiler sayesinde ürünlerin çevresel etkileri tasarım aşamasında öngörülebilme ve süreçler gerçek zamanlı olarak optimize edilebilmektedir.
- *Yasal düzenlemelere ve uluslararası standartlara uyum:* Çevreye duyarlı tasarım yaklaşımı, üreticilerin giderek sıkılaştan çevre mevzuatlarına (örneğin eko-tasarım direktifleri ve sürdürülebilirlik standartları) uyum sağlamasını kolaylaştırmaktadır.
- *Maliyetlerin azaltılması ve ekonomik verimlilik:* Malzeme kullanımının azaltılması, enerji tasarrufu ve atık yönetiminin iyileştirilmesi sayesinde üretim ve yaşam döngüsü maliyetleri önemli ölçüde düşürülmektedir.

- *Yenilikçilik ve rekabet avantajı:* Sürdürülebilir ve çevre dostu ürün tasarımı, firmaların inovasyon kapasitesini artırmakta ve pazarda farklılaşarak rekabet avantajı elde etmelerini sağlamaktadır.
- *Pazar değeri ve marka imajının güçlendirilmesi:* Çevre dostu ürünlere yönelik artan tüketici talebi doğrultusunda, işletmelerin marka değeri yükselmekte ve ürünlerin pazarlanabilirliği artmaktadır.
- *Müşteri beklentilerinin ve kullanıcı deneyiminin geliştirilmesi:* Enerji verimli, uzun ömürlü ve sürdürülebilir ürünler, kullanıcı ihtiyaçlarını daha etkin karşılamakta ve kullanıcı memnuniyetini artırmaktadır.

1.5.5. Sürdürülebilirlik İçin Tasarım

Sanayileşme insanlara daha rahat bir hayat sunmuş olsa da seri üretim ve aşırı tüketim beraberinde çevresel hasara ve dengesizliğe yol açarak sürdürülebilirlik konusunu gündeme getirmiştir (Niinimäki, 2013: 14; Kim, 2015). Son zamanlarda sürdürülebilirlik, başta tasarım ve tasarım süreçleri olmak üzere hemen hemen her alanda yirmi birinci yüzyılın en önemli konusu haline gelmiştir. İlk olarak 1950'lerde ortaya konulan sürdürülebilirlik terimi sosyal değişimle başlamış ve o zamandan beri birçok araştırmacı bu terimi çalışmalarında kullanmıştır (Farrer, 2011). Çoğunlukla kurumsal sosyal sorumluluk, bilinçli satın alma kararları ve bazı işletmelerde ortaya çıkan yeşil yönelimle birlikte çevrenin korunması ile eşleştirilmiştir. Sürdürülebilirliğin birçok tanımı vardır. Literatürde en çok kullanılan ve kabul gören sürdürülebilirlik tanımı ise Brundtland Raporu (Brundtland Komisyon Raporu 1987) olarak da bilinen *Ortak Geleceğimiz* isimli kitapta yer alan tanımdır. Bu tanıma göre Sürdürülebilirlik “gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğinden taviz vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılayan gelişme” dir (Brundtland ve Halid, 1987).

Sürdürülebilirlik kelimesinin yerine kullanılan birçok terim vardır. En sık kullanılan terimlerden ve çeşitlerinden biri muhtemelen 'ekoloji', 'ekolojik' ve kısaltılmış versiyon 'eko' dur. Yaygın olarak kullanılan diğer terimler çevresel, yeşil ve etikdir. Bu terimlerden bazıları, özellikle üretim ve üretimin çevreye zarar vermediğinin altını çizme girişiminde, özellikle tasarım ve üretim bağlamında birbirinin yerine kullanılmaktadır (Thomas, 2008).

1990'ların başından bu yana sürdürülebilir kalkınma patlaması, ürün geliştirme ve üretimle ilgili çevresel kaygılar hakkında tartışmalar başlatmıştır. Sürdürülebilirlik için Tasarım konusunda, Kano modeli, Kalite Fonksiyon Yayılımı ve Yaratıcı Problem Çözme Teorisi gibi mevcut mühendislik araçlarında çevresel faktörlerin dahil edilmesine odaklanılmıştır.

Sürdürülebilirlik için Tasarım, çevrenin ve kaynakların korunmasına olan talep ile ortaya çıkan teoriler arasındaki uçurumu ele almak için uygulanabilir bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir (Gremyr, 2014). Güncel perspektifte bu yaklaşım, Endüstri 5.0'ın getirdiği insan-merkezli, dayanıklı (resilient) ve sürdürülebilir üretim vizyonu ile birleşerek, sadece "zararı azaltan" değil, ekosistemi aktif olarak "onaran" (regenerative) bir yapıya evrilmiştir (Agote-Garrido vd., 2023; Marconnet vd., 2025).

Sürdürülebilirlik için Tasarım literatüründe, bir tasarımcının sürdürülebilir tasarım ilkeleriyle etkileşime girebileceği birçok yöntem sunduğu görülmektedir (Gwilt, 2011; Black, 2008). Bu yöntemler, ürünün yaşam döngüsü için tasarımını içeren Geri Dönüşüm, Yeniden Tasarım/Yeniden Üretim için Tasarım¹, sıfır atık (kaynakların doğru kullanımı ve yaratılması), ekolojik (çevre dostu) malzemeler kullanılması, daha az malzeme kullanılması, yeni teknolojiler kullanılması, daha uzun ömürlü yüksek kalitede ve zamansız ürünler yaratılması ve çok fonksiyonlu (modüler) ürün tasarımı şeklinde sıralanmaktadır. Genel olarak sürdürülebilir ürün tasarım stratejileri, tasarım endüstrilerinde atık yönetiminin sorunlarına çözüm olarak düşünülmüştür (Black, 2011; Niinimäki, 2013).

Sürdürülebilirlik için Tasarım, sürdürülebilirliğin tüm boyutlarını ele alarak ve daha temel sorular sorarak, tatmin edici verimliliğin etkilerini tedarik ve ürün verimliliği ile birleştirmede önemli bir rol oynar (Spangenberg vd., 2010). Sürdürülebilirlik için Tasarım, ürün tasarımı için çevresel, sosyal ve ekonomik performansları “varsayılan gereksinimler” olarak kabul etmeye çalışan rekabetçi işletmeler için önemli bir konu haline gelmiştir. Sürdürülebilirlikte tasarımın ve tasarım yönetiminin rolü tasarım süreci boyunca yöneticileri ve teknisyenleri desteklemek için araçlar ve yöntemler sunmaktır. Aynı zamanda bir disiplin olarak, yeni bir ürünün tasarımı ve geliştirilmesi sürecinde sürdürülebilirlik konularını dikkate almaktır. Bu bağlamda tasarım aşamasında sürdürülebilir hareket etmek çok önemlidir (Fargnoli vd., 2014).

Yapılan literatür araştırmasında Sürdürülebilirlik için Tasarım metodolojisinin birbirinden farklı olmayan benzer tanımlarına ulaşılmıştır. Konunun daha iyi anlaşılması için literatürde yer alan bazı tanımlar Tablo 1.6’da verilmiştir.

¹ 1.5.6. bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

Tablo 1. 6. Literatürde Yer Alan Bazı Sürdürülebilirlik için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
McDermott	2007	Yeşil veya eko tasarım ile başlayan ve daha sonra sosyal adalet ve çevresel sorumluluk içeren daha bütüncül bir kavram haline dönüşen bir yöntemdir.
Fletcher	2008	Çevreye zarar vermeden süresiz olarak sürdürülebilecek bir tasarım faaliyetidir.
Lilley	2009	Ürün yaşam döngüsü boyunca kabul edilen çevresel, ekonomik ve sosyal etkileri hesaba katan bir tasarım tekniğidir.
Spangenberg vd.	2010	Sürdürülebilirliğin tüm boyutlarını ele alan ve tatmin edici verimliliğin etkilerini tedarik ve ürün verimliliği ile birleştiren tasarım yöntemidir.
Partridge	2011	Başkalarına da kendinize yapacağınız gibi tasarımlar yapmaktır.
Payne	2013	Tasarımcının, ürünün hem girdi hem de çıktısı için ürünün sahip olacağı etkilerin tüm yaşam döngüsü boyunca planlanmasıdır.
Fargnoli vd.	2014	Çevresel etkilerin azaltmasını, güvenlik gereksinimlerini ve müşteri memnuniyetini ekonomik kısıtlamalarla dengeleyen bir yaklaşımdır.
Ceschin ve Gaziulusoy	2019	Ürün odaklı yaklaşımlardan sosyo-teknik sistem inovasyonuna doğru evrilen, çevresel ve sosyal değer yaratımını merkeze alan evrimsel bir tasarım disiplini.
Vezzoli vd.	2020	Sürdürülebilir Ürün-Hizmet Sistemi (S.PSS) tasarımı aracılığıyla, çevresel korumayı sosyal adalet ve ekonomik uygulanabilirlik ile bütünleştiren sistematik bir yöntemdir.
Bhamra ve Hernandez	2021	Mühendislik, politika ve uygulama disiplinlerini birleştirerek, ürünlerin tüm yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilirlik performansını optimize eden disiplinlerarası bir alandır.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Asyraf vd.	2022	Yenilikçi malzeme seçimi ve eşzamanlı mühendislik prensipleriyle, ürünün çevresel etkisini minimize ederken işlevselliğini maksimize eden bir geliştirme sürecidir.
Agote-Garrido vd.	2023	Endüstri 5.0 paradigması çerçevesinde, sosyo-teknik sistemleri ve sosyal metabolizmayı tasarımın merkezine koyan, insan odaklı ve dayanıklı bir sürdürülebilirlik yaklaşımıdır.
Vicente ve Camocho	2024	Sürdürülebilirlik araçlarının pratik seçimi ve uygulanması için kuramsal temeller sunan, döngüsel ekonomi prensipleriyle tam uyumlu bir tasarım metodolojisidir.
Mattioli ve Tessier	2025	Ekolojik, sosyal ve kültürel değerleri korumayı amaçlayan, işbirlikçi ve vizyoner stratejiler içeren kolektif bir tasarım sürecidir.
Liu vd.	2026	Kapsamlı Sürdürülebilir Tasarım (CSD) konseptiyle, Endüstri 5.0 bağlamında çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları teknolojik inovasyonla senkronize eden ileri düzey bir metodolojidir.

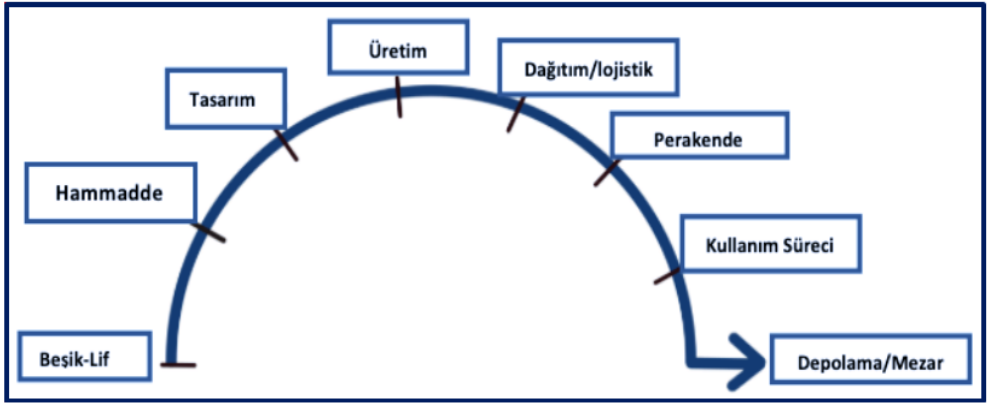
Bu tanımlardan yola çıkarak Sürdürülebilirlik için Tasarım, ürün yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilirliğin tüm boyutlarını (çevresel, ekonomik, sosyal) ele alarak, gelecek nesillerin ihtiyaçlarından taviz vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik bir tasarım faaliyeti; tedarik ve ürün verimliliğini birleştirmede önemli bir rol oynayan ve müşteri memnuniyeti ile ekonomik kısıtlamaları karşılayan güncel perspektifte Endüstri 5.0 prensipleriyle uyumlu olarak, insanın refahını ve gezegenin onarımını önceliklendiren; teknolojik inovasyonu sosyal sorumlulukla harmanlayan bir yapıyı ve bir yaklaşım olarak tanımlanabilir.

Sürdürülebilirlik için Tasarımın temel amacı doğal kaynakların korunması ve ekolojik atıkların azaltılmasıdır. Ürün geliştirme çalışmalarında sürdürülebilirliğin uygulanmasında doğal kaynakların korunması ve ekolojik atıkların azaltılmasının yanı sıra; tasarım, üretim, lojistik, perakende, kullanım ve atık yönetimi olmak üzere tüm aşamaları ürün yaşam döngüsünü içermelidir (Janigo, 2011; Kim, 2015). Ürünlerin çevresel etkileri ve kullanım aşaması-

kullanım sonu dikkate alınarak yaşam döngülerinin tasarlanması, tüm üretim sistemine yansıyan daha bütünsel bir yaklaşım kullanılması Sürdürülebilirlik için Tasarımın bir diğer amacıdır (McDonough ve Braungart, 2002; Niinimäki, 2013; Jack, 2013). Aynı zamanda yaşam döngüsü sorunlarını ele almak ve birden fazla hedefe ulaşmak için yeni tasarım yöntemleri, yenilikçi üretim teknikleri ve etkili tasarım araçları geliştirilmesi de Sürdürülebilirlik için Tasarımın amaçları arasındadır (Jawahir vd., 2005). Modern uygulamalarda bu amaçlara, **dijital ikizler** ve **AI destekli simülasyonlar** aracılığıyla ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca karbon ayak izini tasarım aşamasında tahmin etmek ve minimize etmek de eklenebilir (Moustafa, 2025).

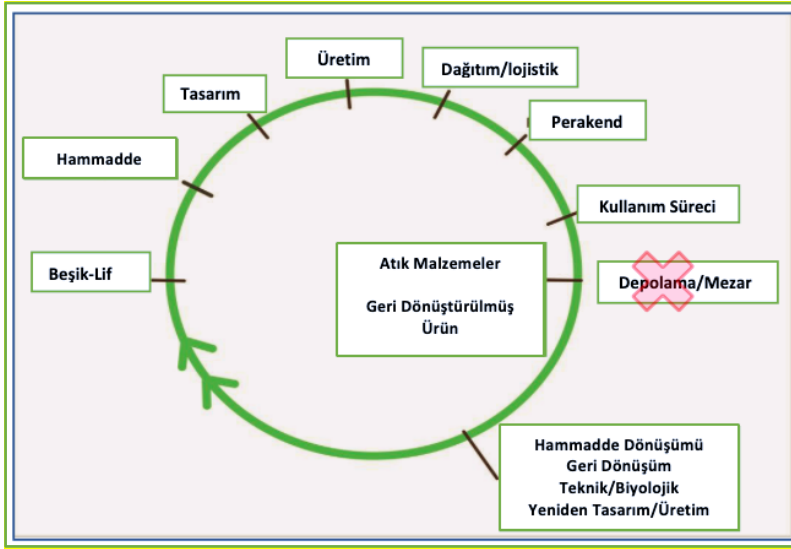
McDonough ve Braungart (2002), ekolojik atıkları geri dönüşümle eşleştirmektedir. Bu durumun “beşikten beşiğe” yaklaşımı gibi yeniden kullanım döngüsünden ziyade “beşikten mezara” tek yönlü bir süreç olduğuna işaret etmektedirler. Çalışmalarında atıkları tamamen teorik olarak ortan kaldıran Cradle to Cradle (beşikten-beşiğe C2C) modelini önermişlerdir (McDonough ve Braungart, 2002). Beşikten beşiğe modeli, kapalı döngü üretim yöntemleri ile değerli malzeme ve lifleri tekrar kullanmak için normal ürün yaşam döngüsü *beşikten mezara* modelindeki mezar kısmını atlamayı amaçlayan bir tasarım ve üretim sistemidir (Payne, 2013; Niinimäki, 2013). Buraya kadar anlatılanların ışığında Şekil 1.3’de Beşikten mezara modeli/Ürün yaşam döngüsü ve Şekil 1.4’de Beşikten beşiğe modeli /Kapalı döngü verilmiştir.

Şekil 1. 3. Beşikten Mezara Modeli / Ürün Yaşam Döngüsü



Kaynak: McDonough ve Braungart, 2002’den uyarlanmıştır.

Şekil 1. 4. Beşikten Beşiğe Modeli / Kapalı Döngü



Kaynak: McDonough ve Braungart, 2002'den uyarlanmıştır.

Aslında, beşikten beşiğe modeli Stahel tarafından ilk olarak 1970 yılında önerilmiştir (Lovins, 2008). Bu prensibe göre bir ürün, ürünün veya malzemelerin çoklu yaşam döngüsünün mümkün olduğu şekilde tasarlanır ve üretilir. Kullanım aşamasından sonra ürünün teknik veya biyolojik yaşam döngüsünde devam edeceği, yani yeni bir malzemeye dönüştürüleceği belirtilmiştir. Bu materyallerin, boyaların, kimyasalların ve yardımcı maddelerin, kısacası tüm atıkların geri dönüşüm için uygun olması gerektiği anlamına gelir (yani biyolojik olarak parçalanabilir ve kullanılabilir) ve bu da zorlu bir iştir (Niinimäki, 2013).

McDonough ve Braungart'a göre, Sürdürülebilirlik için Tasarımın başarısı, beşikten beşiğe sistemine ne kadar iyi entegre olduğuna, israfın bir kavram olarak ne kadar elemine edildiğine, atık miktarının ne kadar azaltıldığına ve atıkların ne oranda değerlendirilebildiğine bağlıdır (McDonough ve Braungart, 2002). Beşikten beşiğe modelinde atılan ürün, herhangi bir israf olmaksızın döngüyü tamamlayan yeni bir ürün için materyal haline gelir (McDonough ve Braungart 2002; Kalkäjä, 2016).

Son yıllarda, üretim endüstrisinde Sürdürülebilirlik için Tasarım konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Özellikle ürün geliştirme süreçlerine tüm yaşam döngüsünü kapsayacak şekilde çevresel değerlendirmeleri dahil eden ve aynı zamanda kapalı döngü modelini benimseyen işletmeler pek çok fayda sağlamıştır (Cramer, 1999). Sürdürülebilirlik için Tasarım metodolojisini ürün

geliştirme süreçlerine dahil eden işletmelerin sağladığı faydalar aşağıda sıralanmıştır (Jawahir vd., 2005; Moustafa, 2025):

- *Üretim Maliyetlerinin Azalması*: Kaynak verimliliğinin artması ve atık yönetimi maliyetlerinin düşmesiyle doğrudan karlılığa katkı sağlar.
- *Ürün Geliştirme Süresinin Azalması*: Eşzamanlı mühendislik ve dijital araçlar sayesinde pazar taleplerine daha hızlı yanıt verilmesini sağlar.
- *Malzeme ve Enerji Tasarrufu*: Optimize edilmiş tasarım süreçleri, hammadde tüketimini ve enerji kullanımını minimize eder.
- *Döngüsel Ekonomiye Katkı*: Kullanılmış ürünlerin onarımı, yeniden kullanımı ve geri dönüşümü sayesinde kapalı döngü sistemleri oluşturulur.
- *Rekabet Avantajı ve Marka Değeri*: Sürdürülebilir ürünler, bilinçli tüketici kitlesi nezdinde marka bağlılığını ve pazar payını artırır.
- *Yasal Mevzuatlara Uyum*: Çevresel düzenlemelere ve uluslararası standartlara (örn. ISO 14001) uyumu kolaylaştırır.
- *Toplumsal ve Çevresel Kaygıların Giderilmesi*: Kurumsal sosyal sorumluluk çerçevesinde toplum refahına ve ekosistemin korunmasına hizmet eder.

1.5.6. Geri Dönüşüm ve Yeniden Üretim için Tasarım

Son yıllarda tasarımcılar, tasarımlarının çevresel etkilerini sadece ürünün ömrü boyunca değil, ürünün kullanım ömrünün sona ermesinden sonra da göz önünde bulundurmaya zorlanmaktadır (Harper ve Rosen, 1998). Bununla birlikte, tasarım ve üretimde çevresel düzenlemeler ve öncelikli olarak çevresel konuların müşteri perspektifine göre uygulanması çevreye ve topluma karşı bir yükümlülük haline gelmiştir. Öte yandan üretimde ürün geri kazanımı, geri dönüşüm ve yeniden üretim (parçaların ve ürünlerin yeniden kullanımı dahil) yoluyla eski ürünlerden malzeme ve parçaların geri kazanılmasıyla depolama alanlarına gönderilen atık miktarının en aza indirilmesi amaçlanmaktadır (Güngör ve Gupta, 1999). Günümüzde bu süreçler, Döngüsel Ekonomi 5.0 ve Yapay Zeka destekli otomatik söküm sistemleri ile entegre edilerek, hammadde bağımlılığını minimize eden stratejik bir rekabet unsuru haline gelmiştir (Rumetshofer ve Fischer, 2025; Ke vd., 2025).

Atıkların ortadan kaldırılması ve en aza indirilmesinde kullanılan stratejiler literatürde “atık yönetim stratejileri” olarak adlandırılmaktadır (Seadon, 2010). Atık yönetim stratejileri, endüstriyel zincirin sonlarına müdahale etmekte ve atık

üretiminin olumsuz çevresel etkilerini gidermeye yardımcı olmaktadır (Fletcher, 2008). Geleneksel üretim endüstrisinde en önemli ve en çok kabul gören atık yönetimi stratejileri, 3R'ler (Reduce/Azalt – Reuse/Yeniden Kullan– Recycle/Geri Dönüştür) olarak bilinen sıfır atık, geri dönüşüm, yeniden tasarım/üretimdir (Dissanayake ve Sinha, 2012). Son dönemlerde çevresel ve sürdürülebilir üretimin temeli ve gelişimi, 3R konseptlerinin geliştirilmesi ile *Yeşil Üretim Teknolojileri* olarak da adlandırılan 6R konsepti (Reduce/Azalt, Reuse/Yeniden Kullan, Recover/Kurtar, Redesign/Yeniden Tasarla, Reproduction/Yeniden Üret, Recycling/Geri Dönüştür) ile sağlanmıştır (Cimati vd., 2017; Payne, 2013).

Çevre açısından bakıldığında öncelikle, bir ürünün çevresel etkilerini tasarım geliştirme sürecine dahil ederek (Rosner, 2014) ürünü çevre standartlarına ve sürdürülebilirliğe uygun olarak üretmek ve olduğu gibi kullanmak en iyisidir; ikinci en iyi seçenek ürünü yaşam çevrimi sonunda yeni bir ürün olarak yeniden tasarım/yeniden üretimdir; üçüncü seçenek ise malzemelerin geri dönüşümüdür (Niinimäki, 2013). Geri Dönüşüm ve Yeniden Üretim için Tasarım stratejileri, ürün yaşam döngüsü üzerinde etkili oldukları için XİT metodolojilerine ait olarak kabul edilmekte özellikle yenilikçi tasarım yaklaşımlarında uygulanmaktadırlar (Chapman, 2015).

Geri dönüşüm için tasarım metodolojisinin kavramsal olarak anlaşılabilirliğini arttırmak için literatürde yer alan tanımlardan bazıları Tablo 1.7’de verilmiştir.

Tablo 1. 7. Literatürde Yer Alan Bazı Geri Dönüşüm için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Jovane vd.	1992	Kullanılmış bir ürünün malzemelerini veya bileşenlerini yeni ürünler için kullanılabilir hale getirmek için tasarlanmasıdır.
Beamon	1999	Atık maddeleri hammadde olarak işlemeyi içeren bir sürecin tasarımıdır.
Otto ve Wood	2001	Kirliliğin azaltılmasına yardımcı olan ve ürünlerin kolayca geri dönüştürülebilmesini sağlayan bir tasarım yaklaşımıdır.
Hauschild vd.	2005	Çevresel etkinin azaltılması için ürünün orijinal kullanım ömrü ile aynı amaç için veya ikincil amaçlarla yeniden kullanılmasını sağlayan tasarımıdır.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Ijomah vd.	2007	Atılan malzemelerin yeni ürünler üretmek için toplandığı, sıralandığı ve işlendiği faaliyetlerdir.
Duflou vd.	2008	Özellikle malzemelerin geri kazanımı üzerine odaklanmış bir tasarım ve üretim sürecidir.
Ilgın ve Gupta	2010	Ürüne dahil olan malzemelerin maliyet etkin geri dönüşümünü ve ayrıştırılmasını destekleyen tasarım nitelikleridir.
Fletcher ve Grose	2012	Ürünün atık depolama alanına geçişini geciktirerek kapalı bir döngü sistemi tasarımı oluşturma yaklaşımıdır.
Aakko ve Sivonen	2013	Sürdürülebilir tasarımda uygulanması gereken bir yol ve bilinçli bir geçiş stratejisidir.
Rodrigues vd.	2019	Ürün geliştirme süreçlerinde çevresel hususların simülasyon tabanlı araçlarla yönetilmesini sağlayan geri dönüşüm odaklı tasarım sürecidir.
Martínez	2020	Döngüsel eko-tasarım yaklaşımıyla, hem geri dönüşüm için tasarım (DfR) hem de geri dönüşümden tasarım (DffromR) süreçlerini birleştiren bütünsel bir sistemdir.
Willskytt	2021	Döngüsel ekonomi çağında, ürünün yaşam sonu değerini maksimize etmek için malzeme saflığını ve demontaj kolaylığını önceliklendiren bir mühendislik disiplini.
König vd.	2024	Hafif tasarım (lightweight design) ve kaynak koruma stratejileriyle uyumlu, yeniden üretim ve geri dönüşüm potansiyelini tasarım aşamasında belirleyen bir çerçevedir.
Rumetshofer vd.	2025	Geri dönüşüm kriterlerinin, uygun spesifikasyonların ve verimli ayıklama teknolojilerinin (sorting) etkileşimini tasarım aşamasında optimize eden ileri düzey bir stratejidir.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Geist	2026	Döngüsel teknosferde, geri dönüşüm ve yeniden üretimi dijital ürün pasaportları (DPP) ile izlenebilir kılan, malzeme döngülerini kapatmayı amaçlayan bütünlük bir tasarım metodolojisi.

Literatürdeki tanımlardan yola çıkarak Geri Dönüşüm için Tasarımın, çevresel etkilerin azaltılması, sürdürülebilirliğin sağlanması için atık maddeler ve kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin, ürünün orijinal kullanım ömrü ile aynı amaç için veya ikincil amaçlarla yeniden kullanılmasını ve yeniden montaj kolaylığı sağlayan kapalı döngü tasarım sistemi olarak genel bir tanımlı yapılabilir.

Bununla birlikte Geri Dönüşüm için Tasarım'ın ekosistem bileşenlerini dikkate alan bir destek mekanizması olarak XİT metodolojileri arasında Yeniden Üretim için Tasarım, Demontaj için Tasarım, Sürdürülebilirlik için Tasarım gibi ürün geliştirme aşamasından üretimine kadar ürünün verimliliğini artırma ve ürünün yaşam döngüsü aşamaları boyunca fayda ve faydasını optimize etme çabaları ile ilişkili belirli XİT özelliklerini içeren bir tasarım metodolojisi olduğu söylenebilir.

Geri Dönüşüm için Tasarım gerekli sökme, sıralama, yenileme, montaj ve kimyasal işlemlerin yapılmasıyla kullanım ömrünü tamamlamış ve atık olarak nitelendirilen ürünlerin, yeniden üretim ile ürünün (veya parçanın) kimliğini koruyarak ve ürünü istenen kalitede bir seviyeye getirmek için malzeme içeriğini iyileştirmeyi amaçlamaktadır (Güngör, 2006). Geri dönüşüm için tasarım ile ilgili ayrıntılı amaçlar ise (Hauschild vd., 2005, Jha vd., 2024; Diakun ve Grzejda, 2025):

- Parçaların zarar görmeden çıkarılmasını sağlamak için sökme kolaylığı için tasarım yapmak,
- Arındırıcı işlemin çevreye zarar vermemesini sağlamak için arıtma kolaylığı sağlamak için tasarım yapmak,
- Test kolaylığı ve sınıflandırması için, yeniden kullanılabilir parçaların durumu hakkında netlik kazandırmak ve parçaların doğru işaretlerle kolayca sınıflandırılmasını sağlamak.

- Yenileme kolaylığı için, parçaların yeniden işlenmesini desteklemek, ek malzeme ve kavrama ve ayarlama özellikleri sağlayarak tasarım yapmak,
- Dijital Ürün Pasaportları (DPP) kullanarak malzeme içeriğini ve sökülme talimatlarını dijital olarak erişilebilir kılarak geri dönüşüm verimliliğini artırmak

Geri Dönüşüm için Tasarımı ürün tasarımına dahil etmenin doğal yolu, disiplinler arası tasarım ekiplerinin kurulması ve belirli alanlarda uzmanlaşan bilgisayarlı tasarım ve asistanlar gibi çeşitli şekillerde gerçekleştirilen, temelini eşzamanlı mühendislik felsefesinin oluşturduğu XİT metodolojisidir (Kroll ve Carver, 1999: 191). Aynı zamanda Geri Dönüşüm için Tasarımın uygulanması için çeşitli klavuzlar ve el kitaplarından oluşan yönergeler geliştirilmiştir. Bu yönergelerin çoğu Demontaj için Tasarım ile bağlantılıdır. Bu yönergeler ve bağlantılar Yeniden Üretim İçin Tasarım metodolojisi için de geçerlidir. Aralarındaki fark, geri dönüşümde birbiri ile uyumlu maddi parçalar elde etmek önemli iken, yeniden üretim için, bileşenler ve bağlantıların en azından bir kez daha monte edilmesinin dikkate alınmasıdır (Sundin, 2009: 40).

Yeniden Üretim için Tasarım hem iş modellerinin tasarımı hem de ayrıntılı ürün tasarımı ile ilgilidir. Yeniden Üretim için Tasarım, çoklu yaşamın ticari fırsatlarını yakalamak ve iyileştirmek için eko-tasarım stratejilerinin temelini pragmatik bir şekilde oluşturan birbiriyle ilişkili bir tasarım stratejileri grubundan oluşur. Ancak Yeniden Üretim için Tasarım gri bir alandır. Genel olarak ekoloji, ilgisizlik, ihmal, şüphe ve devam eden kâr üretme potansiyelinin bilgi eksikliği dahil olmak üzere eko-tasarım ile aynıdır. Yeniden üretim sürecindeki tasarımın değeri, yeniden üretimde tüm paydaşlar tarafından daha iyi takdir edilmeli ve bunlara göre hareket edilmelidir. Bu paydaşlar hem tasarımı hem de yeniden üretimi kontrol etme yetisine sahip orijinal ekipman üreticileridir. Yeniden Üretim için Tasarım ayrıca iş modelinin tasarımını da kapsar. Detaylı tasarım süreci, ürün tasarımcıları, mühendisler veya tasarım mühendislerin katılımını gerektirir (Gray ve Charter, 2007: 67).

Yeniden Üretim için Tasarımın birçok tanımı mevcuttur, fakat bunların çoğu aynı temel ürün geliştirme fikrinin varyasyonlarıdır (Sundin, 2004: 2). Bu bağlamda literatürde yer alan bazı tanımlar Tablo 1.8’de verilmiştir.

Tablo 1. 8. Literatürde Yer Alan Bazı Yeniden Üretim için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Shu ve Flowers	1993	Yeniden üretime dahil olan adımlardan herhangi birini gerçekleştiren ürün tasarımıdır.
Sundin	2004	Çekirdek olarak adlandırılan ürünlerin yeniden ürün yaşam döngüsüne kazandırıldığı endüstriyel bir süreçtir.
Nasr ve Thurston	2006	Ürün stratejisi seviyesi (satış, pazarlama, servis desteği ve ters lojistik), detaylı ürün ve üretim mühendisliği düzeyinde ele alınan sürdürülebilir tasarım uygulamasıdır.
Gray ve Charter	2007	Satış, pazarlama, servis desteği, tersine lojistik / çekirdek toplama dahil olmak üzere ürün stratejisi, çekirdek toplama ve fonksiyonel tasarım dahil olmak üzere detaylı ürün tasarımıdır.
Charter ve Gray	2008	Bir ürünün yeniden üretimi kolaylaştırmak için tasarlandığı tasarım süreçlerinin bir kombinasyonudur.
Ijomah	2009	Kullanılmış bir ürünü en azından orijinal ekipman üreticisine orijinal performans spesifikasyonuna, müşterinin bakış açısıyla geri döndürme ve sonuçta ortaya çıkan ürüne en azından yeni üretilen bir ürüne eşdeğer bir garanti verme sürecidir.
Zhang vd.	2010	Nihai sistem güvenilirliğinin orijinal gerekliliklerden daha düşük olmamasını sağlamak için bir ürün güvenilirliği modeli oluşturmak ve güvenilirlik indekslerini bu bileşenlere ayırmak için kullanılan süreçtir.
Arnette vd.	2014	Ürün yaşam çevriminin sonuna gelmiş bir ürüne yeniden hayat verme yeteneğidir.
Fegade vd.	2015	Yeniden üretmeyi daha iyi kârlılık için optimize eden ve aynı zamanda yeniden üretimin anlaşılmasına ve çözümüne yardımcı olan yöntemdir.
Pozo Arcos ve Bocken	2018	Döngüsel ekonomi modelleriyle uyumlu, fonksiyonel geri kazanımı merkeze alan ve ürünlerin yeniden üretilebilirliğini tasarım aşamasında kurgulayan bir yaklaşımdır.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Hilton	2019	Tasarımcının, yeniden üretimin (remanufacturing) her aşamasını aktif olarak dikkate alarak ürünün bu süreçteki verimliliğini optimize ettiği bir metodolojidir.
Ceschin ve Gaziulusoy	2020	Ürün odaklı yaklaşımlardan sosyo-teknik sistem inovasyonuna doğru evrilen, çevresel ve sosyal değer yaratımını merkeze alan evrimsel bir tasarım disiplini.
Bhamra ve Hernandez	2021	Mühendislik, politika ve uygulama disiplinlerini birleştirerek, ürünlerin tüm yaşam döngüsü boyunca yeniden üretim performansını optimize eden disiplinlerarası bir alandır.
Asyraf vd.	2022	Yenilikçi malzeme seçimi ve eşzamanlı mühendislik prensipleriyle, ürünün yeniden üretilebilirliğini maksimize eden bir geliştirme sürecidir.
Agote-Garrido vd.	2023	Endüstri 5.0 paradigması çerçevesinde, sosyo-teknik sistemleri ve sosyal metabolizmayı tasarımın merkezine koyan, insan odaklı ve dayanıklı bir yeniden üretim yaklaşımıdır.
Vicente vd.	2024	Yeniden üretim araçlarının pratik seçimi ve uygulanması için kuramsal temeller sunan, döngüsel ekonomi prensipleriyle tam uyumlu bir tasarım metodolojisidir.
Mattioli ve Tessier	2025	Ekolojik, sosyal ve kültürel değerleri korumayı amaçlayan, işbirlikçi ve vizyoner stratejiler içeren kolektif bir yeniden üretim tasarım sürecidir.

Bu bağlamda yukardaki tanımlardan yola çıkarak, Yeniden Üretim için Tasarım metodolojisini, kendi kılavuz ve konular kümesiyle literatürde öne çıkan bir konu olarak çevre sorunları ve demotaj ile ilgili konuları kapsayan ve eşzamanlı mühendisliği içine alan, kullanım ömrünü tamamlamış ürünlerin yeniden kaliteli ürünler haline dönüşmesi için çekirdek koleksiyon geliştirme tasarım süreci olarak tanımlayabiliriz.

Yeniden Üretim için Tasarımın amacı, ürünün yeniden üretilebilirliğini arttırmak, dağılma veya kırılma özelliklerine sahip olmayan teknolojik ekipman

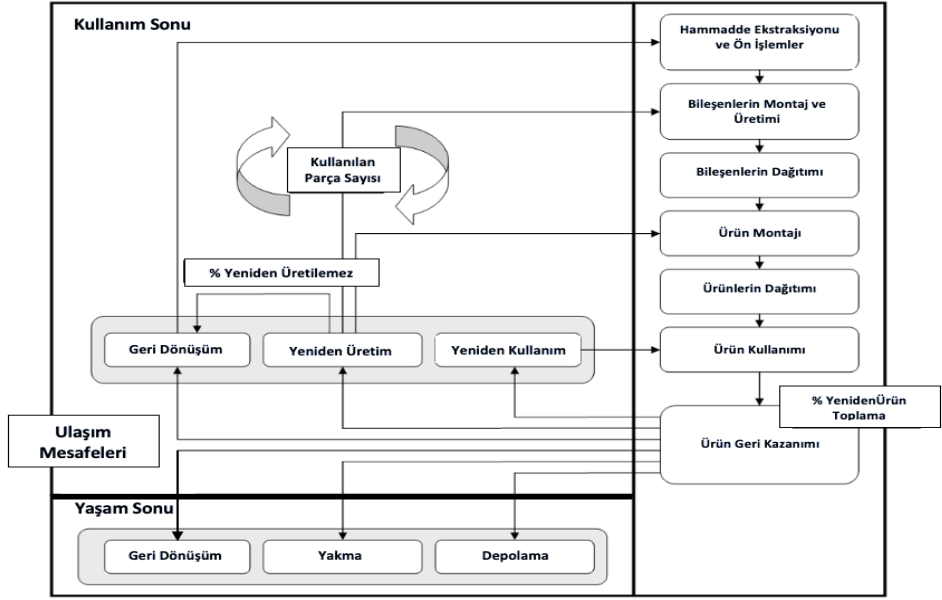
parçalarını üretmektir. Kullanım ömrünü tamamlamış ürünün orijinal şekline ve işlevselliğine getirilmesi için uygun teknolojinin mevcut olması gerekir. Bunun yanında XİT'in eşzamanlı mühendisliğin bir parçası olarak kabul edildiği, ancak yeniden üretimin tek bir görev olmadığı düşünülürse, aynı anda dikkate alınması gereken birçok faktör vardır. Bunlar Montaj için Tasarım ve Demontaj için Tasarım gibi metodolojilerdir (Fegade vd., 2015). Aynı zamanda Geri Dönüşüm için Tasarım yönergeleri ve bu bilgilere sahip olmak pazar sürelerini kısaltabilir ve yeniden üretilmiş ürünlerin kalitesini artırabilir. Bu süreçte ters lojistik gibi destekleyici sistemlerin olması da önemlidir (Sundin, 2009).

Yeniden Üretim ve Geri Dönüşüm için Tasarım arasında çok karmaşık senaryoların yanı sıra klasik bir yaşam döngüsü de elde edilebilir. Çevresel etkilerin gerçek nedenlerini göz önünde bulundurarak tasarımcıların uzmanlıklarına bağlı olarak bir tasarımcının bakış açısından yaşam döngüsünü modellemek için bazı aşamalardan yararlanılır. Bu aşamalar aşağıdaki gibidir (Amaya vd., 2010):

- Malzeme Ekstraksiyonu ve Dönüşümü,
- Bileşen İmalatı ve Montajı,
- Bileşen Dağılımı,
- Ürün Montajı,
- Ürün Dağıtım,
- Ürün Kullanımı,
- Ürün Geri Alma,
- Bileşen kullanım ömrü beş seçenektir (yeniden kullanım, yeniden üretim, geri dönüşüm, yakma, depolama).

Bu aşamaları gösteren yaşam döngüsü modeli Şekil 1. 5'de verilmiştir.

Şekil 1. 5. Yeniden Üretim için Tasarım ve Geri Dönüşüm için Tasarım da Kullanılan Ürün Yaşam Döngüsü Aşamaları



Kaynak: Amaya vd., 2010

Bu bağlamda, ürün tasarımına dahil olan herkes bu modele kendi verilerini (mühendislik, tedarik zinciri, kurtarma ...) entegre ederek, ortak bir hedefe ulaşmak için kullanabilirler. Daha sonra, bu modelle, tasarımcılar ürünü tasarlarken ürün yaşam döngüsünü temsil edebilir ve tasarlayabilirler (Amaya vd., 2010).

Malzeme geri dönüşümü ile ilgili olarak, yeniden üretimin iki önemli avantajı vardır. İlk olarak, mevcut bileşenlerin kullanımı sadece atıkların toprağa eklenmesiyle elde edilen maddi atık miktarı azalmakla kalmaz aynı zamanda üretim sırasında enerji ve madde tüketimini azaltır. İkincisi, mevcut bileşenlerin kullanımı, bir işletmenin yeni bileşenler üretmesine veya temin edilmesine yönelik parasal harcamalarını azaltır (Go vd., 2015). Xerox, Yeniden Üretim için Tasarımın bir işletmeye nasıl fayda sağlayabileceğinin bir örneğidir. Xerox, 1990'ların başlarında yeniden üretime geçmeye başladı ve şu anda bu alanda bir dünya lideridir (Gray ve Charter, 2007). Yeniden üretime geçilmesi, kullanılmış ürünlerin “uyumlu yeni” bir işlevsel duruma getirilmesi için bir garanti sürecine hem düzenli hem de doğal malzemenin, enerjinin ve katı maddelerin seviyesini düşürdüğü için, geleneksel üretimden daha karlıdır (Ijomah vd., 2007a).

Geri Dönüşüm ve Yeniden Üretim için Tasarım metodolojilerinin başarılı bir şekilde uygulanması, işletmelere sadece çevresel değil, aynı zamanda stratejik ve ekonomik pek çok fayda sağlar (Moustafa, 2025; Okorie vd., 2025). Modern literatürün de ışığında Geri Dönüşüm ve Yeniden Üretim için Tasarımın olası faydaları aşağıdaki verilmiştir (Gray ve Charter, 2007; Fegade vd., 2015; Moustafa, 2025; Okorie vd., 2025):

- Hammadde Maliyetlerinin Azalması: Geri kazanılan malzeme ve parçaların kullanımı, yeni hammadde ihtiyacını ve buna bağlı maliyetleri düşürür.
- Enerji Tasarrufu: Yeniden üretim süreçleri, sıfırdan üretime göre genellikle %60-80 oranında daha az enerji gerektirir.
- Karbon Ayak İzinin Küçültülmesi: Malzeme döngülerinin kapatılması, üretim ve lojistik kaynaklı emisyonları radikal bir şekilde azaltır.
- Yasal Mevzuatlara ve Standartlara Uyum: Özellikle AB'nin "Sürdürülebilir Ürünler için Eko-tasarım Yönetmeliği" (ESPR) gibi yeni düzenlemelerine tam uyum sağlar.
- Marka Değerinin Artması: Döngüsel ekonomi prensiplerini benimseyen işletmeler, çevreye duyarlı tüketici segmentinde güçlü bir rekabet avantajı elde eder.
- Yeni İş Modelleri (Servisleşme): Ürünlerin yeniden üretilebilir olması, "Hizmet Olarak Ürün" (Product-as-a-Service) gibi yenilikçi iş modellerini mümkün kılar.

Ürün tasarımında sürdürülebilirliği desteklemek için geliştirilen metodolojiler olarak Yeniden Üretim için Tasarım, ürünün geri kazanımı üzerinde çevresel ve finansal normlar temelinde geri dönüşümden daha iyi bir avantaj sağlamaktadır. Yeniden Üretim için Tasarım, çevresel etki üzerinde en güçlü etkiyi verir ve aynı zamanda tasarım aşamasında yer alan ürün kapasitesini de belirler (Fegade vd., 2015).

1.5.7. Lojistik için Tasarım

Günümüz rekabet koşullarında işletmeler, ürünlerini kaliteli ve ekonomik üretmeye, sonrasında kaliteli bir servis hizmeti vermeye ve müşterinin istediği zamanda, mekânda ve yerde ürünlerini teslim etmeye zorlanmaktadırlar. Bu durum işletmelerin lojistik faaliyetlerinin, işletmelerin başarılarında önemli bir fonksiyonel alan oluşturduğunu göstermektedir. Özellikle lojistiğin, müşteri memnuniyetinin sağlamasında, sürdürülmesinde ve işletmelerin maliyet

yapılarının iyileştirilmesinde önemli bir paya sahip olduğu dikkate alınmalıdır (Bilginer vd., 2008).

Lojistik, müşterilerin ihtiyaçlarını karşılamak için tüketim noktası ile üretim noktası arasındaki ilgili bilgileri planlamak ve uygulamaktır. Küreselleşen pazarda ürünlerin sadece üretilmesi değil, aynı zamanda doğru zamanda, doğru miktarda ve en düşük maliyetle tüketiciye ulaştırılması kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda Lojistik için Tasarım (DFL), ürünün paketlenme, depolama, taşıma ve dağıtım süreçlerini optimize etmek amacıyla tasarım aşamasında lojistik gereksinimlerin dikkate alınmasıdır (Dowlathahi, 1996). Lojistik verimliliği ve hizmet düzeylerini artırmak için ürün tasarımı sırasında ticaret ortaklarının kapasitelerini dikkate alarak, tek bir işletme bakış açısından ele alınan bir XİT yaklaşımıdır (Kao, 2010). Etkili lojistik fonksiyonları, bir ürünün nihai maliyetinde önemli bir fark yaratabilir. Lojistik için Tasarım metodolojisi, lojistik maliyetleri kontrol altına almak ve müşteri hizmet seviyelerini artırmaya yoğunlaşmaktadır (Simchi-Levi ve Kaminsky, 2004). Ayrıca Lojistik için Tasarım metodolojisi, bir ürünün boyutunu ve ağırlığını azaltmayı amaçlamaktadır, çünkü bunlar genellikle lojistik maliyetlerini doğrudan etkilemektedir (Swink vd., 2011; Martikainen, 2012).

Lojistik için Tasarım metodolojisi tartışılırken ürün mimarisi önemli bir kavram olarak ortaya çıkar. Burası, ürünün parçalara bölündüğü, kaynak bulma ile ilgili hususlara ihtiyaç duyan (yap / satın al) ve daha sonra birleştirilecek olan arayüzlerin tanımlandığı yerdir. Lojistik için Tasarım metodolojisi, bir tedarik zinciri geliştirme departmanı için şirketteki lojistik organizasyonla iş birliği içinde bir görevdir ve ürün ve müşteri ihtiyaçlarını yansıtan rekabetçi bir lojistik konseptinin sürekli geliştirilmesini içerir (Gubi,2003).

Literatürde lojistik için tasarım, ürün tasarımı ile tedarik zinciri yönetimi arasındaki entegrasyonu sağlayan ve toplam lojistik maliyetlerini minimize etmeyi hedefleyen bir metodoloji olarak tanımlanmaktadır (Gremyr vd., 2014). Günümüzde bu yaklaşım, Endüstri 5.0 ve Lojistik 4.0 teknolojileri ile birleşerek, AI destekli rota optimizasyonu, otonom teslimat sistemleri ve akıllı paketlenme çözümleriyle lojistik verimliliği en üst seviyeye taşımaktadır (Mikkola, 2021; Dai, 2026). Lojistik için tasarımın temel odak noktası, ürünün fiziksel özelliklerini (boyut, ağırlık, şekil) lojistik ağın kısıtlarına göre optimize etmektir. Örneğin, ürünlerin standart palet boyutlarına uygun tasarlanması veya demonte edilebilir (flat-pack) yapıda olması, taşıma kapasitesinin daha verimli kullanılmasını sağlar (Goldsby vd., 2014). Ayrıca, ambalaj tasarımının ürün koruması ile hacimsel verimlilik arasında bir denge kurması hem maliyetleri düşürür hem de karbon ayak izini azaltarak sürdürülebilirliğe katkı sağlar (Moustafa, 2025). Modern lojistik stratejilerinde, ürünler Dijital Ürün

Pasaportları (DPP) ve RFID sistemleri ile donatılarak tedarik zinciri boyunca gerçek zamanlı izlenebilirlik sağlanmaktadır (SBS Group, 2025).

Lojistik için Tasarım metodolojisinin kavramsal olarak anlaşılabilirliğini arttırmak için literatürde yer alan tanımlardan bazıları Tablo 1.9’da verilmiştir.

Tablo 1. 9. Literatürde Yer Alan Bazı Lojistik için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Lee	1992	Lojistiğin güçlenmesini ve gelişmesini destekleyici önemli bir tasarım stratejisidir.
Dowlatsahi	1996	Kullanılabilirlik, desteklenebilirlik, maliyet, kalite gibi lojistik özellikleri taşıyan bir sistem yaklaşımıdır
Simchi-Levi vd.	2000	Hacim değişiklikleri, zamanında teslim gibi bir tasarımcının fonksiyonel gereksinimlerini içeren bir sistem yaklaşımıdır.
Gubi	2003	Ürün oluşturma sürecinde lojistik faaliyetlerin de dikkate alınması gerektiğini vurgulayan bir tasarım modelidir.
Kao	2006	Lojistik verimliliği ve hizmet seviyelerini artırmak için kullanılan bir ürün tasarım sürecidir.
Lian vd.	2007	Üretim kaynağından varış noktasına ürün gibi kaynakların, bilgilerin ve malların akışını yönetme ve kontrol etme sanatı ve bilimidir.
Kao	2010	Lojistik verimliliği ve hizmet düzeylerini artırmak için ürün tasarımı sırasında ticaret ortaklarının kapasitelerini dikkate alarak, tek bir şirketin bakış açısından ele alınan bir tasarım yaklaşımıdır
Gremyr vd.	2014	Ürün geliştirme sürecinde lojistik gereksinimlerin bir tasarım kısıtı olarak ele alınması ve optimize edilmesidir.
Chung vd.	2017	RFID tabanlı sistem tasarımı ile lojistik uygulamalarında ürün takibini ve yönetimini optimize etme yaklaşımıdır.
Bielecki ve Hadas	2018	Ürünün lojistik süreçlere (taşıma, depolama, paketleme) olan duyarlılığını ve lojistik verimliliğini tasarım aşamasında optimize etme konseptidir.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Pashaei ve Olhager	2019	Tedarik zinciri boyunca malzeme akışını optimize etmek için ürün mimarisini ve paketleme sistemlerini entegre eden bir tasarım yaklaşımıdır.
Nautiyal vd.	2020	Gelişmekte olan bölgelerde lojistik ve tedarik zinciri yönetimini iyileştirmek için blokzincir teknolojisini tasarım süreçlerine entegre etme çabasıdır.
Bielecki vd.	2021	Lojistik açıdan verimli bir ürün yaratmak için tasarım kararlarını lojistik gereksinimlerle bütünleştiren bütünsel bir yaklaşımdır.
Maxwell vd.	2022	İnşaat ve üretim takibi için lojistik verilerini kullanarak tasarım yoluyla operasyonel verimliliği artıran bir yaklaşımdır.
Fayezi vd.	2023	Tedarik zinciri belirsizliklerini yönetmek için ürünün lojistik adaptasyon kabiliyetini tasarım aşamasında kurgulayan bir yöntemdir.
SBS Group	2024	Nakliye verimliliğini artırmak ve emisyonları azaltmak için ürün paketleme ve yükleme simülasyonlarını tasarım sürecine entegre eden bir stratejidir.
Dai vd.	2026	Endüstri 5.0 ekosisteminde, teşvik sözleşmeleri ve akıllı lojistik ağları ile entegre, otonom teslimat sistemleri için optimize edilmiş ileri düzey bir tasarım metodolojisidir.

Bu bağlamda yukardaki tanımlardan yola çıkarak, Lojistik için Tasarım metodolojisini, lojistiğin güçlenmesini ve gelişmesini destekleyici, kullanılabilirlik, desteklenebilirlik, maliyet, kalite gibi lojistik özellikleri taşıyan ve hacim değişiklikleri, zamanında teslim gibi bir tasarımcının fonksiyonel gereksinimlerini içeren, verimliliği ve hizmet seviyelerini artırmak için ürün tasarımı sırasında ticaret ortaklarının kapasitelerini göz önünde bulunduran bir tasarım süreci olarak tanımlayabiliriz.

Lojistik için Tasarım süreci Ambalaj için Tasarım, Taşınabilirlik için Tasarım, Lojistik Mühendisliği ve Üretim Lojistiği modüllerinden oluşmaktadır. Ambalaj için Tasarım ambalaj malzemeleri, ambalaj testi, ambalaj tasarım özellikleri ve fonksiyonel ambalaj gereksinimleri faktörlerinden; Taşınabilirlik için Tasarım

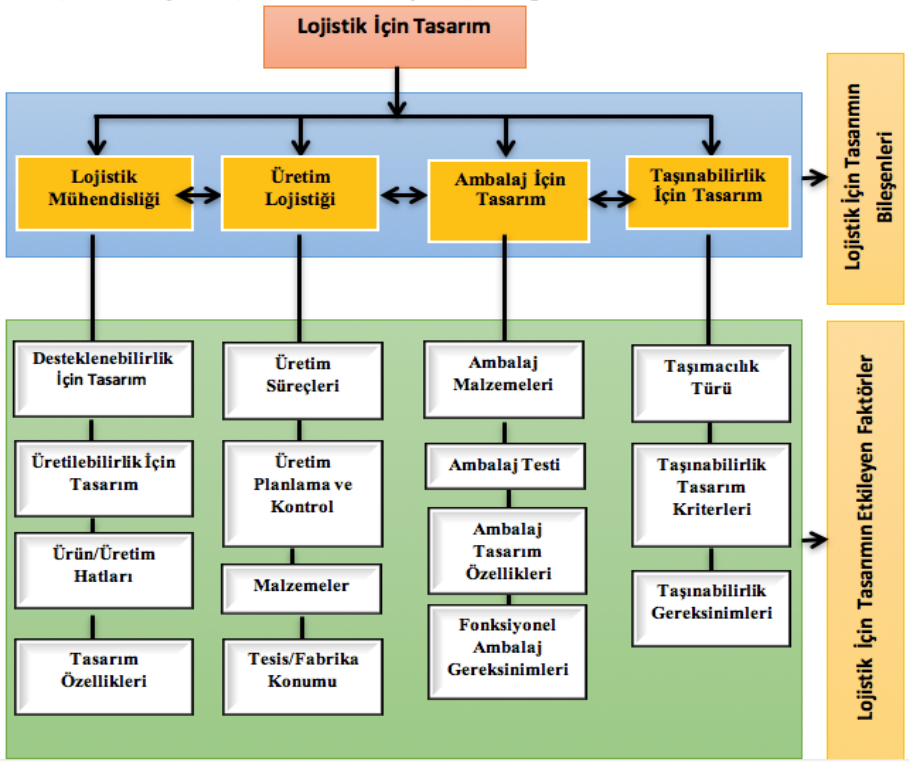
taşımacılık türü, taşınabilirlik tasarım kriterleri ve taşınabilirlik gereksinimleri faktörlerinden; Lojistik Mühendisliği desteklenebilirlik için tasarım, üretilebilirlik için tasarım, ürün/üretim hatları ve tasarım özellikleri faktörlerinden ve Üretim Lojistiği üretim süreçleri, üretim planlama ve kontrol, malzemeler ve tesis/ fabrika yeri faktörlerinden oluşmaktadır. Lojistik için Tasarım süreci bağlamında Ambalaj için Tasarım, Taşınabilirlik için Tasarım, Lojistik Mühendisliği ve Üretim Lojistiği uygulamalarına ilişkin bilgiler Tablo 1.10'da özetlenmiştir.

Tablo 1. 10. Lojistik için Tasarım Bileşenleri

Lojistik için Tasarımın Bileşenleri	Açıklama
Ambalaj için Tasarım (Dowlathahi,1996; Gnanasekaran vd. 2003)	Ambalaj bir ürünün görüntüsünü oluşturan ve maliyetini artıran önemli bir özelliktir. Ürün ambalajlama önemli bir pazarlama aracıdır ve toplam ürün maliyeti, kullanım kolaylığı ve müşterilerin algısı üzerine önemli bir etkisi vardır. Ambalaj ve paketleme aynı zamanda ürünü kırılma, dökülme, vb. fiziksel olumsuzluklardan korumaktadır. Geçmişte tasarımcılar tasarımı sadece pazarlama ve üretim gereksinimlerini dahil etmişlerdir. Bu ise genel ürün ve sistem performansı açısından daha yüksek işletme maliyetleri ve kullanım verimsizliğine yol açmıştır. Kötü ambalaj, düşük satış, hasar görmüş içerikleri, müşteri memnuniyetsizliği ve malzeme taşıma, depolama ve nakliye yüksek maliyet ise sonuçlarıdır. Ambalaj için tasarım ve paketleme lojistik maliyetlerde ortalama %12 kâr sağlayabilmektedir. Ambalaj için tasarım modülü ile ilişkili tasarım faktörleri Ambalaj Malzemeleri, Ambalaj Testleri, Ambalaj Tasarımı ve Özellikleri ve Fonksiyonel Ambalaj Gereksinimleri şeklindedir.
Taşınabilirlik için Tasarım (Dowlathahi,1996; Gnanasekaran vd. 2003)	Ulaştırma maliyetleri pek çok işletme açısından lojistik maliyetleri içinde en önemli unsurdur. Taşınabilirlik için etkili bir tasarım işletmeler arası rekabeti doğrudan etkiler, oluşan ölçek ekonomileri ile mal ve hizmetlerin fiyatını azaltır. Taşınabilirlik için tasarım alt sistemi ile ilişkili tasarım faktörleri Ulaşım Modu, Tasarım Kriterleri ve Taşınabilirlik Sorunları'dır.
Lojistik Mühendisliği (Dowlathahi,1996; Simchi-Levi vd. 2000; Gnanasekaran vd. 2003)	Lojistik mühendisliğinde ürün yaşam döngüsü boyunca ürün ve sistemlerin desteklenebilirliği ile ilgilenilmektedir. Aynı zamanda en son tasarım yapılandırılmasına uygun olması için gereken koşullar sağlandığında tasarım süreci ile de ilgilidir. Lojistik mühendisliği faaliyetleri yürütülürken tasarlanan ürünün büyüklüğü, ağırlığı, güvenilirliği, emniyeti, üretilebilirliği, maliyeti gibi konular tasarım sürecinin ayrılmaz bir parçası olmalıdır. Lojistik mühendisliği çevresel etkileri, enerji tasarrufu, katı atık taşıma ve imha etmeyi de dikkate alır. Bunun yanında tasarım ve lojistik mühendisleri sağlam ve eksiksiz tasarım özellikleri, periyodik ziyaretler, etkili planlama ve etkili ve sürekli bir iletişimin geliştirilmesini sağlayarak iş birliği içinde olmalıdır. Lojistik mühendisliği kriterleri ürün tasarımının (ürün desteklenebilirliği için tasarım) yaşam döngüsü yönlerini de destekler. Lojistik mühendisliğinin alt sistemi ile ilişkili tasarım faktörleri Desteklenebilirlik İçin Tasarım, Üretilebilirlik İçin Tasarım, Ürün/Üretim Hatları ve Tasarım Özellikleri'dir.
Üretim Lojistiği (Dowlathahi,1996; Simchi-Levi vd. 2000; Gnanasekaran vd. 2003).	Üretim süreçleri ve faaliyetlerinin özellikleri, lojistik faaliyetler ve lojistik sistem tasarımında önemli bir belirleyicidir. Üretilebilirlik, ürün tasarımının temel bir özelliği olarak, lojistik için tasarımda önemli bir katkıda bulunmaktadır. Üretim Lojistiği alt modülleri ile ilgili tasarım faktörleri İmalat İşlemleri, Üretim Planlama ve Kontrol, Malzeme ve Fabrika/Tesis Yeri'dir.

Lojistik için Tasarım dört alt bölüme ayrılmıştır. Bu alt sistemler tasarım, üretim, pazarlama, lojistik, dağıtım, paketleme ve genel ürün tasarımının diğer benzer yönlerini kapsamaktadır (Dowlatshahi, 1996; Simchi-Levi vd. 2000). Lojistiğin önemi göz önüne alındığında Lojistik için Tasarım faaliyetleri yürütülürken Ambalaj için Tasarım, Taşınabilirlik için Tasarım, Lojistik Mühendisliği ve Üretim Lojistiği, tasarım aşamasında eş zamanlı olarak gözden geçirilmelidir (Chiu ve Okudan, 2011). Şekil 1.6'da Lojistik için tasarımın hiyerarşik yapılandırılması verilmiştir.

Şekil 1. 6. Lojistik için Tasarımın Hiyerarşik Yapılandırılması



Kaynak: Dowlatshahi, 1996'dan geliştirilmiştir.

Lojistik faaliyetler, işletme faaliyetlerine değer katmanın yanısıra işletme etkinliğinin artırılmasını da sağlamaktadır. Son yıllarda lojistik faaliyetler işletmeler açısından önemli rekabet araçlarından birisi haline gelmiştir. Aynı zamanda müşteri değeri yaratılması ve bütünsel olarak işletmenin başarısının oluşmasında son derece önemli bir hale gelmiştir. Günümüzde iş hayatını şekillendiren gelişmeler ve yaşanan hızlı değişim işletmelerin dinamik olmalarını zorunlu kılmaktadır. Özellikle müşteri beklenti ve ihtiyaçlarının en yüksek

düzeyde fayda sağlayacak şekilde karşılanması temel faktördür (Kasımoğlu, 2002). Bu bağlamda işletmeler arasında rekabetin giderek lojistik faaliyetler yönünde olması, işletmeler açısından lojistik kavramının önemini açıkça ortaya koymaktadır (Kotler, 2004). Bunun yanı sıra artık günümüzde ürünlerin sadece üretim ve montaj bakımından ucuz olması rekabet açısından bir önem taşımamaktadır. Aynı zamanda rekabetçi bir ürün ortaya koymak ve para giriş süresini kısaltmak için müşteri ihtiyaçlarındaki değişimler de dikkete alınmalıdır. Bu bağlamda pazar dinamiklerinde esneklik müşteriye memnun edebilir nitelikte tasarlanmalıdır. Lojistik için Tasarım tam da bu nokta da önem kazanmaktadır (Mather, 1992).

Bir sistem yaklaşımı olarak Lojistik için Tasarım, tasarımcının fonksiyonel gereksinimlerinin yanı sıra, kullanılabilirlik, desteklenebilirlik, maliyet, kalite, hacim değişiklikleri, zamanında teslimat, sipariş aralıkları vb. lojistik şartları içermektedir (Kao, 2010). Lojistik için Tasarım metodolojisi, tasarımcının lojistik sistemlerin tasarımında aktif bir katılımcı olmasını sağlaması açısından önemlidir (Gnanasekaran vd., 2003). Aynı zamanda, ürün tasarımı sırasında ticaret ortaklarının kapasitelerini gözönünde bulundurarak, lojistik verimliliği ve hizmet düzeylerini arttırmaktadır (Kao, 2010; Smichi, 2003). Bu nedenle tasarım aşamasında lojistik sürecin tam kapsamının ve kapasitesinin incelenmesi, tedarik bileşenlerinin verimliliği ve son olarak bitmiş ürünün teslimatı açısından da önemlidir (Kao, 2010). Öte yandan gecikmiş ürün farklılaştırılması², yerleştirme, parça ortaklığı, eş zamanlı işleme ve ayrıştırma görevleri ile ürün hattını yeniden yapılandırma gibi unsurlara sahip olması bu metodolojinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu unsurların en önemli yararı ise işletmelere erteleme ve esneklik kazandırmasıdır (Kao, 2010; Lee, 1992).

Lojistik için Tasarım, depolama, taşıma malzemeleri ve tedarik zinciri boyunca son müşteriye teslimine kadar olan süreçte lojistik maliyetler, ürün maliyetlerinin önemli bir unsurunu oluşturmaktadır. Dolayısıyla ürün tasarımı sürecinde lojistik faaliyetlerin tasarıma dahil edilmesi maliyetleri önemli ölçüde olumlu yönde etkileyecek ve rekabet üstünlüğü sağlayacaktır (Lee, 1992: 46). Bu bağlamda Lojistik için Tasarım faaliyetlerinin uygulanmasının işletmeye sağlayabileceği olası faydalar aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Mikkola, 2021; Dai, 2026):

² **Gecikmiş Ürün Farklılaşması**, ürün performansı ve müşteri memnuniyetini arttırmak için kullanılan bir tasarım konseptidir. Bu konseptin amacı farklılaşma noktasını mümkün olduğunca geciktirerek ürünü ve üretim sürecini yeniden tasarlamaktır. Bir strateji olarak pek çok yazar tarafından tartışılmıştır. Bu bağlamda tedarik zinciri ve lojistik performansı arttırmada kullanılan değerli bir yaklaşım olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu konsept ilk defa 1950 yılında pazarlama literatüründe Alderson tarafından ortaya atılmıştır (Hsu vd.,2004:185; Jewkes vd.,2008:735).

- *Lojistik Maliyetlerin Azalması*: Taşıma, depolama ve elleçleme maliyetlerinin tasarım yoluyla minimize edilmesini sağlar.
- *Hacimsel Verimlilik*: Ürün ve ambalaj boyutlarının konteyner, palet ve raf sistemlerine tam uyumu sayesinde doluluk oranlarını artırır.
- *Paketleme Optimizasyonu*: Daha az malzeme ile daha yüksek koruma sağlayan akıllı ambalaj tasarımları ile atık miktarını düşürür.
- *Teslimat Sürelerinin Kısalması*: Standartlaştırılmış ve modüler ürün yapıları, yükleme ve boşaltma sürelerini hızlandırarak "tam zamanında" (JIT) teslimatı destekler.
- *Karbon Ayak İzinin Azaltılması*: Daha verimli nakliye ve daha az ambalaj atığı sayesinde çevresel sürdürülebilirliğe doğrudan katkı sağlar.
- *Envanter Yönetimi*: Ürün çeşitliliğinin tasarım yoluyla yönetilmesi (erteleme stratejileri gibi), stok maliyetlerini ve risklerini azaltır.
- *Küresel Pazarlara Uyum*: Farklı bölgelerdeki lojistik standartlara ve yasal kısıtlara (örn. ağırlık limitleri) tasarım aşamasında uyum sağlar.

Lojistik için Tasarım metodolojisi, tasarımcının lojistik sistemlerin tasarımında aktif bir katılımcı olmasını sağlaması açısından önemlidir (Gnanasekaran vd., 2003: 5).

Lojistik ve tasarım faaliyetlerinde işbirliği (tasarımcı ve lojistikçi arasında), işletme için önemli başarılarla neden olabilecektir. Bu alanlarda sağlanan işbirliği, üretim lojistiğinin çeşitleri için de geçerli olmasına rağmen, her firmanın kendine ait özel şartları ve çevresinden kaynaklanan belirli, uygun ve özel yapılmış programların seçilmesine dikkat edilmelidir. Bu süreç daha önemli ve dikkat gerektiren sonraki konular üzerinde de odaklanmak için olanak sağlamaktadır. İşletmelerin tasarım sürecinde lojistik birimi meşru bir otorite ve temsilci değilse, başarısız olmaları kaçınılmazdır. Bu bağlamda üst yönetim gerçek anlamda tasarım aşamasında lojistik katılımı teşvik etmelidir. İşletmeler tasarım sürecini eş zamanlı olarak değil de daha sıralı gerçekleştirilen soyut bir süreç olarak görüyorlarsa şayet önemli bir başarı elde edemeyeceklerini bilmeleri gerekir. Lojistik ve tasarım arasında etkili bir diyalog ancak bariyerler ve engeller ortadan kaldırıldığında oluşabilir. Bu aşamada üst yönetimin desteği ve olumlu bir kurum kültürü ve böyle bir ortam fikrini aşılacak ve teşvik etmek için gereklidir. İşletmelerin dünya çapında rekabet edebilmek ve maliyetlerde kazanım sağlayabilmek için Lojistik için Tasarım metodolojisine yoğunlaşmaları gerekmektedir (Güleş vd., 2018: 136).

Tasarım aşamasında uygulanacak etkili bir lojistik tasarım, işletme performansı ve müşteri memnuniyeti açısından büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla işletmeler Lojistik için Tasarım uygulaması ile önemli kazanımlar elde edebilecektir.

1.5.8. Kalite için Tasarım

Kalite, doğrudan fiyatlandırma, müşteri tepkisi, sadakat, kârlılık ve sırayla genel ürün başarıları ile ilgili önemli bir ürün tasarım kriteridir. Rekabetin yüksek olduğu küresel pazarlarda bir ürünün kalite beklentileri çok yüksektir. Kalite, işletmelere pazarda rekabet avantajı sağlayan önemli bir ölçüm aracıdır. Mühendislik ve endüstri alanlarındaki kalite bir üreticinin ürünlerini rakiplerinden ayıran özellikler olarak nitelendirilebilir. Kalite, işlevsellik, güvenilirlik, güvenlik, kullanılabilirlik vb. gibi bir dizi başka tasarım hedefine bağlıdır. Algılanan kalite veya itibar, bir ürünün başarısı için çok önemlidir (Sreekumar, 2013).

Ürün tasarımı sürecinde ilk olarak kalite tasarlanmakta ve ürüne yerleştirilmektedir. Ürün tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanılması ve önemli bir tasarım parametresi olması sebebiyle Kalite için Tasarım, XİT metodolojileri arasında değerlendirilmektedir (Martikainen, 2012: 18). Kalite için Tasarım, amaca uygun bir ürün geliştirme ile ilgilidir. Bu, ürün tasarımının müşterinin gereksinimlerini karşıladığından veya aştığından ve ürünün üretim varyasyonlarına karşı sağlam olduğundan emin olmak demektir (Holt ve Barnes, 2009: 125)

Kalite için Tasarım, bir işletmenin müşterilerini (diğer bir deyişle performans ve özellikler) ve XİT ile ilgili hususları karşılamak için gereken tüm tasarım hedeflerini karşılayan veya aşan bir tasarımıdır. Bu aşamada, kalite, ürünün ilk konseptinden başlayarak, ürüne ve üretim sürecine göre tasarlanır. Tasarım kalitesi, XİT yaklaşımının temel bir özelliğidir (Gatenby ve Foo, 1990: 3).). Kalite için Tasarım, ürünün sadece fonksiyonel gereksinimlerini değil, aynı zamanda güvenilirlik, dayanıklılık ve üretilebilirlik gibi kalite boyutlarını da tasarımın merkezine koyar (Hasan vd., 2024). Denetim ve istatistiksel kalite kontrolünün zayıf olduğu kötü bir tasarımın telefisi olamayacağı için, ürünün tasarım aşamasında kalitenin dahil edilmemesi gerekmektedir. Bunu sağlamanın yolu da Kalite için Tasarım metodolojisi ile mümkündür (Kuo vd., 2001: 251).

Günümüzde Endüstri 5.0 ve Kalite 4.0 yaklaşımları, kalite için tasarım metodolojisini dijital dönüşümle yeniden şekillendirmektedir. Yapay Zeka (AI) destekli kalite tahmini, Dijital İkizler (Digital Twins) ve Büyük Veri Analitiği, tasarımcıların gerçek zamanlı verilerle ürün kalitesini simüle etmelerine ve "Sıfır Hata" (Zero Defect Manufacturing) hedefine ulaşmalarına olanak tanımaktadır

(Psarommatis ve Azamfirei, 2024; Saraiva ve Watson, 2025). Kalite için tasarım, sadece teknik bir gereklilik değil, aynı zamanda müşteri memnuniyetini artıran ve garanti maliyetlerini düşüren stratejik bir rekabet unsuru olarak kabul edilmektedir (Zheng vd., 2024).

Kalite için tasarım metodolojisinin kavramsal olarak anlaşılabilirliğini arttırmak için literatürde yer alan tanımlardan bazıları Tablo 1.11’de verilmiştir.

Tablo 1. 11. Literatürde Yer Alan Bazı Kalite için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Magrab	1998	Yüksek kalite, güvenilirlik, hizmet verilebilirlik, güvenlik, kullanıcı dostu olma gibi en çok tercih edilen özellikleri en üst düzeye çıkaran ürünleri tasarlamaya çalışan bilgi temelli bir yaklaşımdır.
Das vd.	2000	Üretim sürecindeki kusurların azaltılması ve bir ürüne kalite kazandırmak için kullanılan bir metodolojidir.
Kuo vd.	2001	Müşteri gereksinimlerinin, ürün geliştirme sürecinin her aşamasında ilgili teknik gereksinimlere doğru şekilde aktarılmasını sağlamak için bir araçtır.
Chan ve Wu	2002	Ürün geliştirme ve üretim süreci planlama, ürün tasarımı ve mühendisliği, prototip oluşturma ve değerlendirme ve üretim süreci geliştirmenin her aşaması için müşterilerin gereksinimlerini ilgili teknik şartnamelere çevirmenin bir yolunu sağlayan genel bir kavramdır.
Herrmann vd.	2004	Kusurları sınıflandırmak ve tasarım parametreleriyle eşleştirmek için ürün tasarım dosyalarındaki ve montaj dizilerindeki etki faktörlerini analiz eden bir yöntemdir.
Nepal vd.	2006	Müşterinin ürünün kalitesiyle ilgili algısını ölçmenin ve buna uyum sağlamanın bir yoludur.
Holt ve Barnes	2009	Ürünün altında yatan tasarımının müşterinin gereksinimlerini karşıladığından veya aştığından ve ürünün imalat varyasyonlarından, sağlam olduğundan emin olmak için kullanılan bir yöntemdir.
Sivasad vd.	2014	Ürün karmaşıklığını yöneterek kalite risklerini tasarım yoluyla minimize eden entegre bir yaklaşımdır.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Zonnenshain ve Kenett	2020	Kalite 4.0 ekosisteminde, veri analitiği ve bilgi kalitesini (InfoQ) kullanarak tasarım kararlarını optimize eden ileri düzey bir mühendislik yaklaşımıdır.
Fonseca vd.	2021	EFQM 2020 modeliyle uyumlu, kurumsal mükemmelliği ve sürdürülebilir kaliteyi tasarım aşamasında kurgulayan bir metodolojidir.
Lu vd.	2022	Ürün dayanıklılığını ve performansını optimize ederek bakım gereksinimlerini ve kaynak tüketimini tasarım yoluyla azaltma sürecidir.
Copriva vd.	2024	Entegre ürün geliştirme süreçlerinde, üretim gerçeklerini ve kalite karakteristiklerini tasarım aşamasında eşzamanlı olarak ele alan bir pratiktir.
Psarommatis vd.	2024	Sıfır Hata Üretimi (ZDM) için dijital ikizler ve simülasyon teknolojilerini kullanarak tasarımda mutlak doğruluğu hedefleyen bir kavramdır.
Hasan vd.	2025	Fonksiyonel gereksinimleri korurken imalat gerçeklerini öngören ve kalite standartlarını tasarımın merkezine koyan endüstri mühendisliği odaklı bir yaklaşımdır.
Saraiva	2025	Kalite 4.0 paradigması altında, makro-kalite katkılarını ve toplumsal refahı tasarım yoluyla maksimize eden dönüştürücü bir sistemdir.

Yukardaki tanılardan yola çıkarak, Kalite için Tasarım metodolojisini, kalite, güvenilirlik, hizmet verilebilirlik, güvenlik, kullanıcı dostu olma gibi en çok tercih edilen özellikleri en üst düzeye çıkaran, ürün geliştirme ve üretim süreci planlama, ürün tasarımı ve mühendisliği, prototip oluşturma ve değerlendirme ve üretim süreci geliştirmenin her aşaması için müşterilerin gereksinimlerini ilgili teknik şartnamelere çevirmenin bir yolunu sağlayan bir araç olarak tanımlayabiliriz.

Kalite için Tasarım, fiziksel mal üreten işletmeler için yıllardır önemli bir konu haline gelmiştir. Bununla birlikte, 1960'lı yıllarda kalite ve ürün tasarımının başlamış olduğu KFY'nın geliştirilmesine kadar çok gündemde değildi. KFY,

ürün tasarımının unsurlarının birbirleriyle ilişkilerini ve genel ürün kalitesini nasıl etkileyebileceğini ortaya koymaktadır. Ürün tasarımının kaliteye olan etkisinin daha fazla araştırılması 1960'lı yıllardan beri, Japon bir mühendis olan Genichi Taguchinin büyük ölçüde deney teorisinin tasarımına dayanan çeşitli istatistiksel araçlar ve kalite geliştirme kavramlarına dayanmaktadır. O zamandan beri, tasarımcılar ve üreticiler “kalitenin üründe tasarlanması gerektiğinin” önemi üzerinde durmaktadırlar (Kuo ve Zhang, 1995: 449). Taguchi 1986'da yaptığı çalışmalarda, yüksek kaliteli ürünlerin üretilmesindeki önemi vurgulamıştır. Çeşitli bağlamlarda uygulamalar içeren Benchmarking, ürün tasarımının kalitesini başka bir ürünün tasarımıyla karşılaştırarak sağlamak için kullanıldı. Bu fikirler Altı Sigma için Tasarım gibi spesifik kalite yönetim yaklaşımlarına da ilham olmuştur (Arnette vd., 2014: 379).

Kalite için Tasarımın temel amacı, müşteri beklentilerini en üst düzeye çıkarmak için ürünün kalitesini ve güvenilirliğini artıran *sağlam bir ürün* tasarlamaktır (Nepal, vd., 2006: 387). Kalite için Tasarımın diğer amaçları (Kuo ve Zhang, 1995: 449-450);

- Müşterinin gereksinimlerini (hem konuşulan hem de konuşulmayan ihtiyaçları) karşılamak için bir ürün tasarımı yapmak,
- Ürünün ve ürünün üretimindeki potansiyel değişimlerin etkilerini azaltabilecek veya en aza indirebilecek sağlam bir ürün tasarımı yapmak,
- Müşteri beklentilerini aşmak ve denetçi değeri sunmak için ürün güvenilirliğini, performansını ve teknolojisini sürekli geliştirmek ve iyileştirmek şeklinde sıralanabilir.

Kalite için Tasarım metodolojisi, kalite hedeflerine ulaşmak için ürün geliştirme sürecinde üç önemli yöntemle birlikte kullanılmaktadır. Bunlar, Kalite Fonksiyonu Yayılımı, Taguchi kalite mühendisliği ve Benchmarking (kıyaslama) dir. (Kuo ve Zhang, 1995: 450). İlki, Kalite Fonksiyon Yayılımı; müşteri gereksinimlerini tasarımın spesifik parametreleriyle ilişkilendirerek sık sık kullanılan bir araçtır ve tüm gereksinimlerin bitmiş ürüne yansımaları sağlamaktadır. İkincisi, Taguchi yöntemi; ideal bir parametre değerinin sapma maliyetini sayısallaştırmanın bir yolu olarak kullanılmakta ve sapma maliyetini en uygun hale getirmek bir ölçüm sağlamaktadır. Üçüncü yöntem olarak, bir ürünün rakiplerine göre ne kadar iyi performans gösterdiğini ölçmenin bir yolu olan Benchmarking kullanılmaktadır. Bu yöntemler, bir ürünün müşterilerin gereksinimlerini ne kadar iyi karşıladığını ölçmenin bir yolunu sunmaktadırlar (Holt ve Barnes, 2009: 125).

Ayrıca, Garvin'in 1984 yılında geliştirdiği kalitenin dokuz boyutu, Kalite için Tasarım metodolojinde de uygulanması gereken kriterler olarak açıklanmış, ürün tasarımının hedeflerine ulaşması için iyi bir referans olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Tablo 1.12. de Kalite için Tasarımın dokuz boyutu verilmiştir.

Tablo 1. 9. Kalite için Tasarımın Boyutları

Boyut	Açıklama
Performans	Performans, ürünün işlevselliğini getirecek birincil özelliklerini yansıtır. Dolayısıyla bu boyut, bir ürünün işlevselliğine karşılık gelir.
Özellikler	Özellikler, ürünün kullanılabilirliğine veya kullanımına katkıda bulunan özellikleridir. Bir ürünün bir tasarım hedefi olarak kullanılabilirliği bu boyuttan çıkarılabilir
Güvenilirlik	Bir ürünün güvenilirliği, performansındaki beklenen normlara ve beklenen sürenin tutarlılığına işaret eder. Dolayısıyla bu önemli bir tasarım hedefidir
Uygunluk	Uyumluluk, ürünün belirtilen ve beklenen standartları ne kadar iyi karşıladığına ilişkin önlemdir. Bu boyut, tasarımdaki güvenilirliğin önemini teyit etmektedir.
Dayanıklılık	Dayanıklılık, ürünün beklenen yaşam döngüsü boyunca performansından fayda sağlayan dayanıklılığıdır. Dolayısıyla, dayanıklılık, tasarım amaçları bakımından bakımı ve güvenilirliği için katkıda bulunan faktör olarak düşünülebilir
Hizmet	Hizmet veya bakım yapılabilirlik özelliği, ürünün kullanım ömrü boyunca işlevselliğini, kullanılabilirliğini, güvenilirliğini ve kalitesini artıran özelliklerin sağlanması, bakımının yapılması ve / veya geliştirilmesi için yapılması gereken işlemleri ifade eder
Tepki	Tepki, müşteriye / kullanıcıya / müşteriye bir tepki veren kullanılabilirlik ve işlevsellik özelliğidir. Bu bir kullanılabilirlik tasarım hedefi olarak düşünülebilir.
Estetik	Estetik, ürünün estetik özelliklerini ifade eder.
Algılanan Kalite (İtibar)	İtibar ya da algılanan kalite, müşterilerin bir işletmeden veya üründen beklentilerinin karşılanmasıdır. Bu, bir tasarım hedefi olarak kalitenin temelini oluşturur.

Kaynak: Sreekumar, 2013:10'dan tabloya uyarlanmıştır.

Genel olarak bakıldığında, kalitenin bu dokuz boyutu, X için Tasarımın tüm kavramsal metodolojileri için temel oluşturmaktadır. Bu metodolojiler Üretim için Tasarım, Montaj İçin Tasarım, Demontaj için Tasarım, Kullanılabilirlik için Tasarım, Güvenilirlik için Tasarım ve Kalite için Tasarım olarak sayılabilir. Finansal başarının önemi, bir ürünün çevresel etkileri konusundaki artan farkındalık ile bir başka kavramsal metodoloji, Maliyet ve Çevre için Tasarım'a yol açar. Bu metodolojilerden türetilmiş birçok varyasyon mevcuttur (Sreekumar, 2013: 12). Bu varyasyonlar XİT temelini oluşturmaktadır.

Tablo 1.10. deki bilgilerden yararlanarak Sreekumar (2013) tarafından kalite için tasarımın hedeflediği ürün özelliklerine ulaşmak için bir yol haritası olarak belirleyiciler ve toplama seviyelerini gösteren bir kalite modülü hazırlanmıştır.

Her bir belirleyici için tasarım faktörleri diğer XİT metodolojilerine uyarlanabilir. Tablo 1.13’de Kalite için Tasarım kalite modülü verilmiştir.

Tablo 1. 13. Kalite İçin Tasarım Kalite Modülü

Belirleyicileri	Bütünleştirme Seviyeleri	Bağımlı Modül
İşlevsellik	Performans	Fonksiyon-Bilgi
Kullanılabilirlik	Tepki- Özellikler	Kullanılabilirlik
Güvenilirlik	Uygunluk-Dayanıklılık	Güvenilirlik
Bakım Kolaylığı	Hizmet	Bakım
Malzeme	Estetik, Kullanılabilirlik, İşlevsellik, Bakım, Güvenilirlik	Malzeme

Kaynak: Sreekumar, 2013:10

Bir ürünün istenilen kaliteye ulaşması ve mevcut kalitesini artırmak için hazırlanan modülde yer alan belirleyiciler işlevsellik, kullanılabilirlik, güvenilirlik, bakım ve malzeme şeklinde sırlanmaktadır. Bu belirleyicilere sahip kaliteli bir ürün ise aşağıdaki gereksinimleri karşılamalıdır.

Ürün kalitesi için işlevsellik gereksinimleri: İşlevsellik modülünde listelenen tasarım faktörleri, ürünün birincil amacına uygun olup olmadığını belirlemek ve böylece performans kalitesini sağlamak için kullanılabilir.

Ürün kalitesi için kullanılabilirlik gereksinimleri: Kalite için kullanılabilirlik gereksinimleri, ürünün kullanıcıya yanıtını ve bu tepkileri sağlayan özellikleri kullanıcıdan olumlu bir tepki alır.

Ürün kalitesi için güvenilirlik gereksinimleri: Bir üründeki kalite için güvenilirlik gereksinimleri, ürünün özelliklerine uygunluğu ve ürünün beklenen kullanım ömrü boyunca dayanıklılığı ile ilgilidir.

Ürün kalitesi için bakım gereklilikleri: Sürdürülebilirlik gereksinimleri ve bunları elde etmek için araçlar, ürün yaşam döngüsü ilerledikçe tüketilen işlevsellik ve kullanılabilirlik seviyelerini geri kazandığından, ürün kalitesi yapısının önemli bir bölümünü oluşturur.

Ürün kalitesi için malzeme gereksinimleri: Malzeme belirleyici, ürün kalitesi için gereken diğer tüm belirleyicilere doğrudan katkıda bulunur. Malzeme seçimi müşteri memnuniyeti, estetik özellikler ve diğer belirleyiciler için önemlidir. Bu bölüm için tasarım faktörleri malzeme modülünden türetilir (Sreekumar, 2013).

Müşterilerin sürekli artan beklentilerini karşılamak için, üreticiler Kalite Fonksiyon Yayılımı kavramsal aşamada mühendislik tasarımına entegre etmelidir. Yıllar boyunca denetim, istatistiksel kalite kontrol, kalite güvence ve stratejik kalite yönetimi olmak üzere dört kalite yönetim tekniği kullanılmıştır.

Kalite büyük ölçüde üretici tarafından belirlenen dahili standartlar aracılığıyla yönetilmekte ve ürünün yaşam döngüsü boyunca müşteri memnuniyeti ile tanımlanmaktadır. Bu nedenle, Kalite için Tasarım, tasarım aşamasından itibaren bir ürünün kaliteli bir şekilde tasarlanması ve üretilmesi için gerekli hale gelir (Nepal vd., 2006: 387). Kalite için tasarımın temel amaçları ve kullanılması sonucunda işletmelere sağladığı stratejik faydalar şu şekilde sıralanabilir (Zonnenshain ve Kenett, 2020; Saraiva, 2025):

- *Hata Önleme (Proaktif Yaklaşım)*: Hataların üretim aşamasında değil, tasarım aşamasında tespit edilip elenmesini sağlar.
- *Varyasyonun Azaltılması*: Üretim süreçlerindeki sapmaları tolere edebilecek sağlam (robust) tasarımlar geliştirilmesine olanak tanır.
- *Maliyet Optimizasyonu*: Yeniden işlem (rework), ıskarta ve garanti maliyetlerini radikal şekilde düşürür.
- *Müşteri Memnuniyeti*: Ürünün performans ve güvenilirlik düzeyini artırarak sadık bir müşteri kitlesi oluşturur.
- *Pazara Giriş Süresinin Kısaltılması*: Tasarımda kaliteye odaklanmak, deneme-yanılma süreçlerini azaltarak ürünün daha hızlı ticarileşmesini sağlar.
- *Veri Odaklı Karar Verme*: Kalite 4.0 araçları sayesinde, geçmiş verilerden ders çıkararak daha doğru tasarım kararları alınmasını destekler.
- *Sürdürülebilirlik*: Daha dayanıklı ve uzun ömürlü ürünler tasarlayarak kaynak verimliliğine ve çevresel hedeflere katkıda bulunur.

1.5.9. Güvenilirlik için Tasarım

Günümüzde güvenilirlik, iş yapmanın ve ürün geliştirmenin önemli bir parçasıdır. Başarılı bir ürün elde etmek için işletmelerin verdikleri tüm kararlarda güvenilirliği hesaba katmaları gerekir. Ürün güvenilirliği hedefleri, endişeleri ve faaliyetleri bir işletmenin hemen hemen her işlevine ve sürecine entegre edilmelidir (Silverman ve Kleyner, 2012). Güvenilirlik, bir sistemin veya bileşenin, belirtilen işlevleri belirli bir sürede ve belirlenen çalışma koşullarında gerçekleştirme olasılığı olarak tanımlanır (Huang ve Jin, 2008).

Son 20-30 yıl boyunca hem güvenilirlik mühendisliği hem de mühendislik tasarımı önemli ölçüde gelişmiştir. Bunun yanında güvenilirlikle ilgili birçok araç ve yöntem de geliştirilmiş ve uygulanmıştır (Huang ve Jin, 2008). Özellikle Günümüzün zorluklarını karşılamak ve tüm iş birimlerini desteklemek ve

güvenilirliğin bir aktivitesi olarak Güvenilirlik için Tasarım geliştirilmiştir. Güvenilirlik için Tasarım metodolojisi, güvenilir ürünler tasarlamak amacıyla diğer XİT metodolojilerinde olduğu gibi eşzamanlı mühendislik³ ile başlar. Bu nedenle Güvenilirlik için Tasarım, ürün tasarımını olumlu etkilemek için kullanılan bir güvenilirlik süreci olarak da tanımlanabilir (Crowe ve Feinberg, 1998).

Güvenilirlik için Tasarım süreci, bir dizi güvenilirlik mühendisliği aracına ve bu araçların tasarım döngüsü boyunca ne zaman, nasıl ve ne şekilde kullanılacağına dair doğru bir anlayışa dayanmaktadır. Ayrıca çeşitli araçlar ve uygulamalar içermekte ve bir üründe güvenilirliği tasarlamak için işletmenin izlemesi gereken genel dağıtım sırasını tanımlamaktadır (Mettas, 2010). Güvenilirlik için Tasarım yeni ortaya çıkmakta olan bir disiplindir. Literatürde Güvenilirlik için Tasarım alanındaki araştırma ve çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu yüzden konun daha iyi anlaşılması için yapılan çalışmalarda yer alan bazı tanımlar Tablo 1.14’ de verilmiştir.

Tablo 1. 10. Literatürde Yer Alan Bazı Güvenilirlik için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Comizzoli	1990	Bir ürünün genel güvenilirliğini tasarım, üretim, malzeme seçimi ve kalitesindeki iyileşme ile eşzamanlı olarak artırma yöntemidir.
Pang vd.	2003	Malzeme testi ve modellemesi, sonlu elemanlar modellemesi ve simülasyonu, hata mekanizması ve ömür tahmini ve doğrulama için güvenilirlik testlerine dayalı bilgi gerektiren tasarım sistemidir.
Prabhakaran vd.	2006	Tasarım sürecinde ürünün güvenilirliğine odaklanan sistematik bir yaklaşımdır.
Da Silva vd.	2007	Ürünün gelişim aşamasında güvenilirliği çok erken göz önünde bulunduran ve merkezde tasarım araçları olan beş farklı odak alanına sahip, bütünsel bir yaklaşımdır.

³ Eşzamanlı Mühendislik 2.3.1. başlığında detaylı olarak anlatılmıştır.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Huang ve Jin	2009	Tüm tasarım aşamalarında nicel güvenilirlik gereksinimlerini veya hedeflerini karşılamak için parametrik güvenilirlik modelleriyle tasarımın karar vermesini yönlendiren yapısal bir tasarım yöntemidir.
Mettas	2010	Ürün güvenilirliğini düşük maliyetlerle yaşam döngüsü boyunca garanti altına almayı hedefleyen mühendislik sürecidir.
Silverman ve Kleyner	2012	Güvenilirliğin mevcut en iyi bilim tabanlı yöntemler kullanarak ürünlere ve süreçlere göre tasarlanması için tasarımın ilk aşamalarından başlayarak ve üretimin her aşamasına entegre edilmesi gereken bir süreçtir.
Gullo	2018	Sistem güvenliğini ve güvenilirliğini entegre ederek, hata modlarını tasarım aşamasında sistematik olarak yönetme yaklaşımıdır.
Huang vd.	2019	Metin madenciliği ve optimal ürün doğrulama teknikleri kullanarak güvenilirlik verilerini tasarım sürecine dahil eden bir metodolojidir.
Wolff	2021	Üretilbilirlik ve güvenilirlik arasındaki ödünleşimleri yöneterek, ürün ömrünü ve sağlamlığını (robustness) optimize eden bir yaklaşımdır.
Cheng vd.	2022	Ürün bileşenlerinin ve sistemlerinin tüm yaşam döngüsü boyunca güvenilirliğini sağlamayı amaçlayan DfX metodolojisidir.
Schlegel vd.	2023	Toplam sahiplik maliyeti ile güvenilirlik arasındaki ilişkiyi sistematik hale getiren ve sürdürülebilir mobilite çözümlerine uygulanan bir çerçevedir.

Tanımlardan yola çıkarak Güvenilirlik için Tasarım, bir ürünün veya sistemin, belirtilen kullanım ömrünün müşterinin beklentilerini karşılamasını sağlayan ve üretimin her aşamasına entegre edilmesi gereken bir süreç; bir ürünün genel güvenilirliğini, tasarım, üretim, malzeme seçimi ve kalitesindeki iyileşme ile eşzamanlı olarak arttıran bir yöntem; güvenilirlik testlerine dayalı bilgi gerektiren bir tasarım sistemi olarak tanımlanabilir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde II. Dünya Savaşı'ndan sonra savaş uçaklarının, silah sistemlerinin ve roketlerin etkinliğini ele almak üzere güvenilirlik mühendisliği kurulmuştur. Güvenilirlik mühendisliği uygulaması ile o zamandan beri Savunma Bakanlığı'nda birçok güvenilirlik mühendisliği ile ilgili askeri standartlar üretilmiştir. Ancak Güvenilirlik mühendisliğinin, endüstride uygulanması öncelikle bir tasarım güvenilirliği etkinliği değil, tasarım sonrası değerlendirme ve kalite güvencesi disiplini şeklinde olmuştur (Huang ve Jin, 2008).

Güvenilirlik teorisinin uygulanması konusundaki büyük atılım, 1950'lerin sonlarında, büyük füze silah sistemi için askeri sözleşmelerde özel gereksinimlerin yer alması sonucu yapılmıştır. Güvenilirlik 1993 yılında Smith tarafından "bir cihazın verilen çalışma koşullarında belirli bir süre için tatmin edici bir şekilde belirli bir işlevi yerine getireceği olasılığı" olarak tanımlamıştır. Güvenilirlik unsurunun olasılık, performans, zaman ve kullanım içerdiği de belirtilmiştir (Kuo ve Zhang, 1995).

Güvenilirlik için Tasarımın amacı, bir sistemdeki kritik sistem fonksiyonlarının arızalarını belirlemektir. Bu tür arızaların sayısı, ürünün beklenen ömrü boyunca sıfır olmalıdır. Yedekli sistemlerdeki gibi bazı bileşenlerin arızalanmasına izin verilebilir. Örneğin, havacılıkta, bir sistem en azından görev süresi boyunca çalışabildiği ve arızalı parçalar bir sonraki görevi yerine getirmeden önce değiştirildiklerinde, bazı arızalara tolerans gösterilebilir. Ancak bu, binlerce yazılım etkileşiminin, yüzlerce kablo bağlantısının ve yüzlerce insan faktörünün sistemin güvenilirliğinin etkilendiği karmaşık sistemler için geçersizdir (Raheja, 2012). Güvenilirlik için Tasarımın hedefleri ve metrikleri, ürün yaşam döngüsünün tüm aşamalarını birbirine bağlamaktadır. İyi hazırlanmış hedefler ve bir güvenilirlik programı ve entegrasyon planının, ürün yaşam döngüsünün başında uygulanması işletmenin başarısı için çok önemlidir. Bir işletmenin tüm unsurlarının ihtiyaç duyduğu geribildirim hedeflerine doğru ilerlemesi için belirlenmiş alt amaçlar ise (Silverman ve Kleyner, 2012):

- Müşteri tarafından belirtilen veya ima edilen gereksinimleri yerine getirmek,
- Dahili olarak belirtilen veya genellikle önceki ürünlerden daha iyi bir ürün elde etmeye çalışmak,
- Rekabete karşı kıyaslama yöntemi kullanmak,
- Endüstri standartlarını yerine getirmek,
- Mühendislik sağduyusu gereksinimleri belirleyerek tasarımlar elde etmek şeklinde sıralanabilir.

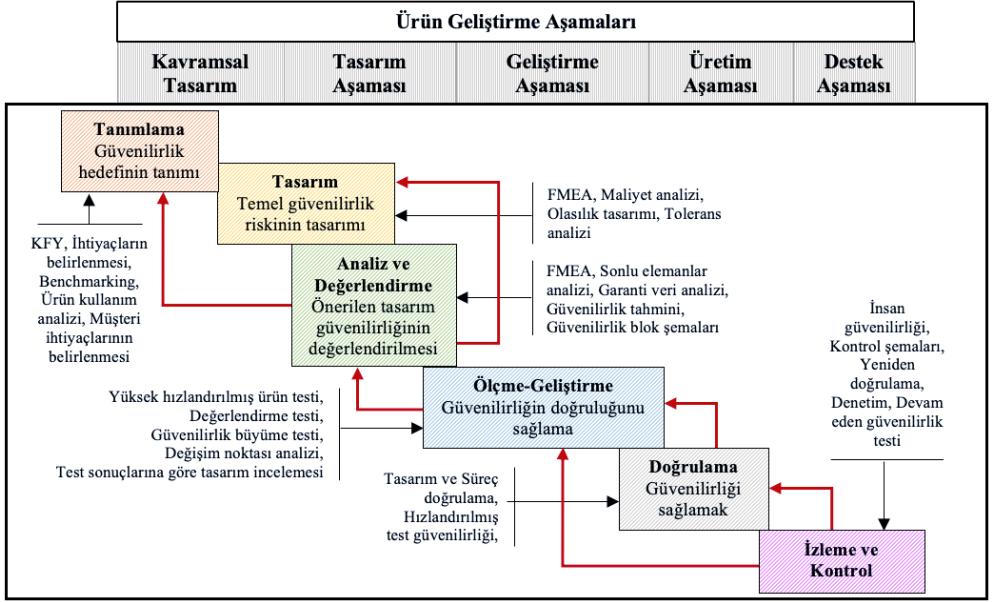
Güvenilirlik için Tasarımın uygulanması için yapılandırılmış bir sürece ihtiyaç vardır. Güvenilirlik için Tasarım sürecindeki faaliyetlerin sırası, ürünün niteliğine ve mevcut bilgi miktarına bağlı olarak değişmektedir. Bu sürecin doğrusal olarak sunulmasına dikkat etmek önemlidir. Sekansta (sıralama), gerçekte bazı aktiviteler, bir proje ilerledikçe kazanılan bilgiye dayanarak paralel veya bir döngü halinde gerçekleştirilmektedir (Mettas, 2010). Bu nedenle, ilk tasarım konseptine göre tasarım aşamasında uygulanan ayrıntılı prosedürlere ve çeşitli tasarım araçlarına dikkat edilir (Wang vd., 2012).

Güvenilirlik için Tasarımın tasarım süreci altı ana faaliyetten oluşan bir klavuz sayesinde yeterince genel ve farklı sektörlerde uygulanabilir niteliktedir. Aynı zamanda bu klavuz ürün geliştirme süreci ile kolayca eşleşebilecek ve kolayca izlenebilecek bir yol haritası oluşturmaktadır (Mettas, 2010). Güvenilirlik için Tasarımın anahtar faaliyetleri olarak adlandırılan sürecin aşamaları aşağıda sıralanmıştır (Silverman ve Kleyner, 2012):

- Tanımlama
- Tasarım
- Analiz ve Değerlendirme
- Ölçme, Geliştirme ve Doğruluğunu Sağlama
- Doğrulama
- İzleme ve Kontrol şeklinde sıralanmaktadır

Güvenilirlik için tasarım sürecinde yer alan anahtar faaliyetlerde kullanılan test türleri, teknoloji ve araçların hangi süreçlerde kullanıldığı Şekil 1.7’de verilmiştir.

Şekil 1. 7. Güvenilirlik için Tasarım Süreci



Kaynak: Mettas, 2010 ve Silverman ve Kleyner, 2012'den geliştirilmiştir.

Güvenilirlik için Tasarım metodolojisinin ürün geliştirme sürecinde uygulanması sonucu işletmelerin elde edeceği faydaları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Mettas, 2010):

- Sorunların keşfedilmesi için istatistiksel analiz yöntemlerine dayanarak başarısızlık fiziğinin anlaşılması,
- Üretimden önce potansiyel arıza modlarının tasarlanmasına veya azaltılmasına odaklanan bir süreç kullanılarak piyasaya güvenilir ürünler sunulması,
- Müşteri memnuniyeti için güvenilirliğin kritik bir rol oynadığı, gerçek bir rekabet avantajı yaratmak için pazara sunulan bir teklifin sağlanmasının ötesinde birçok fırsat sunabilir.

Güvenilirlik için Tasarım ayrıca, ürünlerin performans hedeflerini karşılama ve hata ağacı analizini kullanarak ürün tasarımı sırasında olası arıza mekanizmalarını belirleme konusunda işletmelere büyük faydalar sağlamaktadır (Prabhakaran vd., 2006: 153). Ayrıca; beklenmedik arızaları azaltılmasında, güvenliğin artırılmasında, ürünlerin daha yüksek güvenilirliğinin sağlanmasında, bakım ve yaşam döngüsü maliyetini düşürmesinde, mühendislik sistemlerinin planlanmasında, tasarlanmasında ve işletilmesinde işletmelere önemli katkılar sağlamaktadır (Go vd., 2015). Bu bağlamda Güvenilirlik için

Tasarımın temel amaçları ve işletmelere sağladığı stratejik faydalar aşağıda verilmiştir (Vernica vd., 2018):

- *Garanti Maliyetlerinin Azalması:* Saha arızalarının tasarım aşamasında önlenmesi sayesinde satış sonrası servis ve garanti giderlerini minimize eder.
- *Müşteri Memnuniyeti ve Sadakati:* Beklenen performansı hatasız sunan ürünler, marka değerini yükseltir ve müşteri güvenini pekiştirir.
- *Ürün Geliştirme Süresinin Kısılması:* Hataların tasarım aşamasında (erken evrede) çözülmesi, ilerleyen aşamalarda yapılacak maliyetli revizyonları ve test tekrarlarını engeller.
- *Optimum Malzeme ve Bileşen Seçimi:* "Physics of Failure" yaklaşımı ile ürünün zorlanma limitlerine en uygun malzemelerin seçilmesini sağlayarak aşırı tasarımdan (over-design) kaçınır.
- *Sürdürülebilirlik:* Daha uzun ömürlü ve dayanıklı ürünler, atık miktarını azaltarak döngüsel ekonomi hedeflerine katkı sağlar.
- *Risk Yönetimi:* Kritik sistemlerde (savunma, havacılık, tıp) oluşabilecek felaket boyutundaki hataları tasarım yoluyla önleyerek yasal ve operasyonel riskleri azaltır.

1.5.10. Tedarik Zinciri için Tasarım

Küresel pazarlar ve şiddetli rekabet, işletmeleri, ürün geliştirme ve üretim sürecinde değer yaratılması konusunda sorumluluğun büyük bir kısmını tedarik ağında bulunan tedarikçilere yönlendirmektedir. Bu rekabetçi ortama hâkim olmak için işletmeler, ürün ve tedarik ağı arasında bir eşleşme için ideal olan tedarik ağlarının performansına bağlı olmak zorundadır. Bunun yanı sıra işletmeler, piyasaya sürülme ve üretim maliyetlerini iyileştirmek ve ürün kalitesini sağlamak için belirli tasarım yönergelerini uygularlar. Bu yönergeler XİT metodolojilerinin belirli özelliklerine (örneğin üretim, montaj, maliyet, güvenilirlik, kalite, lojistik, tedarik, ...vb gibi) odaklanır ve ürün mimarisi ve tedarik ağı arasındaki eşleşmede önemli bir etkiye sahiptir (Behncke vd., 2015: 1). Bu bağlamda, ürün tasarımında, müşteri memnuniyetini sağlamak ve küresel tedarik zincirinin toplam işletme maliyetini en aza indirmek için ürün çeşidini ve ilgili tedarik zincirini hızlı bir şekilde tanımlamak için Tedarik Zinciri için Tasarım ortaya çıkmıştır. Tedarik Zinciri için Tasarımın ürün tasarımında eş zamanlı mühendislik ile olan yakın ilişkisi nedeniyle XİT metodolojileri arasında

yer almıştır (Lamothe vd., 2006: 1030-1031). Tedarik Zinciri için Tasarım, XİT metodolojileri arasına en son eklenen metodolojilerden biridir (Claypool, 2011: 13).

Tedarik Zinciri için Tasarım, erken tasarım aşamasında tedarik zinciri verilerini tahmin etmeye çalışan yeni bir çalışmadır ve araştırma alanı olarak henüz gelişme aşamasındadır (Ramani, vd., 2010: 091004-6). Aslında Tedarik Zinciri için Tasarım, Lojistik için Tasarım kapsamının, ürün tasarımı ve tedarik zinciri tasarımı göz önünde bulundurularak, ürün tasarımının mevcut tedarik zincirine uyacak şekilde, tedarik zinciri ile ilgili maliyet ve performansının daha etkin bir şekilde yönetmek için ürün ve süreçlerin tasarlanması amacıyla genişletilmesidir (Chiu vd., 2009:2; Arnette vd., 2014:379).

Tedarik Zinciri için Tasarım metodolojisi literatürde, maliyetleri düşürmek ve popülerlik kazandıran verimliliği artırmak için ürün ve süreçlerin tasarlanması amacıyla geliştirilen bir yöntem (Chiu vd., 2007: 5; Claypool, 2011: 1) ve ürün yaşam döngüsü maliyetlerini azaltmayı, ürün kalitesini geliştirmeyi, verimliliği artırmayı ve tedarik zincirindeki tüm ortaklar için Üretim için Tasarım ile benzerliklerini geliştirmeyi amaçlayan bir süreç (Gökhan vd., 2010: 20) olarak tanımlanmıştır.

Geleneksel olarak tedarik zinciri, ürün tasarım aşamasının tamamlanmasından sonra tasarlanır, bu da genellikle daha uzun bir tasarım döngü süresi ve en düşük ürün kârlılığı ile sonuçlanır. Ancak, Tedarik Zincir için Tasarım metodolojisi ile tasarım sürecinin başlarında tedarik zinciri mühendisleri ile iş birliği yaparak büyük verimlilik iyileştirmeleri ve maliyetin düşürülmesini sağlanabileceği belirtilmiştir (Chiu vd., 2007: 5; Claypool, 2011: 1). Ayrıca Tedarik Zincir için Tasarım montaj, maliyet ve lojistik gibi tasarım sonrası ürün yaşam döngüsü kararlarını ürün tasarımı aşamasına dahil etmek çok geniş çapta incelenen bir konudur ve sektör uygulamalarında faydaları kanıtlanmıştır (Gökhan vd., 2010: 20).

Tedarik Zincir için Tasarım veya Lojistik için Tasarımın temelleri Lee tarafından atılmıştır. 1990'larda, tedarik zinciri yönetimi kararlarının ürün tasarım kararlarıyla senkronize edilmesi için yapılan çalışmalar Tedarik Zinciri için Tasarım geliştirilmesine yol açmıştır (ElMaraghy ve Mahmoudi, 2009: 484).

Bu terim ilk olarak 1992 yılında Lee ve Billington tarafından yazılan bir makalede kullanılmıştır. 1995 yılında Lee ve Sasser, Tedarik Zinciri için Tasarım metodolojisini gerçek bir vaka çalışmasında kullanmışlardır. Çalışmalarında, Hewlett-Packard işletmesinde, en iyi ürün farklılaştırma noktasını belirlemek için yeni bir ürün hattında Tedarik Zinciri için Tasarım metodolojisini uygulamışlardır. Bu uygulama sonucunda Hewlett-Packard'da dağıtım, pazar ve

ürün özelliklerini önceki envanter modelleme çalışmalarına ekleyerek tedarik zincirini modellemek ve optimize etmek için başarılı bir yaklaşım geliştirilmiştir (Chiu vd., 2007: 5; Claypool, 2011: 14).

Günümüzde bu yaklaşım, Endüstri 5.0 vizyonu ile birleşerek; blokzincir tabanlı izlenebilirlik, dijital ikiz simülasyonları ve Yapay Zeka destekli talep tahmini ile tedarik zinciri dayanıklılığını ve esnekliğini en üst seviyeye taşımaktadır (Kim ve Laskowski, 2018; Cheng vd., 2022). Tedarik zinciri için tasarımın temel felsefesi, ürünün fiziksel yapısının tedarik zinciri performansını doğrudan etkilediği gerçeğine dayanır. Bu bağlamda erteleme (postponement), modüler tasarım, parça standartlaştırma ve erken tedarikçi katılımı (ESI) gibi stratejiler kritik öneme sahiptir (Chang, 2019).

Lojistik için Tasarım metodolojisinin kavramsal olarak anlaşılabilirliğini arttırmak için literatürde yer alan tanımlardan bazıları Tablo 1.15’de verilmiştir.

Tablo 1. 15. Literatürde Yer Alan Bazı Tedarik Zinciri için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Lamothe vd.	2006	Belirli bir tedarik zincirinin maliyetlerini ve teslim süresini artırmak için bir ürün ailesinin tasarımını uyarlamada temel olarak, üretilen ve güvenlik stoklarındaki çeşitliliğin nasıl azaltılabileceğini nicelleştiren bir tasarım yöntemidir.
Sharifi vd.	2006	Problemi çözmek için ürünlerin eş zamanlı ve koordineli tasarımlarının, üretim süreçlerinin ve tedarik zincirlerinin gerçekleştirildiği üç boyutlu eşzamanlı bir mühendislik yaklaşımıdır.
Simatupang ve Sridharan	2008	Tedarik zinciri boyunca, zincir üyelerini gerçek faydaların gerçekleştirmesini engelleyen çatışan hedefleri ele almak için yönetsel ve operasyonel kolları aracılığıyla kilit unsurlarının dayattığı gereksiz anlaşmazlıkları tespit etmek ve çözmek için kullanılan bir yöntemdir.
ElMaraghy ve Mahmoudi	2009	Tedarik zinciri ile ilgili maliyet ve performansın daha etkin bir şekilde yönetilebilmesi için ürün ve süreçlerin tasarlanmasıdır.
Gökhan vd.	2010	Ürün yaşam döngüsü maliyetlerini azaltmayı, ürün kalitesini geliştirmeyi, verimliliği artırmayı ve tedarik zincirindeki tüm ortaklar için "Üretilbilirlik için Tasarım" ile benzerliklerini geliştirmeyi amaçlayan bir süreçtir.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
De Weck vd.	2011	Lojistik için maliyetlerin bütünsel optimizasyonunun yanı sıra, ürünlerin rekabet gücünün ve şirketin verimliliğinin artırılması için bir yaklaşımı temsil etmektedir.
Claypool	2011	Üretilebilirlik, montaj, maliyet, kalite, müşteri destek lojistiği ve tedarik zinciri dahil ancak bunlarla sınırlı olmayan tüm tasarım çabalarının bir kombinasyonu olarak tanımlanmıştır.
Emmatty ve Sarmah	2012	Ürün geliştirme sürecinde tasarımcıların ve lojistikçilerin farklı ve birbiriyle çelişen hedeflerini koordine etmek ve bir araya getirmektir
Behncke vd.	2015	Paralel işlemeyi etkinleştiren üretim operasyonları ve çizelgeleri lojistik üzerinde büyük bir etkiye sahip olacak şekilde eşzamanlı işleme tasarımıdır.
Gokhan vd.	2010	Ürün tasarımı ve tedarik zinciri konfigürasyonunun eş zamanlı olarak optimize edildiği bir karar verme sürecidir.
Ebikake vd.	2018	Ürün-servis sistemlerinin (PSS) tasarımı ile tedarik zinciri süreçlerini entegre ederek yaşam döngüsü verimliliğini artıran bir yaklaşımdır.
Kim ve Laskowski	2018	Blokszincir teknolojisi ve ontoloji tabanlı modellerle tedarik zinciri izlenebilirliğini tasarım aşamasında kurgulayan bir metodolojidir.
Chang	2019	Blokszincir adaptasyonu ile tedarik zinciri yönetimini ve ürün tasarım kararlarını stratejik olarak bütünseltiren bir çerçevedir.
He vd.	2020	Tedarik zinciri risklerini ve belirsizliklerini yönetmek için ürün mimarisini esneklik odaklı tasarlama disiplindir.
Cheng vd.	2022	Kütleli özelleştirme ve tedarik zinciri entegrasyonu için tasarım parametrelerini literatür tabanlı bir yaklaşımla optimize etme sürecidir.

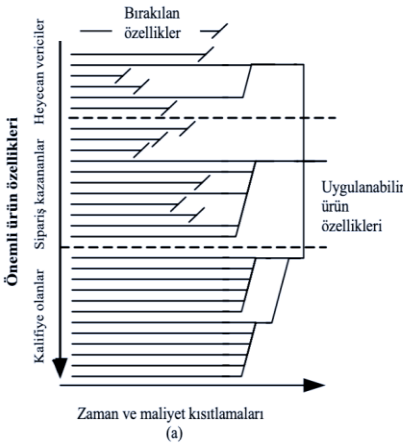
Bu bağlamda yukardaki tanılardan yola çıkarak, Tedarik Zinciri için Tasarım metodolojisini, tedarik zincirinin maliyetlerini ve teslim süresini artırmak için bir ürün ailesinin tasarımını uyarlamada temel olarak bir problemi çözmek için

ürünlerin eş zamanlı ve koordineli tasarımlarının, üretim süreçlerinin ve tedarik zincirlerinin gerçekleştirildiği, üç boyutlu eşzamanlı bir mühendislik yaklaşımı ve ürün geliştirme sürecinde tasarımcıların, lojistikçilerin birbiriyle çelişen hedeflerini koordine etmek ve bir araya getirmek için kullanılan bir tasarım süreci olarak tanımlayabiliriz.

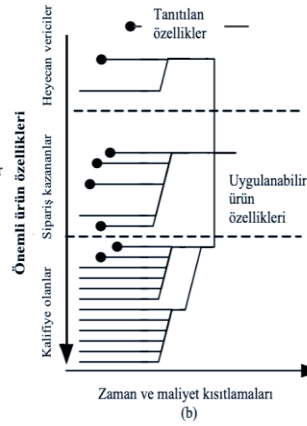
Tedarik Zinciri için Tasarım metodolojisi, ürün geliştirme süreci boyunca pazar odaklı bir iş ortamında ürün geliştirmeye ortak yaklaşım, başlangıçta tüm ya da pazar gereksinimlerini en iyi şekilde karşılamak için ürün özelliklerini tanımlamaktır. Bu hedeflere ulaşmak için gerekli olan tedarik zinciri ağı, daha sonra planlanan spesifikasyon ve performans ihtiyaçlarını sağlayabilen mevcut kaynaklardan (iç ve dış) oluşturulmaktadır. Geliştirme süreci boyunca, ortaya çıkan kaynak ve kapasite kısıtlamaları, belirli pazar şartlarını yerine getirerek ya da yeni kaynaklara yatırım yaparak ya da bu ihtiyaçları karşılamak için yeni dış kaynak arayışında ele alınmaktadır. Geleneksel olarak piyasa potansiyelini en üst düzeye çıkarma arzusuyla harekete geçen süreç, Şekil 1.8 (a) 'da gösterildiği gibi, tüm pazar şartlarını ürün özellikleri gerekliliklerine dönüştürerek başlar. Ürün özellikleri bazen kalifiye olanlar, sipariş kazananlar ve heyecan vericilere ayrılır. Bununla birlikte, tüm bu kapsayıcı yaklaşım çoğu kez son derece iddialı olan ve Şekil 1.8 (b)'de gösterilen konsept tasarımları ile sonuçlanır. (Sharifi vd., 2006:1084). Bu bağlamda konunun daha net anlaşılması için Şekil 1. 8'de ürün özellik geliştirme yaklaşımının geleneksel ve Tedarik Zinciri için Tasarım yöntemiyle karşılaştırılmalı süreçleri verilmiştir.

Şekil 1. 8. Tedarik Zincirinde Ürün Özellik Geliştirme Yaklaşımı

(a) Geleneksel Tedarik Zinciri



(b) Tedarik Zinciri için Tasarım



Kaynak: Sharifi vd., 2006

Şekil 1. 8’de de görüldüğü gibi pazarda belirtilen ürün özellikleri listesinin rehberliğinde, önemli ürün özellikleri, tedarikçilerle daha fazla iş birliği yapılması ve tedarikçi yelpazesinin genişletilmesi sonucunda arttırılabilir. Bu yaklaşımın işletmeler için avantajı, ürün özelliklerinin, tedarikçilerle daha fazla iş birliği yapılması ve tedarikçi yelpazesinin genişletilmesi sonucunda arttırılan ürün özelliklerinin, ürün tasarım sürecinin herhangi bir aşamasında uygulanabilir olmasıdır. Bu bağlamda Tedarik Zinciri için Tasarım işletmelere, tedarik zincirinin ortaya çıkan fırsatlara hızlı bir şekilde yanıt vermesini ve ayrıca ortak ürün platformlarının kullanılması, modülerlik, ürün ve bileşenlerin yeniden kullanımı ve tasarımı için dış kaynak kullanımı gibi faydalar sağlamaktadır (Sharifi vd., 2006: 1085). Bunun yanında Tedarik Zinciri için Tasarımın temel amaçları ve işletmelere sağladığı stratejik faydalar şu şekilde sıralanabilir (Asif vd., 2018; Reitsma vd., 2025):

- *Toplam Maliyet Optimizasyonu:* Sadece üretim maliyetlerini değil, aynı zamanda tedarik, stok ve lojistik maliyetlerini tasarım yoluyla düşürür.
- *Esneklik ve Dayanıklılık:* Beklenmedik krizlere (tedarik kesintileri gibi) karşı ürün mimarisini alternatif kaynaklara uyumlu hale getirerek dayanıklılığı artırır.
- *Pazara Giriş Süresinin (Time-to-Market) Kısalması:* Tedarikçilerin tasarım sürecine erken dahil edilmesi (ESI), geliştirme döngüsünü hızlandırır.
- *Stok Yönetimi Verimliliği:* Erteleme ve modülerlik stratejileri ile bitmiş ürün stoklarını azaltır ve tahminleme hatalarının etkisini minimize eder.
- *İzlenebilirlik ve Güvenlik:* Blokzincir ve akıllı sensörlerin tasarım aşamasında ürüne entegre edilmesiyle şeffaf bir tedarik zinciri sağlar.
- *Sürdürülebilirlik ve Döngüsellik:* Ürünlerin geri kazanım ve yeniden kullanım süreçlerini tedarik zinciri ağlarıyla uyumlu tasarlayarak çevresel etkiyi azaltır.

1.5.11. Estetik için Tasarım

Estetik ve görünüm, ürün ve sistem tasarımında her zaman önemli bir rol oynamış olup 21. yüzyılda, toplum ve pazar daha sofistike hale geldikçe ve üretim teknolojileri geliştikçe daha da önemli hale gelmiştir. Pazarda rekabet etmek ve başarılı olmak için üreticilerin güvenilirlik ve fiziksel kalitenin ötesinde ürünlerin estetik ve öznel kalitesine daha fazla dikkat etmesi gerekmiştir. Rekabet

ortamında kazanan ve kaybeden işletmeleri belirleyen nitelikler ve ölçütlerin genellikle ürünlerin güvenilirliği, kullanılabilirliği ve estetik özellikleri olduğu kabul edilmektedir. Bu özellikler ürünlerin pazara girmesi için temel nitelikte bir *bilet* olarak gösterilmiştir (Liu, 2003). 1990'lı yılların sonlarında işletmeler ürünün üretim sürecinde sahip olması gereken özelliklerinin ve üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. İşletmeler en iyi tasarım ve ürünü elde etmek ve küresel pazarda rakiplerine göre farkı yakalamak için ürün tasarımında estetik özellikleri de dikkate almaları gerektiğinin farkına varmışlardır. Rekabetçi ürünlerin hemen hemen aynı işlevselliği sağladığı gerçeği ile karşı karşıya kalan işletmeler bu süreçte, dengeli fiyatlarla birlikte estetiğin, rekabet unsurları arasında fark yaratan bir özellik olduğunu hatta ürünlerin başarı veya başarısızlığında büyük etkisinin olduğu kabul edilmiştir. Bu bağlamda, ürün tasarımında estetiğin de göz önüne alınması gerçeği ortaya çıkmış ve Estetik için Tasarım konusu gündeme gelmiştir. Estetik için Tasarım, ürün kabulünü arttırmadaki rolü nedeniyle, kavramsal tasarım ve şekil tasarımı aşamasında XİT metodolojileri arasında yerini almıştır (Breemen vd., 1998: 3).

Liu (2003: 1274), ürün geliştirme sürecinde, tasarımdaki estetiği nicel olarak incelemiş ve Estetik için Tasarım metodolojisi ile ilgili yönergeler geliştirmiştir. Liu Estetik için Tasarım metodolojisini *Mühendislik Estetiği* olarak adlandırmıştır. Mühendislikteki tasarım öğeleri, kullanılabilirliğine ve işlevselliğine değer katan belirli bir güzellik unsuruna sahiptir. Bu bağlamda Estetik için Tasarım metodolojisi, araştırma ve geliştirme odağında mutlaka yer alacak XİT metodolojilerinden biri olarak kabul edilmiştir (Mokarian, 2007: 14). Günümüzde estetik, sadece görsel bir çekicilik değil, aynı zamanda kullanıcı deneyimini (UX) ve marka değerini doğrudan etkileyen stratejik bir mühendislik disiplini haline gelmiştir (Muhsin, 2024).

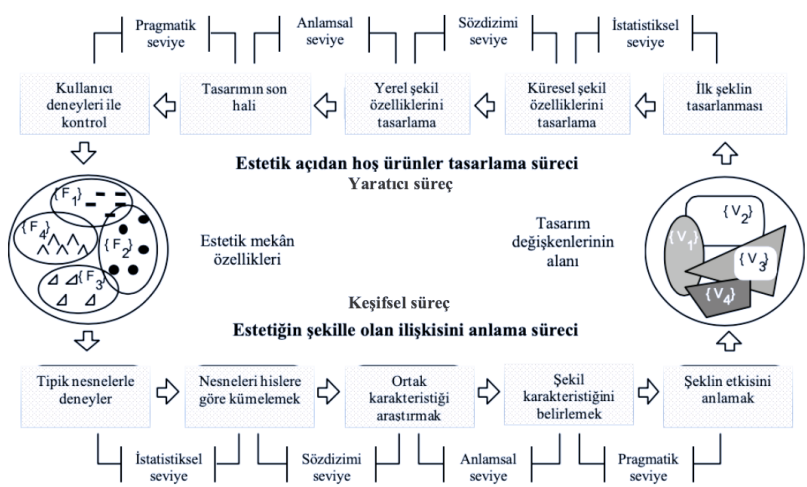
Estetik için tasarım metodolojisinin literatürdeki gelişimini ve modern perspektifini yansıtmak amacıyla hazırlanan tanımlar Tablo 1.16'da sunulmuştur.

Tablo 1. 16. Literatürde Yer Alan Bazı Estetik için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Condra	1993	Ürünün görsel çekiciliği ile teknik performansını dengeleyen tasarım optimizasyonudur.
Pham	1999	Estetik bilginin şekil, kompozisyon ve fiziksel özellikler aracılığıyla iletildiği ve tasarım sürecinde keşif ve yaratım döngüsüyle geliştirildiği bir modeldir.
Liu	2003	Estetik faktörlerin sistem tasarımındaki rollerini sistematik olarak tanımlamak ve ölçmek için bilimsel yöntemlerin kullanılmasıdır.
Dolşak	2007	Estetik tasarımın büyük ölçüde tasarımcının deneyim ve sezgilerine dayanan, sistematikleştirilmesi zor bir tasarım süreci olduğunu vurgulayan bir yaklaşımdır.
Mokarian	2007	Estetik ile mühendislik parametrelerini bütünleştirerek ürün geliştirme sürecinde estetik hedeflerin sistematik olarak ele alınmasını sağlayan bir metodolojidir.
Oladumiye vd.	2015	Ürün tasarımında estetik duyarlılığı; form, görünüm ve görsel uyum ile ilişkilendirerek kullanıcıların duygusal tatminini artırmayı amaçlayan bir tasarım yaklaşımıdır.
Furferi ve Buonamici	2023	Ürün geliştirme ve üretim sırasında estetik ve fonksiyonellik arasında ideal dengeyi kurmayı hedefleyen mühendislik modellemesidir.
Muhsin	2024	Endüstriyel ürünlerin fonksiyonel değerini artırmak için görsel algı ve tasarım stratejilerinin entegre edilmesidir.
Özsoy	2025	Yapay zeka destekli üretken tasarım kullanarak estetik, ergonomi ve kullanılabilirliği optimize eden modern bir yaklaşımdır.
Yang vd.	2025	Tüketici estetik tercihlerini temel alarak sürdürülebilir ve görsel olarak çekici ürün formları oluşturan yeşil tasarım yöntemidir.

Estetik tasarım süreci kişinin gözlemi ve algısal analizi ile başlamaktadır. Estetik için Tasarım metodolojisi de bilginin iletişimine yönelik bir modeline benzemektedir. Anlamsal bilgi içeriği dijital veya analog sinyallerle gerçekleştirilirken, estetiğin anlamı, şekil, kompozisyon ve fiziksel özelliklerle aktarılmaktadır. Estetik için Tasarım süreci, estetik kavramının ürünlerin temel özellikleri ile nasıl ilintili olduğunu anlamak ve edinilen bilgiyi, tasarımcıların şekil ve kompozisyon manipülasyonu yoluyla estetik amaçları iletmeye yardımcı olacak araçlar biçimine dönüştürmekle başlamaktadır. Keşifsel ve yaratıcı bir döngüden oluşan bu iki yönlü iletişim süreci kullanılarak bir döngü oluşturulur. Her döngü *istatistiksel, sözdizimsel, anlamsal ve pragmatik* olmak üzere dört seviyeden oluşmaktadır (Pham, 1999: 365). Keşif sürecinde (Estetiğin şekille olan ilişkisini anlama süreci), kullanıcının bir ürün hakkındaki düşüncelerine dayanarak ve tasarım değişkenlerini tanımlamak için tipik ürünler ile deneyler yapılır. Yaratıcı süreçte (Estetik açıdan hoş ürünler tasarlama süreci), araştırılan tasarım değişkenleri temel alınarak tasarım özellikleri ve ürün görüntüleri oluşturulur ve daha sonra kullanıcıların deneyleri ile kontrol edilir. Keşif ve yaratıcı süreçlere dayanan bu yaklaşımın özü, Kansei mühendislik yöntemine benzer. Örneğin, Kansei mühendislik yönteminde, tüketicinin bir ürün hakkındaki duyguları araştırılır ve tasarım özellikleri oluşturulur veya 2003 yılında Yanagisawa ve Fukuda tarafından açıklanan yöntemde keşif ve oluşturma yerine analiz ve sentez programları kullanılır (Mokarian, 2007: 16). Buraya kadar anlatılanların ışığında Şekil 1. 9'da Estetik için Tasarımın iki yönlü iletişim süreci verilmiştir.

Şekil 1. 9. Estetik için Tasarımın İki Yönlü İletişim Süreci



Kaynak: Pham, 1999

Estetik için Tasarım metodolojisinin geliştirilmesindeki odak noktası, estetik özelliklerin alanı ile şekle bağlı geometrik parametrelerin alanı arasındaki ilişkinin nasıl uygulanacağıdır. Estetik, anlam ve güzelliğin eşzamanlı bir iletişimidir. Bu nedenle, Estetik için Tasarım metodolojisi, nesnelerin belirli bir tezahürü ile anlam ve güzelliğin nasıl iletildiğini açıklamaktadır. İletişimin ana aracı bir nesnenin şeklidir, ancak ürün tasarımında, renk, doku, malzeme ve diğer görsel özellikler de önemli rol oynamaktadır. Aslında ürünün sahip olması gereken bu özelliklerin toplamı insanları etkiler ve duygusal anlamda tatmin eder (Breemen vd., 1998).

Estetik için Tasarımın amacı, estetik faktörlerin sistem tasarımındaki rollerini sistematik olarak tanımlamak ve ölçmek için bilimsel, mühendislik ve matematiksel yöntemleri kullanmaktır. Estetik için Tasarım metodolojisinin çok boyutlu doğasına ek olarak, ürünlerin ve iş sistemlerinin estetik değerlendirmelerinin iki özelliği vardır: Birincisi, çok yönlü olma eğilimi ve ikincisi, etkileşimli olma eğilimidir. Bu iki özellik, ürünlerin ve iş sistemlerinin estetik değerlendirmesini sanatın estetik değerlendirmesinden ayırt eder ve mühendislik estetiğini oluşturur (Liu, 2003).

Estetik için Tasarım aşaması hala çoğunlukla tasarımcıların beceri ve tecrübelerine bağlıdır. Pratik değere sahip herhangi bir bilgisayar aracı tarafından desteklenmemektedir. Aslında, Estetik için Tasarım sürecinin kabul edilebilir sonuçlarını sağlayacak bir prosedür tanımlamak çok zordur (Dolšák, 2007). Tasarım özelliklerini estetik ile ilişkilendirmek ve estetik ürün elde etmek için, Pham, Estetik için Tasarım sırasında ele alınması gereken estetik ilkelerini (prensiplerini) denge, oran, hakimiyet/baskınlık, süreklilik/derecelendirme, sağlamlık/yapısal uyum, basitlik, dinamikler, kontrast, ritim olmak üzere dokuz kategoride ortaya koymuştur (Pham, 1999; Rashid, 2007).

Estetik ilkelerinin gelişmesi, aynı zamanda Mühendislik Estetiği araştırma ve değerlendirmesi Estetik için Tasarım metodolojisini güçlendirecektir. Gerek Estetik için Tasarım gerekse Mühendislik Estetiği olarak adlandırılmış olsa da ürün tasarımında estetiğin ele alınması, estetik değerlendirme, estetik tutum, estetik anlayış, estetik duygu ve Endüstriyel tasarımındaki estetik değerler, ürün geliştirme, sanat ve tasarım uygulamalarında bir şekilde kullanılmaktadır. Estetik için Tasarım özellikle Endüstriyel tasarımındaki estetik duyarlılığın bir parçasıdır. Ürün tasarımında ve geliştirilmesinde estetik duyarlılık tasarım çalışmasının kalitesi, fiziksel görünümü, hoş doğası, formların uyumu ve her birinin görünümü ile ilgilidir (Oladumiye vd., 2015).

İyi bir tasarım elde etmek, kaliteli, fiziksel görünümü hoş ve form olarak uyumlu bir ürün geliştirmek isteyen işletmeler ürün geliştirme çalışmalarında

estetik ilkelerini kullanılmalıdır. Ürün geliştirme çalışmalarında Estetik için Tasarım metodolojisini kullanan işletmeler kalite, fiziksel görünüm ve form uyumunun yanında ayrıca birtakım faydalar da elde edeceklerdir. Bu bağlamda, Estetik için Tasarım metodolojisinin faydaları aşağıda verilmiştir (Liu, 2003; Hekkert ve Leder, 2013):

- *Kullanıcı algısı ve duygusal bağlılığın artırılması:* Ürün estetiği, kullanıcıların ürüne yönelik ilk izlenimini doğrudan etkileyerek kullanıcı ile ürün arasında duygusal bir bağ kurulmasına katkı sağlamaktadır.
- *Satın alma niyeti ve pazar başarısının artırılması:* Estetik açıdan çekici ürünler, tüketici tercihlerini olumlu yönde etkileyerek satın alma eğilimini artırmakta ve dolayısıyla ürünlerin pazar başarısını desteklemektedir.
- *Marka değeri ve algısının güçlendirilmesi:* Estetik tasarım, ürünün yalnızca fonksiyonel değil aynı zamanda sembolik ve algısal değerini de artırarak marka imajının güçlenmesine katkı sağlamaktadır.
- *Kullanıcı deneyiminin (UX) iyileştirilmesi:* Estetik unsurların kullanılabilirlik ile birlikte değerlendirilmesi, kullanıcı memnuniyetini artırmakta ve ürün ile kullanıcı arasındaki etkileşimi güçlendirmektedir.
- *Ürün farklılaştırma ve rekabet avantajı sağlanması:* Fonksiyonel olarak benzer özelliklere sahip ürünler arasında estetik özellikler, önemli bir farklılaştırma unsuru oluşturarak işletmelere rekabet avantajı kazandırmaktadır.
- *Algılanan kalite düzeyinin yükseltilmesi:* Estetik açıdan iyi tasarlanmış ürünler, kullanıcılar tarafından daha kaliteli ve güvenilir olarak algılanmakta ve bu durum ürünün değer algısını artırmaktadır.
- *Ürün yaşam süresi ve sürdürülebilirliğe katkı:* Estetik açıdan tatmin edici ürünler, kullanıcılar tarafından daha uzun süre tercih edilmekte, bu durum ürün yaşam süresinin uzamasına ve dolaylı olarak sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlamaktadır.
- *Tasarım sürecinde bütüncül yaklaşımın desteklenmesi:* Estetik için Tasarım, mühendislik, ergonomi ve fonksiyonellik ile birlikte ele alınarak disiplinlerarası ve bütüncül bir tasarım yaklaşımını teşvik etmektedir.

- *Sistematik tasarım sürecinin oluşturulması:* Tasarım ekibinin araştırma ve tasarım faaliyetlerini planlamasına ve koordine etmesine yardımcı olan adım adım ilerleyen sistematik bir süreç sunmaktadır.
- *Sistematik ve kapsamlı düşünmenin desteklenmesi:* Tasarım ekibinin estetik problemlere daha geniş bir perspektiften ve sistematik bir yaklaşımla bakmasını sağlamaktadır.
- *Estetik unsurların nicel olarak değerlendirilmesi:* Tasarım sürecinde estetik faktörlerin ölçülebilir hale getirilmesine katkı sağlayarak daha rasyonel ve veri temelli kararlar alınmasını mümkün kılmaktadır.
- *Yöntem ve araç çeşitliliğinin sağlanması:* Tasarım ekibine farklı disiplinlerde geliştirilmiş ve uygulanmış yöntem ve araçlardan yararlanma imkânı sunmaktadır.
- *Yöntemlerin entegrasyonu için çerçeve sunulması:* Mevcut yöntemlerin yeni tasarım problemlerine sistematik bir şekilde uygulanmasını ve entegrasyonunu kolaylaştıran bir yapı sağlamaktadır.

1.5.12. Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım

Ürünlerin ne kadar kolay üretilebileceği, kullanılabileceği, muhafaza edilip atılabileceği, üründe tasarlanan özelliklere bağlıdır. Bir ürünün belirli bir yaşam döngüsü içerisinde performansını optimize etmek için geliştirilen tasarım yaklaşımlarından biri de Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım metodolojisidir. Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım metodolojisi, ürünü şu an ve gelecekte iyi durumda tutmak için gereken bakım ve kullanılabilirlik sürecine odaklanır (Mulder, 2012).

Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım, ürünün onarım ve bakım faaliyetlerinin desteklenmesini kapsayan ve ürün tasarımının erken aşamalarında, ürünün gerçekleştirilme kabiliyetinin minimum harcama ve emek ile amaçlanan faydalı ömrü boyunca sürdürülebilirliğini sağlayan bir yöntem olarak tanımlanır. Buradaki odaklanma, ürünün tasarımı sırasında onarım özelliklerini göz önüne alarak onarım kolaylığı sağlamaktır. Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım'da teknik kurulumların güvenilirlik, modülerleştirme ve teşhis sistemlerini sağlamak için Hata Modu ve Etkileri Analizi (FMEA), Hata Ağacı Analizi, vb. gibi çeşitli analiz yöntemleri ve araçları ile tasarım ilkeleri yaygın olarak kullanılan uygulamalardır (Lee, 2003; Tan vd., 2010). Ayrıca Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım araçları, tasarımcıların tasarımlarının ne kadar kolay bakımda tutulacağını değerlendirilmesine yardımcı olur. Bunlar

genellikle yönergeler veya bakım maliyetlerinin tahmin edilmesi için kullanılan araçlar olarak nitelendirilmektedir (Kuo vd., 2001; Holt ve Barnes, 2009). Bu yöntemler, günümüzde iyi bir şekilde geliştirilmiş ve izleme sistemleri ile birlikte, gereksiz duruş ve optimum performansı önlemek için proaktif bir şekilde bakım faaliyetlerinin yapılmasına yardımcı olmaktadır. Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarımın ürün tasarımını aşamasında uygulanmasında, basitlik, parça özellikleri, çalışma ortamı, parça tanımlama, montaj ve demontaj ilkeleri gibi en önemli tasarım aksiyomlarının kullanılması önerilmektedir (Lee, 2003; Tan vd., 2010).

Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım metodolojisi, sürdürülebilirlik açısından "bir ekipman veya sistemin muhafaza edilebildiği veya onarılabilir operasyona dönüştürülebileceği bir süreç" olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda, parça erişilebilirliği, konfigürasyonu, kullanım ve onarım ortamı, bakım yapılabilmesi için gereken zaman, araçlar ve eğitim Bakım kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarımın önemli bir fonksiyonudur (Sreekumar, 2013). Bu bağlamda, Bakım kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım servis, bakım, onarım ve destekle ilgili tüm konuları kapsamaktadır (Arnette vd., 2014). Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım bir ürünün kullanılabilirliği, kullanıcının yaşam döngüsü boyunca belirli beklentilerini karşılaması için karakteristik bir özellik olarak ve ürünün kullanıcının ihtiyaçlarına tepkisi şeklinde de tanımlanmaktadır (Sreekumar, 2013). Bakım kolaylığı için tasarım metodolojisinin literatürdeki gelişimini ve modern perspektifini yansıtmak amacıyla hazırlanan tanımlar Tablo 1.17’de sunulmuştur.

Tablo 1. 17. Literatürde Yer Alan Bazı Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Kuo ve Zhang	1995	Ürünün yaşam döngüsü boyunca minimum maliyet ve çaba ile bakımının yapılabilmesini ve operasyonel sürekliliğinin sağlanmasını hedefleyen bir tasarım yaklaşımıdır.
Kuo vd.	2001	Tasarım sürecinde ürünün bakım kolaylığını değerlendirmeye yönelik yönergeler ve maliyet tahmin araçları ile desteklenen bir metodolojidir.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Lee	2003	Ürünün bakım ve onarım süreçlerini kolaylaştırmak amacıyla modülerlik, erişilebilirlik ve teşhis sistemleri gibi tasarım ilkelerinin sistematik olarak uygulanmasıdır.
Sodhi vd.	2004	Ürünlerin kullanım süresi boyunca güvenilirliğini artırmak ve bakım faaliyetlerini kolaylaştırmak için tasarım aşamasında bakım gereksinimlerinin entegre edilmesidir.
Holt ve Barnes	2009	Ürün tasarım kararlarının bakım, güvenilirlik ve servis süreçleri üzerindeki etkisini dikkate alarak ürün desteklenebilirliğini artırmayı amaçlayan bir yaklaşımdır.
Tan vd.	2010	Hata Modu ve Etkileri Analizi (FMEA) ve diğer analiz araçları kullanılarak ürünün bakım ve arıza yönetim süreçlerinin optimize edilmesini sağlayan bir tasarım yaklaşımıdır.
Mulder	2012	Ürünün mevcut ve gelecekteki kullanım koşullarında iyi durumda tutulabilmesi için bakım ve kullanılabilirlik süreçlerine odaklanan bir metodolojidir.
Sreekumar	2013	Bir sistemin veya ekipmanın, kullanım ömrü boyunca kolayca bakım yapılabilir ve tekrar çalışır duruma getirilebilir olmasını sağlayan tasarım sürecidir.
Arnette vd.	2014	Servis, bakım, onarım ve destek süreçlerini kapsayarak ürünün yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilir performansını güvence altına alan bütüncül bir tasarım yaklaşımıdır.
Go vd.	2015	Ürün bileşenlerinin erişilebilirliğini ve bakım süreçlerinin etkinliğini artırarak bakım süresi ve maliyetlerini azaltmayı amaçlayan bir DfX metodolojisidir.
Mesa	2023	Ürünlerin ömrünü uzatmak ve döngüsel ekonomiyi desteklemek için parçaların kolayca sökülebilir ve onarılabilir şekilde tasarlanmasıdır

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Stojkovic	2025	Endüstri 4.0 çerçevesinde dijital dönüşüm araçlarını kullanarak sistemlerin sürdürülebilirliğini ve bakım verimliliğini artıran çerçevedir.

Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarımın temel amaçları (Kuo ve Zhang,1995; Go vd., 2015);

- Ürünün yararlı ömrü boyunca makul bir masrafla herhangi bir zorlukla karşılaşmadan muhafaza edilebilmesini sağlamak,
- Tasarımın sökülmesini ve bakım yapılabilirliğini içeren ürün bakımını kolaylaştırmasını sağlamak,
- Ürünün zaman içerisinde düzgün çalışmasını sağlamaktır.

Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım ürün tasarımı sürecinde, ürünün doğru bir şekilde tasarımı, üretimini, montajını ve tasarım kalitesini garanti etmektedir. Daha geniş bir perspektiften bakıldığında, satış sonrası hizmet ve desteğin rolü uzun yıllardır başarılı iş uygulamalarının gerekli bir bileşeni olarak ve rekabetçi bir yetenek olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte, destek çoğunlukla üretim sonrası dönemde geliştirilen ve yönetilen bir iş süreci ve ürün tasarımı süreci ile birlikte bir altyapı meselesi olarak da düşünülmektedir. Ürün desteğiyle ilgili birkaç kilit faktörün tanınması bu bakış açısını değiştirmiştir. Birincisi, tasarım kararlarının bakımı ve güvenilirliği üzerinde doğrudan etkisinin olması hizmet ve ürün desteğinin sıklığını etkiler. İkincisi, ürün tasarımı, gereken hizmetin miktarını ve teslimat şeklini etkiler. Tasarım sürecinde bu özelliklerin tanınması yararlı olabilir, çünkü destek bir ürünün yaşam döngüsünün üretim sonrası aşamasında önemli bir rol oynar ve ek gelir yaratır. Tasarım aşamasında, ürün özellikleri genellikle diğer hususlara göre önceliklidir ve destekleri daha zor veya pahalı yapan tasarımlara neden olabilmektedir. Bu sorundan kaçınmak için Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarımın tüm diğer XİT metodolojilerinde olduğu gibi, ürünü bu faktörleri göz önünde bulundurarak açıkça tasarlama gereksinimi ve daha desteklenebilir tasarımları kolaylaştırmak için destek mühendisleri veya yöneticileri tasarım aşamasına dahil etmenin gerekliliğini kabul etmektedir (Arnette vd., 2014). Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım sürecinde, bir ürünün ömrü boyunca fonksiyonelliğini, kullanılabilirliğini, güvenilirliğini ve kalitesinin korunması önemlidir. Bakım işlemleri, önleyici bakım ve düzeltici bakım olmak üzere iki

şekilde yapılır (Sreekumar, 2013). Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım sürecinde, güvenilirlik hem tekrar alımlar hem de ürünün bakımı için üreticinin nerede sorumlu olduğu ve garantilerin nerede yapıldığı bakımından da önemlidir (Holt ve Barnes, 2010). Ayrıca parçalanmanın kolaylığı ve tekrar bir araya getirilmesi ile ilgili bir ürünün özellikleri sökölme ve geri dönüştürülebilirlik için önemlidir (Tan, 2009).

Ürün geliştirme çalışmalarında Bakım Kolaylığı/Kullanılabilirlik için Tasarım metodolojisini kullanan işletmeler, operasyonel mükemmellik ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda önemli stratejik avantajlar elde ederler. Bu bağlamda, Bakım Kolaylığı için Tasarım metodolojisinin işletmelere sağladığı temel faydalar aşağıda verilmiştir (Arnette vd., 2014; Mesa, 2024; Branco, 2024):

- *Toplam Sahiplik Maliyetinin (TCO) Azalması*: Tasarım aşamasında bakım kolaylığının sağlanması, ürünün yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkacak onarım, yedek parça ve servis maliyetlerini minimize eder.
- *Operasyonel Verimlilik ve Minimum Duruş Süresi*: Hızlı arıza teşhis ve kolay parça değişimi imkanları, sistemlerin servis dışı kalma sürelerini (downtime) azaltarak üretkenliği artırır.
- *Müşteri Memnuniyeti ve Marka Sadakati*: Bakımı kolay ve düşük işletme maliyetli ürünler, kullanıcı deneyimini iyileştirerek marka değerini ve müşteri güvenini pekiştirir.
- *Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi Katkısı*: Onarılabilir ve sökülebilir tasarımlar, ürünlerin ömrünü uzatarak atık miktarını azaltır ve kaynakların verimli kullanılmasını sağlar.
- *İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG)*: Bakım personelinin çalışma alanı ve erişim noktalarının ergonomik olarak tasarlanması, onarım süreçlerindeki kaza risklerini ve fiziksel zorlanmaları azaltır.
- *Kestirimci Bakım Entegrasyonu*: Tasarım aşamasında sensör ve izleme altyapısının kurgulanması, arızaların oluşmadan önlenmesini sağlayan modern bakım stratejilerine olanak tanır.

1.5.13. Altı Sigma için Tasarım

Altı Sigma, müşterilerin beklentilerine ulaşmak ve aşmak amacıyla tüm operasyon süreçlerinin kârlılığını, kalitesini, etkililiğini ve verimliliğini artırmak için bir iş geliştirme stratejisidir. Temel olarak altı sigma, müşterinin ihtiyaçlarına ve işletmelerin mali yönüne odaklanarak süreçteki kusurları sürekli olarak azaltan proje odaklı (Goudarzlou, 2008) ve ürün veya süreç kalitesini iyileştirmek için disiplinli ve yüksek nicelikli bir yaklaşımdır (Jiang vd., 2007). Altı sigma, son yirmi yılda dünya çapında birçok sektörde popüler olan ve kabul gören büyük bir kalite iyileştirme girişi olarak kendisini kanıtlamıştır. Çeşitli kalite iyileştirme metodolojileri çerçevesinde sayısız aracın uygulanmasına sistematik bir yaklaşım getiren bir felsefedir. İstatistiksel kalite kontrolü, sıfır hata ve toplam kalite yönetimi gibi çeşitli kalite inisiyatifleri uzun yıllardır önemli inisiyatifler olarak ortaya çıkmıştır. Bunlardan biri de ürün veya hizmette kalite oluşturmak için geliştirilen ve proaktif bir yaklaşım olan Altı Sigma için Tasarımdır (Usman vd., 2006).

İş dünyasında sürekli değişen pazar ihtiyaçları, işletmelerin müşterilerinin ihtiyaçlarını karşılamasına yardımcı olmak için daha proaktif yaklaşımlar gerektirmektedir. Altı Sigma kalite seviyesine sahip bir süreç ya da bir ürün sunmak için yeni ürün geliştirmede Altı Sigma için Tasarım metodolojisi kullanılmaktadır (Goudarzlou, 2008). Günümüzde endüstriler tedarik sürelerini kısaltmak, geliştirmek, üretim maliyetlerini ve toplam yaşam döngüsü maliyetlerini düşürmek zorunda kalmaktadır. Bu nedenle doğru maliyette ve doğru kalitede ürün tasarımları sağlayacak stratejiler geliştirmek için bir yol olarak Altı Sigma için Tasarım en önemli stratejilerden biridir (Warwick Manufacturing Group, 2007). Altı Sigma için Tasarım metodolojisinin daha net anlaşılması için literatürde ulaşılan kaynaklardaki bazı tanımlar Tablo 1.18’ de verilmiştir.

Tablo 1. 18. Literatürde Yer Alan Altı Sigma için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Mazur ve Huber	2002	Ürün geliştirme sürecinde kalite araçlarının kullanımı ile oluşan sıfır hata seviyesinde ve tasarımla sağlanan süreçtir.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Yang ve El-Haik	2003	Farklı alanların algı ve anlayışları ile temel bilgi alanlarını içeren bilimsel bir teoridir.
Hu vd.	2004	Sistematik bir süreç ve iş mükemmelliğini sağlamak için disiplinli bir problem önleme yaklaşımıdır.
Usman vd.	2006	Bir ürün veya hizmetin tasarımında kusurları en aza indirmek için kullanılan proaktif bir yaklaşımdır.
Jiang vd.	2007	Müşteri gereksinimlerinin karşılandığından emin olmak için ürünleri baştan tasarlamaya yönelik güçlü bir yaklaşımdır.
Shahin	2008	Kalite maliyetlerini düşürürken müşterinin ihtiyaç ve beklentilerini karşılamak için ürünleri ve süreçleri uygun maliyetli ve basit bir şekilde tasarlamak için güçlü bir yaklaşımdır.
Batalha	2012	Süreçleri ve ürünleri iyileştirmek için nesnel ve istatistiksel düşünce kullanım disiplini kurma aracı olarak ortaya atılan bir metodolojidir.
Ahirwar ve Verma	2014	Organizasyonun müşteri beklentilerini karşılayan ve Altı Sigma kalite seviyelerinde üretilebilecek ürün ve süreçleri tasarlamalarını sağlayacak araçları, eğitimi ve ölçümleri kullanan sistematik bir metodolojidir.
Purushothaman ve Ahmad	2022	QFD, DFMEA ve TRIZ araçlarını DMADV adımlarıyla entegre ederek ürün inovasyonunu ve kalitesini maksimize eden metodolojidir.
Trubetskaya vd.	2023	Mevcut süreçleri iyileştirmek yerine, yeni ürün veya hizmetlerin geliştirilmesine odaklanan veri odaklı bir kalite stratejisidir.
Rezaei	2025	Tedarikçi ve süreç entegrasyonunu temel alarak iş mükemmelliğini hedefleyen kritik başarı faktörleri odaklı DFSS yaklaşımıdır.

Yapılan açıklama ve tanımlardan yola çıkarak, Altı Sigmanın için Tasarımın genel olarak, diğer kalite yaklaşımlarına göre daha yapısal ve proje odaklı bir tasarım yöntemi olduğu sonucuna varılabilir (Goudarzlou, 2008).

XİT ve Altı Sigma için Tasarım, son yıllarda kalite yönetiminde en popüler iki kavram olmuştur. İki yaklaşımında ortak noktası ister farklı kaliteyi yaratıyor olsun ister iyi kalite elde etmek için denensin, önemli olan planlandığı ve tasarlandığı zaman kaliteli bir ürün oluşturulmasıdır. Bu bağlamda XİT ve Altı Sigma için Tasarım hem tasarım hem de üretim aşamasında kalitenin oluşturulmasına yardımcı olmaktadır (Jiang vd., 2007). Ancak giderek daha fazla yeni ürün geliştirme için iki metodolojinin birleştirilmesi gerekmektedir. Kalite Fonksiyon Yayılımı ürün geliştirme sürecinde, bunları birleştirmek ve entegre etmek için bir avantaj yaratma noktasında ortaya çıkan sinerjiyi kullanmaktadır (Jiang vd., 2007). Altı Sigma için Tasarımın temel bilgi alanları önermelerin ve hipotezlerin bir karışımını, olay veya nesnelerin kategorizasyonunu, düşüncüyü ve aksiyomatik tasarımı, TRIZ, deneysel, istatistiksel ve matematiksel modellerin spektrumu gibi kavramsal yöntemleri içermektedir. Bu bilgi ve ilişkiler Altı Sigma için Tasarımın teorisini oluşturmaktadır (Yang ve El-Haik, 2003).

Altı Sigma için Tasarım, ürün tasarımının başlangıcında kalite belirleme ve erken tasarım aşamalarında üretim ve süreç kalitesinin ve öngörülebilirliğin artırılmasının sağlaması açısından önemlidir. Altı Sigma için Tasarım yaklaşımının amacı, müşteri gereksinimlerini karşılamak ve aşmak için yaratıcı yollar aramaktır (Usman vd., 2006). Altı Sigma için Tasarım, bir işletmenin ve müşterilerinin ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak, bir sürecin tümünün yeniden tasarlanmasını hedeflerken (Arendt, 2009), işletmelerin bir ürünün, sürecin veya hizmetin tasarımındaki kusurları önleme ve tahmin etmelerine yardımcı olmaktadır (Usman vd., 2006).

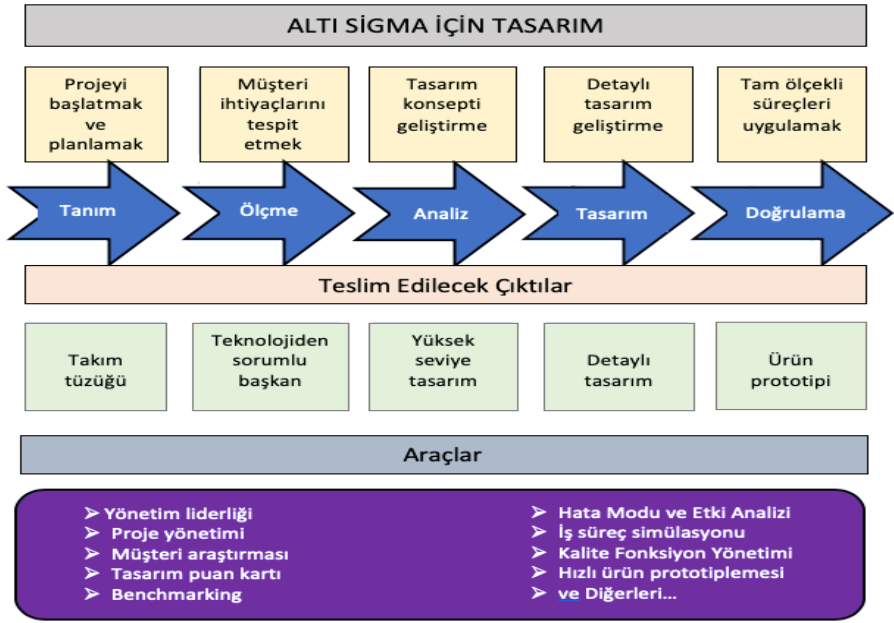
Altı Sigma için Tasarım süreci, organizasyonun müşteri beklentilerini karşılayan ve Altı Sigma kalite seviyelerinde üretilebilecek ürün ve süreçleri tasarlamasını mümkün kılmak için araçların, eğitimin ve ölçümlerin sistematik bir şekilde kullanılmasıdır (Kwak ve Anbari, 2006). Müşteri gereksinimlerini karşılamak için çeşitli kalite odaklı araçlar ve teknikler kullanarak yaşam döngüsü kârında bir artış olduğunu göstermiştir. Temel olarak, Altı Sigma için Tasarım süreci, daha yüksek düzeyde performans sağlayan yeni veya yenilikçi tasarımlara odaklanmaktadır. Bu bağlamda Altı Sigma için Tasarımın amaçları aşağıda verilmiştir (Goudarzlou, 2008; Shahin, 2008):

- Müşteri odaklı tasarım sürecini yönlendirmek.
- Başlangıçta tasarım kalitesini tahmin etmek.

- Süreç yeteneklerini, gereksinimleri için doğru yönetebilme kabiliyetine sahip olmak.
- İşlevler arasında ve çapraz fonksiyonel ekipler ile tasarım katılımını bütünleştirmek.
- Erken tasarım aşamasında kalite ölçümü ve öngörülebilirlik iyileştirmesi sağlamak.
- Kesin karar vermede süreç yeteneklerini kullanmak.
- Müşteri gereksinimlerinin karşılandığını doğrulamak için süreç değişikliklerini izlemek.

Altı Sigma için Tasarımın yedi unsurunun uygulanması aşamasında, beş basamaklı Altı Sigma için Tasarımın süreci kullanılır (Kwak ve Anbari, 2006). Şekil 1.10.'da Altı Sigma için Tasarımın uygulama süreci verilmiştir.

Şekil 1. 10. Altı Sigma için Tasarım Süreci



Kaynak: Kwak ve Anbari, 2006

Şekil 1.10'da görüldüğü gibi proje ekibi, önce Kano modeli ile başlayan Kalite Fonksiyon yayılımını kullanarak potansiyel müşterilerden bilgi ve daha sonra müşterilerin ne istediğini belirlemek için müşterinin taleplerini toplamaya odaklanır (Tanım aşaması) (Arendt, 2009). Baş teknoloji sorumlusu, Altı Sigma için Tasarımın araç ve tekniklerini kullanarak müşterilerin ihtiyaçlarını ve bir

sonraki aşamadaki tasarımın önceliklerini, *analiz* eder (Shahin, 2008). Analiz aşamasında, proje ekibinin mevcut seçeneklerden hangisinin sınıfının en iyi performans sürecini oluşturduğunu ve en iyisi olduğunu belirlemek için *tasarım* aşamasında tasarım modellerini doğrulamak için; öngörü modelleri, simülasyon ve prototiplerin kullanılması gerekir. Son olarak, tasarımın etkililiğinin gerçek hayatta kanıtlanması gerekir (Arendt, 2009).

Altı Sigma için Tasarımın başarılı bir şekilde uygulanması, müşteri memnuniyetini ve dolayısıyla pazar payını artırarak bir kurumun uzun vadeli kârlılığı üzerinde büyük bir etkiye sahip olur (Goudarzlou, 2008; Yang ve El-Haik, 2003). Altı Sigma için Tasarımın, uygulaması yeni ürün ve süreç geliştirmenin ilk aşamasında olduğu için geleneksel Altı Sigmadan potansiyel olarak çok daha etkilidir (Ahirwar ve Verma, 2014). Bu bağlamda Altı Sigma için Tasarım, Altı Sigma yeteneğinin tüm avantajlarından yararlanmanın en etkili yoludur. Altı Sigma için Tasarım, Altı Sigma kavram ve ilkelerinin (artan müşteri memnuniyeti, uzun vadeli kârlılık, artan ürün güvenilirliği, artan kâr marjı vb.) ürün tasarımı ve ürün geliştirme aşamalarında uygulanmasını sağlar. Uygulamada, elbette, diğerleri gibi, ekip üyelerinin seçimine ve çalışacakları destekleyici bir ortamın bulunmasına dayanan daha karmaşık bir prosedürdür. Bununla birlikte, başarıyla uygulandığında, Altı Sigma için Tasarımın rekabet avantajı ve iş mükemmelliği elde etmek için en iyi tasarım uygulamalarının elde edilmesi beklenmektedir (Shahin, 2008). Bu bağlamda Altı Sigma için Tasarım metodolojisinin işletmelere sağladığı temel faydalar aşağıda verilmiştir (Usman vd., 2006; Trubetskaya vd., 2023; Rezaei, 2025):

- *Kalitenin Tasarımda Kurgulanması:* Hataların oluşmasını beklemek yerine, tasarım aşamasında engellenmesini sağlayarak “ilk seferde doğru” prensibini hayata geçirir.
- *Müşteri Odaklılık:* Müşteri ihtiyaçlarının (VOC) teknik spesifikasyonlara (CTQ) hatasız aktarılmasını garanti ederek pazar başarısını artırır.
- *Geliştirme Sürelerinin Kısılması:* Tasarım aşamasındaki titiz analizler sayesinde, prototip ve test aşamalarındaki tekrarları ve maliyetli revizyonları azaltır.
- *Varyasyon Kontrolü:* Üretim ve kullanım süreçlerindeki değişkenliği tasarım yoluyla minimize ederek ürün performansının kararlı olmasını sağlar.
- *Stratejik Rekabet Avantajı:* Yüksek kalite standartları ve düşük kusur oranları ile işletmenin pazar payını ve marka değerini yükseltir.

1.5.14. Maliyet İçin Tasarım

Maliyet odaklı ürün geliştirme, disiplinlerarası bir yaklaşım olup *ekip çalışması* gerektiren sistematik bir mühendislik çalışmasıdır. Maliyetleri azaltma olanakları çeşitli perspektiflerden değerlendirilebilir. Buradaki maliyetler, ürün için katlanılan maliyetlerdir. Ürünün kendisinden kaynaklanan temel maliyetler üretim maliyetleri, yani doğrudan üretim sürecine atanabilecek maliyetlerdir. Bunlar ürün için malzeme ve üretim maliyetlerinden oluşur ve mazleme maliyetleri işletmenin toplam maliyetlerini oluşturmak için üretim maliyetleri ile birleştirilir. Toplam maliyetler, kullanım ömrü maliyetlerine katkıda bulunur ve ürün satış fiyatına yansıtılır. Kullanım ömrü maliyetleri, ürün kullanıcılarına tahakkuk eden maliyetlerdir ve ürünün satın alınması, kullanımı ve bertarafı ile ilgili tüm maliyetlerin toplamıdır. Bu aşamaların her birinde maliyetleri azaltmak işletmelerin verimliliğinin artırılmasında çok önemlidir (Hundal, 2008: 38).

Maliyetin, üretilebilirliğin en eksiksiz ölçütü olduğu düşünülürse (Bralla, 1999: 181) tasarımcıların, tasarımlarının maliyetlerini tahmin etmesine yardımcı olmak için ve herhangi bir değişikliğin etkilerini değerlendirmek için gerekli ölçüleri sağlayacak metodolojiler geliştirilmesi kaçınılmazdır (Holt ve Barnes, 2010: 124). Bu bağlamda geliştirilen en önemli metodolojilerden biri, ürün geliştirme sürecinin tasarım aşamasında yapılan değişikliklerinin üretim maliyetlerini arttırması sebebiyle geliştirilen, ürün ömrü aşamasında ve ürün ömrü boyunca daha düşük maliyetlere yol açan Maliyet için Tasarım metodolojisi (Arnette, 2014: 374-390).

Maliyet için Tasarım metodolojisi, başarısını kanıtlanmış doğrudan maliyet konularına değinen bir tekniktir (Valeri ve Trabasso, 2003: 2). Bu metodoloji, eşzamanlı mühendislik için destek araçlarından birisi olup XİT için önemli metodolojilerdendir. Maliyet için Tasarım metodolojisi, bir ürünün yaşam döngüsü maliyetini analiz eden, değerlendiren ve daha sonra yaşam döngüsü maliyetini azaltmak için tasarımı değiştiren bir tasarım yöntemidir. Diğer XİT metodolojilerine nazaran ürünün tüm kullanım ömrünü kapsamaktadır (XiaoChuan vd., 2004:

XİT metodolojilerinin muhtemelen ortak birçok maliyeti vardır, bu da iki veya daha fazla tekniğin aynı anda uygulanmasında yanlış anlamaya neden olabilir. XİT metodolojileri ve etkilerinden, etkilenen maliyet unsurları bilgisi, bu tür araçların verimliliğini ve maliyet düşürme potansiyelini arttırabilir. Bu nedenle, tasarım kararları ürün yaşam döngüsünün çeşitli yönlerini etkilediği için maliyet mühendislik tasarım sürecine başka bir tasarım parametresi olarak dahil edilmelidir. Maliyet için Tasarım, maliyetin değerlendirme kriterleri olarak kullanılmasının bir yolu olarak kabul edilmelidir (Valeri ve Trabasso, 2003: 2).

Maliyet için Tasarımın eşzamanlı mühendislik ve XİT çalışmalarında büyük bir önemi olmasına rağmen yeterli literatüre sahip değildir. Mevcut literatürde ise Maliyet için Tasarım metodolojisinin çok farklı olmayan birkaç tanımı vardır. Maliyet için Tasarımın metodolojisinin daha net anlaşılması için literatürde ulaşılan kaynaklardaki bazı tanımlar Tablo 1.19’ da verilmiştir.

Tablo 1. 19. Literatürde Yer Alan Maliyet için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Dean ve Ünal	1992	Yaşam döngüsü maliyetlerini azaltmak için mühendislik süreç teknolojilerinin bilinçli kullanımı, projenin içeriği belirli bir bütçeyi karşılayana kadar bir projenin yinelenmeli yeniden tasarımı olmak üzere iki boyuttan oluşan, tasarım sürecinde maliyetin dikkate alınmasını sağlayan ve ürün geliştirme sürecinde maliyetin bir tasarım parametresi olarak kullanıldığı süreçler kümesi ve yaşam döngüsü maliyetini azaltmak için mühendislik sürecinin yönlendirilmesidir.
Holt ve Barnes,	2003	Tasarım aşamasında mevcut bilgilere dayanarak bir ürünün maliyetinin en aza indirgenmesini ve maliyetin belirli bir kısıt içinde tutulmasını sağlayan maliyet tahminidir.
XiaoChuan vd.,	2004	Ürünün yaşam döngüsü maliyetini (üretim maliyetini, satış maliyetini, kullanım maliyetini, bakım maliyetini, geri dönüşüm maliyetini, vb.) azaltmak için analiz eden ve değerlendiren bir tasarım yöntemidir.
Da Cunha vd.	2007	Düşük bir teknik çeşitliliğin desteklediği süreç çeşitliliğini azaltan ve böylece kabul edilebilir ürün geliştirme ve üretim maliyetlerini garanti eden bir yöntemdir.
Ehrlenspiel vd.	2007	Ürün maliyetlerini tasarım parametreleri aracılığıyla sistematik olarak yönetme ve azaltma disiplini.
Malviya	2024	Pareto optimizasyonu kullanarak çevresel etki ile yaşam döngüsü maliyetleri arasında denge kuran bütünsel bir modeldir.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Räikkönen vd.	2025	İmalatta sürdürülebilirliği ve enerji verimliliğini artırmayı amaçlayan, LCC odaklı bir tasarım çerçevesidir.
Ajax vd.	2025	Yeni ürün geliştirme süreçlerinde maliyet tahminini daha doğru, ölçeklenebilir ve otomatik hale getiren Makine Öğrenmesi tabanlı metodolojidir.
Sanakal	2025	Karmaşık imalat sistemlerinde hata payını minimize eden, AI destekli öngörülü ürün maliyetleme modelidir.

Maliyet için Tasarım metodolojisinin mühendislik süreç teknolojilerinin bilinçli kullanımı ve tasarım aşamasındaki verilerin doğru değerlendirilmesi ile ürün yaşam döngüsü maliyetlerinin azaltılmasını sağlayan bir metodoloji olduğu söylenebilir.

XİT metodolojileri farklı yaklaşımlar ve hedeflerle ayrı ayrı geliştirilmiş olsa da aralarında bazı ortak faaliyetler vardır. Bu ortak faaliyetlerin bir kısmı, ürün maliyetleriyle doğrudan ilişki içerisindedir ve bu da maliyet unsurlarının çakışmasını da beraberinde getirir. XİT metodolojilerinde maliyet unsurlarının tanımlanması, maliyet düşürme potansiyelini artırabilir, çünkü aynı maliyet ve tasarım parametreleri veri tabanını kullanabilen iki veya daha fazla XİT metodolojisinin eşzamanlı uygulanmasına izin verir (Valeri ve Trabasso, 2003).

XİT metodolojilerinin özelliklerinin ve sonuçlarının genel analizi, maliyet unsurlarının tüm yaşam döngüsü aşamalarının, tüm XİT metodolojilerinin geçişlerinde mevcut olduğu için bir tasarım karar kriteri olarak düşünülebileceğini göstermektedir. Her bir “X” boyutunda, her bir tasarım kararının etkilerini göstererek, güçlü ticaret çalışmalarını destekleyebilecek tüm XİT metodolojilerinde ortak olması gerekir. Birçok maliyet unsuru birden fazla XİT metodolojisinde mevcuttur. Bu bağlamda XİT metodolojilerindeki maliyet unsurları aşağıda verilmiştir (Valeri ve Trabasso, 2003; Holt ve Barnes, 2009):

- *Üretim için Tasarım ve Montaj için Tasarım ortak maliyet unsurları:* sistemler ve parçalar arasındaki minimum arayüzler, minimum parça sayısı, azaltılmış parça değişimi, sıkı tolerans, daha iyi uyumluluk, daha az parçalama ve yeniden işleme, daha düşük işlem süreleri, daha

düşük montaj süreleri, daha iyi kullanım, alet ve makinelerin optimize kullanımı, modüler tasarım ve çoklu parça.

- *Kalite için Tasarım maliyet unsurları:* artan test sayısı ve artan test parametresi sayısı.
- *Çevre için Tasarım maliyet unsurları:* atık kontrolü maliyeti, atık / atık arıtma maliyeti, atık bertarafı maliyeti, çevre yönetim sistemlerinin uygulanması maliyeti, eko-vergiler maliyeti, rehabilitasyon maliyeti (kaza durumunda), enerji maliyeti ve geri dönüşüm ve yeniden kullanım stratejilerinin maliyeti.
- *Güvenilirlik için Tasarım maliyet unsurları:* minimum parça sayısı, tamir edilecek minimum özel araç sayısı, modüler tasarım, çoklu parça parçaları, geliştirilmiş ürün güvenilirliği ve yaşam döngüsü, sökme süresi, ortalama onarım süresi, arıza süresi arasındaki ortalama süre, tanı yetenekleri.
- *Ürün yaşam çevrimi maliyet unsurları:* ürün ömrü boyunca (malzeme maliyetleri, tedarik zinciri maliyetleri, kalite denetim maliyetleri) katılan maliyetlerin hepsi şeklinde sıralanabilir.

Maliyet için Tasarım metodolojisinin işletmelere sağladığı temel stratejik faydalar ve modern perspektifler aşağıda detaylandırılmıştır (Fictiv, 2025; Galorath, 2025; Räikkönen vd., 2025):

- *Yaşam Döngüsü Maliyetlerinin (LCC) Bütünsel Yönetimi:* Sadece ilk üretim maliyetlerini değil, enerji tüketimi, bakım-onarım ve bertaraf maliyetlerini de kapsayan toplam sahip olma maliyetini optimize eder.
- *Pazara Giriş Süresinin (Time-to-Market) Optimizasyonu:* Tasarım aşamasında yapılan "ilk seferde doğru" maliyet analizleri, ilerleyen aşamalarda ortaya çıkabilecek pahalı tasarım revizyonlarını ve prototip tekrarlarını engeller.
- *Değer Mühendisliği (Value Engineering 4.0):* Fonksiyon-maliyet oranını optimize ederek, müşterinin ihtiyaç duymadığı gereksiz özellikleri eleyip, temel fonksiyonlara odaklanarak ürün değerini artırır.
- *Yapay Zeka Destekli Karar Destek Sistemleri:* AI algoritmaları, geçmiş verileri ve pazar trendlerini analiz ederek tasarımcılara farklı malzeme ve üretim senaryoları için anlık maliyet öngörülerini sunar.

- *Sürdürülebilirlik ve Yeşil Maliyetleme*: Karbon ayak izi ve çevresel etki maliyetlerini tasarım parametresi olarak kabul ederek hem ekonomik hem de ekolojik açıdan optimal çözümler üretir.

1.5.15. Sağlamlık/Robust İçin Tasarım

Üretim sistemlerinin devamlılığını sağlayan ana etken yeni ürün geliştirmedir. Ürünlerin sahip olduğu tasarım ve teknolojiler sonucunda kullanıcı konforu ve işletme kârlılığı doğrudan etkilenmektedir. Sağlam ve uzun ömürlü ürünlerin ortaya konulması ise hem kullanıcı hem de üreticilerin ortak hedefleri arasında yer almaktadır (Apak vd., 2012: 27). Ürünlerin performansını arttırmak için geliştirilen XİT metodolojilerine ek olarak günümüzün ürün gereksinimleri olan ürünlerin güvenilirliği, üst düzey kalite beklentileri ve sağlamlığı geliştirmek için Sağlamlık/Robust için Tasarım metodolojisi geliştirilmiştir (Park vd., 2006: 181).

Sağlamlık/Robust için Tasarım, ürünlerin sağlam ve uzun ömürlü hale getirilmesi için uygulanması kabul görmüş bir yöntemdir. Yeni ürün geliştirme süreçlerine, Sağlamlık/Robust için Tasarım metodolojisinin dahil edilmesi ile ilk ürünler, hedeflere uygun biçimde ortaya konulabilmektedir (Apak vd., 2012: 27).

Kalite yönetimi metodolojisi olarak tanımlanan Sağlamlık/Robust için Tasarım metodolojisi gürültü faktörlerine karşı duyarsızlığa ulaşmak için sistematik çabalardan oluşur. Bu çabalar, varyasyon bilinciyle kurulur ve ürün tasarımının tüm aşamalarında uygulanabilir (Arvidsson ve Gremyr, 2008: 31). Taguchi tarafından Japonya’da geliştirilen, kalite yaklaşımının temeli olarak Sağlamlık/Robust için Tasarım metodolojisi günümüzde tüm dünyada başarı ile uygulanmaktadır. Bu metodoloji, bütün ürünlerin istenilen hedef değerde üretilmesi gerektiğine işaret etmekte, hedeften sapmayla birlikte kayıplarının da başladığını ve bu kayıpların ancak iyi bir tasarım ile giderilebileceğini belirtmektedir. Robust Tasarım adıyla anılan yüksek performanslı ürünlere ulaşmak için istatistiksel deney modelinde dayalı değişkenlerin hedef parametreleri üzerindeki etkileri belirlenerek ortogonal dizi, doğrusal grafikler, sinyal/gürültü oranı gibi kavramlar kullanılmaktadır (Apak vd., 2012: 29).

Sağlam/Robust tasarımın öncüsü olan Taguchi sağlamlığı “teknolojinin, ürünün veya işlem performansının değişkenliğe (ya da üretim ortamında) ve en düşük birim üretim maliyetinde yaşlanmaya neden olan faktörlere asgari derecede duyarlı olduğu durum” olarak değerlendirmiştir (Park vd., 2006: 182). Kuramsal olarak Robust Tasarım felsefesi (Apak vd., 2012: 29).

- Rekabetin arttığı ve pazar koşullarının değişken olduğu ortamda sürekli kalite geliştirme ve maliyetlerin azaltılmasındaki önemi,
- Ürün kalitesini iyileştirilirken ortaya çıkan sosyal etkinin gözardı edilmemesi ve bu dışsal maliyetin minimize edilmesi,
- Bir ürünün nihai kalite ve ömrü, ürünün ve üretim sürecinin mühendislik tasarımıyla belirlenmesi olarak açıklanabilir.

Sağlamlık/Robust için Tasarım Metodolojisi, bir ürünün sadece bireysel bir müşteriye değil, aynı zamanda topluma sağladığı kalite kaybına bağlı olarak sürdürülebilirlikle de bağlantılıdır (Gremyr vd., 2014: 232).

Literatürde Sağlamlık/Robust için Tasarım metodolojisinin çeşitli tanımları bulunmaktadır. Metodolojinin daha net anlaşılabilirliği için Tablo 1.20’de Sağlamlık/Robust için Tasarım tanımlarından bazıları verilmiştir.

Tablo 1. 20. Literatürde Yer Alan Bazı Sağlamlık/Robust için Tasarım Tanımları

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Andersson	1996	Belirtilen girdideki farklılıklar için güçlü olan ve değişkenlerin nominal değerlerden sapmalarını tasarlayan kavramsal bir çözümdür.
Suh	2001	Tasarım ve işlem değişkenlerinin imalat ve montaj kolaylığı için büyük toleranslara sahip olmasına rağmen, bilgi içeriğinin en aza indirildiği fonksiyonel gereksinimleri karşılayan tasarımıdır.
Taguchi vd.	2005	Ürün performansının gürültü faktörlerine karşı duyarlılığını minimize eden, kalite kaybını tasarım aşamasında önleyen metodolojidir.
Park vd.	2006	Tasarlanan bir ürünün, harici seslere veya toleranslara karşı duyarsız bir tasarımının elde edilebileceği beklentisiyle geliştirilmiştir.
Arvidsson ve Gremyr	2008	Varyasyon bilinciyle kurulmuş ve ürün tasarımının tüm aşamalarında uygulanabilir çabalaradır.
Siva vd.	2011	Ürün ve işlemlerde performans farklılıklarını azaltmak veya ürünün üretilebilirliğini veya ürün ömrünü artırmak için bir yaklaşımdır.

Araştırmacı(lar)	Tarih	Tanım
Gremyr vd.	2014	Gürültü faktörlerine karşı duyarsızlığa ulaşmak için sistematik çabalaradır.
Freund vd.	2017	Tüm ürün yaşam evrelerinde ve süreç geliştirme zincirinin kendisinde belirsizlikle karşı karşıya kalan ek bir süreçtir.
Quality Inspection	2023	Ürün güvenilirliğini ve kullanıcı memnuniyetini doğrudan artıran, bazen malzeme maliyetlerinde düşüş sağlayan bir optimizasyon yöntemidir.
Kiakojourı	2023	Bölgümlere ayırma ve karmaşıklık gibi biyolojik çözümleri yapısal sağlamlığı artırmak için tasarıma entegre eden perspektiftir.
Eifler	2023	Otomotiv ve medikal cihaz geliştirme gibi farklı endüstri dallarında sağlamlık zorluklarını ele alan uzman odaklı bir çerçevedir.
Hosoda ve Fujita	2024	Çeşitli tasarım değişkenlerini ve kullanım evrelerini eş zamanlı olarak değerlendiren, yapısal sağlamlığı ölçen yeni bir değerlendirme yöntemidir.
Li	2025	Ürün geliştirme sürecinde güvenilir performansı sürdürmek için spesifik tasarım bilgisini hipotez tabanlı modellerle kurgulayan disiplindir.

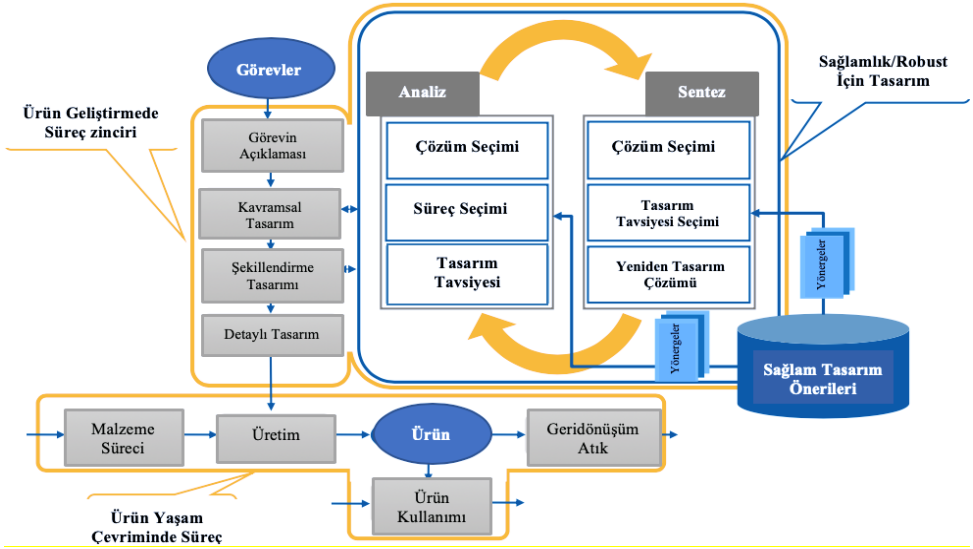
Volvo Aero, Robust için Tasarım terimini kullanarak, kendi tanımını “Robust için Tasarım, müşteri gereksinimlerini dengelemek ve yerine getirmek için varyasyonları ve belirsizlikleri yönetme yeteneği anlamına gelir” şeklinde yapmıştır. Sağlamlık/Robust için Tasarım metodolojisini uygulayan işletmelerin sürekli ve verimli bir şekilde tasarım ve üretim yaparak, müşterilerin işlevsellik ve kalite beklentilerini desteklediği *üretkenlik* beklentilerini karşılayan ve tüm varyasyon kaynaklarında minimum hassasiyete sahip bir Sağlamlık/Robust için Tasarım vizyonuna sahip oldukları söylenebilir (Wallin, 2009: 14).

Farklı ifadeler kullanılsa da aslında tanımların anlamları benzerdir. Tanımların ortak bir yönü, mühendislik tasarımında kabul edilebilir bir kavram olarak, Sağlamlık/Robust için Tasarımın varyasyonlara duyarsız bir tasarım olmasıdır (Park vd., 2006: 182).

Sağlamlık/Robust için Tasarım süreci, genel tasarım sürecinin bir parçasıdır. Bu süreç, özellikle Birkhofer'e göre entegre ürün ve süreç geliştirme, tasarım aşaması ile üretim ve ürün kullanımı gibi gerçek süreçler arasındaki ilişkileri göstermektedir. Ürün geliştirme ve ürün yaşam döngüsü süreçlerini öngörmek zorunda olsa da geliştirme sırasında alınan kararlar ürün yaşam döngüsünü de etkiler. Sağlamlık/Robust için Tasarım, etkilerini en üst düzeye çıkarmak için geliştirme sürecinde mümkün olduğunca erken uygulanmalıdır (Freund vd., 2017: 283).

Sağlamlık/Robust için Tasarım süreci, her ikisi de sağlam tasarım önerileri veri tabanı tarafından sağlanan tasarım önerileriyle desteklenen analiz ve sentez adımlarından oluşur. Ürünün her parçası için (alt sistem), ürünün ömrünü arttırmak için potansiyel olarak yönergeler, veritabanının filtreleme özelliği olarak ürün yaşam döngüsü kullanılarak tanımlanabilir. Ürün yaşam döngüsünün ana işlem basamaklarını alt işlemlere bölen bir filtreleme özelliği kullanılır. Üretim ve montaj, ürün kullanımı ve bakım olarak ayrılmış ve bu işlemler tasarımın daha iyi bir şekilde ayırt edilmesi için yapılmıştır (Freund vd., 2017: 284). Sağlamlık/Robust için Tasarım sürecinin daha net anlaşılması için Şekil 1.11' de entegre ürün ve süreç geliştirme sürecinde Sağlamlık/Robust için Tasarım prosedürü verilmiştir.

Şekil 1. 11. Entegre Ürün ve Süreç Geliştirme Sürecinde Sağlamlık/Robust için Tasarım Prosedürü



Kaynak: Freund vd., 2017:284

Sağlamlık/Robust için Tasarım metodolojisinin bir ürünün, üretim ve kullanım sürecindeki değişkenliklerden minimum düzeyde etkilenerek veya hiç etkilenmeyecek şekilde tasarım yapılmasını hedeflediği görülmektedir. Bu amaçla, Sağlamlık/Robust için Tasarım metodolojisi kullanılarak, üretimde sağlamlığı elde etmek için uygun malzeme, doğru üretim tekniği ve doğru üretim ortamı oluşturularak tasarım şekillendirilmeli, ürünün kullanım sürecinde sağlamlığı elde etmek için ürünün tüm kullanım koşulları ve kullanıcının ürünü kullanım şekli dikkate alınarak tasarım çalışması yapılmalıdır.

Sağlamlık için Tasarım metodolojisinin işletmelere sağladığı temel stratejik faydalar ve modern perspektifler aşağıda detaylandırılmıştır (Eifler, 2023; Li, 2025):

- *Varyasyona Karşı Duyarsızlık*: Üretim toleranslarındaki sapmalar veya çevresel koşullardaki (sıcaklık, nem, titreşim) değişimlere rağmen ürünün fonksiyonel performansını kararlı bir şekilde sürdürmesini sağlar,
- *Garanti ve Servis Maliyetlerinin Azalması*: Saha arızalarının temel nedeni olan "değişkenliğe bağlı performans düşüşlerini" tasarım aşamasında engelleyerek satış sonrası maliyetleri minimize eder,
- *Üretim Verimliliği ve Hurda Oranının Düşmesi*: Tasarımın üretim varyasyonlarına karşı sağlam olması, daha geniş tolerans aralıklarında bile kaliteli ürün elde edilmesine olanak tanıyarak üretim maliyetlerini düşürür,
- *Biyolojik Esinlenmeli Sağlamlık (Bio-inspired Robustness)*: Doğadaki dayanıklı sistemlerin (örneğin hücresel yapılar) hiyerarşik ve modüler yapısını tasarıma aktararak sistem dayanıklılığını artırır,
- *Yapay Zeka Destekli Tolerans Optimizasyonu*: AI algoritmaları, binlerce farklı varyasyon senaryosunu saniyeler içinde analiz ederek en sağlam tasarım kombinasyonlarını belirler.

1.6. X için Tasarım Metodolojilerinin Uygulanabilirliği

Ürün geliştirme süreci bir fikrin oluşumu ve ortaya çıkmasından başlayarak ürünün müşteriye sunulmaya hazır bir değere dönüştürülünceye kadar geçirdiği bütün aşamalardan oluşmaktadır. Tasarım süreci ise fikir aşaması ve kavram aşamasını tamamlamış, ürünün kâğıt üzerinde ya da model üzerinde görünür hale gelmeye başladığı aşamadır. Ürün bu aşamada çeşitli işlem adımlarından geçerek bir sonraki süreç olan üretim sürecine doğru yol almaktadır (Crawford ve Di Benedetto, 2006).

Bu çerçevede ürün geliştirme çalışmalarında başarılı işletmeleri rakiplerine göre üstün kılan temel özellikler; çalışmalarını müşterilerin ve tedarikçilerin de yer aldığı ürün geliştirme ekipleri ile sürdürmeleri, özellikle maliyet ve hız üstünlüğü sağlamak amacıyla eşzamanlı ürün geliştirme yaklaşımını uygulamaları ve sürecin tüm aşamalarında XİT ürün geliştirme araç ve tekniklerini etkin olarak kullanmalarıdır (Cooper, 2003). Başarılı bir yeni ürün geliştirme, ileride ürünün yaşam döngüsü süresince oluşacak etki ve gereklilikleri tasarım aşamasında önceden değerlendirebilmekle mümkündür (Herrmann, 2003). Bu süreçte yapılacak yanlış değerlendirmeler ve alınan yanlış kararlar gelecekte problem yarattığı gibi bazı durumlarda ürünün tekrar tasarlanmasına da neden olmaktadır. Yaşam döngüsü içerisinde tasarım aşamasını geçmiş, üretime veya piyasaya çıkmış ürünlerin tekrar tasarlanmasının maliyeti ise çok yüksektir (Herrmann, 2003; Talati, 2006). Bu bağlamda yüksek geri dönüş maliyetlerin önüne geçilmesinde ve ileride gerçekleşmesi muhtemel tasarım değişikliklerinin önlenmesinde XİT metodolojileri günümüzde etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

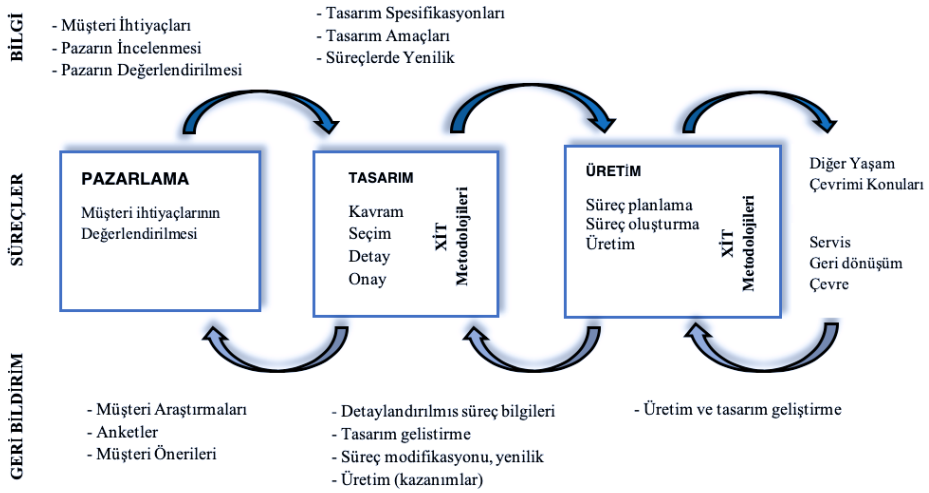
XİT metodolojilerinin ürün geliştirme sürecinde kullanımı; ürün geliştirme maliyetlerini azaltma, işletmenin rekabet gücünü artırma, ürün geliştirme hızı ve bunlara bağlı yatırımların geri dönme oranı bakımından önemlidir (Sherman vd., 2000).

Ürün geliştirme çalışmalarında ürün geliştirme araç ve tekniklerinin uygun süreçlerde etkin olarak kullanılması büyük bir öneme sahiptir. Ürün geliştirme aşamalarında ürünün üretilebilirliği, montaj edilebilirliği, çevreye etkileri, geri dönüşümü gibi birçok faktöre bağlı olarak geliştirme çalışmalarının yapılması söz konusudur. Bu bağlamda XİT metodolojilerini ürün tasarımını ve ürünün mükemmelliğini sağlayan teknikler olarak nitelendirmek mümkündür (Haik, 2003; Fleischer ve Liker, 1997; Huang, 1996). Dolayısıyla ürün geliştirme sürecinde XİT metodolojilerinin kullanılmasındaki temel amaç ürünün en uygun tasarımının gerçekleştirilmesi ve üretilmesi yanında olası sorunların tasarım aşamasında dikkate alınması ve çözülmesi şeklinde ifade edilebilir (Akyüz ve Yayla, 2005).

Ürün geliştirme sürecinde XİT metodolojilerinin kullanılması, ürünlerin ürün yaşam çevrimi boyunca kalitesi, üretimi, çevreye etkileri gibi tasarım değişkenlerinden her birinin etkin bir şekilde kontrol edilmesini olanaklı hale getirmektedir (Haik, 2003). Örneğin montajın kolay değerlendirilmesi için Montaj için Tasarım tekniğinin kullanılması, ürünün üretilebilirliğinde Üretim için Tasarım tekniğinin kullanılması, bir ürünün çevreye etkileri ile ilgili yapılan çalışmalarda Çevre için Tasarım tekniğinin kullanılması bu süreçlerin etkin bir şekilde yönetilmesini olanaklı hale getirmektedir (Russell ve Taylor, 2006).

Yeni bir ürün fikrinin ortaya çıkmasıyla başlayan ürün geliştirme sürecinin başlangıcından ürünün nihai olarak üretildiği aşamaya kadar geçen süreç genel olarak düşünüldüğünde hem tasarım aşaması hem de üretim süreci için XİT metodolojilerinin kullanımının olanaklı olduğu söylenebilir. Bu çerçevede ürün geliştirme sürecinde XİT metodolojilerinin kullanımına ilişkin genel bir döngü söz konusudur. Ürün geliştirme çalışmalarında XİT metodolojilerinin kullanımı Şekil 1. 12’deki gibi ifade edilebilir.

Şekil 1. 12. Ürün Geliştirme Çalışmalarında X için Tasarım Metodolojileri



Kaynak: Kuo vd., 2001

Şekil 1.12 incelendiğinde, ürün geliştirme sürecinin pazarlama, tasarım ve üretim aşamalarından oluşan bütüncül ve etkileşimli bir yapı içerisinde ele alındığı görülmektedir. Sürecin başlangıcını oluşturan pazarlama aşamasında, müşteri ihtiyaçlarının belirlenmesi, pazarın incelenmesi ve değerlendirilmesi gibi faaliyetler aracılığıyla tasarım sürecine yön verecek temel veriler elde edilmektedir. Bu veriler, tasarım aşamasında tasarım spesifikasyonları, tasarım amaçları ve süreçlerde yenilik gibi unsurlar doğrultusunda somut ürün özelliklerine dönüştürülmektedir. Tasarım süreci, kavramsal geliştirme, detaylandırma ve doğrulama adımlarını içeren dinamik bir yapı sergilemekte olup, bu aşamada ürünün fonksiyonel, estetik ve teknik performansı XİT metodolojileri kapsamında değerlendirilen farklı tasarım kriterleri ile optimize edilmektedir. Üretim aşamasında ise tasarım çıktıları fiziksel ürüne

dönüştürülmekte, süreç planlama ve uygulama faaliyetleri ile ürünün gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır.

Şekil 1.12’de ayrıca, bu üç temel aşama arasında sürekli bir geri bildirim mekanizmasının bulunduğu ve üretimden elde edilen verilerin tasarım sürecine, tasarım çıktıların ise pazarlama faaliyetlerine yeniden girdi sağladığı görülmektedir. Bu durum, ürün geliştirme sürecinin doğrusal değil, aksine döngüsel ve sürekli iyileştirmeye açık bir sistem olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, ürünün servis, kullanım ve geri dönüşüm gibi yaşam döngüsü aşamalarının da dikkate alınması, sürecin yalnızca üretimle sınırlı olmadığını, yaşam döngüsü temelli bir yaklaşımın benimsendiğini göstermektedir. Bu bağlamda söz konusu model, XİT metodolojilerinin müşteri odaklılık, süreçler arası entegrasyon ve sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde ürün geliştirme sürecine sistematik bir şekilde entegre edildiğini ortaya koymaktadır.

Literatürde XİT metodolojilerinin uygulanması sonucu birçok olası faydanın elde edilebileceği belirtilmektedir. Bu bağlamda elde edilebilecek olası faydalar ve bu konuya ilişkin literatürdeki bazı çalışmalar aşağıda Tablo 1.21’ de verilmiştir.

Tablo 1. 21. X için Tasarım Uygulaması Sonucu Elde Edilebilecek Olası Faydalara İlişkin Literatür

XİT Faktörleri	Elde Edilebilecek Olası Faydalar	Çalışmalar
Maliyet	Rekabetçi fiyat ve pazarlarda maksimum kâr	Kim ve Arnold, 1993; Lehto vd., 2011
Kalite	Tutarlı, düşük hata oranları; optimal ürün performansı ve güvenilir ürünler	Kim ve Arnold, 1993; Kuo vd., 2001; Babu vd., 2008; Lehto vd., 2011; Zonnenshain ve Kenett, 2020; Saraiva, 2025
Kullanılabilirlik	Etkin satış sonrası hizmet, etkili ürün desteği, etkili bakım, ürün ve özelleştirme hizmetleri, ürün bulunabilirliği	Kuo vd., 2001; Lehto vd., 2011; Arnette vd., 2014; Mesa, 2024; Branco, 2024
Lojistik	Hızlı teslimat, zamanında teslimat, zamanında pazarlama	Swink ve Calantone, 2004; Gubi ve Heikkila, 2003; Lehto vd., 2011; Mikkola, 2021; Dai, 2026
Esneklik	Tasarım değişiklikleri, hızlı hacim değişiklikleri, hızlı yeni ürün tanıtımları	Liu vd., 2009; Lehto vd., 2011; Hekkert ve Leder, 2013
Üretim	Uygun süreçlerin seçimi, uygun malzeme seçimi, uygun modüler tasarım, standart bileşenlerin kullanılması	Kuo vd., 2001; Bralla, 1998; Lehto vd., 2011; Bucolo ve King, 2014; Benabdellah vd., 2019; Rankohi vd., 2022
Tedarik Zinciri	Optimal yol-zaman ve ürün çeşitliliği	Lehto vd., 2011; Asif vd., 2018; Reitsma vd., 2025
Montaj	Ekonomik montaj, etkili parça taşıma ve ekleme	Kuo vd., 2001; Lehto vd., 2011; Ehre, 2012; Roxas vd., 2023;

		Montazeri vd., 2024; Golański, 2025; Lu vd., 2026
Güvenilirlik	Optimal test kapsamı, hataları gözler önüne sermek ve güvenilirliği artırmak, kontrol edilebilirlik, gözlenebilirlik	Solana, 2009; Lehto vd., 2011; Go vd., 2015; Vernica vd., 2018; Wolff, 2021; Cheng vd., 2022; Schlegel vd. 2023
Çevre	Sürdürülebilir kalkınma, genel çevre etkisini en aza indirme	Kuo vd., 2001; Kurk ve Eagan, 2008; Bocken vd., 2016; Geissdoerfer vd., 2017; Tao vd., 2019; Lu vd., 2020; Nayeri vd., 2025

Yeni ürün geliştirme çalışmalarında ürün geliştirme araç ve tekniklerinin uygun süreçlerde etkin olarak kullanılması büyük bir öneme sahiptir. Dolayısıyla ürünün üretilebilirliği, montaj edilebilirliği, çevreye etkileri, geri dönüşümü, sürdürülebilirliği...vb. gibi unsurlar ve XİT metodolojilerinin yukarıda sıralanan olası faydaları dikkate alındığında, ürün geliştirme sürecine XİT metodolojilerinin uygulanmasının da birçok önemli faydasının olması kaçınılmazdır. Bu bağlamda ürünün en uygun tasarımının gerçekleştirilmesi, üretilmesi ve olası sorunların tasarım aşamasında dikkate alınması ve çözülmesini sağlayan XİT metodolojilerinin yeni ürün geliştirme sürecinde kullanılması önemlidir.

XİT metodolojileri maliyetleri azaltarak, kaliteyi artırarak, servis ve dağıtım kolaylığı sağlayarak, esneklik sağlayarak, üretilebilirliği artırarak, tedarik ve montaj kolaylığı sağlayarak, test edilebilirliği artırarak ve çevreye olumsuz etkileri azaltarak genel anlamda bütün üretim süreçlerine önemli faydalar sağlamaktadır. Bununla birlikte XİT metodolojileri olarak adlandırılan uygulamalar yeni ürün geliştirmenin hem tasarım hem de üretim süreçleri için de önemli faydalar sağlamaktadır. Bu çerçevede ürün geliştirme sürecinde XİT metodolojilerinin kullanılması sonucu elde edilecek faydalar aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Güleş vd., 2012);

- Tasarlanan parçaların en kolay ve en hızlı bir şekilde üretilmesi ile ürün geliştirme hızının artırılması,
- Üretim kayıplarının azaltılarak ürün geliştirme hedeflerine ulaşılması,
- Zamandan tasarruf edilmesi
- Tasarım, üretim ve geri dönüş maliyetlerin düşürülmesi,
- Üründe olması istenilen en yüksek kalitenin gerçekleştirilmesi,
- Üretim, montaj, bakım ve diğer işlemlerin basitleştirilmesi ve kolaylaştırılması,

- İşletme ve ürün geliştirme performansının iyileştirilmesi,
- Bölümler ve çalışanlar arası iletişimin geliştirilmesi,
- Geliştirilen ürün sayısının artırılması,
- Müşteri memnuniyetinin sağlanması,
- İşletmenin rekabet gücünün artması,
- İşletmenin ürün yelpazesinin geliştirilmesi,
- Yeni ürünlere yapılan yatırımların geri dönüşümünün hızlanması.

İKİNCİ BÖLÜM

TEKSTİL SEKTÖRÜNDE ÜRÜN GELİŞTİRME SÜRECİNDE X İÇİN TASARIM METODOLOJİLERİNİN KULLANIMI

Çalışmanın bu bölümünde Dünyada ve Türkiye’de tekstil ve hazır giyim sektörü ile ilgili bilgi verilecek, tekstil ve hazır giyim sektöründe ürün geliştirme süreci genel olarak anlatılacaktır. Ayrıca XİT metodolojilerinin tekstil ve hazır giyim sektörünün ürün geliştirme sürecinde kullanımı ve bu süreçte XİT metodolojilerinin etkinliğini artırmada yararlanılan araç ve teknikler incelenecektir.

2.1. Dünyada ve Türkiye’de Tekstil ve Hazır Giyim Sektörü

Bu bölümde Dünyadaki ve Türkiye’deki tekstil ve hazır giyim sektörlerine yer verilmiş ve tekstil ve hazır giyim sektörlerinin Dünyadaki ve Türkiye’deki durumuna ilişkin teorik bilgiler verilmiştir.

2.1.1. Dünyada Tekstil ve Hazır Giyim Sektörü

Tekstil ve hazır giyim sektörü, tarihsel süreç içerisinde pek çok ülkenin ekonomik kalkınmasında stratejik bir itici güç rolü üstlenmiştir. Japonya, Kore Cumhuriyeti, Türkiye ve Çin gibi ülkeler sanayileşme hamlelerini ve sanayi kültürlerinin gelişimini büyük ölçüde tekstil endüstrisi sayesinde gerçekleştirmişlerdir. Günümüzde Türkiye, Hindistan ve Çin gibi devlerin yanı sıra Almanya, İtalya ve Kuzey Amerika ülkeleri de küresel tekstil ticaretinde kilit aktörler olmaya devam etmektedir (Digilina ve Gasimova, 2024). 2025 yılı itibarıyla küresel hazır giyim pazarının 1,84 trilyon dolar değerine ulaştığı ve dünya gayrisafi hasılasının %1,65’ini oluşturduğu tahmin edilmektedir (UniformMarket, 2025).

Sektörün dönüm noktalarından biri, 1995 yılında kurulan Dünya Ticaret Örgütü (DTÖ) kapsamında kotaların kademeli olarak kaldırılması olmuştur. 1 Ocak 2005 tarihinde kotaların tamamen kalkmasıyla küresel düzeyde serbest ticaret dönemi başlamış, bu durum pazar dinamiklerini kökten değiştirmiştir. 2005 sonrası dönemde, özellikle Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Japonya gibi büyük pazarlarda tüketicilerin satın alma kararlarında fiyatın önemi artmış, bu da üreticiler üzerinde ciddi bir maliyet baskısı yaratmıştır (Fernandez-Stark vd., 2022). Günümüzde bu rekabet, dijitalleşme ve sürdürülebilirlik ekseninde yeni bir boyut kazanmış; "yavaş moda" (slow fashion) ve kişiselleştirilmiş üretim modelleri 2025 outlook raporlarında temel farklılaştırıcı unsurlar olarak öne çıkmıştır (Textile World, 2024).

Çin, 2001 yılında DTÖ'ye üye olmasıyla birlikte küresel tekstil ve hazır giyim ticaretinde mutlak bir lider konumuna yükselmiştir. 2024-2025 verilerine göre küresel elyaf üretimi 132 milyon tona ulaşarak rekor kırmış, Çin bu üretimin ve ihracatın merkezinde kalmaya devam etmiştir (Textile Exchange, 2025). Ancak son yıllarda jeopolitik değişimler ve bölgesel ticaret anlaşmalarındaki %30'luk artış, tedarik zincirlerinin yeniden şekillenmesine neden olmuştur (McKinsey, 2025). Bu süreçte Bangladeş ve Vietnam gibi ülkeler düşük maliyet avantajıyla öne çıkarken, Türkiye ürün kalitesi, sürdürülebilir üretim (yeşil tekstil) ve yüksek teknoloji entegrasyonu ile küresel pazarda özel bir konuma sahip olmuştur (Digilina ve Gasimova, 2024).

Günümüzde tekstil sektörü, Endüstri 4.0 ve Yapay Zeka (AI) destekli dijital dönüşüm süreçlerini (Digital Textile 2025) operasyonlarına entegre etmektedir. Matematiksel modelleme ve AI kullanımı, üretimde sürdürülebilirliği artırırken termin sürelerini (lead times) önemli ölçüde kısaltmaktadır (Kulnova, 2025). Özellikle Avrupa Birliği'nin 2025 yılından itibaren yürürlüğe koyacağı yeni sürdürülebilirlik raporlama standartları ve yüksek enerji maliyetleri, sektör oyuncularını daha verimli ve çevre dostu üretim yöntemlerine yönlendirmektedir (EURATEX, 2025; Badhwar vd., 2025).

Bu bağlamda, tekstil ve hazır giyim sektörünün küresel rekabet gücünü koruması için; yüksek kaliteli, düşük maliyetli ve sürdürülebilir ürünler üretmeye yönelik XİT (X için Tasarım) gibi gelişmiş ürün geliştirme metodolojilerinin kullanılması hayati önem taşımaktadır.

Tablo 1. 22. Dünya Tekstil ve Hazır Giyim Sektörüne İlişkin Güncel Veriler ve Tanımlar

Kaynak / Kurum	Tarih	Öne Çıkan Veri / Tanım
Digilina ve Gasimova	2024	Türkiye'nin küresel pazardaki önemi, organik pamuk üretimi ve eko-endüstri odaklı stratejik konumlandırması.
Textile World	2024	2025 görünümü: Yavaş moda ve kişiselleştirmenin markalar için ana rekabet avantajı haline gelmesi.
UniformMarket	2025	Küresel hazır giyim pazarının 1,84 trilyon dolar değere ulaşması ve %2,81'lik yıllık büyüme oranı (CAGR).

Kaynak / Kurum	Tarih	Öne Çıkan Veri / Tanım
Textile Exchange	2025	Küresel elyaf üretiminin 132 milyon tona ulaşarak tarihi rekor kırması.
McKinsey	2025	Bölgesel ticaret anlaşmalarının 2017'den bu yana %30 artmasıyla küresel ticaret geometrisinin yeniden şekillenmesi.
Kulenova	2025	Sürdürülebilir dijital tekstil üretiminde yapay zeka ve matematiksel modellemenin kritik rolü.
EURATEX	2025	AB tekstil sektöründe 2025 outlook: Zayıf talep ve yüksek enerji maliyetlerine karşı dijital ve yeşil dönüşüm zorunluluğu.
Glogar vd.	2025	Tekstil ve moda endüstrisinin sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu dijital dönüşüm analizi.

2.1.2. Türkiye’de Tekstil ve Hazır Giyim Sektörü

Tekstil ve hazır giyim sektörü, Türkiye’nin endüstriyel mirasının temel taşı olup, insanın giyinme ve korunma ihtiyacından doğan zanaat temelli üretimden, günümüzün yüksek teknolojik ve küresel ölçekte rekabetçi sanayi yapısına evrilmiştir. Akademik literatürde bu iki sektör, Avrupa Topluluğu’nda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistik Sınıflaması (NACE) sisteminde farklı kodlarla tanımlanmış olsalar da, birbirini tamamlayan entegre bir değer zinciri oluşturmaları nedeniyle stratejik olarak birlikte analiz edilmektedir (Sağlam ve Baran, 2025). Tekstil sektörü, elyaftan ipliğe ve mamul kumaşa kadar olan sermaye yoğun süreçleri kapsarken; hazır giyim sektörü, kumaşı moda ve tasarım odaklı son kullanıcı ürünlerine dönüştüren emek yoğun ve yüksek katma değerli operasyonları temsil etmektedir (Digilina ve Gasimova, 2024).

Türkiye’nin 1980 sonrası benimsediği ihracata dayalı büyüme stratejisinin lokomotif olan sektör, bugün makro-ekonomik göstergeler ışığında ülkenin en

stratejik sanayi dallarından biri konumundadır. 2024-2025 verileri, Türkiye'nin Satın Alma Gücü Paritesi (SGP) bazında dünyanın 12. büyük ekonomisi olduğunu teyit ederken; tekstil ve hazır giyim sektörü, imalat sanayii üretim değerinin yaklaşık %18'ini ve toplam GSYH'nin yaklaşık %10'unu (etkileşimli sektörlerle birlikte) karşılamaktadır (Ticaret Bakanlığı, 2025; İHKİB, 2025). Sektör, 2024 yılı sonunda ulaştığı yaklaşık 26,1 milyar dolarlık ihracat hacmiyle, otomotiv sektörünün ardından Türkiye'nin en fazla dış ticaret geliri sağlayan ikinci büyük sanayi gücü olma ünvanını korumuştur (TİM, 2025).

Türk tekstil ve hazır giyim endüstrisinin küresel rekabetçiliği, 2005 yılındaki kota serbestleşmesi sonrası Çin merkezli yoğun rekabet baskısına rağmen, "kalite-tasarım-teknoloji" üçgeninde şekillenmiştir. Günümüzde Türkiye; dünyanın en büyük 7. tekstil ihracatçısı, Avrupa'nın ise 3. büyük hazır giyim tedarikçisidir (İHKİB, 2025). Akademik çalışmalar, Türkiye'nin başarısını sadece maliyet avantajına değil, aynı zamanda "hızlı moda" (fast fashion) döngülerine uyum sağlayabilen esnek üretim yapısına ve teknik tekstiller (otomotiv, inşaat, tıbbi tekstiller) alanındaki uzmanlaşmasına bağlamaktadır (Sağlam ve Baran, 2025; Digilina ve Gasimova, 2024). Özellikle denim kumaş ihracatında dünya üçüncüsü olan Türkiye, artık küresel trendleri takip eden değil, moda akımlarını bizzat şekillendiren proaktif bir aktör statüsündedir.

Sektörün 2025 ve sonrası için en kritik akademik ve stratejik gündemi, "İkiz Dönüşüm" (Dijital ve Yeşil Dönüşüm) olarak adlandırılan süreçtir. Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) çerçevesinde 2025 yılında tam kapasiteyle devreye giren Türkiye Yeşil Sanayi Projesi, sektör oyuncularını karbon ayak izi, su verimliliği ve döngüsel ekonomi prensiplerine tam uyuma zorlamaktadır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2025). Bu süreç, geleneksel üretim modellerini Endüstri 5.0 prensipleriyle (insan-makine iş birliği ve sürdürülebilirlik) yeniden kurgulamaktadır. Yapay zeka destekli talep tahminleme ve matematiksel modelleme araçları, termin sürelerini kısaltırken kaynak verimliliğini maksimize etmektedir (Kulenova, 2025).

Türkiye'nin coğrafi konumu, hedef pazarlara (özellikle AB) olan yakınlığı ve gelişmiş lojistik altyapısı, "yakın bölgeden tedarik" (near-shoring) eğiliminin arttığı modern ticaret konjonktüründe Türkiye'ye paha biçilemez bir stratejik üstünlük kazandırmaktadır. Sektörün gelecekteki başarısı; yüksek katma değerli, "yeşil etiketli" ve XİT (X için Tasarım) metodolojileriyle optimize edilmiş inovatif ürün geliştirme kapasitesini sürekli kılmasına bağlıdır.

**Tablo 1. 23. Türkiye Tekstil ve Hazır Giyim Sektörüne İlişkin
Kapsamlı Akademik Veriler ve Tanımlar**

Kaynak / Kurum	Tarih	Akademik Perspektif / Öne Çıkan Veri
Ticaret Bakanlığı	2025	Türkiye'nin makro-ekonomik görünümü: Dünyanın 12., Avrupa'nın 5. büyük ekonomisi (SGP bazlı).
İHKİB	2025	Avrupa'nın 3. büyük hazır giyim tedarikçisi olma konumu ve 10,4 milyar euro'luk AB ihracat payı.
TİM	2025	İhracat 2025 Raporu: 261,8 milyar dolarlık genel ihracat içinde tekstil ve hazır giyimin lokomotif rolü.
Sağlam ve Baran	2025	Sektörün "trend takipçisi" statüsünden "küresel moda ve trend belirleyici" statüsüne akademik yükseliş analizi.
Sanayi ve Teknoloji Bak.	2025	Yeşil Sanayi Projesi: İhracatçı firmalar için karbon ve su ayak izi takibinin teknik ve yasal zorunluluğu.
ÇSGB	2025	Ulusal İstihdam Stratejisi: Sektörün toplam istihdam içindeki %5,6'lık payı ve stratejik iş gücü planlaması.
Kulnova	2025	Sürdürülebilir dijital tekstil üretiminde yapay zeka ve matematiksel modellemenin operasyonel verimliliğe etkisi.
Digilina ve Gasimova	2024	Türkiye'nin küresel tekstil pazarındaki yeri: Organik pamuk ve eko-endüstri odaklı stratejik rekabet analizi.
AKİB	2025	Sektörel ihracat dinamikleri: 2025 yılı ilk çeyrek verileriyle hazır giyim ve konfeksiyon performansı.

Kaynak / Kurum	Tarih	Akademik Perspektif / Öne Çıkan Veri
EURATEX	2025	AB tekstil outlook: Enerji maliyetleri ve talep dalgalanmalarına karşı Türkiye'nin stratejik tedarik avantajı.
Glogar	2025	Tekstil ve moda endüstrisinin sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu dijital dönüşüm ve akıllı üretim süreçleri.

2.2. Tekstil ve Hazır Giyim Sektöründe Ürün Geliştirme

Bu bölümde genel ürün geliştirme süreci ve tekstil ve hazır giyim sektöründeki ürün geliştirme süreçleri ayrı ayrı anlatılacaktır.

2.2.1. Genel Ürün Geliştirme Süreci

Ürün geliştirme mühendislik, pazarlama, finansman ve müşteri katılımı ile birlikte, farklı alanlarda dikkatli bir planlama gerektiren karmaşık bir süreçtir (Sreekumar, 2010). Ürün geliştirme süreci ürünü tasarlamak, üretmek ve piyasaya sunmak için gereken tüm faaliyetleri kapsar. Ürün geliştirme süreci aynı zamanda, fikir üretme ve diğer taraftan üretilen fikirlerin toplu olarak uygulanması anlamına gelir (Büchel, 2005).

Temel olarak ürün geliştirme süreci, müşterilerin gereksinimlerini ürün tasarımına ve üretime dönüştürme süreci olarak tanımlanabilir. Ürün geliştirme süreci, tasarımcılara belirli bir ürünün tasarlanması, geliştirilmesi ve üretilmesi için gerekli olan faaliyetler veya süreçler için bir yol haritası sunar. Bir ürün geliştirme sürecinin temel amacı, yaşam döngüsü maliyetini en aza indirmek, ürün kalitesini en üst düzeye çıkarmak, ayrıca müşterilerin memnuniyetini en üst seviyeye çıkarmak, esnekliği en üst düzeye çıkarmak ve tedarik süresini en aza indirmektir (Hambali vd., 2009)

Ürün geliştirme sürecindeki faaliyetler pazarlama fırsatlarının algılanmasıyla başlar, ürünlerin satışı ve teslimatıyla sonuçlanır (Ulrich ve Eppinger, 2000). Ürün geliştirme süreci ürün, sistem ve süreç tasarımını kapsayan hem karmaşık hem de çok disiplinli ve en önemlisi tasarım bilgisi gerektiren bir etkinliktir. Tasarım bilgisi müşteri faktörleri, üretim teknolojileri, malzemeler ve iş süreci vb. gibi birçok bilgidir. Bu bilgilerin tasarım sürecinde tasarımcılar için sağlanması,

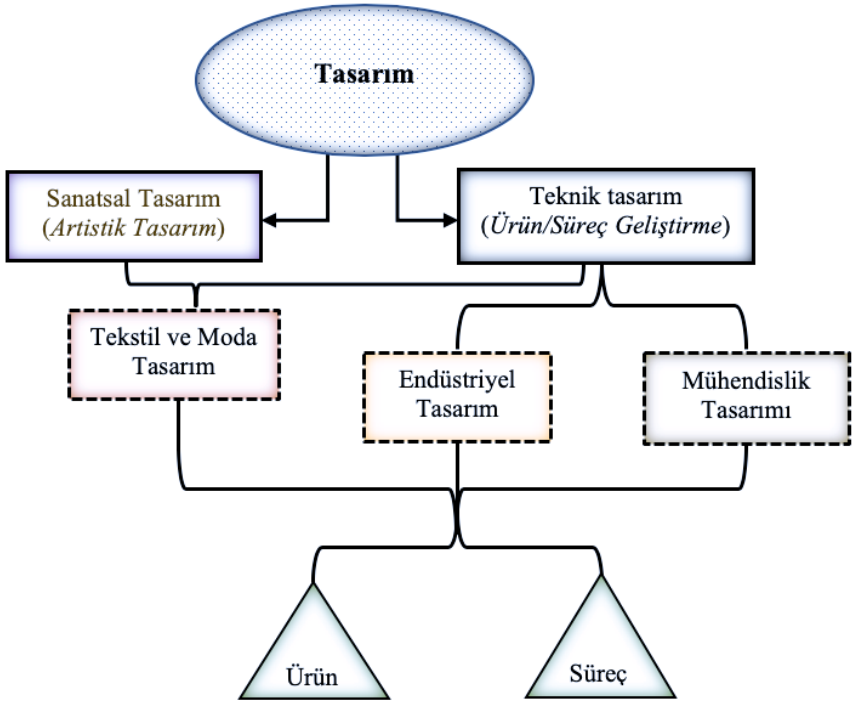
tasarlanan ürünün, sistemin veya sürecin başarılı bir şekilde geliştirilmesi ve ilgili işletmenin gelecekte rekabet edebilirliği için hayati önem taşımaktadır (Komninos, 2006).

Ürün geliştirme sürecinde ürün tasarımı bir fikrin tasarımcılar tarafından kavramsallaştırılması, başarısızlık riskleri, ekonomik etki (kârlılık) ve sosyal etki (kabul) açısından değerlendirilmesiyle başlar. Tasarım ürünün renk, stil, estetik, malzeme, işlev ve his gibi fiziksel faaliyetlerini ifade eder (Sreekumar, 2013).

Tasarım tanım olarak bir nesneyi, ürünü, sistemi veya süreci belli bir amaç için akılda haritalamak, plan ve icat anlamına gelir. Tasarlanan nesneler, ürünler, sistemler veya süreçler hem fiziksel hem de psikolojik özelliklere sahip olabilir. Tasarım ürün geliştirme sürecinde fikirlerin tasarlanması ya da icat edilmesi, bu fikirlerin başkalarına iletilmesi ve belirli bir amaca ulaşmak için fiziksel form üretme aşamasıdır (Holt ve Barnes, 2010). Tasarım aşaması, müşterilerin organizasyonu, yönetimi ve bir ürünün gelişiminden elde edilen bilgilerdir. Her ürün, üretime girmeden ve pazara gönderilmeden önce, yapılandırılmış olsun veya olmasın, bir çeşit tasarım aşamasından geçer (Ullman, 2003).

Tasarım aşaması sanatsal tasarım ve teknik tasarım olarak ikiye ayrılır. Sanatsal tasarım (*artistik tasarım*) kişisel ifadeye dayanır ve resim, heykel, iç mekan vb. gibi artistik tasarımları içerir. Diğer yandan teknik tasarım, bir ürün veya sürecin geliştirilmesine odaklanır. Teknik tasarım (*ürün geliştirme süreci*) endüstriyel tasarım ve mühendislik tasarımı olarak kendi içinde iki kategoriye ayrılır. Endüstriyel tasarım, ürün veya süreçle ilişkili ergonomi (insan faktörleri) ve estetik (görünüm) üzerinde yoğunlaşmaktadır. Mühendislik tasarımı, fonksiyonelliğin ön planda olduğu ürünün ya da sürecin arkasındaki işlev, teknoloji ve yeniliğe odaklanır. Mühendislik tasarımı tipik olarak ya sistem tasarımı ya da ürün tasarımı içerir. Her ikisi için de tasarım aşamaları aynıdır (Ogot ve Kremer, 2004). Bunun yanında teknik tasarım ve sanatsal tasarım özelliklerinin entegrasyonu ise tekstil ve moda tasarımı oluşturur. Tekstil ve moda tasarımı sanatsal öğelerin yanında teknolojiyi de kullanarak yeniliğe odaklı, fonksiyonel, artistik, estetik ve ergonomik ürün geliştirmeye beraber süreç geliştirmeyi de içermektedir. Konun daha iyi anlaşılması için Şekil 2.1'de genel tasarım çerçevesi şematik olarak verilmiştir.

Şekil 2. 1. Genel Tasarım Çerçevesi



Kaynak: Ogot ve Kremer, 2004'den geliştirilmiştir.

Genel olarak tasarım aşaması faaliyetleri dört adımda gerçekleştirilir (Pahl ve Beitz, 2007; Chiu ve Okudan, 2010a; Becker ve Wits, 2013).

- Müşteri ihtiyaç analizi ve problem tanımı
- Kavramsallaştırma (kavramsal tasarım)
- Ön tasarım ve değerlendirme
- Detaylı tasarım

Tasarım aşamasının ilk adımı, müşteri ihtiyaç analizi ve problem tanımı ile başlar. Müşteri gereksinimlerini bilmek, üreticilerin ürünlere yönelik pazar sürelerini etkili bir şekilde azaltmalarını ve müşteri memnuniyeti ile yüksek düzeyde kaliteyi korumalarını sağlar. Bu nedenle, bu tür gereksinimlerin edinilmesi, tanımlanması ve ayrıştırılması, başarılı ürün geliştirmenin anahtarı ve ürün tasarım sürecinin ilk adımıdır (Zhang vd., 2011). Bu aşamada, müşteri ihtiyaç analizi ve problem tanımı sonucunda elde edilen müşteri gereksinim bilgileri ürün işlevlerine ve özelliklerine çevrilir. İkinci aşamada, müşteri gereksinimlerini karşılayabilecek kavramlar üretilir

ve konsept geliştirilerek tasarım ekibi tarafından iki veya üç boyutlu bir taslak olarak ifade edilir. Ön tasarım aşamasında, problem tanımı sırasında belirtilen tüm tasarım kriterlerine dayanarak ayrıntılı tasarım özellikleri belirlenir ve Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) modelleri ve prototipleri geliştirilir (Chiu ve Kremer, 2011). Detaylı tasarım aşaması, ürünün özelliklerinin ve parametrelerinin belirlendiği, projenin teknik çizimlerinin ve sistem özelliklerinin geliştirildiği son aşamadır (Ogot ve Kremer, 2004). İlk aşama, sorun bildirimini ele alırken, son aşama üretimi planlamayı amaçlamaktadır. Her ikisi de örgütsel süreçlerdir. Ürünün gerçekten tasarlandığı aşama, kavramsal ve ön tasarım aşamalarıdır (Becker ve Wits, 2013). Ürün geliştirme sürecinde genel tasarım aşamasını oluşturan faaliyetler ürün geliştirme sürecinde yukarıda belirtilen sıralama ile uygulanır. Genel tasarım aşamasının adımları Şekil 2.2'deki gibi şematize edilmiştir.

Şekil 2. 2. Genel Tasarım Aşaması



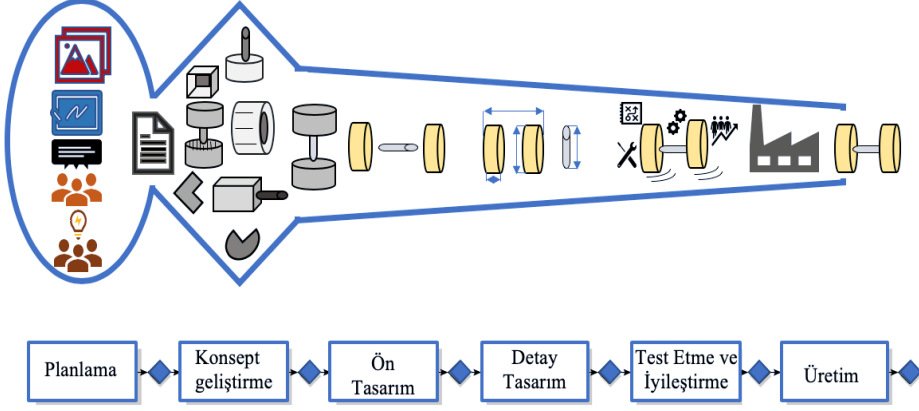
Kaynak: Ogot ve Kremer, 2004

Genel tasarım aşaması, ürün geliştirme sürecinde kullanılan ve bir işletmenin bir ürünü tasarlamak veya ticarileştirmek için kullandığı adımlar veya faaliyetlerdir. Bu adımların ve faaliyetlerin çoğu, fiziksel olmaktan ziyade entelektüel ve örgütseldir. Bazı işletmeler kesin ve ayrıntılı bir ürün gelişim süreci tanımlar ve izler, bazıları ise süreçlerini tanımlayamayabilir. Ayrıca, her işletme diğer işletmelerden farklı bir ürün geliştirme süreci kullanabilir. Ancak bu farklı süreçler genel ürün geliştirme sürecinden sapmadan, sadece birkaç değişiklik yapılarak gerçekleştirilir. Bunun yanı sıra, aynı işletmede birkaç farklı ürün geliştirme projesinin her biri için farklı süreçler de izlenebilir ve işletmeler ürün geliştirme süreçlerini sıralı veya eşzamanlı olarak uygulayabilirler (Ulrich ve Eppinger, 2012).

Rekabetçi baskılar ve gittikçe daha kısa ürün yaşam döngüleri nedeniyle işletmelerin ürün geliştirme sürecinin birkaç aşamasını atlayarak yeni ürünleri mümkün olan en kısa sürede sunma eğilimi de mümkündür. Ürün geliştirme sürecinde önemli olan işletmenin kullandığı geliştirme sürecini iyi tanımlaması gerektirir. Genel ürün geliştirme süreci Şekil 2.3' de gösterildiği gibi altı aşamadan oluşur. Genel ürün geliştirme süreci, ileri araştırma ve teknoloji geliştirme faaliyetlerinin bağlantısı olan bir planlama aşaması ile başlar, geliştirilen yeni

ürünün üretiminin yapılması ve piyasaya sürülmesi ile sonuçlanır (Ulrich ve Eppinger, 2012).

Şekil 2. 3. Genel Ürün Geliştirme Süreci



Kaynak: Ulrich ve Eppinger, 2012’den geliştirilmiştir.

Şekil 2.3’ de ifade edildiği gibi her bir ürün geliştirme aşaması, işletmenin farklı fonksiyonlarının ana faaliyetlerini ve sorumluluklarını da tanımlamaktadır. Bu doğrultuda genel ürün geliştirme sürecinin aşamaları ve faaliyetlerinin açıklaması aşağıda verilmiştir.

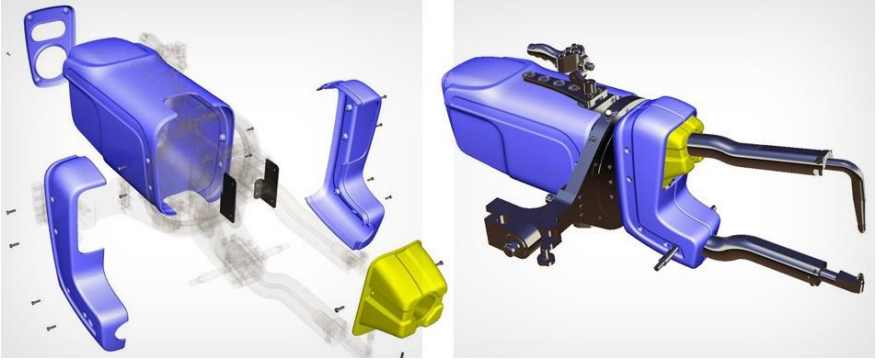


0. Planlama: Planlama faaliyeti, proje onayından ve gerçek ürün geliştirme sürecinin başlatılmasından önce gerçekleştiği için genellikle 0 aşaması olarak adlandırılır. Bu aşama, kurumsal stratejinin yönlendirdiği fırsatların belirlenmesi ile

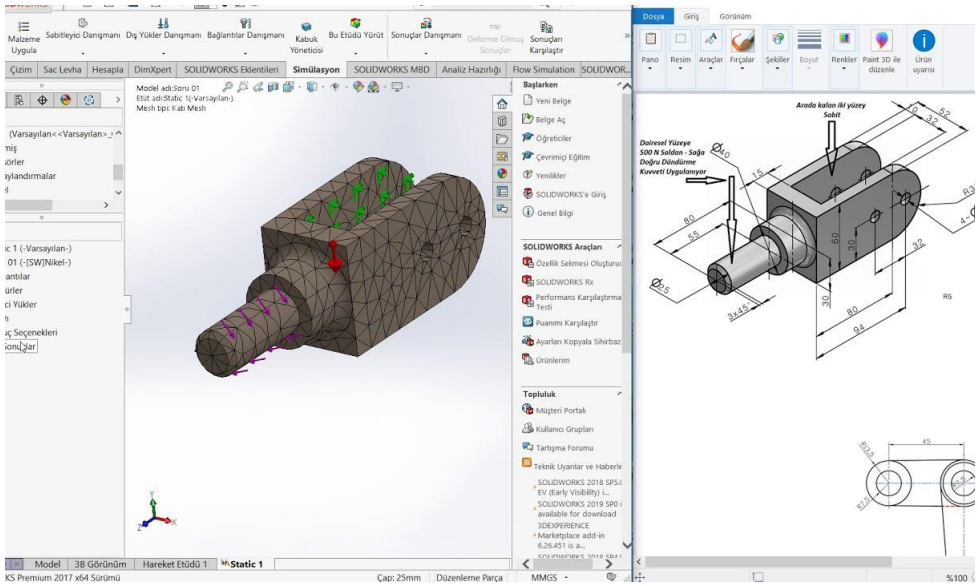
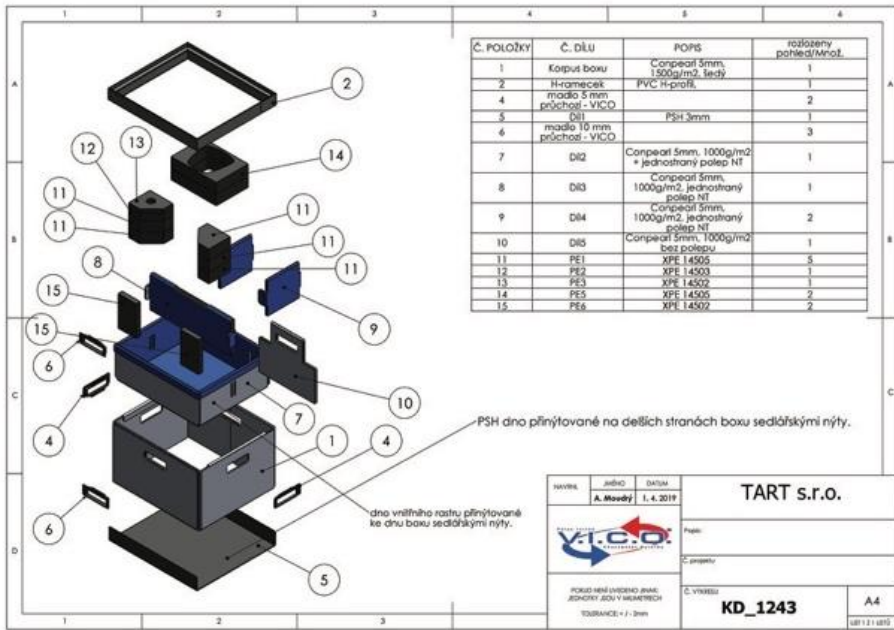
başlar ve teknolojik gelişmelerin ve pazar hedeflerinin değerlendirilmesini içerir. Planlama aşamasının çıktısı, ürün için hedef piyasayı, iş hedeflerini, temel varsayımları ve kısıtlamaları belirten proje misyonu beyanıdır (Ulrich ve Eppinger, 2012). Aşama 0 genellikle tasarım karmaşasını ortadan kaldırmayı ve ürün konseptinin ticari olarak uygulanabilir olup olmadığına karar vermeyi içerir (Ho ve Tippens, 2014).



1. Konsept geliştirme (Kavramsallaştırma): Konsept geliştirme aşamasında, hedef pazarın ihtiyaçları tespit edilir, alternatif ürün konseptleri oluşturulur ve değerlendirilir. Aynı zamanda daha fazla geliştirme ve test için bir veya daha fazla konsept seçilir. Bir konsept, bir ürünün formunun, fonksiyonunun ve özelliklerinin tanımlanmasıdır. Genellikle konsept birtakım spesifikasyonlar, rekabetçi ürünlerin analizi ve projenin ekonomik bir gerekçesiyle birlikte geliştirilir (Ulrich ve Eppinger, 2012). Bu aşama, iç faktörler aracılığıyla yaratıcı ve farklı çözümler için gereken ilkelerin ve gerekli teknolojinin belirlenmesi ile birlikte tasarım ekibi tarafından iki veya üç boyutlu bir taslak olarak ifade edilir. Dış faktörler, önceki patentlere bakarak literatür taraması yapmayı, uzmanlarla konuşmayı ve mevcut benzer ürünleri kıyaslamayı içerir. Konsept geliştirme aşamasının sonucu, daha fazla gelişmeyi garanti eden ümit vaat eden birkaç konseptin üretilmesi ve seçilmesi ile sonuçlanmaktadır (Ogot ve Kremer, 2004).



2. Ön Tasarım (Sistem düzeyinde tasarım): Ön tasarım aşaması, ürün mimarisinin tanımlanmasını, ürünün alt sistemlere ve bileşenlere ayrıştırılmasını ve temel bileşenlerin ön tasarımını içerir. Üretim sistemi ve son montaj için ilk planlar genellikle bu aşamada tanımlanır. Bu aşamanın çıktısı genellikle ürünün geometrik ve şekilsel bir görünümünü, ürünün her bir alt sisteminin işlevsel bir spesifikasyonunu ve son montaj işlemi için bir ön işlem akış şemasını içerir (Ulrich ve Eppinger, 2012). Ön tasarım aşamasında aynı zamanda, problem tanımı sırasında belirtilen tüm tasarım kriterlerine ve ayrıntılı tasarım özelliklerine dayanarak Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) modelleri ve prototipleri geliştirilir. Geliştirilen prototiplerin ve modellerin değerlendirilmesi yapılarak test edilir. Test sonuçlarına göre, tasarımın yeniden yapılmasının gerekip gerekmediğine veya üretime hazır olup olmadığına karar verilir (Chiu ve Kremer, 2011).



3. Detay tasarımı: Detaylı tasarım aşaması, son ürünün özelliklerinin ve parametrelerinin belirlendiği, projenin teknik çizimlerinin ve sistem özelliklerinin geliştirildiği aşamadır (Ogot ve Kremer, 2004:16). Detay tasarımı aşaması aynı zamanda ürünlerdeki benzersiz parçaların tümünün geometrisi, malzemeleri ve toleranslarının tam tanımını ve tedarikçilerden satın alınacak tüm standart parçaların

tanımlanmasını içermektedir. Bu aşamada, bir üretim planı oluşturulmakta ve üretim sistemi içerisinde üretilecek her parça için bir seri tasarlanmaktadır. Bu aşamanın çıktısı, her bir parçanın geometrisini ve üretim takımını, satın alınan parçaların özelliklerini ve ürünün üretimi ve montajı için süreç planlarını açıklayan çizim veya bilgisayar dosyalarıdır (Ulrich ve Eppinger, 2012).



4. Test etme ve iyileştirme: Test etme ve iyileştirme aşaması, işlevsel gereksinimlerin karşılandığını gösteren ilk (alfa) veya son (beta) prototipiyle sonuçlanacak olan ürünün, çoklu üretim sürümlerinin oluşturulmasını ve değerlendirilmesini içeren temel tasarımın test ve doğrulamasıdır (Ho ve Tippens, 2014: 6). Alfa prototipler genellikle ürünün üretim versiyonuna yönelik olarak aynı geometriye ve malzeme özelliklerine sahip olan ancak üretimde kullanılacak fiili işlemlerle üretilemeyen parçalardan oluşmaktadır. Alfa prototipleri, ürünün tasarlandığı gibi çalışıp çalışmayacağını ve ürünün kilit müşteri ihtiyaçlarını karşılayıp karşılamadığını belirlemek için test edilir. Beta prototipleri genellikle amaçlanan üretim süreçleri için tedarik edilen parçalarla yapılır, ancak amaçlanan son montaj işlemi kullanılarak birleştirilemez. Beta prototipleri dahili olarak kapsamlı bir şekilde değerlendirilir ve ayrıca müşteriler tarafından kendi kullanım ortamlarında da test edilir. Beta prototiplerinin amacı, nihai ürün için gerekli tasarım, üretim ve mühendislik değişikliklerini belirlemek amacıyla performans ve güvenilirlik hakkındaki soruları yanıtlamaktır (Ulrich ve Eppinger, 2012).



5. Üretim: Üretim geliştirme aşaması, ürün geliştirme hedefleri doğrultusunda tasarlanan ürünün fabrika tabanına aktarılmasıdır. Üretim aşamasında üretim hacim, üretim kabiliyeti, kalitesi ve uygunluklarını ile istenen üretim sistemi kullanılarak üretim yapılır (Ho ve Tippens, 2014). Üretim aşamasında amaç, işgücünü eğitmek ve üretim süreçlerinde kalan sorunların çözülmesidir. Üretim aşamasında, üretilen ürünler bazen tercih edilen müşterilere tedarik edilir ve kalan hataları belirlemek için titizlikle değerlendirilir. Aynı zamanda, üretim sürecine geçiş genellikle aşamalı olarak gerçekleşir. Bu geçişin bir noktasında, ürün piyasaya sürülür ve genel dağıtım için uygun hale getirilir. Ürünün tanıtılmasının hemen ardından ve sonrasında ürün ve proje tekrar gözden geçirilebilir. Bu gözden geçirme gelecekteki ürün ve projeler için geliştirme sürecinin yeni yollarını belirlemek amacıyla, ürünün ve projenin hem ticari hem de teknik açıdan değerlendirilmesini içerir (Ulrich ve Eppinger, 2012).

İşletmeler ürün geliştirme sürecinin planlaması ve konsept geliştirme aşamasında, hedef pazarın ihtiyaçlarının tespiti ve müşteri gereksinimlerinin belirlenmesi sonucunda geliştirecekleri *yeni ürünün* kategorisine karar vermelidir (Ogot ve Kremer, 2004).

Ürün geliştirme sürecinin sonunda üretilecek olan *yeni ürünler* dünyaya veya işletmeye ne kadar yeni olduklarına göre sınıflandırılmaktadır. Literatürde yaygın olarak kullanılan *yeni ürün* kategorisi aşağıda verilmiştir (Crawford ve Benedetto, 2010):

Dünya için yeni ürünler

Bu ürünler tamamen yeni bir pazar yaratan icat veya tasarımlardır. Bu kategoride yer alan ürünler yeni ürünlerin yaklaşık %10'unu oluşturmaktadır.

Örneğin 2010 yılında Amerikalı girişimci Palmer Luckey, Oculus VR şirketi bünyesinde Oculus Rift adlı sanal gerçeklik başlığının ilk prototipini tasarladı (URL-1).



İşletme için yeni ürünler veya yeni ürün grupları

Bu ürünler dünya için yeni olmayan ama işletmeyi yeni kategoriye getiren ürünlerdir. Bu kategorideki ürünler yeni ürünlerin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır.

Örneğin 2014 yılında dünyaca ünlü oyun ve teknoloji şirketi Sony, PlayStation 4 video oyun konsolu için bir sanal gerçeklik başlığı olan Project Morpheus'u tanıttı (URL-2).



Mevcut ürün gruplarına eklemeler

Bu ürünler markaların ya da işletmenin mevcut pazarlarına sunulan ürün hattını canlandırmak için tasarlanan ara ürünlerdir. Bu kategorideki ürünler yeni ürünlerin yaklaşık %26'sını oluşturmaktadır.

Örneğin 2019'da Oculus, Oculus Rift S'yi ve bağımsız bir kulaklık seti olan Oculus Quest'i piyasaya sürdü. Bu kulaklıklar, önceki nesil kulaklıklarda görülen harici dışarıdan içeriye izlemeye kıyasla içten dışa izleme özelliğine sahipti (URL-3).



Mevcut ürünlerde iyileştirmeler ve revizyonlar

Bu ürünler markalar ve işletmeler tarafından mevcut ürünlerinde iyileştirme ve revizyonlar yapılarak güncelleştirdikleri ürünlerdir. Bu grup ürünler yeni ürünlerin yaklaşık %26'sını oluşturmaktadır.

Örneğin 2020'de Oculus, Oculus Quest 2'yi piyasaya sürdü. Bazı yeni özellikler arasında daha keskin bir ekran, daha düşük fiyat ve artırılmış performans yer alıyordu (URL-4).



Konumlandirmalar Bu ürünler yeni bir kullanım veya uygulama için yeniden konumlandırılan ürünlerdir. Ayrıca bu ürünler, yeni kullanıcılara veya yeni pazarlara hedeflenmiş ürünleri de içermektedir. Bu grup ürünler yeni ürünlerin yaklaşık %7'sini oluşturmaktadır.

Örneğin Oculus Rift, 2014 yılında dünya genelinde medya oynatıcılarına, pazarlama ajanslarına, markalara ve satıcılara 100.000 geliştirici kiti göndererek pazarlamacıları söz konusu teknolojiyi kullanarak yeni yollar bulmaya teşvik etti (URL-5)



Örneğin şu anda sektörün önde gelen donanım tasarımcısı olan Facebook 2013 yılında, Oculus Rift'i satın alarak yeni bir konumlandırma yapmıştır (URL-6)

Maliyet düşürme

Bu ürünler mevcut ürünleri değiştiren, müşteriye benzer performans sağlayan ancak daha düşük bir maliyetle üretilen yeni ürünlerdir. Pazarlamadan çok tasarım veya üretim açısından *yeni bir ürün* olarak değerlendirilirler. Bu grup ürünler yeni ürünlerin yaklaşık %11'ini oluşturmaktadır.

Örneğin Facebook'un 2018 yılında ilk kez satmış olduğu Oculus Go'yu sadece 200 dolara mal etmiştir. Ürünün kabloları yoktur ve kullanımı kolaydır. iPhone kullanıcıları ve Android kullanıcıları, Mac kullanıcıları ve PC kullanıcıları için çalışması da ayrı bir kullanım kolaylığı sağlamıştır (URL-7)



İşletmeler ürün geliştirme aşamasında eş zamanlı olarak *yeni ürün* kategorilerinden birini ya da birkaçını uygulayabilirler. Önemli olan işletmelerin güçlü bir ürün geliştirme sürecine sahip olmalarıdır. Güçlü bir ürün geliştirme süreci, bir işletmenin başarısı için kritik bir yeterlilik olarak görülmekte ve başarılı ürün geliştirme için mühendislerin, endüstriyel tasarımcıların, pazarlama personelinin, tedarikçilerin ve müşterilerin entegrasyonunu gerektirmektedir. Aynı zamanda üst

yönetim desteği, çapraz işlevsel ekipler ve işletmenin sahip olduğu örgüt kültürü yeni ürün başarısının artmasında önemli rol oynayan faktörlerdir (Belt vd., 2009). Bu faktörler literatürde ürün geliştirme sürecinde *kritik başarı faktörleri* olarak tanımlanmaktadır⁴.

2.2.2. Tekstil ve Hazır Giyim Sektöründe Ürün Geliştirme Süreci

Ürün geliştirme, tekstil ve hazır giyim sektöründe rekabetçiliği kolaylaştıran en etkili stratejik araçlardan biridir. Tekstil ve hazır giyim üreticilerinin ürün geliştirme ile ilgili stratejik karar vermeleri, işletme performansı üzerinde önemli etkilerinin olduğu *alıcılar ve üretim ağlarıyla ilişkileri* ve *üretim faaliyetleri* ile yakından ilgilidir (Shih vd., 2014).

Tekstil ve hazır giyim sektöründe ürün geliştirme süreci genellikle, genel ürün geliştirme süreci ile benzerlik göstermektedir. Bunun yanında genel ürün geliştirme sürecinden farklı olarak, Tekstil ve hazır giyim sektöründe ürün geliştirme süreci, sürekli değişen mevsimsel talepleri, ürün fırsatlarını ve özel kumaş uygulamalarını içerir. Tekstil ve hazır giyim ürünleri, tekstil teknik bilgisi ve trendlerin yönlendirdiği üretim planları (*bir sezon için birçok yeni ürün grubu*) ile karakterize edilir (Ying, 2013).

Tekstil ve hazır giyim sektöründeki ürün geliştirme süreci ile ilgili literatürde, tanımlanmış birkaç ürün geliştirme modeli vardır. Bu ürün geliştirme modelleri, hazır giyim sektöründe ürün geliştirme sürecinin alıcı odaklı ve tasarım merkezli olması ve aynı zamanda hazır giyim tasarım sürecinin çalışmalarına vurgu yapılması nedeniyle (Shih vd., 2014) esas olarak perakendeci perspektiflerine dayanarak oluşturulmuştur (Wickett vd., 1999). Tekstil ve hazır giyim sektöründe ürün geliştirme süreci tasarım etkinliği ile eşdeğerdir. Tasarım kararları ve tasarım alternatifleri hem tekstil hem de hazır giyim sektörüne değer katan en önemli süreçlerdir. Tekstil sektöründe teknik tekstil geliştirmek ve hazır giyim sektöründe koleksiyon hazırlamak özellikle bilgi akışı, maddi kullanılabilirlik, iş birliği faaliyetleri ve alıcı güvenilirliği ...vs eşzamanlı süreçleri içerir (Shih vd., 2014).

Tekstil ve hazır giyim sektörünün ürün geliştirme sürecinde, tekstil endüstrisinin yapısına bakıldığında, teknolojik gelişimin ve Ar-Ge faaliyetlerinin, hazır giyim sektörüne göre daha büyük önem arz ettiği görülmektedir. Özellikle tekstil sektörünün alt sektörlerinde Ar-Ge faaliyetleri sayesinde ürünlere hem yeni özellikler hem de yeni kullanım alanları kazandırılmaktadır. Daha çok nano-

⁴ Bu faktörler, 2.3.9. Yeni Ürün Geliştirme Sürecinde X için Tasarım Metodolojilerinin Etkinliğini Arttıran Kritik Başarı Faktörleri başlıklı bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

teknoloji ile üretilmiş ürünler, fonksiyonel tasarımlar, düşük maliyetli çevreci yaklaşımlar, farklı sektörlerle yönelik yeni teknik tekstillerin (*nano teknoloji ile üretilen tekstiller*) geliştirilmesi ve geri-dönüşüm ürünlerin teknik tekstillerde değerlendirilmesi gibi konulardaki çalışmaların sonuçları; teknik tekstil, ekolojik tekstil ve akıllı tekstil ürünleri olarak karşımıza çıkmaktadır (İzmir Atatürk Organize Proje ve İş Geliştirme Birimi, 2012).

Tekstil ve hazır giyim sektörünün ürün geliştirme sürecinde, hazır giyim sektörünün yapısına bakıldığında müşterilerin ihtiyaçları, zevkleri, günün modası ve kullanım özelliklerinin dikkate alınmasıyla mevsimlik (*sezonluk*) olarak hazırlanan ürün geliştirme sürecine *koleksiyon* denir. Bir koleksiyon, perakendecilere satılan veya doğrudan müşterilere yönelik tasarlanan ve üretilen giysiler, aksesuarlar veya benzer ürünlerden oluşmaktadır. Koleksiyonlar genellikle silüetlerin, renklerin ve kumaşların birleşiminden oluşur ve vurgu tasarımcının özel estetiğine bağlı olarak değişir (Renfrew ve Renfrew, 2009). Koleksiyon hazırlarken, hedef pazarların ekonomik ve sosyal yapısını incelemek için bir dizi araştırma ve geliştirme çalışması yapılmaktadır. Tekstil ve hazır giyim sektöründe genel olarak ürün geliştirme süreci, trend analizi ile başlayan, konsept geliştirme tasarım aşamaları ile devam eden ve son olarak satış personeli tarafından nihai hat seçimi ile biten bir süreçtir (Gaskill, 1992). Tekstil ve hazır giyim sektöründe ürün geliştirme sürecinin aşamaları aşağıda verilmiştir (Wickett vd.,1999; Bandinelli vd., 2013; Shih vd., 2014):

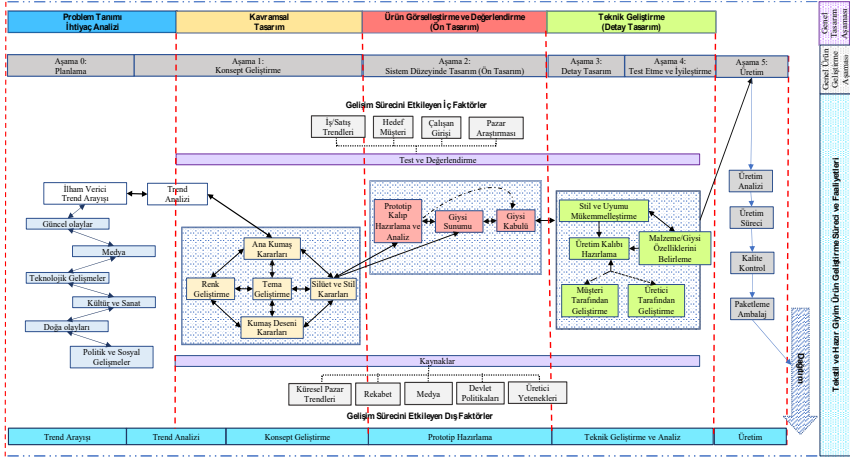
- **Trend Arayışı:** Müşteri gereksinimleri ve hedef pazara yönelik günün modasına ve güncel olaylara paralel bir tasarım konusunun araştırılmasıdır.
- **Trend Analizi:** İşletmenin hedef pazarına yönelik renk geliştirme, kumaş deseni kararları, silüet ve stil kararları, tema geliştirme çalışmalarıdır.
- **Konsept Geliştirme:** Sürece yön verecek mevsimsel bir temanın oluşturulması, kumaş tasarımı (kareli, desenli veya baskıların seçilen kumaşlar ve renk paleti ile uyumlu bir doku oluşturacak şekilde tekstile aktarılmasıdır), silüet ve stil tarifi (mevsimsel temanın giysi sınıflandırmalarına nasıl çevrileceğinin belirlenmesi ve mevsimsel çizgi görselleştirildikten sonra, önerilen çizgilerin görsel olarak aktarılması) örneklerinin geliştirilmesidir.
- **Prototip Hazırlama:** Belirlenen renk ve teknik özelliklere uygun olarak örnek giysi hazırlanmasıdır.
- **Teknik Geliştirme ve Analiz Faaliyeti:** Prototip giysinin uygunluğunun incelenmesidir. Tasarım sunumu sırasında önerilen mevsim çizgileri,

işletmenin teklifine sunulurken, geliştirilen prototip ürünün kabul edilmesi için gerekli önerme ve düzeltmeler yapılır.

- **Üretim:** Mevsimsel çizginin fiziksel özelliklerinin temaya uygun olarak üretilmesidir.

Buraya kadar yapılan açıklamaların ışığında Tekstil ve hazır giyimde sektöründe ürün geliştirme süreci Şekil 2.4'deki gibi şematize edilebilir.

Şekil 2. 4. Tekstil ve Hazır Giyim Ürün Geliştirme Süreci



Kaynak: Wickett vd., 1999 ve Ulrich ve Eppinger, 2012 çalışmalarından geliştirilmiştir.

Şekil 2.4'de de görüldüğü gibi tasarım süreci boyunca hem iç (mağazacılık ve tanımlanmış hedef pazar) hem de dış faktörler (dış ve iç pazarlar) gelişim sürecini etkilemektedir (Shih vd., 2014).

Şekil 2.4'de de görüldüğü gibi tekstil ve hazır giyim sektöründe ürün geliştirme sürecindeki ana faaliyetler iyi tanımlanmış ve standardize edilmiştir. Tekstil ve hazır giyim sektöründe ürün geliştirme süreci ürün malzemelerini, liflerini ve renklerini tanımlamak amacıyla genellikle ürünün üretiminden iki yıl önce başlamaktadır. Bu süreç, tüm ürün geliştirme evrelerinde kullanılan belgeleri tanımlamaktadır. Bu ilk aktivitenin (İlham verici trend arayışı ve analizi) çıktısı, ürünün tasarımına ilham vermektedir (Bandinelli vd., 2013).

Sonraki aşamada stil-tasarım departmanı, geliştirilen tema çerçevesinde ana kumaş seçimi, kumaş desenleri kararları, renk seçimi, silüet ve stil kararları verilerek koleksiyonda hangi ürünlerin gerçekleştirilmesi ve her bir ürünün son tarihini tanımlar (Wickett vd., 1999).

Prototip oluşturma aşamasında materyalleri ve fikirleri test etmek için işletme içi veya işletme dışından görüşlerin alınması ile prototip geliştirilmesi başlar. Prototipler tamamlandığında, teknik bir referans belgesi hazırlanır ve genellikle ürüne bir referans kodu atanır. Bu kural işletmenin kurallarına göre geçici veya nihai olabilir. Teknik belge hem ürün hem de paket için hammadde ve aksesuarlarla ilgili bilgileri, ürün çeşitlerini ve ayrıca üretim süreciyle ilgili bazı bilgileri içerir (Gaskill, 1992).

Prototip aşamasından sonra, mühendislik-tasarımcı aşaması başlar. Bu aşamada çizimler, bu sektöre özgü CAD araçları kullanılarak dijitalleştirilir ve rneklemeye aşaması izlenir. Hazırlanan numuneleri, planlanan defilelere ve fuarlara göndermeden önce çizimlerde son ana kadar değişiklikler yapılabilir. Bu genel model ile ilgili görüşülen müşteriler ve tedarikçilere ürünün tartışılması gereken bazı özellikler ve prosedrlar sunulur. Bununla birlikte, ürün geliştirme süreci tamamen geçici veya kontrol dışı değildir. Aksine gayri resmi bir prosedür izlenmektedir. Resmi bir yazılı ürün geliştirme sürecinin yokluğu genellikle tekstil ve hazır giyim sektöründe tipik bir özelliktir. Ancak köklü ve kurumsallaşmış bazı işletmelerde yetenekli ve deneyimli tasarımcılar tarafından gerçekleştirilen ve yönetilen bir standart ürün geliştirme süreci ve faaliyeti mevcuttur. Tekstil ve hazır giyim sektöründe ürün geliştirme sürecini gösteren şekil 2.4'deki ürün geliştirme modeli, bilgi, tasarım yaratıcılığı ve pazarlama fonksiyonu ile üretici yetenekleri ve küresel rekabet gibi dış etkileri tanımlayarak süreç içindeki çeşitli kararlara vurgu yapmaktadır (Wickett vd.,1999).

Tekstil ve hazır giyim sektöründe ürün geliştirme süreci özellikle dış, i veya ortak etkinliklerle eşzamanlı işlemleri içerdiğinden, geleneksel sıralı ürün geliştirme sürecinin tekstil ve konfeksiyon için uygun olmadığını göstermektedir. Özellikle, rn geliştirme süreci küresel veya uluslararası iş birliği ile ilişkilendirildiğinde, çeşitli bölümler veya kuruluşlar arasında sürekli bir etkileşim ve iletişim gerektirir. Tekstil ve hazır giyim sektöründe ürün geliştirme faaliyetleri, perakendecilerin stratejilerine bağlı olarak kurum içi veya kurum dışı olarak gerçekleştirilir. Bu noktada, alıcılardan ve tedarikçilerin ürün geliştirme sürecine katılımı ve süreç içinde değerlendirilmesi çok önemlidir. rn geliştirme sürecinde, alıcı ve tedarikçilerle iş birliği yapmak bu süreçte işletmelere çeşitli avantajlar sağlayan kilit bir görevdir (Shih vd., 2014).

Tekstil ve hazır giyim sektöründe yer alan işletmelerin çoğunda, geliştirme süreci güçlü bir şekilde iş birliğine dayalıdır. Görevler ve faaliyetler genellikle çok disiplinli ve çok işlevli ekipler tarafından paralel olarak (Eşzamanlı Mühendislik) yapılır. Farklı işlevlerde yer alan kişiler, bilgi birikimine katkıda bulunur ve gelişim sürecinin ilk aşamalarından itibaren iş birliği yapar. Gelişen çeşitlilikler ve ürün

uygulamaları, Tekstil ve hazır giyim sektöründeki ürün geliştirme sürecinde işletmeleri stratejik ittifaklar kullanmaya zorlamaktadır. Ar-Ge mühendisliği, finans, tasarım ve pazarlamanın iş birliği sonucunda katma değerli ürünler geliştirilmekte, bu sayede, çapraz fonksiyonel bütünleşme, Tekstil ve hazır giyim sektöründeki işletmelerin ürün geliştirme başarısı için önemli bir belirleyici haline gelmektedir. Mevcut rekabet koşulları, Tekstil ve hazır giyim sektöründe gerçekleştirilen ürün geliştirme süreci, işletmeleri ürün tasarımlarında yenilikçi olmaya zorlamaktadır (Bandinelli vd., 2013).

Tekstil ve hazır giyim sektöründe ürün geliştirme süreci için en çok kullanılan Anahtar Performans Göstergeleri zaman ve maliyettir. Genel olarak, ürün geliştirme projeleri düzenli aralıklarla ve farklı proje türlerini (örneğin değişiklikler, radikal yeniden tasarım, yenilik vb.) dikkate alan mevcut bir plana göre başlar. Bu aktiviteler çoğu kez gözden geçirmeyi gerektirir ve bu noktada gecikmeler de yaygın olarak yaşanmaktadır. Projeler, farklı aktörlerin (örneğin pazarlama, müşteriler, tedarikçiler vb.) isteklerini karşılamak için sürekli incelemeye tabi tutulur. Değişiklikler genellikle geliştirme zamanı ve maliyeti üzerinde önemli etkilere sahiptir (Bandinelli vd., 2013).

Tekstil ve hazır giyim sektöründe ürün geliştirme sürecinde gerçekleştirilen ürünün başarısı ve başarısızlığı, müşteri ihtiyaçlarının karşılanması ve müşteri memnuniyetinin sağlanması, tasarım ve geliştirme sürecinin etkinliği etkili bir tanıtım ve pazarlama faaliyetleri ile birlikte, tasarımcının uzmanlığını da gerektirmektedir (Sreekumar, 2010: 3). Bu bağlamda, ürün geliştirme sürecinde tasarımcının rolü de oldukça önemlidir. Tasarımcı, ürün geliştirme sürecinde, genellikle belirlenen piyasa kriterlerine uyacak ve yeni sezonun ruh halini yakalayacak, müşteri memnuniyetini artıracak belirli sayıda giysi türü tasarlamaya ve geliştirmeye çalışmaktadır. Aslında moda giysilerinin yaratılması *tasarımcı, ürün ve müşteri arasındaki karşılıklı etkileşime dayanır*. Tekstil ve hazır giyim sektöründeki bir ürünün tasarımında tasarımcı, öncelikle müşterinin gereksinimlerini karşıladığından emin olduğu bir ürün tasarlamalıdır (Loschek, 2009). Böylece müşteri ihtiyaçlarının karşılandığı ve müşteri memnuniyeti yaratan bir ürünün tasarlanması ve geliştirilmesi, ürün geliştirme sürecinin başarısını da beraberinde getirecektir.

Tekstil ve hazır giyim sektöründe etkili ve başarılı bir ürün geliştirme sürecinin sonunda işletmeler, müşteri memnuniyetini kazanmanın yanı sıra, birtakım avantajlar da elde etmektedir. İşletmelerin etkili ve başarılı bir ürün geliştirme sürecinin sonunda elde ettiği avantajlar aşağıda verilmiştir (Chincholkar, 2002):

Artırılmış gelir

- Artan ürün ömrü döngüsü geliri,
- Piyasaya ilk girme sonucunda artan pazar payı,
- Zamana duyarlı pazarlarda başarı,
- Daha başarılı ürünler,

Ürün geliştirme verimliliği

- Geliştirme döngüsü sürelerinin kısaltılması,
- Daha az kalkınma atığı,
- Daha iyi kaynak kullanımı,
- Teknik yetenekleri çekmek ve korumak için daha iyi yetenek,

Operasyonel verimlilikler

- Üretilirlik, kullanılabilirlik ve diğer özellikler için tasarım,
- Daha kaliteli ürünler,
- Daha düşük mühendislik değişim sipariş maliyetleri,
- Lansmanın daha iyi tahmin edilebilirliği şeklinde sıralanabilir.

2.3. Tekstil ve Hazır Giyim Sektöründeki Ürün Geliştirme Sürecinde X için Tasarım Metodolojilerinin Kullanımı

Günümüzde ürün geliştirme ve yeni bir ürün tasarımı, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca ilgilenilmesi gereken artan sayıda özellik (yetkililerden düzenlemeler, müşterilerin beklentileri, işletmenin yetenekleri ve daha fazlası) nedeniyle çok zorlu bir süreç haline gelmiştir. Artan bu karmaşıklığın üstesinden gelmek için tasarım teorileri ve metodolojileri, tasarım sürecini yapılandırmak için geliştirilen araçlar ve metodolojilerle doludur (Moubachir ve Bouami, 2015).

Son yıllarda giderek önem kazanan ve mükemmel ürüne ulaşmak için geliştirilen ve geliştirilmekte olan bu metodolojilerden en önemlisi XİT metodolojileridir⁵. XİT metodolojileri, bir ürünün kullanım ömrü (yaşam döngüsü) boyunca gereksinimlerinin mümkün olduğunca erken analiz edilmesini sağlayan, ürün karmaşıklığı, maliyet ve pazara girme süresini azaltan yöntem ve araçları sağlamaktır (Laverne vd., 2015).

XİT metodolojilerinin ürün geliştirme sürecindeki kapsamı; maliyet, değer, tedarik ve değer zinciri, pazarlama, kalite ve özel hususlarla ilgili olarak iş birliği ve

⁵ 1. Bölümde XİT metodolojileri ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir.

karar almada farklı fonksiyonları bir araya getirmektir. XİT metodolojilerinin ürün geliştirme sürecindeki görevleri ise aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Abdulhasain, 2015):

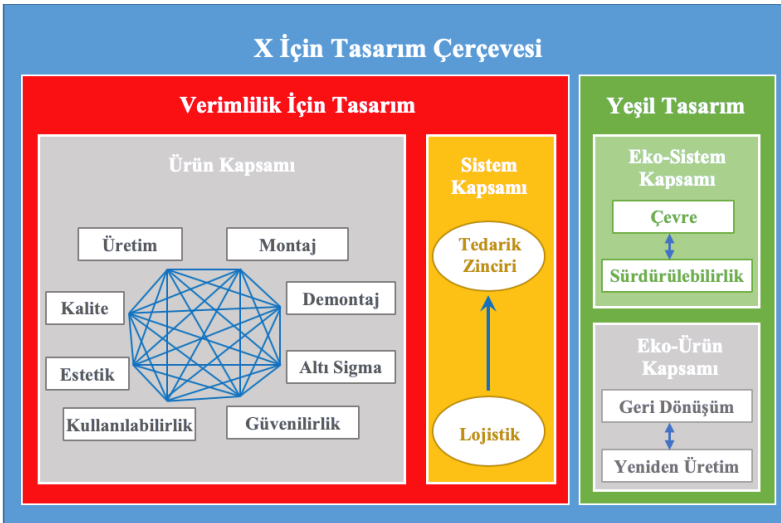
- Maliyet, değer, tedarik ve değer zinciri, pazarlama, kalite ve özel hususlarla ilgili unsurları karşılıklı olarak ele alarak hem müşteri değeri hem maliyet hem de kalite için en iyi kararları sorgulamak.
- Zaman ve maliyeti etkileyen sorunların ürün geliştirme sürecinde beklenmedik bir şekilde ortaya çıkma olasılığını azaltmak.
- Tüm ürün özelliklerini ilgili fonksiyonlarla birlikte dikkate alarak ürün tasarımında oluşabilecek yanlış anlaşılmalrı, şartname ve bileşen seçeneklerini ortadan kaldırmak.
- Ürün geliştirme süreci boyunca iş birliği ve karar alma hızını arttırmak.
- Pazar ve teknolojideki belirsizlikleri minimuma indirmek şeklinde sıralanabilir.

XİT metodolojilerinin genel çerçevesi, ürün geliştirme süreçlerindeki kullanım özelliklerine göre temel olarak Verimlilik için Tasarım ve Yeşil Tasarım olarak iki ana kategoride incelenmektedir. Verimlilik için Tasarımın temel amacı bir ürünün sürdürülmesi ve kalitesini artırırken maliyet ve teslim süresinin azaltılması olarak ifade edilebilir. Verimlilik için Tasarım kategorisi ise Ürün Kapsamı ve Sistem Kapsamı olarak iki ana başlıkta incelenmektedir (Chiu ve Okudan, 2010a; Itani vd., 2019). Ürün kapsamı, ürünün tasarım aşamasından hızlı bir şekilde üretim aşamasına geçmesine ve ürünün en düşük maliyetle en yüksek kalitede üretilebileceği şekilde tasarlanmasına odaklanmaktadır. Ürün kapsamında değerlendirilen XİT metodolojileri, Montaj için Tasarım, Üretim için Tasarım, Demontaj için Tasarım, Kalite için Tasarım, Güvenilirlik için Tasarım, Altı Sigma için Tasarım, Bakım ve Kullanılabilirlik için Tasarım, Estetik için Tasarımdır. Ürün Kapsamı bir işletme içinde atölye verimliliğini etkinleştiren faktörlerle ilgilenirken (Chiu ve Okudan, 2010a), Sistem Kapsamı, tasarım aşamasında değer zinciri koordinasyonu ile başlayan teslimat ve bakım sistemi ile biten entegrasyonu üzerinde yoğunlaşmaktadır (Itani vd., 2019). Sistem kapsamında yer alan XİT metodolojileri ise, Tedarik Zinciri için Tasarım ve Lojistik için Tasarımdır (Chiu ve Okudan, 2010a).

Yeşil tasarım kategorisindeki metodolojilerin amacı, tasarım aşamasına doğal sistemin eklenmesi ile tasarım ve ürün geliştirme çalışmalarının bu yönde uygulanması ve ürün yaşam döngüsü boyunca çevreye en az olumsuz etkisi olacak şekilde bir ürünün tasarlanmasıdır (Chiu ve Okudan, 2010b; Ogot ve Kremer, 2004).

Yeşil Tasarım kategorisi eko-sistem kapsamı ve eko-ürün kapsamı olarak gruplandırılmıştır. Eko-sistem kapsamı, sera gazı emisyonlarını azaltma çabasını teşvik etmek ve sürdürülebilir kalkınma için XİT metodolojilerinin doğal bir sistem uygulamasıdır (Itani vd., 2019). Eko-ürün kapsamı, tasarım ve ürün geliştirme çalışmalarında, üretim atıklarının oluşturduğu kirliliğin önlenmesini ve malzeme geri kazanımını sağlamayı amaçlamaktadır. Eko-sistem kapsamındaki XİT metodolojileri Çevre için Tasarım ve Sürdürülebilirlik için Tasarımdır. Eko-Ürün kapsamındaki XİT metodolojileri ise Geri Dönüşüm için Tasarım ve Yeniden Üretim için Tasarımdır (Chiu ve Okudan, 2010a). Buraya kadar yapılan açıklamalar ışığında XİT çerçevesi Şekil 2.5’de şematik olarak verilmiştir.

Şekil 2. 5. X için Tasarım Çerçevesi



Kaynak: Chiu ve Okudan, 2010a:2'den geliştirilmiştir.

XİT metodolojilerinin ürün geliştirme sürecinde kullanılması ürün yeniliğini mümkün kılan, kalitesini, işlevselliğini, imajını ve farklılaşmasını geliştiren ve böylece işletmelerin rekabet düzeyini arttıran bir dizi yöntem, kılavuz, kural ve araçların uygulanması ile mümkündür (Kitsios, 2000). Bu da tasarımcının kavramsal aşamadan, ön tasarım ve detay tasarıma kadar tüm ürün geliştirme süreci boyunca birçok yönerge ile yöntem, kılavuz, kural ve araçları izlemesi gerektiği anlamına gelir. Bu yöntem, kılavuz, kural ve araçlar ürün geliştirme sürecinde optimal tasarım çözümüne ulaşılması için kullanılırlar (Holt ve Barnes, 2009). Bu yöntem, kılavuz, kural ve araçların ürün geliştirme sürecindeki işi kolaylaştıran birtakım görevleri vardır. Bu yöntem, kılavuz, kural ve araçların temel görevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Kitsios, 2000):

- Yeni ürünler müşteri ihtiyaçlarının kalite, fiyat, üretim, geri dönüşüm, vb. ile ilgili özelliklerini karşılamada yardımcı olmak.
- Ticarileştirme için gerekli geliştirme maliyetlerini ve zamanını azaltmak.
- Zaman, görevler, kaynaklar göz önünde bulundurularak, tüm işletme bağlamında üretim ve ürünlerin tasarımında ve geliştirilmesinde yer alan süreçteki tüm faaliyetleri koordine etmek ve programlamak.
- Yukarıdaki hedefleri, işletmenin hedefleri ve kapasiteleri doğrultusunda bir kalkınma stratejisine dahil etmek.

Aynı zamanda bu yöntem, kılavuz, kural ve araçlar, XİT metodolojilerinin tasarım niteliğine göre yönergeler/kurallar, kontrol listeleri, metrikler, matematiksel modeller ve yöntemler şeklinde beş kategoriye ayrılmaktadırlar (Chiu ve Okutan, 2011a; Becker ve Wits, 2013):

- **Yönergeler**, tasarım aşamalarında uyulması gereken yönleri ve fikirleri sağlar.
- **Kontrol listeleri**, tasarımları doğrulamak için "Evet", "Hayır" yanıtı veren, kararlar ve kısa hesaplamalar gerektiren öğelerin bir listesini verir. Belirli tasarım süreçlerinde göz önünde bulundurulması gereken maddeleri belirtir.
- **Metrikler**, hem kuralları hem de kontrol listelerini içerebilir; ancak, bunlar bir ürünün tasarım hedefiyle (XİT'deki X) ne kadar iyi olduğunu kantitatif olarak değerlendirmek için kullanılır.
- **Matematik modelleri**, doğrulanmış denklemleri ve sistem performansını hesaplamak için kullanılan formülleri içerir.
- **Yöntem**, önceki kategorilerin birkaçını içeren, kullanıcıların tasarım içeriğini doğrulaması için açık ve sistematik prosedürleri açıklar.

Konun daha iyi anlaşılması için buraya kadar yapılan açıklamaların ışığında, XİT metodolojilerinin hangi kapsamda yer aldıkları, hangi kapsamdaki metodolojinin ürün geliştirme sürecinde hangi tasarım aşamasında, hangi yönergeler/kurallar, kontrol listeleri, metrikler, matematiksel modeller ve yöntemler ile kullanıldıklarına ilişkin sınıflandırma Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2. 1. X için Tasarım Metodolojilerinin Ürün Geliştirme Sürecindeki Tasarım Aşamalarında Kullanımı

Kapsam	için Tasarım Faktörü	Tasarım Aşaması			
		İhtiyaç Analizi / Problem tanımı	Kavramsallaştırma	Ön Tasarım	Detay Tasarım
Ürün Kapsamı	Üretim	Üretim için Tasarım için yedi adım prosedürü (a) Uyarlanabilir Tasarım (e)	Üretim için Tasarım için yedi adım prosedürü (a) Üretim ve Montaj için Tasarım (e) Uyarlanabilir Tasarım (e)	Üretim için Tasarım kuralları (a) İşbirlikçi Multidisipliner Karar Verme (e) Üretim ve Montaj için Tasarım (e) Üretim için Tasarım için yedi adım prosedürü (a) İnternet Üretim ve Montaj için Tasarım (e) Elektronik Tablo (e) Uyarlanabilir Tasarım (e)	Üretim için Tasarım kuralları (a) İşbirlikçi Multidisipliner Karar Verme (e) Üretim ve Montaj için Tasarım (e) Üretim için Tasarım için yedi adım prosedürü (a) İnternet Üretim ve Montaj için Tasarım (e) Elektronik Tablo (e) Üretim için Tasarım (e) Uyarlanabilir Tasarım (e)
Ürün Kapsamı	Montaj		Üretim ve Montaj için Tasarım (e)	Montaj Odaklı Tasarım Süreci (e) Montaj Değerlendirme Yöntemi (e) Üretim için Tasarım (e) İnternet Üretim ve Montaj için Tasarım (e) Sanal Montaj için Tasarım (e) Bulanık Montaj için Tasarım (e) Kavramsal Tasarım Montaj Planlama Sonlu Eleman Analizi Yazılımı (e)	Montaj Odaklı Tasarım Süreci (e) Montaj Değerlendirme Yöntemi (e) Üretim için Tasarım (e) İnternet Üretim ve Montaj için Tasarım (e) Montaj Sırası Analizi (e) Sanal Montaj için Tasarım (e) Bulanık Montaj için Tasarım (e) Kavramsal Tasarım Montaj Planlama Sonlu Eleman Analizi Yazılımı (e) İletişim İlişkisi Matrisi (e)
Ürün Kapsamı	Sağlamlık/Robust	Taguchi Yöntemi (d) P-diyagramı (a) SMART (e)	Taguchi Yöntemi (d) P-diyagramı (a) SMART (e)	Taguchi Yöntemi (d) P-diyagramı (a) SMART (e)	Taguchi Yöntemi (d) P-diyagramı (a) SMART (e)
Ürün ve Eko-sistem Kapsamı	Demontaj ve Geri Dönüşüm			Demontaj için Tasarım (a) Garfik tabanlı sezgisel yaklaşım (e) Sökme sırası ve maliyet analizi (e) Geri dönüşüm yolu (a) Bilgi modelleme (e)	Demontaj için Tasarım (a) Geri Dönüşüm için Tasarım (a) Malzeme ayrımı (d) Garfik tabanlı sezgisel yaklaşım (e) Sökme sırası ve maliyet analizi (e) Geri dönüşüm yolu (a)
Sistem Kapsamı	Lojistik				Analitik Ağ Süreci (e) Bilgi modelleme (e) Lojistik için Tasarım Kuralları (a) Egzamanlı Mühendislik Kuralları (a)
Sistem Kapsamı	Maliyet	AND/OR Grafiği (a)		Üretim Maliyet Tahmini (d) AND/OR Grafiği (a)	Üretim uygulamalarında işlemlerin optimize edilmesi (a) Üretim Maliyet Tahmini (d)
Ürün Kapsamı	Bakımkolaylığı/ Kullanılabilirlik			Yapı Tasarımı İnceleme Prosedürü (b)	Yapı Tasarımı İnceleme Prosedürü (b) Eskime Maliyet Analizi (e)

Açılımlar:-(a)- ibaresi ilgili başlığın ürün geliştirme sürecindeki tasarım aşamalarından Yönergeler/Kurallar'a ait olduğunu göstermektedir.

-(b)- ibaresi ilgili başlığın ürün geliştirme sürecindeki tasarım aşamalarından Kontrol Listesi'ne ait olduğunu göstermektedir.

-(c)- ibaresi ilgili başlığın ürün geliştirme sürecindeki tasarım aşamalarından Metrik'e ait olduğunu göstermektedir.

-(d)- ibaresi ilgili başlığın ürün geliştirme sürecindeki tasarım aşamalarından Matematik Modeli'ne ait olduğunu göstermektedir.

-(e)- ibaresi ilgili başlığın ürün geliştirme sürecindeki tasarım aşamalarından Yöntem'e ait olduğunu göstermektedir.

Kaynak: Chiu ve Okutan, 2011a:160

Tablo 2.1. X için Tasarım Metodolojilerinin Ürü Geliştirme Sürecindeki Tasarım Aşamalarında Kullanımı (devamı)

Kapsam	için Tasarım Faktörü	Tasarım Aşaması			
		İhtiyaç Analizi / Problem tanımı	Kavramsallaştırma	Ön Tasarım	Detay Tasarım
Ürün Kapsamı	Kalite ve Altı Sigma	Uyarlanabilir Tasarım (a) Kalite Fonksiyon Yayılımı (e) Kalite Fonksiyon Yayılım+ Lincer Programlama (e) Erto Vanacore Yöntemi (e)	Uyarlanabilir Tasarım (a) Kalite Fonksiyon Yayılımı (e) Kalite Üretilebilirliği için Tasarım (e) Altı Sigma (d) Erto Vanacore Yöntemi (e) Kısıtlı Optimizasyon Olasılığı (d)	Uyarlanabilir Tasarım (a) Kalite Fonksiyon Yayılımı+ Lincer Programlama (e) Kalite Üretilebilirliği için Tasarım (e) Altı Sigma (d) Erto Vanacore Yöntemi (e) Kısıtlı Optimizasyon Olasılığı (d)	Uyarlanabilir Tasarım (a) Kalite Fonksiyon Yayılımı+ Lincer Programlama (e) Kalite Üretilebilirliği için Tasarım (e) Arıza Modları Etki Analizi (e) Altı Sigma (d) Erto Vanacore Yöntemi (e) Kısıtlı Optimizasyon Olasılığı (d)
Ürün Kapsamı	Güvenilirlik				Güvenilirlik Kuralları (a) Güvenilirlik Tahsisi (d) Tekli Yüzey Yöntemi (d) Güvenilirlik Tabanlı Sağlam Tasarım Optimizasyonu (d)
Sistem Kapsamı	Tedarik Zinciri			Tedarik Zinciri Modelleme Analiz Aracı (d) Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli (d) Tedarik Zinciri Tasarımı ve Tedarik Zinciri için Tasarım (a)	Gökkuşaklı modeli (d) Tedarik Zinciri Modelleme Analiz Aracı (d) Tedarik Zinciri Geliştirme Kuralları (a) Ürün Veri Yönetimi (a) Ürün Zinciri Karar Modeli (d) 3D-Egzamanlı Mühendislik (e) Tedarik Zinciri için Tasarım (d) Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama Modeli (d) Tedarik Zinciri Tasarımı ve Tedarik Zinciri için Tasarım (a) Bulanık Tedarik Zinciri modeli (d)
Eko-Sistem Kapsamı	Çevre	Çevre için Tasarım kuralları (a) Ürün Değerlendirmesi (b) Ürün yönetim metrikleri (e) Kalite Temelli Model (d) Ürün Tabanlı Çevre Sistemi (e) Ürün Yaşam Çevrimi+KFY+TRIZ (e)	Çevre için Tasarım kuralları (a) Ürün Değerlendirmesi (b) Ürün Yönetim Metrikleri (e) Ürün Tabanlı Çevre Sistemi (e) Ürün Yaşam Çevrimi+KFY+TRIZ (e)	ÇİT kuralları (a) Ürün Değerlendirmesi (b) Ürün Yönetim Metrikleri (e) Ürün Tabanlı Çevre Sistemi (e) Yeşil Tasarım Danışmanlığı (e) Ürün Yaşam Çevrimi+KFY+TRIZ (e)	ÇİT kuralları (a), Ürün Değerlendirmesi (b) Ürün Yönetim Metrikleri (e) Ürün Tabanlı Çevre Sistemi (e) Yeşil Tasarım Danışmanlığı (e) Ürün Yaşam Çevrimi+KFY+TRIZ (e)
Ürün Kapsamı	Estetik	Estetik Tasarım İlkeleri (a)	Estetik Tasarım İlkeleri (a)	Estetik Tasarım İlkeleri (a)	Estetik Tasarım İlkeleri (a)
Eko-Sistem Kapsamı	Sürdürülebilirlik	Sürdürülebilir Ürün Tasarımı için Kurallar (a) Sürdürülebilir Stratejiler için Tasarım (a)	Sürdürülebilir Ürün Tasarımı için Kurallar (a) Sürdürülebilir Stratejiler için Tasarım (a) Yol haritası (a)	Sürdürülebilirlik Matrisi için Tasarım (e) Bournemout Ün. Modeli (e) Sürdürülebilir Ürün Tasarımı için Kurallar (a) Sürdürülebilir Stratejiler için Tasarım (a) Yol haritası (a)	Sürdürülebilirlik Matrisi için Tasarım (e) Bournemout Ün. Modeli (e) Sürdürülebilir Ürün Tasarımı için Kurallar (a) Sürdürülebilir Stratejiler için Tasarım (a) Yol haritası (a)

Açılımlar:-(a)- ibaresi ilgili başlığın ürün geliştirme sürecindeki tasarım aşamalarından Yönergeler/Kurallar'a ait olduğunu göstermektedir.

-(b)- ibaresi ilgili başlığın ürün geliştirme sürecindeki tasarım aşamalarından Kontrol Listesi'ne ait olduğunu göstermektedir.

-(c)- ibaresi ilgili başlığın ürün geliştirme sürecindeki tasarım aşamalarından Metrik'e ait olduğunu göstermektedir.

-(d)- ibaresi ilgili başlığın ürün geliştirme sürecindeki tasarım aşamalarından Matematik Modeli'ne ait olduğunu göstermektedir.

-(e)- ibaresi ilgili başlığın ürün geliştirme sürecindeki tasarım aşamalarından Yöntem'e ait olduğunu göstermektedir.

Kaynak: Chiu ve Okutan, 2011a: 160

XİT metodolojilerinin, tasarım sürecinin ilk iki aşaması olan *ihtiyaç analizi ve kavramsal tasarım aşamalarında*, *ön tasarım ve detay tasarım aşamalarına* kıyasla daha az sayıda yönergeler/kurallar, kontrol listeleri, metrikler, matematiksel modeller ve yöntemler kullandıkları görülmektedir. Bunun sebebi, tasarlanan ürünün işlevleri, şekli, malzemeleri, süreçleri ...vb gibi değişkenlerin bu aşamalarda henüz tam olarak belli olmamasından kaynaklanmaktadır (Chui ve Okudan, 2010a).

Diğer yandan, ürün kapsamında yer alan XİT metodolojilerinin çoğu (*Montaj için Tasarım, Üretim için Tasarım, Demontaj için Tasarım, Kalite için Tasarım, Güvenilirlik için Tasarım, Altı Sigma için Tasarım, Bakım ve Kullanılabilirlik için Tasarım, Estetik için Tasarım*) ürün geliştirme sürecindeki ön tasarım ve detay tasarım aşamalarında kullanılırken, sistem kapsamında yer alan XİT metodolojileri (*Tedarik Zinciri için Tasarım ve Lojistik için Tasarım*) detay tasarım aşamasında kullanılmaktadır. Eko-sistem kapsamındaki XİT metodolojileri (*Çevre için Tasarım ve Sürdürülebilirlik için Tasarım*) ise ürün geliştirme sürecindeki tasarım aşamalarının dördünde de kullanılmaktadır (Chiu ve Okudan, 2011a).

XİT metodolojileri, tekstil ve hazır giyim sektöründe rekabet liderliği kazandıracak bir koleksiyonun hazırlanması, üretimi, kalitesi, tedarigi, maliyeti ve müşteri memnuniyeti gibi belirli hedeflere ulaşılmasını sağlamak için kullanılabilir (Medina vd., 2011).

Yapılan açıklamalar doğrultusunda ürün geliştirme sürecinin hangi tasarım aşamasında hangi araçlarla kullanıldığını gösteren Tablo 2.1'den yararlanarak, XİT metodolojilerinin tekstil ve hazır giyim işletmelerinde ürün geliştirme sürecindeki kullanımı Şekil 2.6'daki gibi şematize edilmiştir.

Şekil 2. 6. X için Tasarım Metodolojilerinin Tekstil ve Hazır Giyim Ürün Geliştirme Sürecindeki Tasarım Aşamalarında Kullanımı



Ürün kapsamında yer alan XİT metodolojilerinin (*Montaj için Tasarım, Üretim için Tasarım, Kalite için Tasarım, Altı Sigma için Tasarım, Bakım ve Kullanılabilirlik için Tasarım, Estetik için Tasarım*) tekstil ve hazır giyim ürün geliştirme sürecindeki trend arayışı, trend analizi, konsept geliştirme, prototip hazırlama ve teknik geliştirme aşamalarının hepsinde kullanıldıkları görülmektedir. Demontaj için Tasarım metodolojisi tekstil ve hazır giyim ürün geliştirme sürecindeki prototip hazırlama, teknik geliştirme ve analiz aşamalarında kullanılmaktadır. Güvenilirlik için Tasarım metodolojisi tekstil ve hazır giyim ürün geliştirme sürecinde sadece teknik geliştirme ve analiz aşamalarında kullanılmaktadır.

Sistem kapsamında yer alan maliyet için tasarım metodolojisi de tekstil ve hazır giyim ürün geliştirme sürecindeki trend arayışı, trend analizi, konsept geliştirme, prototip hazırlama ve teknik geliştirme aşamalarının hepsinde kullanılmaktadır. Sistem kapsamında yer alan Tedarik Zinciri için Tasarım metodolojisi tekstil ve hazır giyim ürün geliştirme sürecindeki prototip hazırlama, teknik geliştirme ve analiz aşamalarında kullanılmaktadır. Bunun sebebi

tasarlanan ürünün işlevi, şekli ve ihtiyaç duyulan malzemelerin bu aşamalarda belli olmasından kaynaklanmaktadır. Sistem kapsamında yer alan Tedarik Zinciri için Tasarım metodolojisi tekstil ve hazır giyim ürün geliştirme sürecinde sadece teknik geliştirme ve analiz aşamasında kullanılmaktadır.

Eko sistem kapsamında yer alan Çevre için Tasarım ve Sürdürülebilirlik için Tasarım metodolojileri tekstil ve hazır giyim ürün geliştirme sürecindeki trend arayışı, trend analizi, konsept geliştirme, prototip hazırlama ve teknik geliştirme aşamalarının tamamında kullanılmaktadır.

2.4. Ürün Geliştirme Sürecinde X için Tasarım Metodolojilerinin Etkinliğinin Artırılmasında Yararlanılabilecek Araç ve Teknikler

Bu bölümde ürün geliştirme sürecinde XİT metodolojilerinin etkinliğinin artırılmasında yararlanılabilecek araç ve tekniklere yer verilmiştir.

2.4.1. Eşzamanlı Mühendislik

Eşzamanlı mühendislik kaliteyi iyileştirmek, maliyetleri düşürmek, yeni ürün geliştirme ve ürün modifikasyonları için zaman sağlamada kullanılabilecek bir yönetim ve mühendislik aracıdır. Eşzamanlı mühendislikte, ürün ve üretim ekipmanı, ürün süreçlerinin tasarımı ve geliştirilmesi, onarım araçları ve süreçleri ile birlikte eşzamanlı olarak yapılmaktadır. Eşzamanlı mühendislik felsefesine göre, tüm bu işlevler entegre bir faaliyet olarak ele alınmaktadır. Eşzamanlı mühendislik ortamında karar verme süreci, ürün yaşam döngüsünün tüm aşamalarının ve her aşamadaki kısıtlamaların göz önünde bulundurulmasını içermektedir. Ayrıca diğer fonksiyonel alanların tasarım süreciyle bütünleştirilmesi, tasarım aşamasında ortaya çıkan problemlerin çözülmesine yardımcı olmaktadır (Nepal vd., 2006).

Eşzamanlı mühendislik günümüzde, bir işletmenin başarısının belirlenmesinde kilit faktör olarak görülmektedir. Genel olarak, eşzamanlı mühendislik zaman ve maliyetleri azaltmada, ürün kalitesini iyileştirmede ve müşteri ihtiyacının yerine getirilmesinde önemli katkılar sağlamaktadır (Hambali vd., 2009).

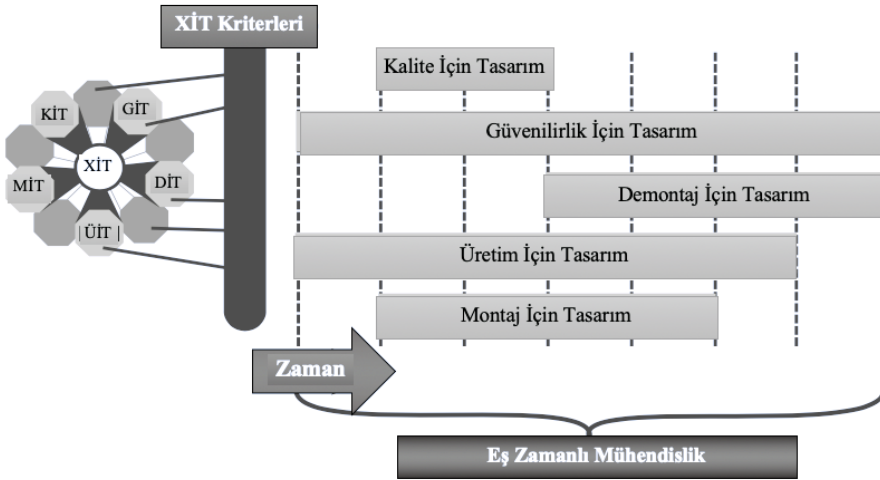
Eşzamanlı mühendislik, ürün geliştirme için ideal bir ortamdır. Eşzamanlı mühendisliğin amaçları verimlilik ve üretkenliğin artırılması, esnekliğin artırılması, yaşam çevriminin kısaltılması/döngü sürelerinin sıkıştırılması, maliyetlerin düşürülmesi, kalitenin geliştirilmesi ve sosyal imajın geliştirilmesi olarak sıralanabilir. Bu hedeflere ulaşmanın yolu planlı üretimde konsept ürünlerin, süreçlerin ve sistemlerin tasarımında tüm etkileşim

konularını/sorunlarını dikkate alan, birden fazla disiplin arasında iş birliğine dayalı takım çalışmasından geçer. XİT Eşzamanlı Mühendisliğin uygulaması için en etkili yaklaşımlardan biridir. Mevcut kaynakların en iyi şekilde kullanılmasını sağlar (Huang, 1996).

Literatürde XİT metodolojilerinin, tasarım aşamasında ürünü ve üretim süreçlerini aynı anda iyileştirmek için eşzamanlı bir mühendislik yaklaşımıyla birlikte uygulanması önerilmektedir (Medina vd., 2011).

XİT metodolojisi ve eşzamanlı mühendislik, tanımı ve hedefleri açısından genellikle yüksek bir benzerlik göstermektedirler. Her ikisi de sadece ürün ve süreçleri değil, aynı zamanda ürün geliştirme sürecini de rasyonalize etmektedir. Eşzamanlı mühendislik, XİT metodolojisine entegre ve paralel bir yaklaşım sağlamaktadır. Bu bağlamda XİT eşzamanlı ürün geliştirme süreci için ideal bir ortam olarak düşünülmekte ve eş zamanlı ürün ortamını uygulamak için zorunlu bir yaklaşım olarak görülmektedir (Huang vd.,1999; Meerkam ve Koch 2005). Buraya kadar yapılan açıklamalar ışığında XİT ve Eşzamanlı Mühendislik arasındaki bağlantı Şekil 2.7’ de verilmiştir.

Şekil 2. 7. X için Tasarım Metodolojisi ve Eşzamanlı Mühendislik Bağlantısı



Kaynak: Meerkam ve Koch 2005

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi Eşzamanlı mühendislik, ürün geliştirme sürecinin her aşamasında XİT metodolojilerini dikkat edilerek uygulandığında, geliştirilen ürünün üretiminden önce hataların tespit edilme olasılığı artmaktadır. Bu entegre tasarım süreci, güçlü bir bilgi paylaşım sistemi, ürün geliştirme, yeniden tasarım,

değiştirme süreci, ticari işlem, tasarım optimizasyonu ve tasarımın tüm bölümlerinin dokümantasyonu için detaylı bir analiz sağlamaktadır (Meerkam ve Koch, 2005). Eşzamanlı mühendislik kapsamında literatürde en çok kullanılan XİT metodolojileri, Maliyet için Tasarım, Güvenilirlik için tasarım, Kalite için tasarım, Üretim için Tasarım, Güvenilirlik için tasarım ve Bakım kolaylığı/ Kullanılabilirlik için tasarım, Montaj için Tasarım, Demontaj için Tasarım olarak belirlenmiştir. Ürün geliştirme süreci için eşzamanlı mühendislik ve XİT, ürün geliştirme sürecinin erken, orta ve geç aşamalarında birbirinden farklı olmayan eşzamanlı aktiviteler olduğu söylenebilir (Kincade vd., 2007).

XİT, Eşzamanlı mühendislik ile tanımı ve hedefleri açısından genellikle yüksek bir benzerlik derecesi paylaşır. Her ikisi de sadece ürün ve süreçleri değil, aynı zamanda ürün geliştirme sürecini de rasyonalize etmektedir. XİT, ürün geliştirme için ideal bir ortam olarak düşünülmekte ve böyle bir Eşzamanlı ürün geliştirme sürecini uygulamak için zorunlu bir yaklaşım olarak görülmektedir (Huang vd., 1999a).

2.4.2. Süreç Tasarımı

Süreç tasarımı, ürün geliştirme sürecine özgü verilerin toplanması, işlenmesi ve raporlanmasını kapsayan bir süreçtir. Süreç tasarımı, işlem çizelgeleri ve akış çizelgelerinden elde edilen süreç bilgilerinden oluşmaktadır (Huang ve Mak, 1998b: 479). Ürün geliştirme sürecinde ürün bilgisi gibi süreç bilgisi de sonraki aşamalar için önemlidir. Süreç bilgisi, ürün geliştirme aşamalarında ihtiyaç duyulan işlem verileri ve bunların nasıl işlendiği ve rapor edildiğiyle ilgilidir (Huang ve Mak, 1998b). Süreç bilgisinin sitemetik olarak elde edilmesi, XİT metodolojilerinin ürün ve süreç tasarımlarında uygulanmasına yönelik ilk adımdır (Gatenby ve Foo, 1990)

XİT metodolojinde süreç tasarımı, iş sürecinin, kaynakların ve kaynakların faaliyetlere göre tüketiminin nasıl temsil edileceği konusunda rehberlik sağlar. Aslında, süreç tasarımı XİT metodolojilerinin kullanımı ile ürün geliştirilmesinde önemli bir adımdır. Süreç tasarımıdaki faaliyetler (Huang ve Mak, 1997a):

- Ürün ve üretim kaynaklarının bileşimi ve gerekli bilgilerin toplanması,
- Elde edilen bilgiler doğrultusunda ürün ve üretim kaynaklarının yapılandırılması,
- Elde edilen bilgiler doğrultusunda ürün ve üretim kaynaklarının, özelliklerinin ürün geliştirme sürecine dahil edilmesidir.

Sistem Tasarımı, sistem stratejisi ve sistem kısıtlamaları arasında uygun bir uzlaşmayı sağlamayı amaçlayan ve problemleri çözmek için işbirlikçi ve disiplinlerarası bir süreçtir. Sistem tasarımı, sadece maliyet, zaman ve risk kısıtlamaları ile ilgili gereklilikleri değil aynı zamanda her paydaşı da karşılayabilir. Son olarak, Sistem tasarımı, ürün geliştirme sürecine hitap etmenin yanı sıra sosyal etkileşim ve örgütsel sistemleri de kapsar. Bunun yanında Sistem Tasarımı, başarılı bir ürün geliştirme süreci ve tasarım ortamlarından ayrı tutulamaz. Sistem tasarımı, ürün geliştirme ve tasarım sürecine, yaratıcı fikirler üretilmesi için disiplinli bir ekibin katılımını ve aynı zamanda proje ve organizasyon dahil tüm paydaş ihtiyaçlarına cevap verilmesini gerektirir. Bu nedenle, ürün geliştirme hedeflerine ulaşmak için sistem tasarımı, işletmelere, operasyonel ve yönetim standartları, yöntemleri ve modelleri sağlaması bakımından XİT metodolojilerinde kullanılması önemlidir (Zhang, 2014). Süreç tasarımı, XİT metodolojilerinin uygulanmasında kilit bir unsur olarak, ürünlerin piyasaya daha hızlı ulaşmasına yol açtığı ve özellikle yeni süreç teknolojileri ile tasarlanan ürünlerin, işletmelere büyük fırsatlar sağladığı için önemlidir. (Gatenby ve Foo, 1990).

2.4.3. Ürün Yaşam Döngüsü

Ürün yaşam döngüsü, ürün kavramı, yapı, materyal ve süreçler hakkında seçimler yoluyla ürün yaşam döngüsü tasarlama sanatıdır (Alting ve Legarth,1995). Ürün yaşam döngüsü yaklaşımı, ürün geliştirme (mühendislik) sürecinde, bir ürünün kavramsal tasarım aşamasından detay aşamasına kadar, gerçek ürüne dönüştürülmesi sürecinde geçirdiği çeşitli aşamalardır (Keys, 1990). Tüketici ürünleri için, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca geçtiği aşamalar tipik olarak beş aşamaya sahiptir ve bu aşamalar giriş, büyüme, olgunluk, düşüş ve sona erme şeklinde sıralanabilir (Sundin, 2009; Archibald vd., 2012).

Ürün yaşam döngüsünün temel ilkesi, bir ürünün yaşam döngüsünün tamamının dikkate alınması ve ürün geliştirmenin her aşamasında ele alınmasıdır. Bu da ürün geliştirme sürecinde, ürün tasarımı maliyetlerinin, garanti süresi, faydalı ürün ömrü, beklenen ürün ömrü gibi güvenilirlik özelliklerinin müşteri beklentileri ile karşılaştırılarak, teknik ve ekonomik olarak ürün yaşam döngüsünün sürekliliğinin gerektiği anlamına gelir. Böylece, işletmeler ürün geliştirme sürecinde, belirli bir performans seviyesini koruyarak, müşteriye teslimat sonrası bazı seviyelerde performans düşüşüne izin vererek ve müşteri hizmetleri desteğinin (bakım, parça, lojistik destek) uygun seviyesini sağlayarak bir süre maliyeti sağlamış olurlar (Keys, 1990).

Geleneksel ürün yaşam döngüsü beş aşamada değerlendirilmektedir (Jawahir vd., 2005):

- Kaynak çıkarma
- Üretim işlemi
- Paketleme ve Nakliye
- Müşteri kullanımı
- Eskime

Bu aşamaların her birinde geliştirilecek ürünleri tasarlamak, ürünlerin yaşam döngüsü değerini artıracaktır. Ürün geliştirme sürecinde tasarlanan her ürünün işlevsellik, üretilebilirlik, montaj gereksinimleri, güvenilirlik, güvenlik, servis kolaylığı, çevresel uyumluluk vb. ile ilgili şartları yerine getirmesi beklenmektedir (Jawahir vd., 2005). Bunun yanında işletmelerin, bir ürün yaşam döngüsünün farklı aşamalarında yer alan rekabetçi hedefleri, etkili bir şekilde vurgulama olanağına sahip olmaları gerekmektedir. Bu noktada XİT metodolojileri iletişimi geliştirmek ve rekabetçi hedeflere yönelik yetenekler yaratmak için potansiyel bir araç olarak görülmektedir (Lehto vd., 2011)

XİT metodolojileri, genel olarak ürün yaşam döngüsünün üretim aşaması olarak düşünülmektedir (Norris, 2001). XİT metodolojilerine göre ürün yaşam döngüsü çeşitli şekillerde uyarlanabilir. Bunun için, üretim, teslimat, kullanım, servis, sökme, yeniden montaj, test etme, geri dönüşüm ve yeniden üretime uyum sağlayacak pek çok mühendislik yöntemi vardır (Sundin, 2009). XİT metodolojileri, tasarım parametrelerini ürün yaşam döngüsü özellikleriyle ilişkilendirir. Ürün yaşam döngüsü özellikleri, montaj öncesi zaman, montaj maliyeti, servis maliyeti, üretim sürecinin esnekliği vb. şeklinde sıralanabilir. Bu özellikler, ürünü ve ürün ömrünü tanımlayan tasarım parametreleri tarafından belirlenir (Tichem, 1997). Ürün ömrünü tanımlayan tasarım parametreleri Tablo 2.2’ de ürün yaşam döngüsü için tasarım ilkeleri olarak verilmiştir.

Tablo 2. 2. Ürün Döngüsü için Tasarım İlkeleri

	Yaşam döngüsü için tasarım kategorileri	Tasarım Prensipleri
1	Ürün Tasarımı Değerlendirmeleri	Çevresel performans ölçümleri ➤ Tüm maliyet hususları, ➤ Kaynak minimizasyonu ve eleme

2	Ambalaj Tasarımı Değerlendirmeleri	Kaynak minimizasyonu ve eleme, ➤ Biyobozunabilir, ➤ Tekrar Kullanılabilirlik, ➤ Geri dönüştürülebilirlik, ➤ Endüstri standartlarının uygulanması
3	Ürün İmalat Tasarımında Dikkat Edilmesi Gerekenler	Temiz üretim süreçlerini seçmek, ➤ Kaliteyi geliştirmek ve ➤ Temiz güç kaynakları seçimi
4	Malzeme Tasarımı Düşünceleri	Malzeme seçimi ➤ Bol yenilenebilir kaynakların seçimi, Sürdürülebilir hasat materyallerinin seçilmesi, ➤ Geri dönüştürülebilir malzemeler seçmek, ➤ Tehlikeli maddelerden kaçınmak ve ➤ Malzeme prosesi enerjisinin azaltılması Maddi istihdam ➤ Maddi atıkların ortadan kaldırılması, ➤ Dematerializasyon ve ➤ Ürünlerin sadeleştirilmesi.
5	Ürün Dağıtım Tasarımı Hakkında	Temiz taşıma yöntemlerini seçmek ve Ürünlerin nakliyesini azaltma
6	Ürün Kullanım Tasarımında Dikkat Edilmesi Gerekenler	Ürün enerji kullanımını azaltmak, ➤ Bir ürünün ne tükettiğini azaltmak ve ➤ Ürünleri temiz tutmak
7	Ürün Servis Tasarımında Dikkat Edilmesi Gerekenler	Servisi kolaylaştırmak ➤ Tehlikesiz hizmet sarf malzemelerini kullan
8	Ürün Yaşam Sonu Tasarımında Dikkat Edilecek Noktalar	Demontaj için Tasarım, ➤ Geri dönüşüm için tasarım, ➤ Yeniden Kullanım için Tasarım, ➤ Yeniden Üretime Yönelik Tasarım ve ➤ Biyolojik Bozunma için Tasarım

Kaynak: Go vd., 2015

Tablo 2.2’de verilen ürün yaşam döngüsü için tasarım ilkelerinin hedefleri, mevcut tedarik zinciri tesislerinin ve taşıma sistemlerinin mümkün olduğu kadar ters tedarik zinciri için kullanılmasına, kullanılmış ürünlerin mümkün olduğunca erken geri kazanım zincirinde sınıflandırılmasına, üretim hacmin azaltılmasına ve kullanılmış ürün veya atıkların alternatif kullanımları için dikkate alınacak önlemlerin yanı sıra depolama alanlarına giden malzeme miktarına yönelik konuları içermektedir (Go vd., 2015). Ürün yaşam döngüsünün verimli bir şekilde uygulanması XİT metodolojileri ile birlikte, eş zamanlı mühendislik ve Kalite Fonksiyon Yayılımı gibi yönetim tekniklerini gerektirir (Jawahir vd., 2005).

2.4.4. Kalite Fonksiyon Yayılımı

Son yıllarda, müşterilerin yüksek talepleri ve hızlı teknolojik gelişmeler nedeniyle, ürün geliştirme çok karmaşık hale gelmiş ve ürün geliştirme yaşam

döngüsü boyunca ilk müşteri gereksinimlerini korumak çok zor olmuştur. Temelde üretim ve ürün kalitesini istenen ürün tasarım kalitesine göre kontrol etmek zorunludur. Bu amaçla Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY), ilk kez 1960'lı yıllarda Japonya'da Mizuno ve Akao tarafından geliştirilmiştir. KFY, başlangıçta, istenilen ürün kalitesine katkıda bulunan ürün geliştirme süreçlerini veya işlevlerini sistematik bir şekilde dağıtmak için aşamalı bir prosedür olarak tanımlanmıştır (Tomiyama vd., 2009).

KFY ürün mühendisliği, kalite, pazarlama ve müşteri arasındaki bütünleştirmeyi amaçladığı için XİT'e benzer bir kavramdır. KFY ürün tasarımcılarının, bir dizi teknik bilgiyi ve işletme verilerini karşılaştırarak pazarlama ile birlikte hangisinin müşterinin ihtiyacına uyacağını seçebilmelerini sağlar. KFY tekniği XİT uygulamalarında toplam ürün geliştirme sürecini kısaltır. KFY aynı zamanda, ürün geliştirme sürecini ve maliyetini azaltmak için Eşzamanlı Mühendislik ve XİT metodolojileri ile birlikte eş zamanlı olarak kullanılan bir ürün geliştirme tekniğidir. Ürün geliştirilmesi sırasında bu tekniğin uygulanması, tüm üretim sistemini hesaba katması nedeniyle işletmelere geliştirilmiş bir üretkenlik ve üretimle birlikte kaliteli bir ürün elde etme olanağı da sunmaktadır (Batalha, 2012).

Aynı zamanda XİT metodolojilerinin ürün geliştirme çalışmalarında kullanımında yararlanılan KFY tipik ve kapsamlı bir tasarım yöntemidir. Tasarım gereksinimlerini, örneğin müşteri ihtiyaçları, fonksiyonel gerçekleştirme, üretim modülleri, üretim süreci vb. gibi sıralı bir prosedürle keşfetme ve tanımlamada etkili bir yoldur. Ürün geliştirme sürecinde, XİT metodolojilerinin uygulanması için KFY, gerçek tasarım örneklerinde tasarım bağlamlarının rasyonel bir reçetesidir (Nomaguchi ve Fujita, 2007). KFY, müşteri gereksinimlerinin tasarımın belirli parametreleriyle ilişkilendirilmesini ve tüm gereksinimlerin bitmiş ürüne yansımaları sağlayan bir araç olarak XİT metodolojilerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Holt ve Barnes, 2010).

2.4.5. Taguchi Yöntemi

Taguchi Methodu ürün ömrü boyunca, ürün ve süreç kalitesini artırmayı hedefleyen başarılı bir yaklaşım olarak düşünülmektedir. Taguchi Methodu, ilk olarak Japonya'daki NTT Elektrik İletişim Laboratuvarı'nda (Nippon Telephone and Telegram Coop. Japonya) çalışırken 1950'lerde Genichi Taguchi tarafından önerilmiş olan ve modern kalite mühendisliğinin temelini oluşturan bir yaklaşımdır. Taguchi Methodu, Japon endüstrisi tarafından kabul görmüş ve 1980'lerde ABD'ye, daha sonra Avrupa'ya tanıtılmıştır. Bugün, Taguchi

yönteminin başarıyla uygulanmış birçok başarılı örneği mevcuttur (Tomiya vd., 2009).

Taguchi Metodu, kalite mühendisliği alanında kalite kontrol olarak adlandırılmaktadır. Tasarımda kaliteyi sağlamak için sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olmak üzere üç aşamada gerçekleşir. Sistem tasarımında, bilimsel ve mühendislik ilkelerinin uygulanmasına dayanan temel bir işlevsel prototip tasarımı geliştirilir. Parametre tasarımında, performans ölçümlerini optimize eden tasarım parametrelerinin ayarlarını tanımlamaya ve mühendislik tasarımlarının varyasyon kaynaklarına (gürültü) duyarlılığını azaltmaya odaklanır. Tolerans tasarımında, en iyi tolerans, parametre tasarım aşamasında belirlenen en uygun ayarlar etrafında belirlenir (Nepal vd., 2006).

Taguchi yönteminin temel amacı, bir ürünün işlevsel özelliklerinde değişkenliği en aza indirmek ve sistematik olarak kontrol edilebilir faktörleri seçmektir. Kontrol edilebilir faktörler ürün tasarım parametrelerini, parça geometrisini, tasarım konfigürasyonunu, süreç tasarım parametrelerini ve süreç ayar parametrelerini içermektedir (Kuo ve Zhang, 1995).

XİT metodolojilerinde Taguchi yöntemi, ürün geliştirme sürecinde idealleştirilebilen bir parametre değerinden sapma maliyetini nicelleştirmenin bir yolu olarak kullanılır ve optimize edilebilen bir ölçüt sağlar. Aynı zamanda Taguchi yöntemi, bir ürünün müşterilerin gereksinimlerini ne kadar iyi karşıladığını ölçmenin bir yolunu sunar (Holt ve Barnes, 2010).

Taguchi yöntemi, XİT metodolojisinde özellikle Sağlamlık/Robust için Tasarımın uygulanması için, ürün geliştirme sürecinin ihtiyaç analizi ve problem tanımı, kavramsal tasarım, ön tasarım ve detay tasarım olmak üzere dört tasarım aşamasında kullanılmaktadır (Chiu ve Okudan, 2011a).

2.4.6. Hızlı Prototipleme

Hızlı Prototipleme, tam ölçekli üretimden önce tasarlanan ürünlerin, hızlı bir şekilde fiziksel olarak gerçekleştirilmesidir. Hızlı Prototiplemenin amacı; ürünlerin kavramsallaştırılması ve tasarım aşamasında formların daha iyi görüntülenmesini sağlamak ve böylece tam ölçekli üretimin başlamasına eşlik eden belirsizlikleri azaltmaktır. Hızlı Prototipleme, prototipler için gereken süreyi azaltarak tasarım sürecini kısaltmaya yardımcı olur, böylece mühendisler bir tasarımı daha hızlı test edebilir ve değerlendirebilir. Hızlı Prototiplemenin temel avantajı, ürünün tanımlamaya gerek olmamasıdır. Hızlı Prototiplemenin iki temel özelliği vardır (Medellín-Castillo ve Torres, 2009):

- Üretilen nesnenin şeklinden bağımsızlığı ve

- Fiziksel ilkelere, malzemelere ve hedef uygulamalara bağımlılık.

Hızlı Prototipleme ile oluşturulan bir parça doğrudan son kullanım haliyle üretim aşamasında kullanılabildiğinde, aynı zamanda hızlı bir üretim tekniği olarak da adlandırılır (Medellín-Castillo ve Torres, 2009). Bu nedenle Hızlı Prototipleme ve üretim teknikleri, üretim süreçlerinde bileşenlerin neredeyse tamamen bilgisayar kontrolü altında ve geleneksel aletlere ihtiyaç duyulmadan, işlem başladıktan sonra insan müdahalesi olmadan gerçekleştirebilen bir grup teknolojisidir (Onuh ve Yusuf: 1999).

Tasarımcılar hızlı prototiplemeyi, XİT tasarım metodolojilerinde ürün geliştirme sürecine erken entegre ederek ilk varsayımlarının geçerli olup olmadığını ve sorunlu alanların nerede ortaya çıkabileceğini belirlemek için kullanırlar. Böylece ürün daha hızlı bir şekilde doğrulanabilir ve birden fazla tasarım kavramının eşzamanlı olarak araştırılmasına izin verilebilir. Çoğu durumda, XİT metodolojilerinde hızlı prototipleme ile hazırlanan ürünler, kalıplar olmadan oluşturulabilir ve görsel olarak incelenebilir veya XİT metodolojilerini desteklemek üzere elde tutulabilir. Tasarımcılar uzun bekleme süreleri olmadan parçaların birbirine nasıl oturduğunu görebilir ve hissedebilirler. Ayrıca prototipleri, üretim yeri ve son müşteri ile paylaşabilir, anında geri bildirim yoluyla farklı varyasyonlar sağlamak için çoklu prototip çalışmaları yapabilirler (www.medicaldesignbriefs.com, E.T. 04/02/2020). Sonuç olarak iyi kullanıldığında, hızlı prototipleme, çeşitli taraflar arasındaki iletişimi artırarak ve kimsenin istemediği bir şeyi gerçekleştirme riskini azaltarak tasarımların kalitesini artıracaktır (Kitsios, 2000).

2.4.7. Değer Analizi

Değer analizi, müşterinin ihtiyaç duyduğu ürünün, belirtilen performans ve güvenilirliğe uygun olarak gereksinimlerinin en düşük maliyetle karşılaması için mevcut ürün tasarımlarına uygulanan sistematik bir inceleme süreci olarak tanımlanabilir (Rich ve Holweg, 2000).

Değer Analizi, bir ürünün ürün / işlem maliyetlerini azaltma konusundaki analiziyle ilgilidir. Genellikle Değer Analizi mevcut ürünlerin malzeme veya montaj yöntemleri için kullanılan bir tekniktir (Rush ve Roy, 2000).

Değer Analizi, XİT metodolojisinde işlev, değer ve maliyetlerde en uygun noktaya ulaşmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Değer Analizi, ürün geliştirme kararlarında yetersiz bilgi ve fiyatlandırma, çevre, teknoloji ve malzemelerdeki pazar değişikliklerine ilişkin hem dış sorunlardan kaynaklanan hem de iç konulardaki katma değeri olmayan özellikler ele almaktadır. Değer

Analizi, XİT metodolojilerinde ürün geliştirme sürecinin konsept geliştirme ve ön tasarım aşamalarında kullanılmaktadır (Abdulhasain, 2015).

2.5. Yeni Ürün Geliştirme Sürecinde X için Tasarım Metodolojilerinin Etkinliğini Arttıran Kritik Başarı Faktörleri

Son yıllarda piyasaların artan küreselleşmesi işletmelerin yapısında, organizasyonunda ve işleyiş tarzında büyük değişikliklere yol açmıştır. İşletmeler rekabetçi olabilmek için pazar ihtiyaçlarına hızla cevap verebilecek yetenekler geliştirme çabasına girmiştir (Dias vd., 2011). İşletmeler bu süreçte özellikle güçlü bir ürün geliştirme sürecine sahip olmalıdırlar. Güçlü bir ürün geliştirme süreci, bir işletmenin başarısı için önemli bir yeterlilik olarak görülmekte ve başarılı ürün geliştirme için mühendislerin, endüstriyel tasarımcıların, pazarlama personelinin, tedarikçilerin ve müşterilerin entegrasyonunu gerektirmektedir. Aynı zamanda üst yönetim desteği, çapraz işlevsel ekipler ve işletmenin sahip olduğu örgüt kültürü yeni ürün başarısının ve yenilik performansının artmasında önemli rol oynayan faktörlerdir (Belt vd., 2009). Bu faktörler literatürde ürün geliştirme sürecinde *kritik başarı faktörleri* olarak tanımlanmaktadır.

XİT metodolojilerinin yeni ürün geliştirme sürecinde işletmelerin yenilik performansı üzerinde önemli etkileri vardır. Bununla birlikte bu metodolojilerin yenilik performansı üzerindeki etkisinin artırılabilmesi için ürün geliştirme sürecinde kritik başarı faktörleri olarak ele alınan yönetim ve örgüt kültürü, ekip çalışması ve ortaklaşa tasarım faaliyetlerinin de yürütülmesi gerekmektedir. Bu bağlamda yeni ürün geliştirme sürecinde XİT metodolojilerinin etkinliğini arttıran kritik başarı faktörlerinin açıklaması aşağıda verilmiştir.

Yönetim ve Örgüt Kültürü: XİT başarısı için kritik öneme sahip faktörlerden biri üst yönetim desteğidir. Genel olarak, üst düzey yönetim desteği “yeni bir ürün girişimi için sağlanan üst düzey yönetim desteği derecesi” olarak tanımlanmaktadır (Evanschitzky vd., 2012). Bu tanıma dayanarak, önceki çalışmaların çoğu, üst düzey yönetim desteğinin yeni ürün geliştirme başarısı üzerindeki doğrudan etkilerine veya ürün geliştirme başarısını etkilemek için diğer faktörlere olan dolaylı etkilerine odaklanılmıştır. Yüksek oranda bir üst düzey yönetim desteğinin finansal başarı, tasarım kalitesi ve ürün geliştirme çalışmalarının işletme hedeflerine ulaşılması üzerinde güçlü ve olumlu etkileri vardır (Lemmerer vd., 2015).

XİT başarıya ulaşmasında diğer bir faktör ise örgüt kültürüdür. Örgüt kültürü yeni ürün geliştirme performansı üzerinde potansiyel bir anahtar etkiye sahiptir

(Belassi, 2013). Örgüt kültürü, performansı sürdürmenin yanı sıra işletmenin rekabet avantajının da en temel bileşenlerinden biridir. Örgüt kültürünün işletmenin sergilediği değerler üzerinde önemli bir etkisi vardır. (Uddin vd., 2013).

Pek çok başarılı işletme XİT uygulamalarında başarıya işlevsel olarak entegre edilmiş organizasyonel yapılar yoluyla ulaşmıştır. XİT’da, tasarımcıların ve üreticilerin tasarım konseptinden üretim aşamasına kadar ortaklaşa çalışması öncelikli hedeftir. Ayrıca XİT’da başarıların seçilmesi ve ödüllendirilmesi de gerekir. XİT metodolojilerinde, üst yönetim ve örgüt kültüründeki önemli konulardan biri de iletişimdir. Ayrıca kişilerarası iletişim becerilerine önem verilmesi bilgi teknolojisi, bilgi hareketi ve yönetimi de dahil olmak üzere XİT’daki iletişimi geliştirmek için değerlidir. XİT metodolojilerinin uygulanmasında denemeler, sıkıntılar ve zaferler işletme genelinde paylaşılmalıdır (Gatenby ve Foo, 1990). XİT metodolejilerinin uygulanmasında ayrıca, bilgi paylaşımı ve sürekli geliştirmeden faydalanılır (Mottonen vd., 2009).

Ekip Çalışması: İşletmelerde ürün geliştirme sürecinde XİT metodolojilerinin başarılı bir şekilde uygulanması için bilinmesi ve yönetilmesi gereken, teknik olmayan birçok faktör vardır. Bu faktörler arasında özellikle XİT metodolojilerinin uygulanması için gerekli olan çok fonksiyonlu ekiplerden söz edilebilir. XİT metodolojilerinin etkili bir şekilde uygulamasında çok fonksiyonlu ekibi geliştirme ve organize etmek çok önemlidir. XİT metodolojilerinin uygulanmasında başarılı olmak için ekip çalışmasının ödüllendirilmesi ve ekip çalışmalarının istenilen seviyeye ulaşmasını sağlamak için psikolojik ilkelerin uygulanması gerekmektedir. Her bir etkinlik için doğru ekibi seçmek ve bilgi sistemlerinin sürece entegre etmek başarılı bir ürün geliştirme için çok önemlidir. Bu bağlamda XİT metodolojilerinin ürün geliştirme sürecinde uygulanmasında başarıya ulaşmak için ekip çalışması şarttır (Gatenby ve Foo, 1990).

XİT metodolojilerinde ürün geliştirme sürecinde ekiplerin etkin bir şekilde entegre edilmesi yenilik performansını ve işletme rekabetçiliğini arttırmaktadır. Aynı zamanda başarılı çapraz işlevsel bilgi değişimlerinde kilit rol oynamakta ve güçlü iletişim bağlantılarını sağlamaktadır. XİT metodolojilerinde ürün geliştirme sürecinde ekip çalışmasının temel argümanı, işlevsel çeşitliliğin ekip üyeleri için mevcut olan bilgi miktarını ve çeşitliliğini arttırmasıdır. Bu, ekip üyelerinin ürün geliştirme problemlerini ve potansiyel çözümleri anlamalarını sağlar ve böylece karmaşık problemleri çözmeye yeteneklerini arttırır (Song ve Noh, 2006). Ekip çalışmaları çapraz işlevli, organik, esnek ve çevik olmak üzere dört çeşittir. Ayrıca, en başarılı işletmeler ürün geliştirme sürecinin ilk

aşamalarından itibaren çapraz işlevli ekipleri kullanmaktadırlar (O’Sullivan, 2004). Ekip çalışmalarını bireysel çalışmalardan ayıran şey, çalışma ekiplerinde elde edilen sinerji düzeyidir. Bu nedenle ekip çalışmalarının, ürün geliştirme döngüsü süresindeki azalmayı sağlama konusunda olumlu bir etkiye sahiptir (Deshpande, 2013).

Ekip çalışmaları, XİT metodolojilerinin gelişimi için önemlidir. Ekip çalışmaları, organizasyondaki teknoloji, Ar-Ge ve finansal performansı iyileştirmenin yanı sıra organizasyonel verimliliği ve kaliteyi de artırabilir (Lin vd., 2012).

Ortaklaşa Tasarım: Müşteri ihtiyaçları ve ürün özellikleri, ürün geliştirmenin konsept aşamasındaki temel kurallardır. Bununla birlikte, daha sonraki tasarım çalışmaları sırasında geliştirme ekipleri, spesifikasyonları ve ihtiyaçları karşı karşıya kaldıkları belirli tasarım konularıyla bağlantı kurmakta güçlük çekerler. Bu nedenle birçok tasarım mühendisi, XİT metodolojilerini kullanarak belirli tasarım yönlerini ele alır. Burada X, güvenilirlik, montaj uygunluğu, sağlamlık, çevreye olan etki, ergonomi ve estetik değer gibi birçok kalite kriterinden birine karşılık gelir ve sürdürülebilirliği sağlar (Sancın vd., 2008).

XİT, iç fonksiyonların ve dış tedarik zinciri ortaklarının- paydaşların tasarım gereksinimlerini koordine etmek için kullanılan bir yönetim yaklaşımıdır. İhtiyaç koordinasyon rolünün yanı sıra, XİT’in temel faydalarından biri, özellikle projenin başlangıcında, proje ve sonuçları için paydaşlarla eşit şartlarda yer almaktır. XİT, işlevsel (paydaş) entegrasyon sağlamak için bir iletişim aracı olarak ve gereksinimleri yönetmek için bir derleme olarak da çalışmaktadır (Lehto vd., 2011). Bununla birlikte, ürün geliştirmede üçüncü şahıslarla iş birliği, işletmelere birçok yarar sağlar. Olası teknoloji uygulamalarını tanıyarak pazar hızını artırır, maliyetleri düşürür, ürün kalitesini iyileştirir ve ürün geliştirmedeki riskleri azaltır (Orcika vd., 2013).

XİT’in başarıya ulaşmasında diğer bir faktör ise müşteri katılımıdır. Müşteri katılımı daha başarılı yeni ürün geliştirme sonuçlarına yol açmaktadır. Müşteri katılımı sağlandığında nihai ürünün müşteri beklentilerini karşılama olasılığı daha yüksektir. Müşteri katılımı ayrıca, başarıyı olumlu yönde etkilediği tespit edilen pazara yönelik hızı da arttırmaktadır (Lemmerer vd., 2015). XİT uygulamaları, yeni ürün geliştirme sürecinin belirli aşamalarında müşteri etkileşiminin, yeni ürün başarısını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. İlgili müşterilerin özellikleri de yeni ürün başarısı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Örnek olarak, finansal açıdan cazip müşterilerle veya öncü kullanıcı

özellikleri sergileyen müşterilerle iş birliği yapmak yeni ürün başarısını arttırmaktadır (Gruner, 2000).

XİT'in başarıya ulaşmasında diğer bir faktör ise ürün geliştirme sürecine tedarikçi katılımıdır. Tedarikçi katılımının finansal performans, ürün yeniliği ve ürün kalitesi üzerindeki etkileri, özellikle tasarım aşamasında, daha yüksek düzeyde bir tedarikçi katılımının, tedarikçi yeniliği ve nakit akış oranını önemli ölçüde arttırmaktadır (Song ve Noh, 2006). Özellikle tedarikçilerle olan güçlü resmi bağlantılar, ürün yenilik sürecinde çok önemlidir. Tedarikçiler ürün yenilik sürecinin ilk aşamalarında yer alırlarsa, önemli faydalar sağlamaktadırlar (O'Sullivan, 2004). Tedarikçi işletmelerin ürün yenilik faaliyetlerine katılımı hem yeni ürün başarısı hem de işletmenin finansal ve genel performansı için büyük bir öneme sahiptir. İşletmelerin ürün yenilik faaliyetlerine erken aşamada katılmaları bu sürecin etkinliğini önemli ölçüde artıracaktır. Dolayısıyla işletmelerin ürün yenilik faaliyetlerine katılımı erken aşamadan itibaren sağlanmalıdır (Çağlıyan, 2009). XİT çalışmalarında nitelikli ve sadık bir tedarikçi tabanı, rekabet avantajı için kilit bir kaynak olabilir. Üreticilerin tedarikçilerin erken katılımından elde ettiği avantajlar arasında daha yenilikçi ürünler, daha hızlı ürün geliştirme ve daha düşük geliştirme maliyetleri bulunmaktadır. Örgüt kültürü, işletmelerin nasıl davrandığını ve tedarikçileriyle iş birliği içinde bir ilişki kurmadıklarını veya tedarikçilerinin en düşük teklif için birbirleriyle rekabet etmelerini sağlamaktadır (Belassi, 2013)

KAYNAKÇA

- Aakko, M. ve Koskenurmi-Sivonen, R. (2013). Designing sustainable fashion: Possibilities and challenges, *RJTA*, 1771, 2013, s. 13-22.
- Abdulhasain, F. (2015). **A multi-actor approach to conflict and conflict management in cross-functional collaborative new product development**. Doktora Tezi, Faculty of Technology, Policy and Management, Delft University of Technology, Amsterdam, the Netherlands.
- Agote-Garrido, A., Martín-Gómez, A. M., ve Lama-Ruiz, J. R. (2023). Manufacturing system design in Industry 5.0: Incorporating sociotechnical systems and social metabolism for human-centered, sustainable, and resilient production. *Systems*, 11(11), 537.
- Ahirwar, M. ve Verma D. (2014). A review of six sigma approach: methodology, implementation and future research. **International Journal of Science and Research (IJSR)**, 3/6, s. 2129- 2132.
- Ahmed, P. K. (1998). Culture and climate for innovation. **European journal of innovation management**, 1/1, s. 30-43.
- Ajax, R., Joseph, S., ve Luz, A. (2025). Machine learning for cost estimation in new product development.
- Akbulut, Y. (2010). **Sosyal bilimlerde SPSS uygulamaları: Sık kullanılan istatistiksel analizler ve açıklamalı SPSS çözümleri**. İdeal Kültür Yayıncılık, İstanbul.
- Akgün, A. E., ve Lynn, G. S. (2002). Antecedents and consequences of team stability on new product development performance. **Journal of Engineering and Technology Management**, 19/3-4, s. 263-286.
- Akkawi, M., Talami, F., Romero, M., Modugno, V., Jiang, P., ve Gaz, C. (2025). Consumer electronic redesign for automated disassembly using general-purpose robots. **Proceedings of the Design Society**, 5, s. 1031-1040.
- Akyüz, B., (2007). **Ürün geliştirme çalışmalarında kullanılan araç ve teknikler: Türk seramik sektöründe bir uygulama**. Marmara Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akyüz, B., Yayla, A.Y. (2005). Ürün geliştirme çalışmalarını hızlandırmada kullanılan araç ve teknikler. **1.Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi –MTET2005**, İstanbul, 5-7 Eylül, s.1088-1093.
- Alajoutsijärvi, K., Mainela, T., Salminen, R., ve Ulkuniemi, P. (2012). Perceived customer involvement and organizational design in project business. **Scandinavian Journal of Management**, 28/1, s. 77-89.
- Alfath, M. K., Ghalidzh Annur, R., Wibowo, M., ve Ihsan, N. (2025). Systematic Review of Jig and Fixture Design Innovation in Improving the Efficiency of Automotive Component Manufacturing Process. *M Sheva and Ihsan, Nabil, Systematic Review of Jig and Fixture Design Innovation in*

Improving the Efficiency of Automotive Component Manufacturing Process (June 05, 2025).

- Alhomsi, H. ve Zwolinski, P. (2008). **Developing a method for elaboration the scenarios related with sustainable products lifecycle**, INPG, G-SCOP Laboratory Grenoble –France, s. 1-10.
- Alting, L. ve Legarth, J.B. (1995). Life cycle engineering and desing. **CIRP Annals**,
- Altunışık, R., Coşkun, R., Bayraktaroğlu, S. ve Yıldırım, E. (2012). **Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri SPSS uygulamalı**. 7. Baskı, Sakarya Kitabevi, İstanbul.
- Amaya, J., Zwolinski, P. ve Brissaud, D. (2010), Environmental benefits of parts remanufacturing: The truck injector case. **17th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering**, May 2010, Hefei, ANHUI, China, s. 1-7.
- Ameur, S., Tabaa, M., Hidila, Z., Hamlich, M., Karboub, K., ve Bearee, R. (2025). The future of robotic disassembly: a systematic review of techniques and applications in the age of AI. **Frontiers in Robotics and AI**, 12, 1584657.
- Anbari F. T. ve Kwak, Y. H. (2004). Success factors in managing six sigma projects, **2004 Project Management Institute Research Conference**, July 11-14 2004, London, UK, s. 1-14.
- Anderson, J. C. ve Gerbing, D. W. 1988, Structural equation modeling in practice: a review and recommended two-step approach. *Psychological Bulletin*, 103/3 411–423.
- Andersson, F., Hagqvist, A., Sundin, E. ve Björkman, M. (2014). Design for Manufacturing of composite structures for commercial aircraft- the development of a DFM strategy at SAAB aerostructures. **Procedia CIRP**, 17, s.362-367.
- Andersson, P. (1996). A semi-analytic approach to robust design in the conceptual design phase. **Research in Engineering Design**, 8/4, s. 229-239.
- Antonicic, B., ve Hisrich, R. D. (2001). Intrapreneurship: Construct refinement and cross-cultural validation. **Journal of business venturing**, 16/5, s. 495-527.
- Anwer, N., Stark, R., Tao, F., ve Erkoyuncu, J. A. (2025). Developing and leveraging digital twins in engineering design. **CIRP Annals**, 74(2), s. 843-868.
- Apak, S., Özüğür B. ve Tezcan M. H. (2012). Yeni ürün geliştirme sürecinde robust tasarım yaklaşımının incelenmesi. **3.Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi**, 29-30 Kasım, Balıkesir, s. 29-35.
- Archibald, R. D., Di Filippo, I., ve Di Filippo, D. (2012). The six-phase comprehensive project life cycle model including the project incubation/feasibility phase and the post-project evaluation phase. **PM World Journal**, 1/5, s.1-40.

- Arendt, M. (2009). Innovation and design for six sigma. **Economics And Organization Of Enterprise**, 4/2, s. 22-32.
- Ar-Ge Şubesi, Ağustos 2018, Bursa.
- Armstrong, C. M., ve LeHew, M. L. (2011). Sustainable apparel product development: In search of a new dominant social paradigm for the field using sustainable approaches. **Fashion Practice**, 3/1, s.29-62.
- Arnette A.N., Brewer B. ve Choal T. (2014), Design for sustainability (DFS): The intersection of supply chain and environment. **Journal of Cleaner Production**, 83, s. 374-390.
- Arslan, K. (2008). **Küresel rekabet baskısı altında tekstil ve hazır giyim sektörünün dönüşüm stratejileri ve yeni yol haritası**. MÜSIAD Araştırma Raporları: 57, İstanbul.
- Arvidsson, M. ve Gremyr, I. (2008). Principles of robust design methodology, Qual. **Reliab. Eng. Int.** 24, s. 23-35.
- Asif, F. M., Roci, M., Lieder, M., Rashid, A., Štimulak, M., Halvordsson, E., & de Bruijckere, R. (2018). A practical ICT framework for transition to circular manufacturing systems. **Procedia Cirp**, 72, s. 598-602.
- Asyraf, M. R. M., Syamsir, A., Zahari, N. M., Supian, A. B. M., Ishak, M. R., Sapuan, S. M., ve Rashid, M. Z. A. (2022). Product development of natural fibre-composites for various applications: Design for sustainability. **Polymers**, 14(5), 920.
- Atkinson, D.B. (2007). Global new product introduction and development in the automotive sector. Master Tezi, The University of Wolverhampton, İngiltere
- Ayyıldız, H. ve Cengiz, E. (2006). Pazarlama Modellerinin Testinde Kullanılabilecek Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) Üzerine Kavramsal Bir İnceleme. **Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 11/2, s. 63-84.
- Ayyıldız, H., Cengiz, E. ve Ustasüleyman, T. (2006). Üretim ve pazarlama bölüm çalışanları arası davranışsal değişkenlerin işletme performansı üzerine etkisine ilişkin yapısal bir model önerisi. **Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (İLKE)**, 17, s.21-38.
- Azulay, I., Lerner, M., ve Tishler, A. (2002). Converting military technology through corporate entrepreneurship. **Research Policy**, 31/3, s. 419-435.
- Babu, B. J. C., Prabhakaran, R. T. ve Agrawal, V. P. (2008). DFX analysis applied to composite products. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, 27(3/2), s. 287-311.
- Badhwar, A., Islam, S., Tan, C. S. L., ve Payne, A. (2025). A Comparative Review of Australia's Fashion and Textile Industry and Global Climate Perspectives Across Five Decades (1970s-2020s). *Global Sustainability*, 1-22.

- Bagozzi, R. P., ve Yi, Y. (2012). Specification, evaluation, and interpretation of structural equation models. **Journal Of The Academy Of Marketing Science**, 40/1, s. 8-34.
- Balasubramanian, R., ve Baumgardner, S. (2004). Good supplier management aids new product launch. **Quality Progress**, 37/6, s. 49-57.
- Ballaou, R.H. (1999). **Business logistics management; planning, organizing and controlling the supply hain**. Prentice Hall. New Jersey, Dördüncü Basım.
- Bandinelli, R., Rinaldi, R., Rossi, M. ve Terzi, S. (2013). New product development in the fashion industry: An empirical investigation of Italian firms. **International Journal of Engineering Business Management**, 5, s.1-9.
- Barbosa, G.F. ve Carvalho, J. (2013). Design for Manufacturing and assembly methodology applied to aircrafts design and manufacturing. **11th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems The International Federation of Automatic Control**, May 22-24, 2013, São Paulo, Brazil, s. 116-121.
- Barkhausen, R., Durand, A., ve Fick, K. (2022). Review and analysis of ecodesign directive implementing measures: Product regulations shifting from energy efficiency towards a circular economy. **Sustainability**, 14(16), 10318.
- Batalha, G.F. (2012). Design for X – Design for excellence. **Open Access Library**, 6/12, s. 1-116.
- Battaia, O., Dolgui, A., Heragu, S. S., Meerkov, S. M., ve Tiwari, M. K. (2018). Design for manufacturing and assembly/disassembly: joint design of products and production systems. **International Journal of Production Research**, 56(24), s. 7181-7189.
- Bayram, N. (2010). **Yapısal eşitlik modellemesine giriş amos uygulamaları.1**. Basım, Ezgi Kitabevi, Bursa.
- Beamon, B. M. (1999). Designing the green supply chain. **Logistics information management**, 12/4, s. 332-342.
- Becker, J.M.J., ve Wits, W. W. (2013). A template for design for excellence (DFX) methods. **Smart Product Engineering Proceedings Of The 23rd CIRP Design Conference**, Bochum, Germany, March, 11th-13th, s. 33-42.
- Behncke, F. G. H., Thimet, P., Barton, B. ve Lindemann U. (2015). Influence of design- for- x guidelines on the matching between the product architecture and supply network. **Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (IICED15)**, Milan, Italy, 27- 30 July, s. 1-12.
- Belassi, W. (2013). The impact of organizational culture on the success of new product development projects: A theoretical framework of the missing link. **The Journal of International Management Studies**, 8/2, s. 124-133.

- Belay, A. M. (2009). Design for manufacturability and concurrent engineering for product development. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, 25, s. 240–246.
- Belkadi, A., ve Bachiri, M. (2025). Towards an Industry 5.0 Enhanced by AI: A Theoretical Framework. **Engineering Proceedings**, 112(1), 2.
- Benabdellah, A. C., Bouhaddou, I., Benghabrit, A., ve Benghabrit, O. (2019). A systematic review of design for X techniques from 1980 to 2018: concepts, applications, and perspectives. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 102/9, s. 3473-3502.
- Berger, E., Braun, F., Mehlstaubl, J., ve Paetzold-Byhain, K. (2024). Applications of generative AI in the product development process: a scoping review. **In DS 133: Proceedings of the 35th Symposium Design for X (DFX2024)**. s. 055-064.
- Bhamra, T., ve Hernandez, R. J. (2021). Thirty years of design for sustainability: an evolution of research, policy and practice. **Design Science**, 7, e2.
- Bielecki, M., ve Hadas, L. (2018). Selected Aspects of Product Logistic Efficiency as Part of The Design for Logistics Concept-Case Study. **Business Logistics in Modern Management**.
- Bielecki, M., Galińska, B., ve Polak-Sopińska, A. (2021). Perfect product in perfect industry—design for logistics. Lodz University Of Technology Press,
- Bilginer, N., Kayabaşı, A., ve Sezici, E. (2008). Lojistik faaliyetlerin süreçsel etkinliğine etki eden faktörlerin değerlendirilmesi üzerine ampirik bir çalışma, **Dumlupınar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi**, 15, s.1-2.
- Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, (2015). **Türkiye Tekstil, Hazırgiyim ve Deri Ürünleri Sektörleri**, Sanayi Genel Müdürlüğü Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2015–2018.
- Bin Abdullah, T.A, Khairul Aizat, M., Kamarul, A.M. ve Faizal Halim, M. (2010). Product design improvement by design for assembly (DFA) method: A case study on steam iron. **IDEKON 2010- International Conference Malaysia Melaka (UteM)**, 20-21 Semptember 2010, s. 1-12.
- Black, S. (2008). **Eco-chic the fashion paradox**. London: Black Dog Pub.
- Bloch, P. H. (1995). Seeking the ideal form: Product design and consumer response. **Journal of marketing**, 59/3, s. 16-29.
- Bogue, R. (2007). Design for disassembly: a critical twenty-first century discipline, **Assembly Automation**, 27/4, s.285-289.
- Boks, C., ve Stevels, A. (2007). Essential perspectives for design for environment. Experiences from the electronics industry. **International Journal of Production Research**, 45/18-19, s. 4021-4039.
- Bonaccorsi, A., ve Lipparini, A. (1994). Strategic partnerships in new product development: An Italian case study. **Journal Of Product Innovation Management**, 11/2, s. 134-145.

- Booker, J. D., Swift, K. G. ve Brown, N. J. (2005). Designing for assembly quality: strategies, guidelines and techniques, **Journal of Engineering Design**, 16/3, s. 279-295.
- Boothroyd, G. (1994). Product design for manufacture and assembly, **Computer-Aided Design**, 2/7, s.505-520.
- Boothroyd, G. ve Alting, L. (1992). Design for assembly and disassembly. **CIRP Annals**, 41(2), s. 625-636.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P. ve Knight, W. A. (2011). **Product design for manufacture and assembly**. CRC Press Taylor & Francis Group, New York, Üçüncü Basım.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P. ve Knigh, W. (1994). **Product design for manufacture and assembly**. M. Dekker Inc., New York, İlk basım.
- Borchardt, M., Wendt, M.H., Pereira, G. M. ve Sellitto, M. A. (2011). Redesign of a component based on ecodesign practices: Environmental impact and cost reduction achievements. **Journal of Cleaner Production**, 19, s. 49-57.
- Borland, N. ve Wallace, D. (2000). Environmentally conscious product design a collaborative internet-based modeling approach. **Journal of Industrial Ecology**, 3/2-3, s. 33-46.
- Böke, K. (2010), **Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri**, 2. Baskı, Alfa Basım Yayın Dağıtım San. Ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul.
- Bralla, J. (1998), **Design for manufacturability handbook**, New York, USA, McGraw- Hill Professional Publishing, 1361.
- Brarda, P. G., Ayala, N. F., ve Mendes, G. H. (2025). Roadmap to Digital Factories in Industry 4.0: Insights from multiple case studies. **International Journal of Production Economics**, 109829.
- Bras, Dr. B. (1997). Incorporating environmental issues in product design and realization, published in industry and environment, special issue on product design and the environment. **United Nations Environment Programme Industry and Environment (UNEP/IE)**, 20(1-2), s. 1-19.
- Breemen E.J.J. van, Knoop W.G., Horváth I., Vergeest, J.S.M. ve Pham B. (1998), Developing a methodology for design for aesthetics based on analogy of communication. **Proceedings of 1998 ASME DTM Conference**, September 1998, Atlanta, Georgia, USA, s.1-26.
- Bocken, N. M., De Pauw, I., Bakker, C., ve Van Der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal Of Industrial and Production Engineering**, 33(5), s. 308-320.
- Brundtland, G. ve Khalid, M. (1987). **Our common future**. Annex to General Assembly document A/42/427, Development and International Co-operation: Environment World Commission on Environment and Development United Nations/ <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>/ Erişim Tarihi: 25.10.2017.

- Burggräf, P., Bergweiler, G., Kehrer, S., Krawczyk, T., & Fiedler, F. (2024). Mega-casting in the automotive production system: Expert interview-based impact analysis of large-format aluminium high-pressure die-casting (HPDC) on the vehicle production. **Journal of Manufacturing Processes**, 124, 918-935.
- BUTEKOM (2015), **Tekstil, Hazırgeyim ve Deri Ürünleri Sektörlerinde Yenilikçilik ve Tasarıma Yönelik Eğitim İhtiyacı**, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Tekstil, Hazırgeyim ve Deri Ürünleri Sektörleri Strateji Belgesi ve (2015-2018) Eylem Planı Raporu.
- Büchel B. (2005). New product development team success: the team's knowledge network makes a real difference. **Perspective of Managers**, 129, s.1-12.
- Bülbül H. (2015). Bilişim teknolojilerinin faydaları, yenilik ve genel performans arasındaki ilişki. **Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, 33, s. 19-33.
- Büyükköztürk, Ş. (2011). Sosyal bilimler için veri analizi el kitabı- istatistik, araştırma deseni, SPSS uygulamaları ve yorum. 15. Baskı, Pegem Akademi, Ankara.
- Byrne B. M. (2012). Structural equation modeling with Mplus: Basic concepts, applications, and programming. Routledge Taylor ve Francis Group, New York, NY 10017.
- Calantone, R.J., Cavusgil, S.T., Schmidt, J.B., ve Shin, G.-C. (2004). Internationalization and the Dynamics of Product Adaptation: An Empirical Investigation. **Journal of Product Innovation Management**, 21, s. 184-98.
- Cappelli F., Delogu M., Pierini M. ve Schiavone F. (2007). Design for disassembly: a methodology for identifying the optimal disassembly sequence. **Journal of Engineering Design**, 18/6, s.563-575.
- Carbonell P., Rodriguez-Escudero A. I. (2009). Relationships among team's organizational context, innovation speed, and technological uncertainty: An empirical analysis. **Journal Engineering Technology Management**, 26, s.28-45.
- Carou, D. (2025). **Introduction to Generative Design for Aerospace Applications: From the Creative Process to Manufacturing**. Springer Nature. 6330 Cham, Switzerland.
- Causey, G. C. (1999). **Elements of agility in manufacturing**. Doktora Tezi, Case Western Reserve University, Ohio, USA.
- Ceschin F. (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. **Design Studies**, 47, s. 118-163.

- Ceschin, F., ve Gaziulusoy, I. (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. **Design Studies**, 47, 118-163.
- Ceschin, F., ve Gaziulusoy, İ. (2020). *Design for sustainability: a multi-level framework from products to socio-technical systems*. Routledge. New York, NY 10017
- Chan, L.K. ve Wu, M.L., Quality function deployment: a literature review. *Eur. J. Operation Res.*, 2002, s.463-497.
- Chang T. C., Wysk R. A., ve Wang H. P. (1998). **Computer-aided manufacturing**. Second Edition, Prentice Hall.
- Chang, A. C. (2019). *Blockchain adoption and design for supply chain management* (Doctoral dissertation, Rutgers University-Graduate School-Newark).
- Chapman, J.A. (2015). **Emotionally durable design: Objects, experiences and empathy**. Routledge: London, UK, İkinci Basım.
- Cheng, K., Wang, Q., Yang, D., Dai, Q., ve Wang, M. (2022). Digital-twins-driven semi-physical simulation for testing and evaluation of industrial software in a smart manufacturing system. **Machines**, 10(5), 388.
- Cheung, M. F., ve To, W. (2011). Customer involvement and perceptions: The
- Chincholkar M. (2002). **Design for production: using manufacturing cycle time information to improve product development**, Doktora Tezi, University of Maryland, College Park, USA.
- Chiu M-C., Gupta S. ve Okudan G. E. (2009). Integration of supply chain decision at the conceptual design stage: a repository enabled decision tool. **Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conference & Computer and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2009**, August 30- September 2, 2009, San Diego, California, USA, s. 1-9.
- Chiu M-C., ve Okudan G.E. (2010a). Evolution of Design For X tools applicable to design stages: a literature review. **Proceedings of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE**, 2010 August 15-18, 2010, Montreal, Quebec, Canada, s. 1-12.
- Chiu, M.C. ve Okudan G.E.K. (2011b). An integrative methodology for product and supply chain design decisions at the product design stage, **Journal of Mechanical Design**, 133, s.1-15.
- Chiu, M.C. ve Okudan G.E.K. (2011a). Investigation of the applicability of Design for X tools during design concept evolution: a literature review. **Int. J. Product Development**, Vol. 13, No. 2, s. 132-167.
- Chiu, M-C., Lin, C-Y. ve Okudan, G.E. (2007). An investigation of the applicability of DFX tools during design concept evolution. **Proceeding of 2007 Asia Pacific Industrial Engineering and Management Science**

- (APIEMS) Conference, December 9-12, Kaohsiung, Taiwan, s.1-10.
- Chiu, M-C., ve Okutan, G.E., (2010b), A small to medium-size enterprise oriented methodology for optimizing product and supply chain design decisions. **Proceedings of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2010**, August 15-18, Montreal, Quebec, Canada, s.1-12.
- Chung, H. Y., Jamaludin, Z., ve Abdullah, L. (2017). Radio frequency identification based system design for logistics application. **Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)**, 9(3-2), s. 17-20.
- Cicconi, P. (2020). Eco-design and Eco-materials: An interactive and collaborative approach. **Sustainable Materials and Technologies**, 23, e00135.
- Ciechanowski P., Malinowski L., Nowak T. (2007). DFX platform for life-cycle aspects analysis. In: Loureiro G., Curran R. (eds) **Complex Systems Concurrent Engineering**, Springer, London, s. 283-290.
- Cimatti, B., Campana, G. ve Carluccio, L. (2017). **Procedia Manufacturing**, 8, s. 393 – 400.
- Claypool E. G. (2011), **Assesing and mitigating risk in a design for supply chain problem**, Doktora Tezi, Pittsburgh Universty, Pensilvanya, USA.
- Comizzoli, R.B., Landwehr J.M. ve Sinclair J.D. (1990). Robust materials and processes: Key to reliability. **AT & T Technical Journal**, 69/6, s. 113-128.
- Cooney, R. (2004). Empowered self-management and the design of work teams. **Personnel Review**, 33/6, s. 677–692.
- Cooper, G.R., Edgett, J.S. ve Kleinschmidt, E.J. (2003). **Improving new product development performance and practices**. American Productivity & Quality Center –APQC, USA.
- Cooper, R. G., ve Kleinschmidt, E. J. (1995). Benchmarking the firms critical success factors in new product development. **Journal of Product Innovation Management**, 12/5, s. 374-391.
- Cooper, R. G., ve Kleinschmidt, E. J. (2007). Winning businesses in product development: The critical success factors. **Research-Technology Management**, 50/3, s. 52-66.
- Copriva, R. G., Oliveira, W. R. D., ve Trabasso, L. G. (2024). A DFX attribution method applied to integrated product development within the aerospace domain. **Journal of Aerospace Technology and Management**, 16, e2524.
- Cormican, K., ve O’Sullivan, D. (2004). Auditing best practice for effective product innovation management. **Technovation**, 24/10, s. 819-829.

- Coşkun, R., Altunışık, R., ve Yıldırım, E. (2017), **Sosyal Bilimlerde Araştırma Yöntemleri SPSS Uygulamalı**, 9. Baskı, Sakarya Kitabevi, İstanbul.
- Cowan F.S., Marston M. ve Mistree F. (2000). Design for excellence: a microworld, game theoretic approach. **Engineering Design Conference 2000: Design for Excellence**, Wiley, s. 3–24.
- Cramer J. (1999). Design for sustainability within the chemical industry: the case of Akzo Nobel. **The Journal of Sustainable Product Design**, 9, s. 12-19.
- Crawford, M. ve Di Benedetto, A. (2010). **New Products Management**, Tenth Edition, McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA.
- Crowe D. ve Feinberg A. (1998). Stage-gating accelerated reliability growth in an industrial environment. **Proceedings Institute of Environmental Sciences**, April, s.1-9.
- Crowther, P. (2005). Design for disassembly–themes and principles. **RAIA/BDP Environmental Design Guide, The Royal Australian Institute of Architects**, s.1-9.
- Çağlıyan, V. (2009). **Yenilikçilik, tedarikçi katılımı ve işletme performansı üzerine değer zinciri yönetimi temelli bir yaklaşım: otomotiv sektöründe görgül bir araştırma**. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Çokluk, Ö., Şekercioğlu, G. ve Büyüköztürk, Ş., (2010). **Sosyal bilimler için çok değişkenli istatistik: SPSS ve Lisrel uygulamaları**. Pegem Akademi, Ankara.
- Çokluk, Ö., Şekercioğlu, G. ve Büyüköztürk, Ş., (2018). **Sosyal bilimler için çok değişkenli istatistik SPSS ve Lisrel uygulamaları**.5. Baskı, Pegem Akademi, Ankara.
- Da Cunha C., Agard B., ve Kusiak A. (2007). Design for cost: module-based mass Customization. **IEEE Transactions On Automation Science And Engineering**, 4/ 3, s. 350-359.
- Da Silva M. G., Giasolli R., Cunningham S., ve De Roo D. (2002). MEMS design for manufacturing (DFM). **Sensors Expo & Conference 2002**, September 24-26, Boston MA, s. 1-8.
- Da Silva M.G., Schröpfer G., Blackwell B. ve Ramalingam A. (2007). Designing MEMS for reliability (DFR). **International Conference On Emerging Research And Advances In Mechanical Engineering, EMTM2N-2007**, BITS, Pilani, 16-18 February 2007, s. 1-4.
- Daabub, A.M. ve Abdalla, H.S. (1999). A computer- based intelligent system for design for assembly. **Computers & Industrial Engineering**, 37 (1-2), s. 111-115.
- Dai, X., Wu, L., ve Wu, L. (2026). Incentive contract design for logistics enterprises to participate in online food safety regulation under government delegation: a study in the Chinese context. **Cogent Food & Agriculture**, 12(1), 2600137.

- Das, S.K., Datla, V. ve Samir, G. (2000). DFQM- An approach for improving the quality of assembled products. **International Journal of Production Research**, 38/2, s.457-477.
- De Brentani, U., Kleinschmidt, E. J., ve Salomo, S. (2010). Success in global new product development: impact of strategy and the behavioral environment of the firm. **Journal of Product Innovation Management**, 27/2, s. 143-160.
- De Toni, A., ve Nassimbeni, G. (2001). A method for the evaluation of suppliers' co-design effort. **International Journal of Production Economics**, 72/2, s. 169-180.
- De Weck, O.L., Roos, D.L. ve Magee, C.L., 2011. Appendix: Engineering Systems Terms and Definitions. In *Engineering Systems - Meeting Human Needs in a Complex Technological World*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Dean, E.B. ve Ünal, R. (1992). Elements of designing for cost, **AIAA 1992 Aerospace Design Conference**, Irvine, CA, 3-6 February, AIAA-92-1057., s.1-7
- Demiralay, T. (2014). **Hekimlerde örgütsel sessizliğin yapısal eşitlik modeli ile incelenmesi**. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Fakültesi, Edirne.
- Demirer, Ö. ve Bülbül, H. (2014). Kamu ve özel hastanelerde hizmet kalitesi, hasta tatmini ve tercihi arasındaki ilişki: Karşılaştırmalı bir analiz. **Amme İdaresi Dergisi**, 47/2, s.95-119.
- Desai A. ve Mital A. (2003). Evaluation of disassemblability to enable design for disassembly in mass production. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 32, s.265-281
- Desai A., Mital A. (2010). Facilitating design for assembly through the adoption of a comprehensive design methodology. **International Journal of Industrial Engineering**, 17/2, s. 92-102.
- Deshpande A. (2013). Supply chain management dimensions, supply chain performance and organizational performance: An integrated framework, **International Journal of Business and Management**, 7/ 8, s. 2-17.
- Deutz, P., McGuire, M., ve Neighbour, G. (2013). Eco-design practice in the context of a structured design process: an interdisciplinary empirical study of UK manufacturers. **Journal of Cleaner Production**, 39, s. 117-128.
- Dhanda, M., Rogers, B. A., Hall, S., Dekoninck, E., ve Dhokia, V. (2025). Reviewing human-robot collaboration in manufacturing: Opportunities and challenges in the context of industry 5.0. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 93, 102937.
- Diakun, J., ve Grzejda, R. (2025). Product design analysis with regard to recycling and selected mechanical properties. **Applied Sciences**, 15(2), 512.
- Dias A., Abreu A., Matias J. ve Dias, J. Q. (2011). Methodologies and tools to support design and development of new products. **International**

Conference On Engineering UBI2011, 28-30 Nov 2011 – University of Beira Interior – Covilhã, Portugal, s. 1-10.

- Digilina, O. B., ve Gasimova, E. R. (2024). Türkiye in the world textile market: trends and prospects. Emerald Publishing.
- Dissanayake, D. G. K., ve Sinha, P. (2012). Sustainable waste management strategies in the fashion industry sector. **International Journal of Environmental, Cultural, Economic and Social Sustainability**, 8/1, s.77-90.
- Doğru A. H. ve Sebastian D. H. (1998). Regional process modeling for design for environment. **Journal of Systems Integration**, 8, s. 159–181.
- Dolsak, B. (2007). Intelligent design for x. **Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Systems Theory and Scientific Computation**, Athens, Greece, August 24-26, s.211-214.
- Dowlatsahi, S. (1996). Role of logistics in concurrent engineering. **International Journal of Production Economics**, 44/3, s.189-199.
- Duarte Poblete, S. S., Anselmi, L., Proserpio, C., ve Rognoli, V. (2024). Environmental Sustainability Practices in Product Design Firms. **In Preferences of Design, Cumulus Conference Proceedings Budapest 2024** (s. 909-929).
- Duflou, J. R., Seliger, G., Kara, S., Umeda, Y., Ometto, A. ve Willems, B. (2008). Efficiency and feasibility of product disassembly: A case-based study. **CIRP Annals- Manufacturing Technology**, 57/2, s. 583-600.
- Echtelt, F. E. A., ve Wynstra, F. (2002). Managing supplier integration into product development: a literature review and conceptual model. **The Future of Innovation Studies**, The Netherlands, s. 1-25.
- Echtelt, F. E., Wynstra, F., Van Weele, A. J. ve Duysters, G. (2008). Managing supplier involvement in new product development: a multiple-case study. **Journal of Product Innovation Management**, 25(2), 180-201.
- Ehrenfeld J. (2001). Designing ‘sustainable’ product/service systems. **Presented at Ecodesign**, 12/15, s. 1-12.
- Ehrs, M. (2012). **Is the automotive industry using design for assembly anymore?** Doktora Tezi, University of Vaasa, Vaasa, Finland, 2012.
- Eifler, T., Campean, F., Husung, S., ve Schleich, B. (2023). Perspectives on robust design—an overview of challenges and research areas across industry fields. **Proceedings of the Design Society**, 3, s. 2885-2894.
- Eisenhardt, K. M., ve Tabrizi, B. N. (1995). Accelerating adaptive processes: Product innovation in the global computer industry. **Administrative Science Quarterly**, 40/1, s. 84-110.
- El-Gomla, R. A. M. (2011). A plan-do-check-act framework for WEEE and RoHS. University of Bradford, Yüksek Lisans Tezi, West Yorkshire, Birleşik Krallık

- El-Haik, B. ve Roy, D. M. (2005). **Service design for six sigma: road map for excellence**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- El Hend, A., Boulaid, M., ve Hassanı I. (2025). Genai-Dfx: An Integrated Generative AI and Design for X (DfX) Framework for Product Design. *18(2)*, 352
- ElMaraghy H. A. ve Mahmoudi N. (2009). Concurrent design of product modules structure and global supply chain configurations. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 22/6, s. 483-493.
- Elverum, C. W., Dalsgaard, H. V. ve Welo, T. (2015). Continuous improvement of technical systems using design for x. **In 2015 10th System of Systems Engineering Conference (SoSE)**, s. 176-181.
- Emmatty, F.J. ve Sarmah, S.P. (2012). Modular product development through platform-based design and DFMA. **Journal of Engineering Design**, 23/9, s. 696-714.
- Eraslan İ. H., Bakan İ., ve Helvacıoğlu Kuyucu, A. D. (2008). Türk tekstil ve hazır giyim sektörünün uluslararası rekabetçilik düzeyinin analizi, **İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi**, 7/13, s.265-300.
- Ercan, İ. ve Kan, İ. (2004), “Ölçeklerde Güvenilirlik ve Geçerlilik”. *Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 30 /3, s. 211-216.
- Ernst, H. (2002). Success factors of new product development: a review of the empirical literature. **International Journal of Management Reviews**, 4/1, s. 1-40.
- Eskilander, S. (2001). Design for automatic assembly – a method for product design: DFA2 2001. **Division Of Assembly Systems Dept. Of Production Engineering Royal Institute Of Technology**, Doktora Tezi, Stockholm.
- Esterman M., Gujja R., Proano R., Kamath K. ve Carrano A. (2010). Design for assembly line performance: the link between dfa metrics and assembly line performance metrics. **6: 15th Design for Manufacturing and the Lifecycle Conference; 7th Symposium on International Design and Design Education**, ASME, s. 73-84.
- Estorilio, C. ve Simião, M.C. (2006). Cost reduction of a diesel engine using the DFMA method. **Product: Management & Development**, 4/2, December, s.95-104.
- Evanschitzky, H., M. Eisend, R. J. Calantone, ve Y. Jiang. (2012). Success Factors of Product Innovation: An Updated Meta-Analysis. **Journal of Product Innovation Management**, 29, s. 21-37.
- Ezpeleta, I., Pujana, U., Isasa, I., Ayerbe, J., ve Justel, D. (2021). New design for assembly (DfA) methodology for large and heavy parts assembled on site. **Procedia CIRP**, 100, s. 145-150.

- Fargnoli M., De Minicis M. ve Tronci M. (2014). Design management for sustainability: An integrated approach for the development of sustainable products. **J. Eng. Technol. Manage.**, 34, s. 29–45.
- Farrer, J. (2011). Remediation: Discussing fashion textiles sustainability. (Editör: Gwilt A. ve Rissanen T.) **Shaping sustainable fashion: Changing the way we make and use clothes**. Earthscan LLC, Washington, USA
- Favi, C., Germani, M. ve Mandolini, M. (2016). Design for manufacturing and assembly vs. design to cost: toward a multi-objective approach for decision-making strategies during conceptual design of complex products. **Procedia CIRP**, 50, s.275 – 280.
- Favi, C., ve Germani, M. (2014). A design for disassembly approach to analyze and manage end-of-life options for industrial products in the early design phase. (Editör: Henriques E., Pecas P. ve Silva A.) **In Technology and Manufacturing Process Selection**, Springer, London.
- Favi, C., Campi, F., Germani, M., ve Mandolini, M. (2022). Engineering knowledge formalization and proposition for informatics development towards a CAD-integrated DfX system for product design. **Advanced Engineering Informatics**, 51, 101537.
- Fayezi, S. (2022). Student-centered curriculum design and evaluation in logistics management. **Logistics**, 6(4), 70.
- Fegade V., Shrivatsava R. L. ve Kale A.V. (2015). Design for remanufacturing: Methods and their approaches. **Materials Today: Proceedings 2**, s. 1849-1858.
- Felekoğlu, B., ve Moiltrie, J. (2013). Yeni Ürün Geliştirmede Üst Yönetimin Rollerinin İstatistiksel Analizle Belirlenmesi. **Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 28/1, s. 199-207
- Feng, T., Sun, L., ve Zhang, Y. (2010). The effects of customer and supplier involvement on competitive advantage: An empirical study in China. **Industrial Marketing Management**, 39/8, s. 1384-1394.
- Fernandez-Stark, K., Bamber, P., ve Couto, V. (2022). Analysis of the textile and clothing industry global value chains.
- Fiksel J. (1993). Design for the environment: An integrated systems approach. **1993**
- Fiksel J. ve Wapman K. (1994). How to design for environment and minimize life cycle cost. **1994 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment**, 2-4 May 1994, San Francisco, CA, USA, s. 75-80.
- Fitzgerald D. P., Herrmann J.W., Sandborn P. A., Schmidt L. C. ve Gogoll T. H. (2007). **Design for Environment (DfE): Strategies, practices, guidelines, methods, and tools**. Chapter 1 in Environmentally Conscious Mechanical Design, M. Kutz, Editor., John Wiley & Sons Inc.: Hooboken, New Jersey., s. 1-24.
- Fleischer, M. ve Liker, K.J. (1997). **Concurrent Engineering Effectiveness**. Hanser Gardner Publications, Cincinnati, USA.

- Fletcher, K. (2008). *Sustainable Fashion & Textiles: Design Journeys*. Oxford: Earthscan.
- Fletcher, K. ve Grose, L. (2012). **Fashion and sustainability**. London: Laurence King.
- Fonseca, L., Amaral, A., & Oliveira, J. (2021). Quality 4.0: the EFQM 2020 model and industry 4.0 relationships and implications. *Sustainability*, 13(6), 3107.
- Fornell C. ve Larcker D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing*, 18/1, s. 39-50.
- Fox, S., Marsh, L. ve Cockerham, G. (2001). Design for manufacture: A strategy for successful application to buildings. **Construction Management and Economics**, 19, s. 493–502.
- Franke, N. ve Shah S. (2003). How communities support innovative activities: An
- Freund T., Würtenberger J., Lotz, J., Rommel, C. ve Kirchner, E. (2017). Design for
- Furferi, R., ve Buonamici, F. (2023). The role of product engineering modelling in aesthetic design education. *Designs*, 7(6), 127.
- Fürstner I. ve Anıŝı Ć. Z. (2005). Design for environment as a part of the ips--dfx methodology for integrated product development. **Annals Of The Faculty Of Engineering Hunedoara**, III/2, s. 117-124.
- Gardetti, M., Torres, A. (2013). **Sustainability in Fashion and Textiles: Values, Design, production and Consumption**. Greenleaf Publishing Limited, UK.
- Gaskill, L. R. (1992). Toward a model of retail product development: A case study analysis. **Clothingand Textiles Research Journal**, 140, s.17-24.
- Gatenby D. A. ve Foo G. (1990). Design for x: Key to competitive, profitable products. **AT&T Technical Journal**, 69/ 3, s. 2-13.
- Garro, A., ve Sorrenti, A. (2025, June). Integrating model-based and data-driven approaches for dfx-oriented systems engineering. **In 2025 20th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSE)**. s. 1-6. IEEE.
- Gdoura, R., Houssin, R., Dhoubi, D., ve Coulibaly, A. (2025). Design for lean 5.0: Integrating lean requirements and parameters into production systems in an industry 5.0 context. **Concurrent Engineering**, 33(1-4), s. 236-256.
- Gehin A., Zwolinski P. ve Brissaud D. (2009). Integrated design of product lifecycles – The fridge case study. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, 1, s. 214-220.

- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., ve Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy—A new sustainability paradigm? **Journal Of Cleaner Production**, 143, s. 757-768.
- Geist, H., ve Balle, F. (2025). Recyclability: Redefining the concept for the circular economy. **Journal of Industrial Ecology**, 29(5), s. 1505-1522.
- Ghorbanhosseini, M. (2013). The effect of organizational culture, teamwork and organizational development on organizational commitment: The mediating role of human capital. **Tehnički Vjesnik**, 20/6, s. 1019-1025.
- Giudice F., La Rosa G. ve Risitano A. (2006). Product design for the environment a life cycle approach, **CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW**, Suite 300 Boca Raton, 33487-2742, s. 1-471.
- Glantschnig, W. J. (1994). Green Design: An introduction to issues and challenges. **Ieee Transactions On Components, Packaging, And Manufacturing Technology-Part A**, 17/4, December 1994, s. 508-513.
- Glogar, M., Petrak, S., ve Mahnić Naglić, M. (2025). Digital technologies in the sustainable design and development of textiles and clothing—a literature review. **Sustainability**, 17(4), 1371.
- Gnanasekaran, J.S., Rathishkumar, J.S. ve Shanmugasundharam, S. (2003). Concurrent engineering approach for modeling to the logistics. **Proceedings Of The International Conference On Mechanical Engineering 2003 (ICME2003)**, 26-28 December, Dhaka, Bangladesh.
- Go T.F., Wahab D.A. ve Hishamuddin H. (2015). Multiple generation life-cycles for product sustainability: The way forward. **Journal of Cleaner Production**, 95, s. 16-29.
- Go T.F., Wahab D.A., Rahman M.N., Ramli R. ve Azhari C.H., (2011). Disassemblability of end-of-life vehicle: A critical review of evaluation methods. **Journal of Cleaner Production**, 19, s.1536-1546.
- Goffin K. (2000). Design for supportability: Essential component of new product development. **Research-Technology Management**, 43/2, s.40-47.
- Goffin K. ve New C. (2001). Customer support and new product development: An exploratory study. **International Journal of Operations & Production Management**, 21/3, s. 275-301.
- Golański, M., Juchimiuk, J., Podlasek, A., ve Starzyk, A. (2025). Design for manufacturing and assembly (DFMA) in timber construction: Advancing energy efficiency and climate neutrality in the built environment. **Energies**, 18(23), 6332.
- Gomes, J., de Weerd-Nederhof, P., Pearson, A., ve Fisscher, O. (2001). Senior management support in the new product development process. **Creativity and Innovation Management**, 10/4, s. 234–242.
- Gonçalves-Coelho A.M. ve Mourão, A.J.F. (2007). Axiomatic design as support for decision-making in a design for manufacturing context: A case study. **Int. J. Production Economics** 109, s. 81–89.

- Gonçalves, T. I., Soares, T., Pinto, C., Gouveia, Á., ve Barbosa, F. V. (2025). Circularity-driven Design: A unified DfX framework for embedding sustainability in early design phases. **Procedia CIRP**, 136, s. 752-757.
- Goudarzlou A. (2008). **The effect of implementing Design For Six Sigma in new service development**, Master Tezi, Engineering Department Of Industrial & Systems Engineering National University, Singapore, s.1-137
- Gökhan N. M., LaScola Needy K. ve Norman B. A. (2010). Development of a simultaneous design for supply chain process for the optimization of the product design and supply chain configuration problem. **Engineering Management Journal**, 22/4, s. 20-30.
- Gray, C. ve Charter, M. (2007). **Remanufacturing and product design: designing for the 7th generation**. Project Report. Centre for Sustainable Design, Farnham, Surrey.
- Green, N.L. ve Bonollo, E. (2002). The development of suite of design methods appropriate for teaching product design. **Global Journal of Engineering Education**, 6/1, Australia, s.48-54.
- Gremyr, I., Siva, V., Raharjo, H. ve Goh, T. N. (2014). Adapting the robust design methodology to support sustainable product development. **Journal of Cleaner Production**, 79, s. 231-238.
- Gruner, K. ve Homburg, C. (2000). Does customer interaction enhance new product success? **Journal of Business Research**, 49, s. 1-14.
- Gubi, E. (2003). **Design for Logistics**. http://ifpsm.com/sites/default/files/Design_for_Logistics.pdf, Erişim Tarihi: 12.04.2013
- Gubi, E. ve Heikkilä, J. (2003). Concurrent product and demand chain creation-In search of contingencies and strategic choices. **In EurOMA/POMS Conference**, 16- 18 June 2003, Cernobbio, Como Lake, Italy.
- Gullo, L. J. (2018). Design for Reliability Integrated with System Safety. **Design for Safety**, s. 307-328.
- Gupta, P., Gupta, S., ve Gandhi, O. P. (2013). Modelling and evaluation of mean time to repair at product design stage based on contextual criteria. **Journal of Engineering Design**, 24/7, s. 499-523.
- Güleş, H.K. ve Bülbül, H. (2004), **Yenilikçilik: İşletmeler İçin Stratejik Rekabet Aracı**, Nobel Yayınları, Ankara.
- Güleş, H.K. ve Çağlıyan, V. (2010). Tedarik zinciri yönetimi bağlamında ürün yeniliğine tedarikçi katılımı. **Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 3/1, s.30-40.
- Güleş, H.K., Çağlıyan, V., Paralı, A. (2012). X için tasarım metodolojilerinin ürün geliştirme süreçlerinde uygulanabilirliği. **XII. Üretim Araştırmaları Sempozyumu**, 27-29 Eylül 2012, İzmir, s. 797-802.

- Güleş, H.K., Çağlıyan, V., Paralı, A. ve Gelmez, E. (2018). Design for logistics. **Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Zirvesi-ETMS2018**, 4-5 Ekim, İstanbul, s. 129-140.
- Günday, A.H. (2019). **Yeşil tedarik zinciri uygulamalarının işletme performansı üzerine etkisi: kimya sektöründe görgül bir analiz**. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Güngör, A. (2006). Evaluation of connection types in design for disassembly, **Computer&Industrial Engineering**, 50, s. 35-54.
- Güngör, A., ve Gupta, S. M. (1999). Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. **Computers & Industrial Engineering**, 36/4, 811-853.
- Gwilt, A. ve Rissanen, T. (2011). **Shaping sustainable fashion: Changing the way we make and use clothes**, Earthscan LLC, Washington, USA.
- Haik, Y. (2003). **Engineering Desing Process**, Tomson Learning, Inc., USA.
- Hair, J.F. Jr, Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E. ve Tatham, R.L. (2014). **Multivariate data analysis**. 7. Basım, Pearson, Prentice Hall, New Jersey.
- Halttula, H., Haapasalo, H., Aapaoja, A., ve Manninen, S. (2017). Early involvement and integration in construction projects: The benefits of DFX in elimination of wastes. **International Journal of Management, Knowledge and Learning**, 6/2, s. 215-237.
- Hambali A., Sapuan S.M., Ismail N., Nukman Y. ve Abdul Karim M.S. (2009). The important role of concurrent engineering in produc development process. **Pertanika J. Sci. & Technol**. 17/1, s. 9 – 20.
- Harper B. ve Rosen D. W. (1998). Computer-aided design for product de- and remanufacture. **1998 Asme Design Engineering Technical Conference**, September 13-16, 1998, Atlanta, Georgia, s. 1-11.
- Harris, F., Roby, H. ve Dibb, S., (2016). Sustainable clothing: challenges, barriers and interventions for encouraging more sustainable consumer behaviour. **International Journal of Consumer Studies**, 40/3, s. 309–318.
- Hasan, M. M. (2024). Industrial Engineering Approaches to Quality Control In Hybrid Manufacturing A Review Of Implementation Strategies. **International Journal of Business and Economics Insights**, 4(2), s. 01-30.
- Hauschild M.Z., Jeswiet J. ve Alting L. (2005). From life cycle assessment to sustainable production: status and perspectives. **CIRP Annals**, 54/2, s. 1-21.
- Hazelrigg, G. A. (1999). An axiomatic framework for engineering design. **Journal of Mechanical Design**, 121/3, s. 342-347.

- He, D., Kusiak, A. ve Tseng, T., L. (1998). Delayed product differentiation: A design and manufacturing perspective. **Computer-Aided Design**, 30/2, s. 105-113.
- Heisel, F., Ciobanu, A., ve McGranahan, J. (2025). Design for Disassembly (DfD) applications in the United States: gaps and drivers towards a circular industrialized construction economy. **Journal of Circular Economy**, 3(3).
- Hepperle, C., Biedermann, W., Böcker, A. ve Lindemann, U. (2011). Design for x-guidelines and lifecycle phases with relevance for product planning-an mdm-based approach. **13Th. International dependency And Structure Modelling Conference**, September 14-15, DSM'1 Cambridge, Massachusetts, USA, s. 215-228.
- Hernández, H. (2025). Circular Industrialized Construction: A perspective through design for manufacturing, assembly, and disassembly. **Buildings**, 15(13), 2174.
- Herrmann, J. W. (2003). Design for production: Concepts and applications. **Proceedings of the SME East Coast Region**, 3, s. 1-9.
- Herrmann, J.W., ve Chincholkar, M. (2000). Design for production: a tool for reducing manufacturing cycle time. **2000 ASME Design Engineering Technical Conference**, September 10-13, Baltimore, s. 1-10.
- Herrmann, W.J., Cooper, J., Gupta, K.S., Hayes, C.C., Ishii, K., ve Kazmer, D. (2004). New directions in design for manufacturing. **Department of Mechanical Engineering and Institute for Systems Research**, University of Maryland, s. 2-11.
- Hertenstein, J. H., Platt, M. B., ve Veryzer, R. W. (2005). The impact of design effectiveness on corporate financial performance. **Journal of Product Innovation Management**, 22/1. 3-21.
- Hilton, B., ve Thurston, M. (2019). Design for remanufacturing. *Remanufacturing in the Circular Economy: Operations, Engineering and Logistics*. Rochester Institute of Technology. The REMADE Institute project number is 18-02-DE-04
- Ho H., ve Tippens, S. (2014). New product development for engineers. **2nd International Conference on Innovations in Engineering and Technology (ICCET'2014)**, Sept. 19-20, 2014 Penang (Malaysia)
- Hoegl, M. ve Parboteeah, K.P. (2006). Team reflexivity in innovative projects. **R and D Management**, 36/2, s. 113-25.
- Holt, R. J., ve Barnes, C. (2010). Towards an integrated approach to “Design for X”: an agenda for decision-based DFX research. **Res Eng Design**, 21, s.123-136.
- Hooper, D., Coughlan, J. ve Mullen, M. (2008). Structural equation modelling: Guidelines for determining model fit. **Electronic Journal of Business Research Methods**, 6/1, s. 53-60.

- Hoque A.S.M., Halder P.K., Parvez M.S. ve Szecsi T. (2013). Integrated manufacturing features and design-for-manufacture guidelines for reducing product cost under CAD/CAM environment. **Computers & Industrial Engineering**, 66, s. 988–1003.
- Horani, L. F. (2023). Sustainable design concepts and their definitions: an inductive content-analysis-based literature review. **Technological Sustainability**, 2(3), s. 225-243.
- Hornsby, J. S., Kuratko, D. F., ve Zahra, S. A. (2002). Middle managers' perception of the internal environment for corporate entrepreneurship: Assessing a measurement scale. **Journal of business Venturing**, 17/3, s. 253-273.
- Hosoda, M., ve Fujita, K. (2024). Robust optimal damper placement based on robustness index simultaneously considering variation of elastoplastic design criteria and input level. **Frontiers in Built Environment**, 10, 1353827.
- Hsu H.-M. ve Wang W.-P., (2004). Production, manufacturing and logistics: dynamic programming for delayed product differentiation. **European Journal of Operational Research**, 156, s.183–193.
- Hsu W., Fuh J. Y. H. ve Zhang Y. (1998). Synthesis of design concepts from a design for assembly perspective, **Computer Integrated Manufacturing Systems**, 11/1-2. s. 1-13.
- Hsu, C. C., Tan, K. C., Kannan, V. R. ve Keong Leong, G. G. (2009). Supply chain management practices as a mediator of the relationship between operations capability and firm performance. **International Journal of Production Research**, 47/3, s. 835-855.
- Hu M., Pieprzak J. M. ve Glowka J. (2004). Essentials of design robustness in design for six sigma (DFSS) methodology, sae transactions. **Journal Of Materials And Manufacturing**, 113/5, s. 354-364.
- Huang G. Q. ve Mak K. L. (1997a). The DFX shell: a generic framework for developing design for x tools. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 13/3, s.271-280.
- Huang G. Q. ve Mak K. L. (1997b). Developing a generic design for x shell. **Journal of Engineering Design**, 8/3, s.251-260.
- Huang G.Q. ve Mak K.L. (1999b). Design for manufacture and assembly on the internet. **Computers in Industry**, 38, s.17–30.
- Huang G.Q. ve Mak K.L. (2000). Synchronized system for "design for x" guidelines over the WWW. **Journal of Materials Processing Technology**, 107, s.71-78.
- Huang Z. ve Jin Y. (2008). Conceptual stress and conceptual strength for functional design-for-reliability. **Proceedings Of Asme 2008 International Design Engineering Technical Conferences & Computers And Information In Engineering Conference Idetc/Cie 2008**, 3-6, August, 2008, New York City, New York, USA.

- Huang, Q., Wu, G., ve Li, Z. S. (2019). Design for reliability through text mining and optimal product verification and validation planning. **IEEE Transactions on Reliability**, 70(1), s. 231-247.
- Huang Z. ve Jin Y. (2009). Extension of stress and strength interference theory for conceptual design-for-reliability. **Journal of Mechanical Design**, 131, s. 071001-1/ 071001-11.
- Huang, G. Q. ve Mak, K. L. (1998a). Re-engineering the product development process with 'Design For X'. **Proc Instn Mech Engrs**, 212 Part B, s.259-268.
- Huang, G. Q. ve Mak, K. L., (1998 b): The DFX shell: A generic framework for applying 'design for x' (DFX) tools. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 11/6, 475-484.
- Huang, G. Q., ve Mak, K. L. (1996). A survey report on design for manufacture in the UK furniture manufacturing industry. **Integrated Manufacturing Systems**, 9/6, s.383-387.
- Huang, G.Q. (1996). **Design For X**, Chapman&Hall, London, UK.
- Huang, G.Q., Lee S.W. ve Mak, K.L., (1999a). Web-based product and process data modeling in concurrent "design for x". **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 15, s. 53-63.
- Humphries-Smith Dr T. (2008). Sustainable design and the design curriculum **Journal of Design Research**, 7/3, s. 259-274.
- Hundal M. (2000). Life cycle assessment and design for the environment, **International Design Conference - Design 2000**, May 23 - 26, Dubrovnik,
- Hundal, M. (2008). Implications of globalization on design for cost. 19. Symposium "Design For X", 09-10 Oktober 2008, Neukirchen-Germany, s. 37- 44.
- Hung, W. K. ve Chen, L. L. (2012). Effects of novelty and its dimensions on aesthetic preference in product design. **International Journal of Design**, 6/2, s. 81-90.
- Hur, E., Beverley, K., ve Cassidy, T. (2013). Development of an ideation toolkit supporting sustainable fashion design and consumption. **Research Journal of Textile and Apparel**, 17/2, s.89-100.
- Hybel, S. B., Folkmann, E., ve Ricard, L. M. (2025). Design for Disassembly: An analytical method for assessing target components for remanufacturing. **Cleaner Production Letters**, 100113.
- IEEE International Symposium on Electronics and the Environment**, 10-12 May 1993, Arlington, VA, USA, s. 126- 131.

- Ijomah W. (2008). A tool to improve training and operational effectiveness in remanufacturing. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, Taylor & Francis, 21/06, s. 676-701.
- Ijomah W. L., McMahon C. A., Hammond G. P. ve Newman S. T. (2007a). Development of robust design-for-remanufacturing guidelines to support sustainable manufacturing, **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 23, s. 712–719.
- Ijomah W. L., McMahon C. A., Hammond G. P. ve Newman S. T. (2007b). Development of robust design-for-remanufacturing guidelines to further the aims of sustainable development. **International Journal of Production Research**, 45/18-19, s. 4513-4536.
- Ijomah, W. (2009). Addressing decision making for remanufacturing operations and design-for-remanufacture. **International Journal of Sustainable Engineering**, 2/2, s. 91-102.
- Ilgin, M. A. ve Gupta, S. M. (2010). Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art. **Journal of Environmental Management**, 91, s. 563–591.
- Ilgin M. A. ve Gupta S. M. (2010). Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art, **Journal of Environmental Management**, 91, s. 563–591.
- Ionescu, A. M., ve Ionescu, A. C. (2025). Exploring the Future of Manufacturing: An Analysis of Industry 5.0's Priorities and Perspectives. **Sustainability**, 17(17), 7842.
- Islam, M. T., Sepanloo, K., Woo, S., Woo, S. H., ve Son, Y. J. (2025). A review of the industry 4.0 to 5.0 transition: exploring the intersection, challenges, and opportunities of technology and human-machine collaboration. **Machines**, 13(4), 267.
- Itani, A., Ahmad, R. ve Al-Hussein, M. (2019). A collaborative scheme for DFX techniques in concurrent engineering mitigated with total design activity model. Modular and Offsite Construction (MOC) Summit Proceedings, s.1-8.
- Iwaya L. H., Rosso Jr., R. S. U. ve Hounsell M. D. S. (2013). A Design for Assembly application with dynamic information retrieval from case database. **11th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems The International Federation of Automatic Control**, May 22-24, 2013. São Paulo, Brazil, s.186-191.
- İzmir Atatürk Organize Proje ve İş Geliştirme Birimi (2012). Tekstil ürünleri imalatı ve giyim eşyalarının imalatı, **Sanayi Bölgesi İAOSB Haber Dergisi**, Temmuz 2012 Sayısı .
- İHKİB, (2018). 2018 Ocak-Aralık hazır giyim ve konfeksiyon sektörü ihracat performans değerlendirmesi. İstanbul Hazır Giyim ve Konfeksiyoncular Birliği Dönem Raporu, İstanbul.

- İpekyolu Kalkınma Ajansı (2015). **Hazır Giyim Konfeksiyon Raporu**.
- İslamoğlu, A. H. ve Alınacak, Ü. (2016). **Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri (Spss uygulamalı)**. Beta yayıncılık, İstanbul.
- İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçıları Birliği (2018). Hedef Aylık Dergisi, sayı:303.
- İTKİB, (2018). Hazırgiyim ve konfeksiyon sektörü 2018 Ocak aylık ihracat bilgi notu. **İTKİB Genel Sekreterliği Hazırgiyim ve Konfeksiyon Şubesi**, Şubat 2018, İstanbul.
- Jack, T. (2013). Fashioning use, a polemic to provoke pro-environmental garment maintenance. (Editör: Gardetti, M., Torres, A.), **Sustainability in Fashion and Textiles: Values, Design, production and Consumption**. Greenleaf Publishing Limited, UK.
- James A. T., Gandhi O. P. ve Deshmukh S. G. (2017). Development of methodology for the disassemblability index of automobile systems using a structural approach. **J Automobile Engineering**, 231/4, s: 516–535.
- Janigo, K. A., (2011). **Collaborative redesign of used clothes as a sustainable fashion solution: exploring consumer interest and experience**. Master Tezi, Minnesota Üniversitesi, Minneapolis, ABD.
- Jawahir I.S., Rouch K.E., Dillon Jr. O.W., Holloway L., Hall A. ve Knuf J. (2005). Design for sustainability (DFS): New challenges in developing and implementing a curriculum for next generation design and manufacturing engineers. **CIMEC (CIRP) 2005/3rd Sme International Conference On Manufacturing Education**, June 22-25, San Luis Obispo, California, s. 1-15.
- Jayaram V., Kannan K. ve Tan C. (2004). Influence of initiators on supply chain value creation. *International Journal of Production Research*, 15-42/20, s. 4377-4399.
- Jewkes E. M., ve Alfa A. S. (2009). A queueing model of delayed product differentiation. **European Journal of Operational Research**, 199, s.734–743
- Jha, S. A., Saglam, S., Rotter, V. S., Scholz, J. R., Morgado, J. F., ve Remmen, K. Framework for Recyclability Indicator Development: Bridging Product Design and Recycling Technology. *Available at SSRN 5886268*.
- Jiang J.-C., Shiu M.-L. ve Tu M.-H. (2007). DFX and DFSS: How QFD integrates them. **Quality Progress**, s. 45- 51.
- Jing, Y., Zhou, G., Zhang, C., ve Chang, F. (2026). Human-centric proactive design for manufacturing with deep generative modeling in Industry 5.0. **Advanced Engineering Informatics**, 69, 103952.
- Johansson, G., (2002). Success factors for integration of ecodesign in product development: A review of state of the art. **Environmental Management and Health**, 13 /1, s. 98-107.

- Joy, A., Sherry, J. F., Venkatesh, A., Wang, J. ve Chan, R. (2012). Fast fashion, sustainability, and the ethical appeal of luxury brands. **Fashion Theory**, 16/ 3, s. 273–296.
- Justel D, Vidal R ve Chiner M (2006). TRIZ applied to innovate in design for disassembly. **13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering**, s. 377–382.
- Kaebernick, H. ve Kara, S., (2007). Reuse and recycling technologies. (Editör: Kutz, M.), *Environmentally Conscious Mechanical Design*. John Wiley &
- Kalaycı, Ş. (2009), **SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri**. 4.
- Kälkälä, R. (2016). **Examination of aesthetics and function in zero waste and upcycling**. Master Tezi, University Of Lapland, Rovaniemi, Finland.
- Kamath K. (2009). **Design For Assembly Line Performance: The Link Between DFA Metrics And Assembly Line Performance Metrics**. Master Tezi, Rochester Institute Of Technology, Rochester-New York, USA.
- Kao, H. (2010). Design for logistics in set-based concurrent engineering environment. **Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers**, 23/1, s.34-47.
- Karlsson, C., Nellore, R., ve Soderquist, K. (1998). Black box engineering: Redefining the role of product specifications. **Journal of Product Innovation Management: An International Publication Of The Product Development and Management Association**, 15/6, s. 534-549.
- Kasımoğlu, M. (2002), İş ekolojisinin yeni paradigması. **Marmara Üniv. SBE Hakemli Dergisi Öneri**, 17/5, s.1-8
- Ke, C., Deng, Y., Liu, S., ve Cui, H. (2025). An Intelligent Design Method for Product Remanufacturing Based on Remanufacturing Information Reuse. **Processes**, 13(9), 2899.
- Kessler E.H ve Bierly P. E. (2002). Is Faster Better? An empirical test of the implications of innovation speed. **IEEE Transactions on Engineering Management**, 49, s. 2- 12.
- Kerkeni, R., Mhalla, A., ve Bouzrara, K. (2025). Unsupervised learning and digital twin applied to predictive maintenance for Industry 4.0. **Journal of Electrical and Computer Engineering**, 2025(1), 3295799.
- Keys, L. K. (1990), System life cycle engineering and Df “X”. **Ieee Transactions On Components, Hybrids And Manufacturing Technology**, 13/I, s. 83-93.
- Keys, L. K., Rao, R., ve Balakrishnan, K. (1992). Concurrent engineering for consumer, industrial products, and government systems. **IEEE transactions on components, hybrids, and manufacturing technology**, 15/3, s. 282-287.
- Khan Z. (2008). Design for assembly. **Assembly Automation**, 28 / 3, s. 200-206.

- Khan, S., Rahman, H. M., Khan, N., Leng, O. T. S., ve Siddika, A. (2025). The Role of Industry 5.0 in Achieving Circular Economy Goals: Integrating Smart Technologies for Sustainable Supply Chains. **TEM Journal**, 14(4), 3144
- Khine, M. S. (2013). **Application of structural equation modeling in educational research and practice**. Sense Publishers, Rotterdam, The Netherlands.
- Kılıç, S. ve Çınar, R. (2014). Yerel tekstil ve hazır giyim işletmelerinin orijinal marka üretim düzeyi ve ihracat performanslarında orijinal tasarım üretiminin rolü: Çorum tekstil sektörü'ndeki işletmelere yönelik bir uygulama. **H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi**, 32/ 2, s. 165-194.
- Kim J. S. ve Arnold, P. (1993). Manufacturing competence and business performance: a framework and empirical analysis. **International Journal of Operations & Production Management**, 13/10, s. 4-25.
- Kim, H. E., (2015), A study on the characteristics and trends of sustainable fashion through esthetica at london fashion week. **Fashion & Text. Res. J.**, 17/ 2, s.168-177.
- Kim, H. M., ve Laskowski, M. (2018). Toward an ontology-driven blockchain design for supply-chain provenance. **Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management**, 25(1), s. 18-27.
- Kincade D. H., Regan C. ve Gibson F. Y. (2007). Concurrent engineering for product development in mass customization for the apparel industry. **International Journal of Operations & Production Management**, 27/ 6 s. 627- 649.
- Kitsios F. (2000). **Product design and development**. Report Produced For The Ec Funded Project, Technical University Of Crete.
- Knight P. ve Jenkins J.O. (2009). Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective. **Journal of Cleaner Production**, 17, s. 549–558.
- Konig, K., ve Vielhaber, M. (2024). Incorporating Lightweight Design and Design for Sustainability in Product Development–A Meta-Synthesis Based on a Systematic Literature Review. **DS 130: Proceedings of NordDesign 2024**, Reykjavik, Iceland, 12th-14th August 2024, s. 751-760.
- Koszewska M. (2018). Circular economy-challenges for the textile and clothing industry. **Autex Research Journal**, 18/ 4.
- Kotler P. ve Armstrong, G. (2004). **Principles of Marketing**. International Edition, , Pearson, Prentice Hall., USA. Onuncu Baskı.
- Kroll, E. ve Carver, B.S. (1999). Disassembly analysis through time estimation and other metrics. **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, 15, s. 191-200.

- Kulenova, E., Botasheva, A., Tursynbek, R., Yelbergenova, G., ve Tagay, G. (2025). Modeling for sustainable and eco-friendly digital textile manufacturing. **In E3S Web of Conferences**, Vol. 670, p. 04010. EDP Sciences.
- Kuo, T. C. ve Zhang, H.C. (1995). Design for manufacturability and design for "X": concepts, applications, and perspectives. **1995 IEEE/CPMT Int'l Electronics Manufacturing Technology Symposium**, s. 446-459.
- Kuo, T.C. (2000). Disassembly sequence and cost analysis for electromechanical products. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 16/1, s. 43-54.
- Kuo, T.C., Huang S.H., ve Zhang H.C. (2001). Design for manufacture and design for x: Concepts, applications and perspectives. **Computer & Industrial Engineering**, 41, s. 241-260.
- Kuo, T.C., Zhang, H.C. ve Huang, S.H. (2000). Disassembly analysis for electromechanical products: A graph-based heuristic approach. **International Journal of Production Research**, 38(5), s. 993-1007.
- Kurk, F. ve Eagan, P. (2008). The value of adding design-for-the-environment to pollution prevention assistance options. **Journal of Cleaner Production**, 16(6), s. 722-726.
- Kusiak, A. ve Lee, G. (1997). Design of parts and manufacturing systems for reliability and maintainability. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 13, s. 67-76.
- Küçüksayraç E. (2015). Design for sustainability in companies: strategies, drivers and needs of Turkey's best performing businesses. **Journal of Cleaner Production**, 106, s. 455-465.
- Kwak, Y. H., ve Anbari, F. T. (2006). Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. **Technovation**, 26/5-6, s. 708-715.
- La Trobe-Bateman, J. ve Wild, D. (2003). Design for manufacturing: Use of a spreadsheet model of manufacturability to optimize product design and development. **Research in Engineering Design**, 14(2), s.107-117.
- LaBahn, D.W. ve Krapfel, R. (2000). Early supplier involvement in customer new product development: a contingency model of component supplier intentions. **Journal of Business Research**, 47/3, s. 173-90.
- Lamothe J., Hadj-Hamou K. ve Aldanondo M. (2006). An optimization model for selecting a product family and designing its supply chain. **European Journal of Operational Research**, 169, s. 1030-1047.
- Lang, S. Y., Dickinson, J., ve Buchal, R. O. (2002). Cognitive factors in distributed design. **Computers in Industry**, 48/1, s. 89-98

- Laovisutthichai, V. ve Lu, W. (2025). Design for excellence (DfX) in architecture, engineering, and construction: definition, necessity, and knowledge management-based framework. **Architectural Engineering and Design Management**, 21(1), s. 45-62.
- Laverne F., Segonds F., Anwer N. ve Le Coq M. (2015). Assembly based methods to support product innovation in design for additive manufacturing: An exploratory case study. **Journal of Mechanical Design**, 137/12, s. 1-9.
- Lea Wickett, J., Gaskill, L. R. ve Damhorst, M. L. (1999). Apparel retail product development: model testing and expansion. **Clothing and Textiles Research Journal**, 17/1, s. 21-35.
- Lee H. L. ve Billington C. (1992). Managing supply chain inventory: Pitfalls and opportunities. **MIT Sloan Management Review**, 33/3, s. 65- 73.
- Lee H. L. ve Tang C. S. (1997). Modelling the costs and benefits delayed product differentiation. **Management Science**, 43/1, s. 40-53
- Lee S.G. ve Xu X. (2005). Design for the environment: life cycle assessment and sustainable packaging issues. **Int. J. Environmental Technology and Management**, 5/1, s. 14-41.
- Lee, H., L. (2003). Design for supply chain management: Concepts and examples, perspectives in operations managements. **Klower Academic Publisher**, s. 45-65.
- Lee, H.L. ve Sasser, M.M. (1995). Product universality and design for supply chain management. **Production Planning and Control**, Vol. 6, No. 3, s.270–277.
- Lee, J., (2003). Smart products and service systems for e-business transformation. **International Journal of Technology Management**, 26/1, s. 45-52.
- Lee, L. T. S. (2008). The effects of team reflexivity and innovativeness on new product development performance. **Industrial Management & Data Systems**, 108/4, s. 548-569.
- Lefever D.D. ve Wood K. L. (1996). Design for assembly techniques in reverse engineering and redesign. **ASME Design Theory and Methodology Conference**, 96-DETC/DTM-1516 Irvine, CA, s. 1-28.
- Lehto, J., Harkonen J., Haapasalo, H., Belt P., Mottonen, M., ve Kuvaja, P. (2011). Benefits of DfX in requirements engineering. **Technology and Investment**, 2/01, s. 27-37.
- Lele, M. M. (1997). After-Sales Service- Necessary Evil Or Strategic Opportunity? **Managing Service Quality**, 7/ 3, s. 141-145.
- Lemmerer, A., Zapilko, M., ve Menrad, K. (2015). Senior management's influence on new product development projects and firm performance in small and medium-sized food companies. **International Food and Agribusiness Management Review**, 18/4, s. 105-120.

- Leng, J., Guo, J., Xie, J., Zhou, X., Liu, A., Gu, X., ve Wang, L. (2025). Review of manufacturing system design in the interplay of Industry 4.0 and Industry 5.0 (Part II): Design processes and enablers. **Journal of Manufacturing Systems**, 79, s. 528-562.
- Li, J., Luening, J., Graubeger, P., ve Matthiesen, S. (2025). A hypothesis-based method for building specific design knowledge for robust design. **Proceedings of the Design Society**, 5, s. 131-140.
- Liao, Y., Loures, E. R., Deschamps, F., Brezinski, G. ve Venâncio, A. (2017). The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. **Production**, 28, e20180061, s.1-18
- Liker, J. K., Kamath, R. R., Wasti, S. N., ve Nagamachi, M. (1996). Supplier involvement in automotive component design: are there really large US Japan differences? **Research Policy**, 25/1, s. 59-89.
- Lilley, D. (2009). Design for sustainable behaviour: strategies and perceptions. **Design Studies**, 30/6, s. 704-720.
- Lim, J. S., Sharkey, T. W., ve Heinrichs, J. H. (2006). Strategic impact of new product development on export involvement. **European Journal of Marketing**, 40/1-2, s. 44-60.
- Lin, M., Tai, Y., Chen, M. ve Chang, C.A. (2007). A rule based assembly sequence generation method for product design. **Concurrent Engineering Research and Applications**, 15(3), s. 291-308.
- Lin, T. Y., Chuang, L. M., Chang, M. Y., ve Yeh, C. M. (2012). A study of the relationship between team innovation and organizational innovation in the high-tech industry: Conișletmetion of the organizational culture moderation effect. **Advances in management and Applied Economics**, 2/2, s. 19-52
- Lindahl M. (2005b). Designers' utilization of and requirements on design for environment (DfE) methods and tools. **Fourth International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (Eco Design 2005)**, 12-14 December, Tokyo, Japan, s. 224-231.
- Lindahl, M. (2005a). **Engineering Designers' Requirements on Design for Environment Methods and Tools**. Doktora Tezi, Department of Machine Design Integrated Product Development Royal Institute of Technology 10044 Stockholm, Sweden.
- Liu Y. (2003). Engineering aesthetics and aesthetic ergonomics: theoretical foundations and a dual-process research methodology. **Ergonomics**, 46, 13/14, s. 1273 – 1292.
- Liu, Y., Li, Y. ve Wei, Z. (2009). How organizational flexibility affects new product development in an uncertain environment: Evidence from China. **International Journal of Production Economics**, 120/1, s. 18-29.

- Liu, J., Li, R., Zhang, H., He, X., Huo, Y., ve Yang, H. (2026). A systematic literature review of sustainable design of complex customised products in Industry 5.0: connotation, methodologies and prospects. **Journal of Engineering Design**, 37(2), s. 273-310.
- Loschek, I. (2009). **When clothes become fashion, design and innovation systems**. Berg Publishers, New York.
- Lu, Y., Liu, C., Kevin, I., Wang, K., Huang, H., ve Xu, X. (2020). Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues. **Robotics And Computer-Integrated Manufacturing**, 61, 101837.
- Lu, W., Gao, Y., Jin, F., Peng, Z., Zhang, Y., ve Zhu, J. (2026). Design for Excellence in the Era of Generative Artificial Intelligence: A Critical Review of Research. **Journal of Architectural Engineering**, 32(1), 03126001.
- Luttrupp C. ve Lagerstedt J. (2006). EcoDesign and the ten golden rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. **Journal of Cleaner Production** 14, s. 1396-1408.
- Lynn, G. S., Abel, K. D., Valentine, W. S., ve Wright, R. C. (1999). Key factors in increasing speed to market and improving new product success rates. **Industrial Marketing Management**, 28(4), 319-326.
- Ma, X., ve Kim, M. (2008). A systematic design for assembly method through the combination of subassemblies in product family. **In 2008 International Conference on Smart Manufacturing Application**, April 9-11, Gyeonggi-do, Korea, s. 261-266.
- Magnusson, P. R., Matthing, J., ve Kristensson, P. (2003). Managing user involvement in service innovation: Experiments with innovating end users. **Journal of Service Research**, 6/2, 111-124.
- Malinowski, L. ve Nowak, T. (2007). Design For Platform A Holistic Approach To Design Concept To Evolution. **International Conference On Engineering Design Iced'07**, 28-31 August 2007, Cite Des Sciences Et De L'industrie, Paris, France, s.1-9
- Malviya, A. K., Zarehparast Malekzadeh, M., Santarremigia, F. E., Molero, G. D., Villalba Sanchis, I., Fernández, P. M., & Yepes, V. (2024). Optimization of life cycle cost and environmental impact functions of NiZn batteries by using Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO). **Sustainability**, 16(15), 6425.
- Marconnet, B., Gaha, R., ve Eynard, B. (2025). Towards proactive design for sustainability in industry 4.0/5.0. **Proceedings of the Design Society**, 5, 3221-3230.
- Mario F., Umberto P. ve Litta E. (2003). Design for assembly and design for disassembly: two ways for the development of sustainable products. **International Conference On Engineering Design Iced 03**, August 19-21 Stockholm, s. 1-9.

- Martikainen, A. (2012). **Design for procurement**. Master Tezi, Tampere University Of Technology, Finland, s.1-65.
- Martin, M.V. ve Ishii, K. (2000). Design for variety: A methodology for development product platform architectures. **Proceedings of 2000 ASME DETC Conferences**, s. 1-15.
- Martínez Leal, J., Pompidou, S., Charbuillet, C., ve Perry, N. (2020). Design for and from recycling: A circular ecodesign approach to improve the circular economy. **Sustainability**, 12(23), 9861.
- Masanet, E. ve Horvath, A. (2007). Assessing the benefits of design for recycling for plastics in electronics: A case study of computer enclosures. **Materials and Design**, 28/6, s. 1801-1811.
- Mather, H. (1992). Design for logistics (DFL)- The next challenge for designers. **Production and Inventory Management Journal**, 33/1, s. 7-10.
- Matthing, J., Sandén, B., ve Edvardsson, B. (2004). New service development: learning from and with customers. **International Journal of service industry management**, 15/5, s. 479-498.
- Mattioli, F., ve Tessier, V. (2025). Disentangling collaborative design for sustainability. **CoDesign**, 1-21.
- Maxwell, D., ve Couper, R. (2023). Construction tracking: implications of logistics data. *Construction Innovation*, 23(2), s. 322-339.
- Mayyas, A., Qattawi, A., Omar, M., ve Shan, D. (2012). Design for sustainability in automotive industry: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16/4, s. 1845-1862.
- Mazur G. H. ve Huber C. (2002). QFD and design for six sigma. **Transactions of the 14th Symposium on QFD**, San Diego, December, s. 1-12.
- McAloone, T. C. (1998). To what extent are DFX principles really used when developing environmentally sensitive products? **In Proceedings of 9. Symposium On Design For Manufacturing**, Schnaittach/Erlangen Nürnberg- Germany, 15-16 Ekim, s. 33-38.
- McDonough W. (2000). **The hannover principles: Design for sustainability**. William McDonough & Partners 410 East Water Street Charlottesville, VA, Hannover, Germany.
- McDonough, W. ve Braungart, M. (2002). **Cradle to cradle: Remaking the way we make things**. New York: North Point Press.
- Medellín-Castillo, H. I., ve Torres, J. E. P. (2009). Rapid prototyping and manufacturing: A review of current technologies. **In ASME 2009 International Mechanical Engineering Congress and Exposition**, November 13-19, 2009, Lake Buena Vista, Florida, USA. s. 609-621.
- Medina L. A., Wysk R. A. ve Okudan Kremer G. E. (2011). A review of design for x methods for medical devices: the introduction of a design for FDA approach. **Proceedings of the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in**

- Engineering Conference IDETC/CIE 2011**, August 28-31, Washington, DC, USA, s.1-14.
- Meerkamm, H., ve Koch, M. (2005). Design for X. **Design Process Improvement**, Part 2/3, s.307-323.
- Menon A, Chowdhury J. ve Lukas B.A. (2002). Antecedents and outcomes of NPD speed. An interdisciplinary conceptual framework. **Industrial Marketing Management**, 31, s. 317- 328.
- Mesa, J. A. (2023). Design for circularity and durability: an integrated approach from DFX guidelines. **Research in Engineering Design**, 34(4), s. 443-460.
- Mettas A. (2010). Design for reliability: Overview of the process and applicable techniques. **International Journal of Performability Engineering**, 6/ 6, s. 577-586.
- Meydan, C. H. ve Şeşen H. (2011). **Yapısal eşitlik modellemesi - AMOS uygulamaları**, Detay Yayıncılık, Ankara.
- Mikkola, A. (2021). Improving Supply Chain and logistics and reducing costs by design and improvement of packaging with the help of Lean and DFL: Project-based case study.
- Minehane, S., Duane, R., O'Sullivan, P., McCarthy, K.G. ve Mathewson A. (2000). Design for reliability. **Microelectronics Reliability**, 40, s.1285-1294.
- Mital, A., Desai, A. ve Subramanian, A. (2008). Designing for assembly and disassembly. **Product Development**, s. 135-177.
- Mitrache, A. I., Severin, I., Purnichescu Purtan, R., ve Lascu, E. (2025). Integrating Customer Experience (CX) in sustainable product life cycle. **Sustainability**, 17(10), 4503.
- Mizuki C., Sandborn P. A. ve Pitts G. (1996). Design for environment-a survey of current practices and tools. **1996 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment**, 6-8 May 1996, Dallas, TX, USA, s. 1-6.
- moderating role of customer co-production. **Journal of Retailing and Consumer Services**, 18/4, s. 271-277.
- Mokarian M. A. (2007). **Visual balance in engineering design for aesthetic value**. Master Tezi, University of Saskatchewan, Saskatoon, Kanada.
- Monsef, S. ve Ismail, W. K. W. (2012). The impact of open innovation in new product development process. **IJFPSS**, 2/1, s. 7-12.
- Montazeri, S., Lei, Z., ve Odo, N. (2024). Design for manufacturing and assembly (DfMA) in construction: A holistic review of current trends and future directions. **Buildings**, 14(1), 285.
- Morrison, PD, JH Roberts ve E von Hippel (2000). Determinants of user innovation and innovation sharing in a local market. **Management Science**, 46/12, s. 1513–1527.

- Mottonen, M., Mustonen, T., Harkonen, J., Belt, J., ve Hyysalo, J. (2009). Design for excellence in high tech companies. **The 3rd Nordic Innovation Research Conference - NIR 2008—IEM Arctic Workshop**, s.131-145.
- Moubachir Y. ve Bouami D. (2015). Storing and retrieving design solution in the physical domain based on DFX tools and morphological analysis. **9th International Conference on Axiomatic Design – ICAD 2015**, 16-18 Ekim, Floransa, İtalya, s. 64-68.
- Moustafa, A. M. (2025). Examining sustainable product design technology: A comprehensive exploration of trends, innovations, challenges, and future horizons. **Circular Economy and Sustainability**, 1-25.
- Muhsin, W. A. (2024). Contemporary Design Strategies and their Role in Enhancing the Functional and Aesthetic Values of Industrial Product. **Online Journal of Art & Design**, 12(4).
- Mulder W., Blok J., Hoekstra S. ve Kokkeler F.G.M. (2012). **Design For Maintenance: Guidelines To Enhance Maintainability, Reliability And Supportability Of Industrial Products**, Published By University Of Twente, Enschede, The Netherlands,
- Mule J. Y. (2012). Design for disassembly approaches on product development. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, 3/ 6, s. 1-5
- Museau M., Masclet C. ve Tichkiewitch S. (2007). Integrated design of MEMS: aiming at manufacturability. **Int J Interact Des Manuf.**, 1, s. 127–134.
- Naktiyok, A. (2007). Yenilik yönelimi ve örgütsel faktörler. **Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi**, 21/2, s. 211-230.
- Nautiyal, N., Bisht, S., Joshi, B., Pandey, H., ve Bisht, N. (2020). Blockchain design for logistics and supply chain management in developing regions. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(6), s. 1711-1716.
- Namouz E., Summers J. D. ve Mocko G. M. (2012). Reasoning: Source of variability in the Boothroyd and Dewhurst assembly time estimation method. **Gs Of The 2012 International Design Engineering Technical Conferences & Computers And Information In Engineering Conference Idetc/Cie 2012**, August 12- 15, Chicago, Illinois, USA, s. 1-9.
- Nasr, N., ve Thurston, M. (2006). Remanufacturing: A key enabler to sustainable product systems. **Proceedings of the 13th CIRP international conference on Life Cycle Engineering**, Mai 31st - June 2nd., Leuven, Belgium, s. 15-18.
- Nayeri, S., Sazvar, Z., ve Tirkolaei, E. B. (2025). Towards waste management 5.0: A nexus between circular economy and industry 5.0 dimensions. **Waste Management**, 203, 114830.

- Nepal, B., Monplaisir L. ve Singh, N. (2006). A methodology for integrating design for quality in modular product design. **Journal of Engineering Design**, 17:5, s. 387-409.
- Nerurkar, O. (2016). Designing sustainable fashion: Role of psychosocial factors of fashion consumption and the challenges of design. **Indian Journal of Science and Technology**, 9/15, s. 1-7.
- Niinimäki, K. (2013). **Sustainable Fashion: New approaches**, Aalto ARTS Books, Helsinki, Finland.
- Nomaguchi Y. ve Fujita K. (2007). Ontology building for design knowledge management systems based on patterns embedded in design-for-x methodologies. **Proceedings of 16th International Conference on Engineering Design (ICED '07)**, 28 - 31 August 2007, Paris, France, s. 1-11
- O'Driscoll, M. (2002), Design for manufacture, **Journal of Materials Processing Technology**, 122, s.318-32.
- O'Neal, C. (1993). Concurrent engineering with early supplier involvement: A cross-functional challenger. **International Journal of Purchasing and Materials Management**, 29/2, s. 2-9.
- Ogot, M. ve Kremer, G.E. (2004). **Engineering Design a Practical Guide**, Victoria, BC, Trafford Publishing.
- Oladumiye E. B., Ibiwoye T. I. ve Adene F. O. (2015). Aesthetic sensibility of industrial design: An analysis of industrial design education in nigeria, **American Journal Of Social Issues And Humanities**, 5 /1, s. 359-372
- Omar, B. (2008). **Approach to support DFA evaluation of design concepts**, Doktora Tezi, The University of Leeds School of Mechanical Engineering, Leeds, England.
- Omidzadeh, D., Sajadi, S. M., Bozorgi-Amiri, A., ve Daneshvar Kakhki, M. (2024). Enhancing Sustainability Attributes in New Product Design Insights from Automotive Industry. **Sustainability**, 16(15), 6385.
- Onuh, S. O., ve Yusuf, Y. Y. (1999). Rapid prototyping technology: applications and benefits for rapid product development. **Journal of intelligent manufacturing**, 10/3-4, s. 301-311.
- Otto, K.N. ve Wood K.L. (2001). **Product design techniques in reverse engineering and new product development**. Prentice-Hall Inc., ISBN-0-13-021271-7, USA.
- Özden, A. ve Haçikioğlu, M. (2017). Hazır giyim sektörü. Sektör Raporu, A&T Bank Ekonomik Araştırmalar Departmanı, Aralık 2017.
- Özsoy, H. Ö. (2025). Enhancing Industrial Product Aesthetics, Ergonomics, and Usability With Artificial Intelligence-Driven Generative Design. **Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications**, 8(2), s. 141-155.

- Padem H., Göksu A. ve Konaklı Z. (2012). **Araştırma yöntemleri: SPSS uygulamalı**. International Burch University, Sarajevo, Bosne i Hercegovine.
- Pal, R., ve Torstensson, H. (2011). Aligning critical success factors to organizational design. **Business Process Management Journal**.
- Pang H.L.J., Low T.H., Xiong B.S. ve Che F.X. (2003). Design for reliability (DFR) methodology for electronic packaging assemblies. **5th Electronics Packaging Technology Conference EPTC2003**, Singapore, s. 470-478.
- Paramasivam, V. (2011). **Analysis and evaluation of some manufacturing processes and systems using graph theory and matrix approach**. Doktora Tezi, Faculty Of Mechanical Engineering, Anna University, Chennai
- Paramasivam, V. ve Senthil, V. (2009). Analysis and evaluation of product design through design aspects using digraph and matrix approach. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, 3(1), 13.
- Park G.-J., Lee T.-H., Lee K. H. ve Hwang K.-H. (2006). Robust design: An overview. **AIAA Journal**, 44/1, s. 181-191.
- Parker J. E. ve Boyd B. L. (1993). An introduction to EPA's design for the environment program. **Electronics And Environment Proceedings Of The 1993 IEEE International Symposium on**, 10-12 May 1993, Arlington, USA, s. 144-150.
- Partridge, D. J. (2011). Activist Capitalism and Supply Chain Citizenship: Producing Ethical Regimes and Ready-to-Wear Clothes. **Current Anthropology**, 52, s. 97-111.
- Payne, A. R. (2013). **Design, sustainability, and Australian mass-market fashion: Three case studies**. Doktora Tezi, Queensland University of Technology, Australia.
- Perçin, S. (2006). İmalat firmalarının yeni ürün geliştirme performansını etkileyen faktörler: ISO 1000 firmalarına yönelik bir araştırma. **İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi**, Cilt: 20 Nisan 2006 Sayı: 1, s. 358-375.
- Peruzzini, M., Prati, E., ve Pellicciari, M. (2024). A framework to design smart manufacturing systems for Industry 5.0 based on the human-automation symbiosis. **International Journal Of Computer Integrated Manufacturing**, 37(10-11), s. 1426-1443.
- Petersen K. J., Handfield R. B. ve Ragatz G. L. (2005). Supplier integration into new product development: coordinating product, process and supply chain design. **Journal of Operations Management**, 23, s. 371-388.
- Pham, B. (1999). Design for aesthetics: interactions of design variables and aesthetic properties. **In Proceeding of SPIE IS&T/SPIE 11th Annual Symposium- Electronic Imaging '99**, vol. 3644, San Jose, USA, s. 364-371.

- Pienaar W. J. (2004). Logistics: It's origin, conceptual evolution and meaning as a contemporary management discipline. **International Logistics Congress 2004**, Conference Proceedings Vol: I, Dokuz Eylül Pub., ILC İzmir, December 2-3., s. 1-10.
- Pierzchlewicz, D., Woźniak, A., ve Widera, B. (2025). Recent Research on Circular Architecture: A Literature Review of 2021–2024 on Circular Strategies in the Built Environment. **Sustainability**, 17(17), 7580.
- Pigosso, D. C., Zanette, E. T., Guelere Filho, A., Ometto, A. R., ve Rozenfeld, H. (2010). Ecodesign methods focused on remanufacturing. **Journal of Cleaner Production**, 18/1, s. 21-31.
- Pozo Arcos, B., Balkenende, A. R., Bakker, C. A., ve Sundin, E. (2018). Product design for a circular economy: Functional recovery on focus. In **DS 92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference** (s. 2727-2738).
- Prabhakaran, R. T. D., Babu, B. J. C. ve Agrawal, V. P. (2006). "Design for 'X'-abilities of RTM Products- A Graph Theoretic Approach. **Concurrent Engineering**, 14/2, s. 151-161.
- Psarommatis, F., ve Azamfirei, V. (2024). Zero Defect Manufacturing: A complete guide for advanced and sustainable quality management. **Journal of Manufacturing Systems**, 77, s. 764-779.
- Purushothaman, K., ve Ahmad, R. (2022). Integration of Six Sigma methodology of DMADV steps with QFD, DFMEA and TRIZ applications for image-based automated inspection system development: a case study. **International Journal of Lean Six Sigma**, 13(6), s. 1239-1276.
- Qin, L. (2026). Shaping the Future: Emerging Technologies and Their Role in Industry 4.0 and Beyond. **Journal of Emerging Technologies With Industrial Applications**, 1(1), 4.
- Radziwill, N. M. ve Benton, M. C. (2017). Design for X (DfX) in the internet of things (IoT). **Journal of Quality Management Systems, Applied Engineering, & Technology Management (JoQAT)**, 1, s. 1-29.
- Raheja D. ve Gullo L. J. (2012). **Design for reliability**. Wiley Series in Quality and Reliability Engineering, John Wiley & Sons, Inc. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, İlk Basım.
- Räikkönen, M., Hänninen, S., ve Uusitalo, T. (2025, July). Life Cycle Cost Framework for Enhancing Sustainable Manufacturing and Energy Efficiency. In **Sustainable Design and Manufacturing 2024: Proceedings of the 11th International Conference on Sustainable Design and Manufacturing (KES-SDM 2024)** (p. 237). Springer Nature.
- Raja Ghazilla, R.A., Sakundarini N., Taha Z., Abdul-Rashid S. H. ve Yusoff, S. (2015). Design for environment and design for disassembly practices in Malaysia: a practitioner's perspectives. **Journal of Cleaner Production**, 108, s. 331-342.

- Ramani, K., Ramanujan, D., Bernstein, W.Z., Zhao, F., Sutherland, J., Handwerker, C., Choi, J.-K., Kim, H. ve Thurston, D. (2010). Integrated sustainable life cycle design: a review. **J. Mech. Des.**, 132, s. 0910041-1-091004-15.
- Raina, K., Sharma, G. D., Taheri, B., Dev, D., ve Chavriya, S. (2026). Artificial intelligence-driven management: Bridging innovation, knowledge creation, and sustainable business practices. **Journal of Innovation & Knowledge**, 11, 100860.
- Rankohi, S., Carbone, C., Iordanova, I., ve Bourgault, M. (2022). Design-for-manufacturing and assembly (DfMA) for the construction industry: a review. **Modular and Offsite Construction (MOC) Summit Proceedings**, s. 1-8.
- Rashid, A.R.H. (2007). **An Intelligent Computer-aided Design System Incorporating Considerations for Aesthetics and the Environment**, Doktora Tezi, Mechanical and Manufacturing Engineering Dublin City University, Dublin.
- Raykov, T. ve Marcoulides G. A. (2006). **A first course in structural equation modeling**. Second Edition, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, Mahwah, New Jersey.
- Rejeb, A., Rejeb, K., Keogh, J. G., ve Süle, E. (2025). When Industry 5.0 meets the circular economy: A systematic literature review. **Circular Economy and Sustainability**, 5(4), s. 2621-2652.
- Reitsma, E., Haug, A., Hilletoft, P., ve Johansson, E. (2025). Engaging with 'Engineer for Supply Chain'(EfSC): insights from two engineer-to-order manufacturers. **Production Planning & Control**, 36(3), s. 378-393.
- Rezaei, M., Shahin, A., Vasili, M., ve Esmaeeli, H. (2025). Prioritizing the CSFs of design for Six Sigma with a Fit-Sigma approach based on supplier and process integration. *Benchmarking: An International Journal*.
- Rich, N. ve Holweg, M. (2000). **Value analysis/value engineering**. Report produced for the EC funded project, Lean Enterprise Research Centre Cardiff, United Kingdom.
- Rio, M., Riel, A., ve Brissaud, D. (2017). Design to environment: Information model characteristics. **Procedia CIRP**, volume 60, s. 494-499.
- Riou A. ve Mascle C. (2009) Assisting designer using feature modeling for lifecycle, **Computer-Aided Design**, 41, s.1034-1049.
- Rodrigues, V. P., Pigosso, D. C., ve McAloone, T. C. (2019). Business cases for ecodesign implementation: a simulation-based framework. **Journal of Cleaner Production**, 234, 1045-1058.
- Rose, C. M. (2000). **Design for environment: A method for formulating product end-of-life strategies**. Doktora Tezi, Stanford University, The Department Of Mechanical Engineering, California, USA.
- Rosen M. A. ve Kishawy H. A. (2012). Sustainable manufacturing and design: Concepts, practices and needs. **Sustainability**, 4, s. 154-174.

- Roxas, C. L. C., Bautista, C. R., Dela Cruz, O. G., Dela Cruz, R. L. C., De Pedro, J. P. Q., Dungca, J. R., Lejano, B. A., ve Ongpeng, J. M. C. (2023). Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) and Design for Deconstruction (DfD) in the Construction Industry: Challenges, Trends and Developments. **Buildings**, 13(5), 1164
- Rumetshofer, T., ve Fischer, J. (2025). Enhancement in post-consumer mechanical recycling of plastics: Role of design for recycling, specifications, and efficient sorting of packaging material. **Polymers**, 17(9), 1177.
- Rush, C., ve Roy, R. (2000). Analysis of cost estimating processes used within a concurrent engineering environment throughout a product life cycle. **7th ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications**, Lyon, France, July 17th - 20th, Technomic Inc., Pennsylvania USA, s. 58-67.
- Russell, R.S. ve Taylor W.B. (2006). **Operations Management**. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.
- Sağlam, M., ve Baran, Ş. (2025). Tekstil Sektörünün Geleceği: Mevcut Durum Değerlendirmesi ve Gelecek Öngörülleri. İstanbul Ticaret Üniversitesi.
- Sala, R., Francalanza, E., ve Arena, S. (2025). A review on three decades of manufacturing maintenance research: past, present and future directions. **Production & Manufacturing Research**, 13(1), 2469037.
- Saldamlı, A. (2016). Bilimsel araştırma ve sunum teknikleri. 2. Baskı, Detay Yayıncılık, Ankara.
- Sanakal, A. P. (2025). Leveraging AI for Predictive Product Costing in Manufacturing. **IJSRM**, 5, s. 10-51.
- Sancın, U., Kaljun, J. ve Dolšak, B. (2008). Intelligent support to specific design aspects, wseas transactions on information. **Science & Applications**, Issue 2, Volume 5, s. 192-201.
- Sandberg, M. (2007). **Design for manufacturing Methods and applications using knowledge engineering**. Doktora Tezi, Luleå University, Luleå, Sweden.
- Saraiva, P. M., ve Watson, G. H. (2025). Quality 4.0 and its contributions to macro-quality. **Total Quality Management & Business Excellence**, 36(15-16), s. 1582-1598.
- Sarin, S., ve McDermott, C. (2003). The effect of team leader characteristics on learning, knowledge application, and performance of cross-functional new product development teams. **Decision Sciences**, 34/4, s. 707-739.
- Sassanelli, C., Urbinati, A., Rosa, P., Chiaroni, D., ve Terzi, S. (2020). Addressing circular economy through design for X approaches: A systematic literature review. **Computers In Industry**, 120, 103245.
- Schein, E. (2004). Organizational culture and leadership. Üçüncü Basım, Joddy-Bass.
- Schermelleh-Engel, K., Moosbrugger, H. ve Müller, H. (2003). Evaluating the fit

- of structural equation models: Tests of significance and descriptive goodness-of-fit measures. **Methods Of Psychological Research Online**, 8/2, s.23-74.
- Schlegel, M., Wiederkehr, I., Rapp, S., Koldewey, C., Albers, A., ve Dumitrescu, R. (2023). Future-robust evolution of product portfolios: Need for action from theory and practice. **Procedia CIRP**, 120, s. 792-797.
- Schmidt, R. (1997). The implementation of simultaneous engineering in the stage of product concept development: A process orientated improvement of quality function deployment. **European Journal of Operational Research**, 100/2, s. 293-314.
- Schultz, C., Salomo, S., De Brentani, U., ve Kleinschmidt, E. J. (2013). How formal control influences decision-making clarity and innovation performance. **Journal of Product Innovation Management**, 30/3, s. 430-447.
- Schumacker, R. ve Lomax, R. (2004). **A beginner's guide to structural equation modeling**. 2. Basım, Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ.
- Seadon, J. K. (2010). Sustainable waste management systems. **Journal of Cleaner Production**, 18, s. 1639–1651.
- Sezen B. ve Gök, M. (2004). Logistics Management and Just-In-Time Manufacturing Systems. **International Logistics Congress 2004, Conference Proceedings**, Vol: II, Dokuz Eylül Pub., ILC İzmir, s. 719.
- Shahin, A. (2008). Design for six sigma (DFSS): lessons learned from world-class companies. **Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage**, 1/ 4, s. 48-59.
- Shan, H., Li, S., Huang, J., Gao, Z., ve Li W. (2007). Ant colony optimization algorithm-based disassembly sequence planning. **IEEE International Conference On Mechatronics And Automation**, August 5 - 8, Harbin, China, s. 867-872.
- Sharifi, H., Ismail, H.S. ve Reid, I. (2006). Achieving agility in supply chain through simultaneous “design of” and “design for” supply chain. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 17/8, s. 1078-1098.
- Shepherd, C., ve Ahmed, P. K. (2000). NPD frameworks: A holistic examination. **European Journal of Innovation Management**, 3/3, s. 160-173.
- Sheu, D.D. ve Chen, D.R. (2007). Backward design and cross-functional design management. **Computers & Industrial Engineering**, 53/1, s. 1–16.
- Shih, W.Y.C., Agrafiotis K. ve Sinha P., (2014). New product development by a textile and apparel manufacturer: a case study. **The Journal of The Textile Institute**, 105/9, s. 905-919.
- Shoval, S., Efatmaneshnik, M. ve Ryan, M. J. (2017). Assembly sequence planning for processes with heterogeneous reliabilities. **International Journal of Production Research**, 55/10, s. 2806–2828.

- Shu, L. ve Flowers, W. (1993). A structured approach to design for remanufacture. **Intelligent Concurrent Design: Fundamentals, Methodology, Modeling and Practice ASME 1993**, DE-Vol. 66., 13-19.
- Silverman M. ve Kleyner A. (2012). What is design for reliability and what is not? **Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 23-26 Jan. 2012, Reno, NV, USA, s. 1-6.
- Simchi-Levi D., Kaminsky P. ve Simchi-Levi E. (2004). **Managing the Supply Chain: The Definitive Guide for the Business Professional**. McGraw-Hill, USA.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky P. ve Simchi-Levi E. (2000). **Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies**. McGraw-Hill, USA.
- Singh, J., ve Sarkar, P. (2025). Engineering aesthetics generic definition, tests, factors, and methods. **International Journal of Design Creativity and Innovation**, 13(4), s. 247-283.
- Singh, R. K., Garg, S. K., Deshmukh, S. G., ve Kumar, M. (2007). Modelling of critical success factors for implementation of AMTs. **Journal of Modelling in Management**, 2/3, s. 232-250.
- Siva, V., Raharjo, H., Svensson, B. ve Gremyr, I. (2011). Robust design methodology at the back-end of product development process: An attempt towards sustainable development. **Conferance Proceeding**, s.1-15.
- Skander A., Roucoules L. ve Klein Meyer J. S. (2008). Design and manufacturing interface modelling¹³ for manufacturing processes selection and knowledge synthesis in design. **Int J Adv Manuf Technol**, 37, s. 443–454.
- Skovvang Christensen, K. (2005). Enabling intrapreneurship: the case of a knowledge-intensive industrial company. **European Journal of Innovation Management**, 8/3, s. 305-322.
- Smal D. N. (2016). **The role of environmental sustainability in a design-driven fashion industry: A South African case study**. Doktora Tezi, the Cape Peninsula University of Technology.
- Sodhi R., Sonnenberg M. ve Das S. (2004). Evaluating the unfastening effort in design for disassembly and serviceability. **Journal of Engineering Design**, 15/1, s. 69-90.
- Soh, S.L., Ong, S.K. ve Nee, A.Y.C. (2015). Application of design for disassembly from remanufacturing perspective. **Procedia CIRP**, 26, s. 577 – 582.
- Solana, M. (2009). Reducing test application time, test data volume and test power through virtual chain partition. **Integration the VLSI Journal**, 42/ 3, s. 385-399.
- Song, M., ve Noh, J. (2006). Best new product development and management practices in the Korean high-tech industry. **Industrial Marketing Management**, 35/3, 262-278.

- Song, M., ve Xie, J. (2000). Does innovativeness moderate the relationship between cross-functional integration and product performance? **Journal of international marketing**, 8/4, s. 61-89.
- Sons, US.
- Spangenberg, J.H., Fuad-Luke A. ve Blincoe K. (2010). Design for sustainability (Dfs): the interface of sustainable production and consumption. **Journal of Cleaner Production**, 18, s.1485-1493.
- Sreekumar, A. (2013). **A Framework for Modular Product Design based on Design for 'X' Methodology**. Master Tezi, The School of Dynamic Systems of the College of Engineering and Applied Science, Kerala, India.
- Stanko, M. A., Molina-Castillo, F. J., ve Munuera-Aleman, J. L. (2012). Speed to market for innovative products: blessing or curse? **Journal of Product Innovation Management**, 29/5, s. 751-765.
- Staudter, C., Mollenhauer, J.-P., Meran, R., Roenpage, O., Von Hugo, C. ve Hamalides A. (2009). **Design for six sigma + lean toolset**. Stephan Lunau (Ed.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Sternad, M., Lerher, T., ve Gajšek, B. (2018). Maturity levels for logistics 4.0 based on NRW's Industry 4.0 maturity model. **Business Logistics in Modern Management**.
- Stojkovic, M. (2025). *Industry 4.0 implementation model for the composite manufacturing industry. Case for UK* (Doctoral dissertation, Anglia Ruskin Research Online (ARRO)).
- Suh, N.P. (1995). Designing-in of quality through axiomatic design. **IEEE Transactions on Reliability**, 44/2, s. 256-264.
- Sun, H., Yau, H. K., Suen, M. ve Kwok, E. (2010). The simultaneous impact of supplier and customer involvement on new product performance. **Journal Of Technology Management and Innovation**, 5/4, s. 70-82.
- Sun, H., Yau, H. K., Suen, M., ve Kwok, E. (2010). The simultaneous impact of supplier and customer involvement on new product performance. **Journal Of Technology Management and Innovation**, 5/4, s. 70-82.
- Sundin E., (2004). **Product and process design for successful remanufacturing**. Tabergs Tryckeri AB, Sweden.
- Sundin, E. (2009). Life-cycle perspectives of product/service- systems: In design theory. **Introduction to Product/Service-System Design**, XXII, s. 31-49.
- Sundin, E., ve Björkman, M. (2016). Development of a design for manufacturing and assembly (DFM/A) methodology concerning products and components made in composites of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) used in the aerospace industry. **Swedish Production Symposium (SPS-16)**, Lund-Sweden, 25-27 October 2016, s.1-9.
- Sundström, P. ve Zika-Viktorsson, A. (2009). Organizing for innovation in a

- product development project: combining innovative and result oriented ways of working—a case study. **International Journal of Project Management**, 27/8, s. 745-753.
- Suresh, P., Ramabalan, S. ve Natarajan, U. (2016). Integration of DFE and DFMA for the sustainable development of an automotive component. **International Journal of Sustainable Engineering**, 9/2, s. 107-118.
- Swink, M. L. ve Calantone, R. (2004). Design-manufacturing integration as a mediator of antecedents to new product design quality. **IEEE Transactions on Engineering Management**, 51/4, s. 472-482.
- Şimşek, Ö. (2007). **Yapısal eşitlik modellemesine giriş temel ilkeler ve Lisrel uygulamaları**. Ekinoks Yayınları, Ankara.
- Tajudin, M. M., Musa, O. ve Musa, N. C. (2012). Effects of Organizational Culture, Market Orientation, and Innovativeness toward New Product Performance amongst. **International Journal of Innovation and Business Strategy**, 1, s. 24-48.
- Takata, S., Kirnura, F., van Houten, F.J.A.M, Westkamper, E., Shpitalni, M., Ceglarek, D. ve Lee, J. (2004). Maintenance: changing role in life cycle management, **CIRP Annals- Manufacturing Technology**, 53/2, s. 643-655.
- Takeuchi, S. ve Saitou, K. (2006). Desing For Optimal End-Of-Life Scenario Via Product-Embedded Disassambly. **ASME 2006 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference**, September 10-13, Philadelphia, Pennsylvania, USA, s. 1-12.
- Talati, J. (2006). **Design for manufacturing**. Hexagon Design Centre, Vadodara.
- Tan, A.R., Matzen, T.C. ve Evans, S. (2010). Strategies for designing and developing services for manufacturing firms. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology** 3, s. 90–97.
- Tan, C. Tracey, M. (2007). Collaborative new product development environments: Implications for supply chain management. **Journal of Supply Chain Management** 43/15, s. 2-15.
- Tan, K. C., Kannan, V. R. ve Narasimhan, R. (2007). The impact of operations capability on firm performance. **International Journal of Production Research**, 45/21, s. 5135-5156.
- Tao, F., Qi, Q., Liu, A., ve Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. **Journal Of Manufacturing Systems**, 48, s. 157-169.
- Tatikonda, M. V. (1994), Design for assembly: A critical methodology for product reengineering and new product development. **Production and Inventory Management Journal; Alexandria**, 35/1, s. 31-37.
- Tekel, A. (2015). Estetik Yargı ve Estetik Yargıyı Etkileyen Faktörler. **Sanat ve Tasarım Dergisi**, 16, s. 149-157.

- Tennant C. ve Roberts P (2003). The creation and application of a self assessment process for new product introduction. **International Journal of Project management**, 21, s. 77-87.
- Thomas, S. (2008). The "Green Blur" to ecofashion: Fashioning an eco-lexicon. **Fashion Theor.**, 12/4, s. 525–540.
- Thormark, C. (2001). **Recycling potential and design for disassembly in buildings**. KFS AB, Lund, Sweden.
- Tichem, M. ve Storm, T. (1997). Designer Support For Product Structuring-Development Of A DFX Tool Within The Design Coordination Framework. **Computers in Industry**, 33/2-3, s.155-163.
- Todić, V., Lukić, D., Milošević, M., Jovičić, G. ve Vukman, J. (2012). Manufacturability of product design regarding suitability for manufacturing and assembly (DFMA). **Journal of Production Engineering**, 16/1, s. 47-50.
- Tomiyama, T., Gu, P., Jin, Y., Lutters, D., Kind, Ch., ve Kimura F. (2009). Design methodologies: Industrial and educational applications. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 58, s. 543-565.
- Torkelsson, O., ve Dauksz, M. (2014). DFMA: A Methodology Study and Method Development.
- Trubetskaya, A., McDermott, O., & Ryan, A. (2023). Application of Design for Lean Six Sigma to strategic space management. **The TQM Journal**, 35(9), s. 42-58.
- Trybula, W. J. ve Konopka, J. (1995). Development of design for manufacture. **Seventeenth IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium**, 2-4 October 1995, Austin-TX-USA, s. 442-445.
- Tsai Y.T., Wang K.S. ve Lo S.P. (2003). A study of modularity operation of systems based on maintenance consideration. **Journal of Engineering Design**, 14/1, s. 41-56.
- Tsai, C. Y. ve Chang, A. S. (2012). Framework for developing construction sustainability items: the example of highway design. **Journal of Cleaner Production**, 20/1, s. 127-136.
- Uddin, M. J., Luva, R. H., ve Hossian, S. M. M. (2013). Impact of organizational culture on employee performance and productivity: A case study of telecommunication sector in Bangladesh. **International Journal of Business and Management**, 8/2, s. 63-77.
- UİBGS (2018). Tekstil sektörü ve Bursa. Uludağ İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterliği
- Ulrich, K. T. ve Eppinger, S. D. (2012). **Product design and development**. New York: McGraw-Hill, beşinci basım.

- Unger, B. N., Kock, A., Gemünden, H. G., ve Jonas, D. (2012). Enforcing strategic fit of project portfolios by project termination: An empirical study on senior management involvement. **International Journal of Project Management**, 30/6, s. 675-685.
- Usman, A., Chakraborty, A. ve Chuan, K. C. (2006). Comparative study of DFSS in product and service innovation. In **Proceedings Asian Network for Quality Congress 2006 Singapore**, ANQ, Singapore, s.1-11.
- Uz Zaman, U. K., Rivette, M., Siadat, A., & Baqai, A. A. (2018). Integrated design-oriented framework for Resource Selection in Additive Manufacturing. **Procedia Cirp**, 70, s. 96-101.
- Valentinčič, J., Brissaud, D. ve Junkar M. (2007). A novel approach to DFM in toolmaking: a case study. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 20/1, 28-38
- Valeri, S. G. ve Trabasso, L. G. (2003). Identification and analysis of cost elements of the DFX techniques. **17th International Congress of Mechanical Engineering**, November 10-14, 2003, São Paulo, s. 1-10.
- Vattamparambil Nalan, V., ve Satheesan, S. (2020). Life Cycle Perspective in relation to ISO 14001: 2015 and associated impacts of Design For Environment (DFE) and Sustainable development.
- Vezzoli, C., Ceschin, F., Osanjo, L., M'Rithaa, M. K., Moalosi, R., Nakazibwe, V., ve Diehl, J. C. (2018). Design for sustainability: An introduction. In *Designing Sustainable Energy for All: Sustainable Product-Service System Design Applied to Distributed Renewable Energy* (s. 103-124). Cham: Springer International Publishing.
- Vicente, J, Frazão, R, ve Moreira da Silva, F. (2011). Ecodesign tools: One basis to operationalize sustainable des. **Proceedings of the VI International Congress on Design Research**, s. 1-4.
- Vicente, J., ve Camocho, D. (2024). Design for Sustainability Tools: Definition and criteria towards practical use. *Journal of Cleaner Production*, 479, 144041.
- Vongbunyong, S. ve Chen, W. H. (2015). **Disassembly automation: Automated systems with cognitive abilities**. Springer International Publishing-Switzerland.
- Vuletich, C. (2013). We are disruptive': New practices for textile/fashion designers in the supply hain. **10th European Academy of Design Conference-Crafting the Future**, 17-19 April, In Göteborg, s. 1-10.
- Wallin, J. (2009). Conceptual Design for Robustness. Master Tezi, Lulea University of Technology, Lulea, Switzerland.
- Wang H., Ma K. ve Blaabjerg F. (2012). Design for reliability of power electronic systems. **Proceedings of the 38th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2012)**, 25-28 October, 2012. Montreal, QC, Canada, s. 33-44.

- Wang, J. H., Chang, Y. C., ve Chiu, W. H. (2013). Customer involvement in the process innovation: Antecedents, mediation and performance. **35th DRUID Celebration Conference 2013**, June 17-19, Barcelona, Spain, s. 1-33
- Warner, M. J., Pyle, L. K., ve Lory, K. (1998). Çabuk İyileşmek İçin. **Executive Excellence**, 2/20, s. 21-22.
- Watson, B. ve Radcliffe, D. (1998). Structuring design for x tool use for improved utilization. **Journal of Engineering Design**, 9/3, s. 211-223.
- Weber, G.N. (2006). Looking at “DFX” and “product maturity” from product and product development processes. **Design Teory**, s. 85-101.
- Weiss, B. M., Rönnbäck, A. Ö., Laufer, R., ve Clauss, M. (2023). Design for X: Enabling the Reuse of Space Hardware? **Proceedings of the Design Society**, 3, s. 1257-1266.
- Whitney, D.E. (2004). **Mechanical assemblies – their design, manufacture, and role in product development**. New York, USA, Oxford University Press, Inc. 517.
- Wickett, J. L., Gaskill, L. R. ve Damhorst, M. L. (1999). Apparel retail product development: Model testing and expansion, **Clothing and Textiles Research Journal**, 117, s. 21-35
- Willskytt, S. (2021). Design of consumables in a resource-efficient economy—a literature review. *Sustainability*, 13(3), 1036.
- Wolff, F., Weyer, D., Papachristou, C., ve Clay, S. (2021). Design for reliability: Tradeoffs between lifetime and performance due to electromigration. **Microelectronics Reliability**, 117, 114025.
- Wongdeethai, A. (2006). **The development of modern management tools and their specific requirements for the assessment of recyclability of products**. Doktora Tezi, BTU Cottbus-Senftenberg.
- Woolman T. ve Veshagh A. (2006). Designing support for manufacturing smes approaching ecodesign and cleaner production - learning from UK survey results. **13th CIRP International Conference On Life Cycle Engineering**, 31 May- 2 June, Hervelee-Belgium, s. 281-286.
- Wuesta, T. Wellsandt S. (2016). Design and development of product service systems (PSS)- Impact on product lifecycle perspective, **Procedia Technology**, 26, s. 152 – 161
- Xiao, X., Roy, R., Omidyeganeh, M., ve Furnari, F. (2025). Industrial Metaverse design methodologies: A comprehensive literature review. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, s. 1-31.
- XiaoChuan, C. (2004). The relationship between design for environment (DFE) and design for cost (DFC). **In World Engineer's Convention**, Vol. G, s. 293-296.
- XiaoChuan, C., Jianguo, Y., Beizhi L. ve Xin-an F. (2004). Methodology and technology of design for cost (DFC). **Proceedings of the 5th World**

- Congress on Intelligent Control and Automation**, June 15-19, Hangzhou, P.R. China, s. 2834-2840.
- Xie, S.Q., Tu, P.L. ve Zhou, Z.D. (2004). Internet-based DFX for rapid and economical tool/mould making. **Int J Adv Manuf Technol**, 24, s. 821–829.
- Yang K. ve El-Haik B. (2003). **Design for Six Sigma: A roadmap for product development**. McGraw-Hill, New York.
- Yang, C.C., Chen, S.H. ve Shiau, J.Y. (2007). A DFX and concurrent engineering model for the establishment of a new department in a university. **International Journal of Production Economics**, 107/1, s. 179–189.
- Yang, J., Liu, B., Shu, D., Yang, Q., ve Hu, T. (2025). Vehicle giga-casting Al alloys technologies, applications, and beyond. **Journal of Alloys and Compounds**, 1013, 178552.
- Yang, C., Yuan, B., Yan, C., Huang, Z., Zhang, Y., ve Wan, Y. (2025). A product form generative green design method based on consumer aesthetic preference. **Research in Engineering Design**, 36(2), 6.
- Yayla, Y., Yıldız, A. ve Akyüz, B. (2009). İşletmenin örgütsel özellikleri ile ürün geliştirme ekiplerinin başarısı arasındaki ilişkinin incelenmesi: seramik sektöründe bir saha araştırması. **İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 8/16, s. 13-30.
- Yazıcıoğlu, E. ve Erdoğan, S. (2014). **SPSS uygulamalı bilimsel araştırma yöntemleri**. Gözden Geçirilmiş Yenilenmiş 4. Baskı, Ankara: Detay Yayıncılık.
- Yeh, T. M., Pai, F. Y. ve Yang, C. C. (2010). Performance improvement in new product development with effective tools and techniques adoption for high-tech industries. **Quality & Quantity**, 44/1, s.150-152.
- Yeniçeri, T. ve Erten, E. (2008). Mağaza sadakat programlarının algılanması, güven, ilişkiyi sürdürme isteği ve mağaza sadakati arasındaki ilişkilerin yapısal eşitlik modeli ile incelenmesi. **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, 9 /2, s. 232-247.
- Yılmaz, V. (2004). Consumer behavior in shopping center choice. **Social Behavior and Personality: An International Journal**, 32/8, s. 783-790.
- Ying, W. (2013). **Investigation of the competitiveness of a textile and apparel manufacturer: a case study in Taiwan**. Doktora Tezi, the University of Manchester, Manchester, England.
- Yoo, J. ve Frankwick, G. L. (2012). New product development capabilities and new product performances: Moderating role of organizational climate. **Journal of Global Scholars of Marketing Science**, 22/1, s. 83-100.
- Youssef, M. A. (1994). Design for manufacturability and time-to-market, part 1: theoretical foundations. **International Journal of Operations & Production Management**, 14/12, s.6-21.

- Yu, C., Yan, T., ve Chen, Y. (2025). Meta-X design: from tools to partners in human-machine co-creation for industry 5.0. **Journal of Engineering Design**, s. 1-28.
- Zhai, Y., Sun, Y., Li, Y., ve Tang, S. (2023). Design for assembly (DFA) evaluation method for prefabricated buildings. **Buildings**, 13, 2692.
- Zhang Q., (2014). **Process Modeling of Innovative Design using Systems Engineering**, Doktora Tezi, Strasbourg Üniversitesi, Strasbourg, Fransa.
- Zhang, L., Zhan, Y., Liu, Z.F., Zhang, H.C. ve Li B.B. (2011). Development and analysis of design for environment oriented design parameters. **Journal of Cleaner Production** 19, s. 1723-1733.
- Zheng, X., He, Y., Liao, R., ve Yu, S. (2024). Reliability oriented key quality characteristics driven integrated built-in reliability activity chain and approach for manufacturing process. **Computers & Industrial Engineering**, 191, 110166.
- Ziemke, M. C., ve Spann, M. S. (1993). Concurrent engineering's roots in the World War II era. **In Concurrent Engineering**, s. 24-41.
- Zonnenshain, A., ve Kenett, R. S. (2020). Quality 4.0—the challenging future of quality engineering. *Quality engineering*, 32(4), s. 614-626.

İnternet Kaynakları

Assembly Mag (2007). *Successful Design For Assembly*.

<https://www.assemblymag.com/articles/84711-successful-design-for-assembly>.

Erişim Tarihi: 18.06.2023

DFMA.com. (2025). DFMA Case Study: Redesigned POS Terminal.

<https://www.dfma.com/blog/dfma-case-study-redesigned-POS-terminal.asp>.Erişim Tarihi: 16.04.2025

IDEXX Case Study (2010). *Simplifying Veterinary Device Relieves Maturing Product Symptoms*. <https://www.dfma.com/resources/idexx.asp>. Erişim Tarihi: 18.06.2023

ITT Case Study (2013). *ITT Slashes Valve Costs by 76%*. <https://www.dfma.com/resources/itt.asp>. Erişim Tarihi: 18.06.2023

Fractory. (2021). Design for X (DFX) | 10 Approaches of DFX Explained. <https://fractory.com/design-for-x-dfx/>. Erişim Tarihi: 18.06.2023

NCR Voyix Case Study (2025). *Redesigned POS Terminal*.

<https://www.dfma.com/blog/dfma-case-study-redesigned-POS-terminal.asp>.

Erişim Tarihi: 16.04.2025

Ube Construction Technology. (2025). *What is DfMA (and what does it mean for construction)?* <https://www.ube.ac.uk/whats-happening/articles/what-is-dfma/>. Erişim Tarihi: 12.07.2025

- Decos HealthTech. (2024). *Boost Product Development Efficiency with DFMA Principles*. <https://healthtech.decos.com/en/resources/blog/design-manufacturing-and-assembly-optimizing-product-development>. Erişim Tarihi: 12.07.2025
- Forbes.** (2026). How AI May Reshape Sustainability Efforts In 2026. *Forbes Sustainability Insights*. <https://www.forbes.com/sites/shookabidarian/2026/01/09/how-ai-may-reshape-sustainability-efforts-in-2026/>. Erişim Tarihi: 15.02.2026
- World Economic Forum.** (2026). Why making AI sustainable by design is key to a greener future. *WEF Climate Action*. <https://www.weforum.org/stories/2026/02/designing-sustainable-ai-better-future/>. Erişim Tarihi: 15.02.2026
- SBS Group. (2025). Innovate Logistics: CSR Report 2025. SBS Holdings. https://www.sbs-group.co.jp/sbshlds/pdf/sbshlds_csrreport2025fulltext_eng.pdf. Erişim Tarihi: 22.04.2025
- UniformMarket. (2025). Global Apparel Industry Statistics 2025. [\[https://www.uniformmarket.com/statistics-2025\]](https://www.uniformmarket.com/statistics-2025), Erişim Tarihi: 15.07.2025
- Textile World. (2024). Textile Supply Chain Trends Of 2024 And Predictions For 2025. [\[https://www.textileworld.com/trends-2025\]](https://www.textileworld.com/trends-2025), Erişim Tarihi: 15.07.2025
- Textile Exchange. (2025). Materials Market Report 2025. [\[https://textileexchange.org/materials-report-2025\]](https://textileexchange.org/materials-report-2025), Erişim Tarihi: 15.07.2025
- EURATEX. (2025). EU Textile & Clothing Industry Outlook 2024–2025. [\[https://euratex.eu/reports/outlook-2025\]](https://euratex.eu/reports/outlook-2025), Erişim Tarihi: 15.07.2025
- McKinsey & Company. (2025). Beyond the headlines: How trade agreements are reshaping business. <https://www.mckinsey.com/capabilities/geopolitics/our-insights/beyond-the-headlines-how-trade-agreements-are-reshaping-business>, Erişim Tarihi: 20.10.2025

- Ticaret Bakanlığı. (2025). Ekonomik Görünüm Aralık 2025 Raporu. [\[https://ticaret.gov.tr/ekonomik-gorunum-2025\]](https://ticaret.gov.tr/ekonomik-gorunum-2025), Erişim Tarihi: 03.01.2026
- İHKİB. (2025). Hazır Giyim ve Konfeksiyon Sektörü 2025 İhracat Bilgi Notu. İstanbul Hazır Giyim ve Konfeksiyon İhracatçıları Birliği. <https://www.ihkib.org.tr/content/files/uploads/4170/hazir-giyim-ve-konfeksiyon-sektoru-2026-subat-ihracat-bilgi-notu.pdf>, Erişim Tarihi: 03.01.2026
- TİM. (2025). İhracat 2025 Raporu. Türkiye İhracatçılar Meclisi. https://tim.org.tr/files/downloads/Strateji_Raporlari/Ihracat2025Raporu.pdf, Erişim Tarihi: 03.01.2026
- Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2025). Türkiye Yeşil Sanayi Projesi 2025 Yılı Faaliyet Raporu. [\[https://tgip.sanayi.gov.tr/rapor-2025\]](https://tgip.sanayi.gov.tr/rapor-2025), Erişim Tarihi: 03.01.2026
- ÇSGB. (2025). Ulusal İstihdam Stratejisi (2025-2028). Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. <https://www.csgeb.gov.tr/Media/t0bomvck/ulusal-istihdam-stratejisi-2025-2028.pdf>, Erişim Tarihi: 03.01.2026
- AKİB. (2025). Hazır Giyim ve Konfeksiyon Sektörü 2025 İhracat Raporu. Akdeniz İhracatçı Birlikleri. <https://www.akib.org.tr/files/documents/2025/Bilgi%20Merkezi/2025%20KASIM%20AYI%20HAZIR%20GIYIM%20VE%20KONFEKSİYON%20İHRACAT%20RAPORU.pdf>, Erişim Tarihi: 03.01.2026
- www.medicaldesignbriefs.com, Erişim Tarihi 04/02/2020
- URL-1. (https://en.wikipedia.org/wiki/Palmer_Luckey/) Erişim Tarihi 05.06.2022
- URL-2 <https://www.theguardian.com/technology/2014/may/12/sonys-project-morpheus-virtual-reality-console-gaming> Erişim Tarihi 05.06.2022
- URL-3. <https://tech.fb.com/ar-vr/2019/08/the-story-behind-oculus-insight-technology/> Erişim Tarihi.05.06.2022

URL-4. <https://www.theverge.com/21437674/oculus-quest-2-review-features-photos/> Erişim Tarihi 05.06.2022

URL-5. <https://blogs.brighton.ac.uk/rb363/2015/04/11/marketing-success-virtual-reality/> Erişim Tarihi 05.06.2022

URL-6. <https://blogs.brighton.ac.uk/rb363/2015/04/11/marketing-success-virtual-reality/> Erişim Tarihi 05.06.2022

URL-7. (<https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2018/05/01/oculus-go-is-the-first-vr-gadget-you-might-actually-buy/>) Erişim Tarihi 05.06.2022

