ENDÜSTRİYEL TASARIMDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR:

TASARIM EĞİTİMİ, YAPAY ZEKÂ VE YENİLİKÇİ YÖNTEMLER

EDİTÖR
AYDIN ŞIK





BİDGE Yayınları

Endüstriyel Tasarımda Güncel Yaklaşımlar: Tasarım Eğitimi, Yapay Zekâ ve Yenilikçi Yöntemler

Editör: Prof. Dr. Aydın ŞIK

ISBN: 978-625-5474-61-2

1. Baskı
Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL
Yayınlama Tarihi: 2026-10-25
BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374
Yayın hakları © BİDGE Yayınları
www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com
Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.
Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara

ÖNSÖZ

Endüstriyel tasarım, teknolojik gelişmelerin, değişen kullanıcı beklentilerinin ve sürdürülebilirlik gereksinimlerinin etkisiyle sürekli gelişen, disiplinler arası bir çalışma alanıdır. Günümüzde tasarım, yalnızca ürünlerin biçimsel ve işlevsel özelliklerinin belirlenmesiyle sınırlı kalmamakta; kullanıcı deneyimi, yenilikçi teknolojiler, malzeme tercihleri, eğitim süreçleri ve bilimsel optimizasyon yöntemlerini de kapsayan bütüncül bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu kitap, endüstriyel tasarım disiplininin farklı boyutlarını ele alan dört özgün akademik çalışmayı bir araya getirmektedir. Kitapta, yapay zekâ ve oyunlaştırma teknolojilerinin ürün tasarımına sunduğu yeni olanaklar, soyut öğretim içeriklerinin fiziksel ve etkileşimli eğitsel materyallere dönüştürülmesi, renk, malzeme ve yüzey özelliklerini kapsayan CMF yaklaşımının tasarım süreçlerindeki önemi ve Taguchi deney tasarımı yönteminin ürün geliştirme ve kalite optimizasyonundaki uygulamaları incelenmektedir. Birbirini tamamlayan bu çalışmalar, endüstriyel tasarımın yaratıcı düşünce ile bilimsel yöntemleri buluşturan çok yönlü yapısını ortaya koymaktadır. Teknoloji, eğitim, kullanıcı deneyimi ve üretim süreçleri arasındaki ilişkilerin farklı bakış açılarıyla değerlendirilmesi, tasarım disiplininin güncel gelişmelerinin anlaşılmasına ve gelecekteki uygulamalarına yönelik yeni düşüncelerin geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Bu eserin, endüstriyel tasarım alanında çalışan akademisyenlere, araştırmacılara, tasarımcılara ve öğrencilere yararlı bir başvuru kaynağı olmasını temenni ediyorum. Kitabın hazırlanmasında

bilimsel bilgi ve deneyimlerini paylaşarak katkı sağlayan tüm bölüm yazarlarına teşekkür ediyor, çalışmanın endüstriyel tasarım alanındaki akademik birikime ve disiplinler arası araştırmalara katkıda bulunmasını diliyorum.

Prof. Dr. Aydın ŞIK Kitap Editörü

İÇİNDEKİLER

ENDÜSTRİYEL TASARIM PERSPEKTİFİNDEN YAPAY ZEKÂ VE OYUNLAŞTIRMA YAKINSAMASI 1
CEMİL YAVUZ, MEHMET ANAÇ

ENDÜSTRİYEL TASARIMDA CMF YAKLAŞIMI 19
TANER AŞÇI

ENDÜSTRİYEL TASARIM STÜDYOSUNDA SOYUT ÖĞRETİM İÇERİĞİNDEN FİZİKİ EĞİTSEL MATERYAL GELİŞTİRME SÜRECİNİN İNCELENMESİ 36
MEHMET ANAÇ, CEMİL YAVUZ

ÜRÜN TASARIMI GELİŞTİRMESİNDE TAGUCHI DENEY TASARIMININ UYGULANMASI 62
AYDIN ŞIK, TİNA BAHRAMİ, FULYA SARPER

BÖLÜM 1

ENDÜSTRİYEL TASARIM PERSPEKTİFİNDEN YAPAY ZEKÂ VE OYUNLAŞTIRMA YAKINSAMASI

CEMİL YAVUZ[1]
MEHMET ANAÇ[2]

Giriş

Endüstriyel Tasarım disiplininin, tarihsel süreç içerisinde biçim ve işlev odaklı bir yaklaşımdan, deneyim ve davranış odaklı bir paradigmaya doğru hızla evrildiği söylenebilir. Günümüzde fiziksel ürünlerin sadece fonksiyon odaklı olması veya görsel olarak güzel bir görünüme sahip olması, uzun vadeli kullanıcı etkileşimi, içsel motivasyon ve ürüne olan bağlılığın sağlanmasında büyük oranda yetersiz kalacaktır. Endüstriyel Tasarım disiplini, tarih boyunca temelde form ve işlev arasındaki optimum dengeyi arayan bir pratik olarak konumlansa da 21. Yüzyılın teknolojik devrimleri ve kullanıcı beklentilerindeki radikal değişimler ile nesne odaklı bu geleneksel yaklaşım davranış odaklı yeni bir paradigmaya doğru evrilmeye zorlanmaktadır.

Günümüzde fiziksel ürünlerin sadece ergonomik veya estetik açıdan kusursuz olması, kullanıcının o ürünle sürdürülebilir ve anlamlı bağ kurması için yeterli olmayacağı söylenebilir. Fiziksel

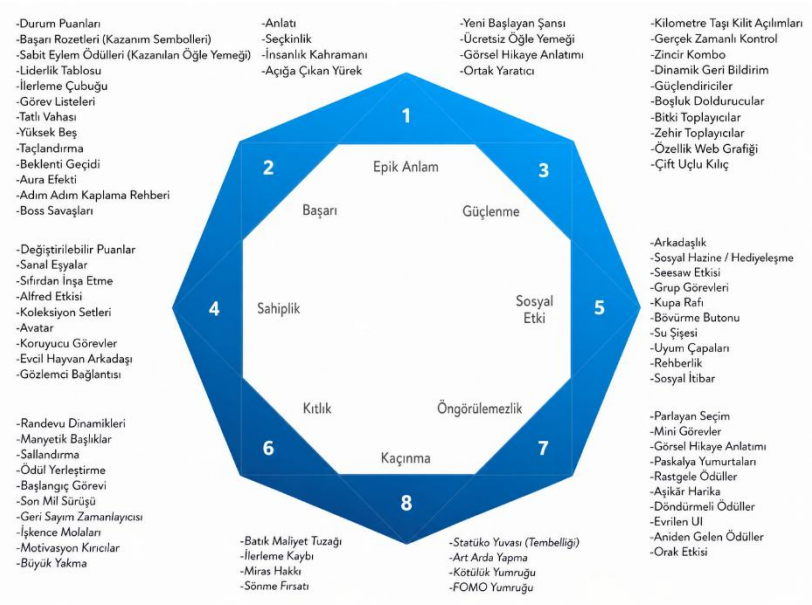
[1] Doç. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü, Orcid: 0000-0002-7715-3537
[2] Arş. Gör., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü, Orcid: 0000-0001-8237-4230

ürünler özelinde düşünülecek olursa kullanıma bağlı olarak zaman içerisinde motivasyon kaybı nedeniyle kullanıcı tarafından terk edilme riskiyle karşı karşıyadır. Bu bağlamda fiziksel ürünlerin kullanıcı ile kurduğu tek yönlü ilişkiyi karşılıklı diyaloğa dönüştüren iki kuvvetin yakınsaması ortaya çıkmaktadır: Yapay zekâ ve oyunlaştırma. İlk bakışta birbirinden bağımsız gibi duran iki farklı disiplin (yapay zekanın algoritmik, veriye dayalı yapısı ile oyunlaştırmanın davranışsal psikolojiye dayanan temelleri) bugün fiziksel ürün tasarımı ekseninde bir araya gelerek endüstriyel tasarımda yeni bir alan açmaktadır. Birinci nesil akıllı ürünler genellikle basit bir sensör-tepki kurgusu ya da mobil uygulama entegrasyonuyla kısıtlı kalırken; günümüzün yapay zekâ ve makine öğrenimi tabanlı sistemleri kullanıcı alışkanlıklarını ve fiziksel verileri okuyabilen, proaktif kararlar alabilen canlı ekosistemlere evrilmiş durumdadır.

Oyunlaştırma, en yalın haliyle oyun mekaniklerinin (puan, rozet, sıralama, hikâye, vb.) oyun dışı alanlara taşınması olarak bilinse de bu kurguyu fiziksel nesnelere entegre etmek dijital arayüzlere kıyasla çok daha fazla emek istemektedir. Dijital bir platformda kullanıcının her tıklaması kusursuzca izlenebilir; ancak fiziksel dünyada kullanıcının hedeflenen eylemi doğru yapıp yapmadığını saptamak ciddi bir gözlem gerektirir. Tam bu noktada devreye giren yapay zekâ (özellikle bilgisayarlı görü ve sensör füzyonu) fiziksel dünyadaki bu doğrulama boşluğunu dolduran temel güç haline gelmiştir. Artık nesneler sadece pasif birer veri toplayıcısı değil; elde ettikleri bu veriyi MDA (Mekanik-Dinamik-Estetik) ve Octalysis gibi çerçevelerle harmanlayarak anlık, fiziksel ve uyarlanabilir geri bildirimler (form değiştirme, ışık, dokunsal uyarılar) sunabilen aktif birer katılımcı haline gelmektedir. Octalysis Çerçevesi, Yu-kai Chou tarafından geliştirilen; insanların motivasyonunu Epik Anlam, Başarı, Kıtlık ve Merak gibi 8 Temel Dürtü ile ilişkilendiren, insan odaklı bir oyunlaştırma ve davranışsal

tasarım modelidir (Tılıç, 2020). Bu model, tasarımcılara insanların neden belirli bir eylemi gerçekleştirdiklerinin ardındaki temel dürtüyü göstermektedir. Böylece tasarımcılar, kullanıcıların sürekli etkileşim halinde kaldığı ürünler oluşturabilirler. Oyunlaştırma girişimlerinin çoğu daha ilk adımda başarısızlığa uğrayabilir. Ekipler sisteme puanlar, rozetler ve liderlik tabloları ekler, ancak belirli bir süre sonra kullanıcıların uzaklaşıp gittiğini görebilirler. Octalysis Çerçevesi ise insanların gönüllü olarak geri döndüğü her deneyimin ardında yatan 8 Temel Motivasyon Dürtüsü'nden yola çıkarak işe başlar (Şekil 1).

Şekil 1 Octalysis Çerçevesi



Kaynak: https://yukaichou.com/gamification-examples/octalysis-gamification-framework/

Bu teknolojik yakınsama, endüstriyel tasarımcılar için yeni bir alan açmakla birlikte oyunlaştırma dinamikleri gereği kullanıcıdan sürekli bir etkileşim ve zihinsel çaba istemektedir.

Bununla birlikte diğer taraftan Mark Weiser'ın kavramsallaştırdığı "Sakin Teknoloji" prensipleri de teknolojinin insanı yormamasını, çevresel algıda kalarak bilişsel yük yaratmamasını öğütlemektedir. Dolayısıyla, çağdaş endüstriyel tasarımcının rolünün artık sadece estetik bir form yaratmaya değil; bu iki zıt uç arasında denge kurabilen bir davranışsal deneyim kurgulayıcısı olmaya doğru evrildiğini söylemek yanlış bir tanım olmayacaktır.

Yapay zekâ destekli oyunlaştırma stratejilerinin fiziksel donanımlara nasıl entegre edildiğinin, nesnelerin insan davranışını şekillendirme gücünün ve tüm bu sürecin endüstriyel tasarım disiplinindeki metodolojik karşılıklarının sorgulandığı bu bölümde sağlık, eğitim, sürdürülebilirlik ve akıllı donanım sektörlerinden seçilen vaka örnekleri (akıllı diş fırçaları, rehabilitasyon aynaları vb.) üzerinden genel durumun analizi yapılacaktır.

Fiziksel Dünyada Oyunlaştırma Modelleri

MDA Çerçevesi

Oyunlaştırmanın sadece ekranlarla ilişkili bir kavram olmadığı, fiziksel ürünlerin formuna ve etkileşim senaryolarına nasıl aktarıldığı noktasında, oyun tasarımı bağlamında resmi ve kabul görmüş bir öneri çatısı altında birleştirme ihtiyacı, "Mekanikler-Dinamikler-Estetik" (Mechanics-Dynamics-Aesthetics / MDA) çerçevesinin geliştirilmesine yol açmıştır (Hunicke ve diğerleri, 2004). Bu çerçeve, oyunları anlamaya yönelik biçimsel ve yapısalcı bir yaklaşım sunarak; oyun tasarımı ve geliştirme, oyun eleştirisi ve teknik oyun araştırmaları arasındaki boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Buna göre oyunlar; kurallar, sistem ve eğlence olmak üzere üç öğeye ayrılabilir ve bunlar tasarım bileşenleri olarak şu şekilde karşılık bulur:

• Mekanikler: Oyunun, veri temsili ve algoritmalar düzeyindeki somut bileşenlerini tanımlar.

• Dinamikler: Mekaniklerin, oyuncu girdileri ve diğer çıktılar doğrultusunda, oyunun çalışma süresi boyunca sergilediği davranışları tanımlar.

• Estetik: Oyuncunun oyun sistemiyle etkileşime girdiğinde yaşadığı, arzu edilen duygusal tepkileri tanımlar.

Puan, rozet veya seviye gibi dijital "Mekaniklerin", fiziksel bir donanımda nasıl görsel, dokunsal veya form odaklı geri bildirimlere dönüştüğü incelenebilir. Ayrıca, "Dinamiklerin" kullanıcının nesneyle kurduğu ritmi nasıl şekillendirdiği ve "Estetiğin" (duygusal bağ, keşfetme dürtüsü) ürünün renk, malzeme ve yüzey özellikleriyle nasıl bütünleştiği ele alınabilir. Bunun yanı sıra deneyim perspektifinden bakıldığında, Deterding ve diğerleri (2011), kullanıcı deneyimi için gerekli olan oyun tasarımı eylemlerini farklı düzeylerde tanımlarlar: oyun arayüzü tasarım kalıpları, oyun tasarımı kalıpları ve mekanikleri, oyun tasarımı ilkeleri ve buluşsal yöntemleri, oyun modelleri ve oyun tasarımı yöntemleri. Calvillo-Gámez ve diğerleri (2010) ise, bir modelin bütünün yalnızca bir parçası olduğunu öne sürerler. Bu bağlamda, oyun oynarken olumlu bir deneyim sağlamak için tasarım sürecinde gerekli olan tüm bileşenlerin dikkate alınması önemlidir.

Endüstriyel tasarımda oyunlaştırmayı etkin bir şekilde uygulayabilmek için, mevcut teorik çerçevelerin fiziksel ürünlerin doğasına uygun olarak yeniden yorumlanması gerekmektedir. Yazılım dünyası için geliştirilen modeller, donanım tasarımının kısıtları ve fırsatları (malzeme, ergonomi, üç boyutluluk) ile harmanlanmalıdır. Tablo 1'de ürünle ilişkilendirmek açısından akıllı geri dönüşüm kutusu örneği üzerinden MDA bileşenlerinin etkisi ve tasarım karşılıkları aktarılmıştır.

Tablo 1. MDA bileşenlerinin ürün tasarımı üzerine etkileri

MDA Bileşeni	**Yazılım/Oyun Tanımı**	**Endüstriyel Tasarım Karşılığı**	**Örnek: Akıllı Geri Dönüşüm Kutusu**
Mekanikler	Oyunun kuralları ve algoritmaları.	Ürünün fiziksel işleyişi, sensör girdileri ve YZ algoritmaları.	Atığın kamera ile tanınması, kapak açılma hızı, doğrulama algoritması.
Dinamikler	Oyuncunun mekaniklerle etkileşimi sonucu ortaya çıkan davranış.	Kullanıcının ürünle fiziksel etkileşimi, ergonomik deneyim.	Kullanıcının çöpü doğru hazneye atma çabası, sistemin tepkisine göre davranışını düzeltmesi.
Estetik	Oyuncunun hissettiği duygusal tepki (eğlence, meydan okuma).	Ürünün biçimsel dili, malzeme kalitesi, dokunsal ve görsel geri bildirim.	Kutunun üzerindeki LED halkasının yeşil yanmasıyla oluşan başarı hissi, temiz ve gelecekçi görünüm.

Tablo 1'den de anlaşılacağı üzere, endüstriyel tasarımcının özellikle "Estetik" ve "Dinamikler" katmanında kritik bir role sahip olduğu söylenebilir. Yazılımdaki bir puan artışı (mekanik), fiziksel üründe tatmin edici bir klik sesi veya yumuşak bir titreşim (estetik) olarak ürüne yansıtılabilir.

İçsel Motivasyon ve Öz-Belirleme Kuramı

Oyunlaştırmanın sürdürülebilir olması için dışsal ödüllerin yanı sıra (puan, rozet) içsel motivasyona odaklanması da önem arz etmektedir. Tolks ve diğerlerine göre (2024) Öz-Belirleme Kuramı, üç temel psikolojik ihtiyaca vurgu yapar: Özerklik, Yetkinlik ve Sosyal aidiyet.

- Yetkinlik ve Fiziksel Ürün: Akıllı bir tenis raketi veya rehabilitasyon cihazı, kullanıcının hareketlerini analiz edip anlık düzeltmeler (titreşimle uyarı) verdiğinde, kullanıcı becerisinin geliştiğini hisseder. Yapay zekâ, burada kullanıcının yetkinlik seviyesini algılayarak zorluk derecesini dinamik olarak ayarlayan bir koç görevi görür (Web 1).

- Özerklik: Ürünlerin, kullanıcıyı zorlamak yerine seçenekler sunması daha etkili olacaktır. Örneğin, akıllı bir termostatın eko moda geçmesi için kullanıcıyı zorlaması yerine, enerji tasarrufu yaptığında ortam ışığını yumuşatması (görsel geri bildirim), kullanıcının kendi iradesiyle tasarruf yapmasını teşvik edecektir (Web 2).

- Sosyal aidiyet kavramını yeni nesil bağlantılı egzersiz ekipmanları (örn. akıllı bisikletler) üzerinden açıklamak gerekirse cihazın endüstriyel tasarımı ergonomik sınırları belirlerken, oyunlaştırma mekanikleri kullanıcıyı küresel bir sanal yarışın içine çeker. Yapay zekâ ise kişinin kondisyonuna en uygun, onu ne çok zorlayıp ne de sıkacak rakipleri ve antrenman gruplarını anlık olarak filtreler. Sonuç olarak kullanıcı sadece bir ürün kullanmaz; bir topluluğun aktif ve onaylanan bir üyesi haline gelir.

Octalysis Çerçevesi ve Donanım Tasarımı

Adını Octagen (Sekizgen) ve Analysis (Analiz) kelimelerinin birleşiminden alan Octalysis Modeli, Yu-kai Chou tarafından 2012 yılında hazırlanmıştır. Oyunlaştırma kavramı bu model çerçevesinde anlam, başarmak, güçlenmek, sahiplik, sosyal etki, azlık, belirsizlik ve kaçınma olmak üzere 8 kuvvete dayanmaktadır (Tılıç, 2020). Endüstriyel tasarımda bu kuvvetlerden bazılarının karşılıklarını örneklerle açıklamak gerekirse:

1. Epik Anlam: Sürdürülebilir ürünler (okyanus plastiğinden yapılmış ayakkabılar), kullanıcıyı "dünyayı kurtarma" misyonuna dahil eder (Resim 1).

Resim 1. Adidas firmasının okyanus atıklarından ürettiği ayakkabı



Kaynak:https://bigumigu.com/haber/adidas-okyanustaki-plastik-atiklardan-ayakkabi-yapti/

2. Gelişim ve Başarı: Akıllı bilekliklerin (Fitbit) titreşimle 10.000 adımı kutlaması.
3. Sahiplik: Kişiselleştirilebilir modüler ürünler (Lego benzeri mobilyalar veya değiştirilebilir kapaklar).
4. Azlık/Kıtlık: Sınırlı üretim tasarım objeleri veya sadece belirli bir başarı seviyesine ulaşan kullanıcıların erişebildiği özellikler.

Endüstriyel tasarımda oyunlaştırma türlerini ve yapay zekânın buradaki rolünü bir tablo ile özetlemek gerekirse (Tablo 2);

Tablo 2. Endüstriyel Tasarımda oyunlaştırma türleri

Oyunlaştırma Türü	**Tanım**	**Yapay Zekânın Rolü**	**Endüstriyel Tasarımın Rolü**	**Örnek Ürün**
Açık	Kullanıcı ürün aracılığıyla ekranda bir oyun oynar.	Girdiyi doğrular (Örn. fırçalama hareketi).	Kontrolcü ergonomi ve tutuş.	Pediatrik Akıllı Fırça (Web 4)
Ortamsal	Çevre/Ürün durumu skoru yansıtacak şekilde değişir.	Veri akışını analiz eder (Örn. enerji).	Işık/ekranın forma entegrasyonu.	Ambient Orb, KNX Aydınlatma (Web 6)
İçsel	Ürün işlevselliği beceriyle birlikte gelişir.	Dinamik Zorluk Ayarlaması.	Uyum sağlayabilir mekanik parçalar.	Akıllı Aynalar (Dowthwaite ve diğerleri, 2023).
Somut	Obje geri bildirim olarak şekil değiştirir.	Aktüatörleri veriye göre kontrol eder.	Yumuşak robotik, malzeme seçimi.	Şekil değiştiren musluk (Togler ve diğerleri (2009)

Teknolojik Olanaklar: Yapay Zekânın Rolü

Fiziksel dünyada oyunlaştırmanın en büyük engellerinden biri "doğrulama" sorunu olduğu söylenebilir. Dijital bir oyunda sistem, oyuncunun tuşa basıp basmadığını kesin olarak bilir. Ancak fiziksel dünyada, kullanıcının dişini gerçekten fırçalayıp fırçalamadığını veya geri dönüşüm kutusuna gerçekten plastik atıp atmadığını saptamak zordur. Bu noktada yapay zekâ, doğrulama açığını kapatarak fiziksel oyunlaştırmayı mümkün kılmaktadır. Eylemden ödüle oyunlaştırma döngüsünün çalışabilmesi için eylemin doğrulanması önemlidir.

- Oscar Sort veya Rematics gibi akıllı atık sistemleri, atılan nesnenin görüntüsünü analiz ederek kullanıcı doğru kutuya doğru nesneyi attığında, sistem bunu görür ve onaylar. Bu teknoloji sayesinde oyunlaştırma sadece kullanıcının beyanına dayalı kalmayıp, güvenilir ve hesaplanabilir bir sisteme dönüşmektedir (Web 3).

- Akıllı diş fırçalarından biri olan Feno, 6 eksenli jiroskop verilerini makine öğrenimi modelleriyle işleyerek fırçanın ağızdaki konumunu, açısını ve basıncını 3 boyutlu olarak haritalandırmaktadır. Bu sayede kullanıcıya "Sol üst arka dişini fırçalamadın" gibi hassas bir geri bildirim verebilmektedir (Web 4).

Resim 2. Feno isimli akıllı diş fırçası



Kaynak: https://feno.co/

- Kolu felçli olan hastalar için eXprt inovasyon ağı iş birliği ile geliştirilen akıllı eldiven, kaslardan gelen EMG sinyallerini makine öğrenmesi algoritmaları aracılığıyla analiz ederek, kullanıcının hangi hareketi yapmak istediğini %97 doğruluk oranıyla tahmin edip eldiveni ona göre çalıştırmaktadır. Bu, kullanıcının motivasyonunu kaybetmesini engellemeye yardımcı olmaktadır (Web 5).

Endüstriyel Tasarım Stratejileri: Somut Arayüzler ve Çevresel Etkileşim

Oyunlaştırma kavramının en büyük eleştirilerinden bir tanesi sürekli dikkat talep etmesidir. Başlangıçta eğlenceli ve motive edici gelen mekanikler (puanlar, seviyeler), bir süre sonra kullanıcı üzerinde bir zorunluluk ve rutin iş hissi yaratabilir. Sürekli sistemi takip etme zorunluluğu da bireyde bıkkınlığa neden olabilir. Ekran yorgunluğunun arttığı günümüzde, endüstriyel tasarımcıların görevlerinden bir tanesi de oyunlaştırmayı ekranlardan çıkararak nesnenin kendisine veya mekâna yaymaktır. Bu noktada somut kullanıcı arayüzleri ve çevresel zekâ kavramları öne çıkmaktadır.

- Işıkla İletişim: Akıllı ev sistemlerinde (KNX, Philips Hue), enerji tüketim verisi renk kodlarıyla (Yeşil=Düşük Tüketim, Kırmızı=Yüksek Tüketim) evin aydınlatmasına yansıtılır. Bu durumu "Çevresel Oyunlaştırma" olarak nitelendirmek yanlış bir tanım olmayacaktır. Kullanıcı aktif olarak bir ekrana bakmazken, odanın atmosferi kullanıcıya oyunun durumunu (enerji tasarrufu skorunu) hissettirmektedir (Web 6).

- Google Haritalar / Trafik Raporları: Akıcı trafik için mavi, yoğun trafik için kırmızı renklerin kullanıldığı bu sistem, sezgisel renk geri bildirimlerinin kararları nasıl yönlendirebileceğine dair örnek olarak verilebilir.

Sturdee ve diğerlerine göre (2017) teknoloji, yüzey ile malzemenin kusursuz ve biçimlendirilebilir bir arayüzde birleşmesine olanak tanıdığı takdirde, ortaya çıkacak prototiplerin ne anlama geleceği ise araştırmacıların üzerinde kafa yorduğu bir konu olmaya devam edecektir. Gelecekteki uygulama alanlarına dair tartışmalar sıkça gündeme gelmekte; bu kapsamda oyun dünyası, verilerin fizikselleştirilmesi, robotik evcil hayvanlar ve çok amaçlı giysiler gibi çeşitli öneriler sunulmaktadır. Ishii ve diğerleri (2012), şekil değiştiren arayüzlere yönelik vizyon odaklı bir tasarım sürecini inceleyen bir projenin parçası olarak "Perfect Red" adını verdikleri bir malzeme önermişlerdir. Bu çalışma, hem kil benzeri bir yapıda olan hem de geometrik şekillere tam oturma veya ayrı parçaları birleştirme gibi hesaplamalı nitelikler taşıyan bir malzeme fikrini ortaya koymaktadır.

- Fizikselleşen Veri: Bir aktivite takip cihazının, günlük hedef tamamlandığında şişerek dokusal bir değişikliğe uğraması veya bir kahve masasının üzerindeki kumların yapay zekâ tarafından çizilen desenlerle değişmesi (3G Zen Table) fizikselleşen veriye örnek olarak verilebilir (Web 7).

- Thrifty Faucet Konsepti (Resim 3): Bu musluk tasarımı, su israfı yapıldığında fiziksel formunu değiştirerek (daralarak veya formu bozularak) su akışını zorlaştırmaktadır. Bu, ceza mekaniğinin tamamen fiziksel form üzerinden uygulandığı bir oyunlaştırma örneği olarak verilebilir (Rasmussen ve diğerleri, 2012).

Resim 3. Thrifty Faucet Konsepti



Kaynak: Togler ve diğerleri (2009)

- Giyilebilir Teknolojiler: Duruş bozukluğunu düzelten akıllı kıyafetler, kullanıcı kambur durduğunda hafifçe titreşerek duruşunu düzeltmesini sağlamaktadır. Bu, somut bir oyun mekaniğine örnek olarak gösterilebilir (Ul Rehman, 2025).

Sektörel Uygulama Analizleri ve Vaka Çalışmaları

Yapay zekâ, oyunlaştırma, endüstriyel tasarım ekseninde teorik ve teknolojik altyapının belirli sektörlerde nasıl ürüne dönüştüğü, tablo üzerinden aktarılacaktır (Tablo 3).

Tablo 3. Farklı sektörlerdeki Vaka Örnekleri

Vaka Örneği	Teknoloji/Mekanizma	Yapay Zekâ Katkısı/ Oyunlaştırma Etkisi
Akıllı Aynalar ve İnme Rehabilitasyonu	Akıllı aynalar, bilgisayarlı görü ile hastanın hareketlerini takip eder. Ayna yüzeyinde, hastanın yansımasının üzerine oyun elementleri (sanal hedefler, puanlar) iliştirilir.	Endüstriyel tasarım açısından ürünün tıbbi cihaz gibi değil, şık bir ev mobilyası gibi görünmesi, kişinin hasta psikolojisinden çıkıp "oyuncu" psikolojisine girmesini sağlayacaktır (Dowthwaite ve diğerleri, 2023).
Vocabuild (etiketli fiziksel harf blokları)	Çocuklar kelimeleri fiziksel blokları yan yana getirerek oluşturur. Yapay	Somut arayüzler, çocuğun kelime öğrenme hızını analiz ederek, sunulan

	zekâ destekli sistem, doğru kelimeyi algıladığında ekranda o kelimenin görselini veya animasyonunu gösterir.	fiziksel blokların zorluk seviyesini ayarlayabilmektedir (Web 8).
Robotik Mobilyalar	Ori Living gibi (Web 9) yerden tasarruf sağlayan, dönüştürülebilir mobilyalar; entegre teknolojiler ve amaca hizmet eden mekanizmalar sayesinde küçük yaşam alanlarını optimize eder.	Kullanıcı, mekanı oyun alanı olarak görerek bir uygulama veya sesli komut üzerinden yatak odasının modunu ofis moduna dönüştürebilir. Yapay zekâ, mekanı verimli kullanma noktasında tasarımcıya öneriler sunabilir.

Medikal, eğitim ve mobilya gibi üç farklı alandaki verilen örnek uygulamalardan yola çıkarak yapay zekâ ve oyunlaştırmanın fiziksel ürünlere entegrasyonu inovatif çözümler sunsa da tasarımcıların çözmesi gereken yeni etik ve pratik sorunları da beraberinde getirmektedir.

Weiser ve Brown (1997) tarafından ortaya atılan ve teknolojiyi yaşamımıza entegre etmeyi amaçlayan "Sakin Teknoloji" ilkesinin üç temel göstergesi bulunmaktadır. Kullanıcıların dikkatini asgari düzeyde talep ederek, onların bakış açısını zenginleştiren, çevresel algısını artıran ve kullanıcılara aşinalık hissi veren teknolojinin göze batmaması ve sadece ihtiyaç duyulduğunda bilgi vermesi gerektiğini savunmaktadır. Ancak oyunlaştırma, felsefesi gereği kullanıcılardan katılım talep eder. Sürekli geri bildirim amaçlı ışıkları yanıp sönen bir akıllı ev, kullanıcıda stres ve bildirim yorgunluğu yaratabilir. Sakin teknoloji çerçevesinden bakıldığında geri bildirimlerin rahatsız edici değil, bilgilendirici olması gerekmektedir. Örneğin, su şişesinin (HydriQ) sadece kullanıcı gerçekten susuz kaldığında (Yapay zekâ

tahminiyle) parlaması, sürekli yanıp sönmesinden daha etkili olabilir (Mohan ve Sarkar, 2025). Fiziksel bir ürün olan diş fırçası kullanıcıya "kötü fırçaladın" demesi durumunda, kullanıcı bu kararın neye göre verildiğini anlamayabilir. Yapay zekâ algoritmaları genellikle şeffaf olmayabilir. Bu noktada tasarımcı, arayüz veya fiziksel geri bildirim yoluyla yapay zekanın karar mekanizmasını görünür kılmalıdır. Hangi bölgenin eksik kaldığını harita üzerinde göstermek, sadece kötü fırçaladın denmesine göre daha güven verici olacaktır (Sun ve diğerleri, 2023).

Oyunlaştırma içeren ürünlerde batarya, sensör, işlemci gibi donanımlar bulunmaktadır. Geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik düşünüldüğünde bu donanımlar, ürünün kullanım ömrünü etkileyebilir. Dolayısıyla tasarımcıların fiziksel ürünleri tasarlarken döngüsel tasarım prensiplerine uygun hareket ederek; modüler parçalara sahip, donanımların kolay sökülebildiği, tamir hakkına izin veren, gövdenin geri dönüştürülebilir malzemelerden yapıldığı ürünler geliştirmeleri olası pratik sorunların da önüne geçecektir.

Sonuç ve Genel Değerlendirme

Yapay zekâ ve oyunlaştırmanın endüstriyel tasarımla kesişimi, ürün tasarımını statik bir disiplinden dinamik, davranışsal bir bilime dönüştürmektedir. Bu araştırmanın ortaya koyduğu üzere, sadece bir ekrana sahip ürünler değil, zekanın ve oyunun malzemenin ve ürünün kendisine işlendiği somut etkileşime sahip ürünler geleceğin dünyasını şekillendirecektir.

Endüstriyel tasarımcılar artık sadece malzemeye şekil vermemekte; veri akışını, motivasyon döngülerini ve kullanıcı davranışlarını şekillendirmektedir. Bu yeni rolde başarılı olmak için tasarımcıların, yapay zekanın doğrulama yeteneğini, oyunlaştırmanın motivasyonel gücünü ve endüstriyel tasarımın somut gerçekliğini (ergonomi, malzeme, estetik) sentezleyen bütüncül bir yaklaşım benimsemeleri büyük önem arz etmektedir.

Kaynakça

Calvillo-Ga´mez, E. H., Cairns, P., Cox, A. L. (2010). Assessing the core elements of the gaming experience. In R. Bernhaupt (Ed.), Evaluating user experience in games: Concepts and methods (47–72). London: Springer. Doi:10.1007/978-3-319-15985-0_3

Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining gamification. In Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments (pp. 9–25). Doi:10.1145/2181037.2181040

Dowthwaite, L., Cruz, G. R., Pena, A. R., Pepper, C., Jäger, N., Barnard, P., Hughes, A. M., Nair, R. D., Crepaz-Keay, D., Cobb, S., Lang, A., & Benford, S. (2023). Examining the Use of Autonomous Systems for Home Health Support Using a Smart Mirror. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, *11*(19), 2608. https://doi.org/10.3390/healthcare11192608

Hunicke, R., LeBlanc, M., Zubek, R. (2004). MDA: A formal approach to game design and game research. In D. Fu & J. Orkin (Eds.) Proceedings of the challenges in Game AI Workshop, nineteenth national conference on artificial intelligence, San Jose, California (4). Menlo Park, CA: AAAI Press.

Ishii, H., Lakatos, D., Bonanni, L., Labrune, J. B. (2012). Radical atoms: beyond tangible bits, toward transformable materials. interactions, *19*(1), 38-51.

Mohan, S., Sarkar, R. (2025). HydriQ: Revolutionizing Hydration with AI-Powered Smart Technology for Optimal Health and Wellness.

Rasmussen, M. K., Pedersen, E. W., Petersen, M. G., & Hornbæk, K. (2012, May). Shape-changing interfaces: a review of

the design space and open research questions. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 735-744).

Sturdee, M., Coulton, P., Alexander, J. (2017). Using Design Fiction to Inform Shape-Changing Interface Design and Use, The Design Journal, 20: sup1, S4146-S4157, Doi: 10.1080/14606925.2017.1352913

Sun, L., Li, Z., Zhou, Z., Lou, S., Li, W., & Zhang, Y. (2023). Towards the conceptual design of ML-enhanced products: the UX value framework and the CoMLUX design process. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, *37*, e13. doi:10.1017/S0890060422000270

Tılıç, G. (2020). Eğitimde Dijitalleşme Kapsamında Oyunlaştırma Kavramı. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, *26*, 671-695. https://izlik.org/JA35HL29XW

Togler, J., Hemmert, F., & Wettach, R. (2009). Living interfaces: the thrifty faucet. *International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*.

Tolks D, Schmidt J, Kuhn S. (2024). The Role of AI in Serious Games and Gamification for Health: Scoping Review. JMIR Serious Games. Doi: 10.2196/48258

Ul Rehman, S. (Ed.). (2025). *Wearable Devices and Smart Technology for Educational Teaching Assistance*. Chapter 2 Wearables and AISmart Technologies: Transforming the Education Sphere. IGI Global Scientific Publishing. https://doi.org/10.4018/979-8-3693-7817-5

Web 1. Gamification AI – Everything You Need To Know - Centrical, Erişim tarihi Ekim 08, 2026, https://centrical.com/resources/gamification-ai/

Web 2. The Psychology of Smart Home Design - Green.org, erişim tarihi Ekim 08, 2026, https://green.org/2024/01/30/the-psychology-of-smart-home-design/

Web 3. Oscar Sort - Your AI Recycling Assistant — Intuitive AI, erişim tarihi Ekim 09, 2026, https://intuitiveai.ca/oscar-sort

Web 4. Smart Toothbrush Features: AI & Benefits | Blog - Feno, erişim tarihi Ekim 09, 2026, https://feno.co/blogs/smart-toothbrushes/the-benefits-of-ai-enhanced-toothbrushes

Web 5. Felçli El Yeniden Tutuyor: Kas Sinyallerini Okuyan Akıllı Eldiven, erişim tarihi Ekim 10, 2026, https://bilimkapsul.tr/article.php?id=12962

Web 6. The Magical Way Colored LEDs Influence Energy Behavior - Learnify X - Hello World Labs, erişim tarihi Ekim 10, 2026, https://www.helloworlde.com/blog/the-magic-of-how-colored-led-lights-can-change-energy-behavior

Web 7. High-Tech Serenity Gardens : 3G Zen Coffee Table - Trend Hunter, erişim tarihi Ekim 11, 2026, https://www.trendhunter.com/trends/3g-zen-coffee-table

Web 8. Vocabuild: An Accessible Augmented Tangible Interface for Gamified Vocabulary Learning of Constructing Meaning - arXiv, erişim tarihi Ekim 11, 2026, https://arxiv.org/html/2509.11027v1

Web 9. Ori Living Konsepti, erişim tarihi Ekim 12, 2026, https://www.orionred.com/portfolio/ori-living/

Weiser, M., Brown, J.S. (1997). The Coming Age of Calm Technology. In: Beyond Calculation. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0685-9_6

BÖLÜM 2

Endüstriyel Tasarımda CMF Yaklaşımı

Taner AŞÇI[1]

Giriş

Küresel pazarlarda ürün çeşitliliğinin artması ve teknolojik farklılaşmanın azalması, tasarımın kullanıcı tercihleri üzerindeki etkisini daha görünür hâle getirmiştir. Kullanıcılar günümüzde ürünleri değerlendirirken işlevsel performans, estetik özellikler, algılanan kalite ve ürünle kurdukları duygusal ilişki gibi çok boyutlu ölçütleri dikkate almaktadır. Bu çerçevede renk, malzeme ve yüzey özellikleri, ürün deneyimini şekillendiren temel unsurlar olarak ön plana çıkmaktadır. Endüstriyel tasarım alanında giderek daha fazla önem kazanan CMF (Color, Material, Finish) yaklaşımı, ürünün teknik işlevlerinden bağımsız olarak kullanıcı tarafından algılanan değerini ve kimliğini oluşturan temel tasarım bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Karana et al., 2014).

CMF kavramı, ilk bakışta ürünün görsel özelliklerine odaklanan bir tasarım alanı olarak algılansa da, kapsamı estetik boyutun ötesine uzanmaktadır. Renk, malzeme ve yüzey özelliklerine ilişkin kararlar; ürünün kullanım deneyimini, ergonomik performansını, sürdürülebilirlik düzeyini, üretim süreçlerini ve marka algısını doğrudan etkileyen stratejik tasarım bileşenleri olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle CMF tasarımı, estetik niteliklerin belirlenmesinin yanı sıra teknik, ekonomik ve kullanıcı odaklı gereksinimlerin bütüncül biçimde ele alınmasını gerektirmektedir. Özellikle tüketici elektroniği, otomotiv, mobilya, beyaz eşya ve kişisel ürünler gibi rekabetin yoğun olduğu sektörlerde CMF, ürünlerin farklılaştırılmasında ve marka kimliğinin güçlendirilmesinde önemli bir araç olarak kullanılmaktadır (Ashby & Johnson, 2014).

Geleneksel endüstriyel tasarım yaklaşımında renk ve malzeme seçimleri, çoğunlukla ürün geliştirme sürecinin son aşamalarında ele alınan estetik unsurlar olarak değerlendirilmiştir. Günümüzde ise CMF yaklaşımı, ürün geliştirme sürecinin başlangıcından itibaren tasarım stratejisinin temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu değişimin temelinde, kullanıcıların ürünlerle kurdukları ilişkinin büyük ölçüde görsel ve dokunsal deneyimlere

[1] Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mimarlık ve Güzel Sanatlar Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü, Dr. Öğr. Üyesi, Email: tanerasci@aybu.edu.tr, Orcid: 0000-0001-5452-2670

dayanması yer almaktadır. Teknik özellikler satın alma kararlarında önemli bir rol oynasa da, kullanıcıların ürün hakkında oluşturdukları ilk algı çoğunlukla renk, malzeme ve yüzey özellikleri üzerinden şekillenmektedir (Norman, 2004)

Özellikle deneyim ekonomisinin gelişmesiyle birlikte günümüz tüketicilerinin ürünlerden işlevsel faydanın dışında kullandıkları ürünlerin belirli yaşam tarzlarını temsil etmesini, kişisel kimliklerini yansıtmasını ve duygusal bağ kurulabilecek niteliklere sahip olmasını beklemektedir. Öyle ki CMF tasarımı estetik tercihler, marka stratejileri, kullanıcı deneyimi ve duygusal tasarım yaklaşımlarının kesişim noktasına yerleşmiştir (Schifferstein & Hekkert, 2008). CMF tasarımının önem kazanmasında malzeme teknolojilerindeki gelişmeler önemli bir rol oynamıştır. İleri polimer teknolojileri, nanoteknolojik yüzey uygulamaları, biyomalzemeler ve akıllı malzemeler, tasarımcılara geçmişe kıyasla daha geniş ve esnek tasarım olanakları sunmuştur. Bu gelişmeler doğrultusunda malzemeler yapısal performanslarının yanında ışıkla etkileşimleri, dokunsal nitelikleri, yaşlanma süreçleri, sürdürülebilirlik özellikleri ve kullanıcıda oluşturdukları algısal etkiler bakımından da değerlendirilmektedir (Karana et al., 2015). Bunun yanında sürdürülebilirlik odaklı tasarım yaklaşımlarının yaygınlaşması ise CMF alanının kapsamını daha da genişletmiştir. Günümüzde malzeme seçimleri; estetik ve teknik gerekliliklerin yanı sıra çevresel etkiler, geri dönüştürülebilirlik, karbon ayak izi ve döngüsel ekonomi ilkeleri çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu nedenle CMF tasarımı, ürünlerin çevresel performansını iyileştirmeye katkı sağlayan stratejik bir tasarım aracı olarak değerlendirilmektedir (Chapman, 2015).

CMF kavramının tarihsel gelişimi, teorik temelleri ve endüstriyel tasarım içerisindeki rolü bu bölümde incelenmekte, renk, malzeme ve yüzey bileşenlerinin kullanıcı algısı, marka kimliği, sürdürülebilirlik ve dijital tasarım süreçleri üzerindeki etkileri güncel literatür ışığında değerlendirilmektedir. Ayrıca gelişen malzeme teknolojileri ve yapay zekâ destekli tasarım yaklaşımlarının CMF alanında ortaya çıkardığı yeni fırsatlar tartışılarak gelecekteki araştırma ve uygulama alanlarına yönelik bir çerçeve sunulmaktadır.

CMF Kavramının Tanımı, Kapsamı ve Tarihsel Gelişimi

Endüstriyel tasarım pratiği içerisinde ürünlerin kullanıcılarla kurduğu ilişkinin önemli bir bölümü görsel ve dokunsal algılar üzerinden şekillenmektedir. Kullanıcılar bir ürünün teknik özelliklerini deneyimlemeden önce onun rengi, malzemesi ve yüzey karakteri ile karşılaşmakta ve ürün hakkında ilk değerlendirmelerini büyük ölçüde bu özelliklere dayanarak oluşturmaktadır. Bu nedenle günümüzde ürün tasarımının sadece form ve işlev ekseninde değerlendirilmesi yeterli görülmemekte, ürünün algısal ve deneyimsel boyutlarını oluşturan bileşenler de tasarım sürecinin temel unsurları arasında kabul edilmektedir. CMF yaklaşımı bu gereksinimlerden doğmuş ve zamanla endüstriyel tasarımın bağımsız uzmanlık alanlarından biri hâline gelmiştir.

CMF, en genel anlamıyla bir ürünün renk özelliklerini, malzeme seçimlerini ve yüzey niteliklerini sistematik biçimde planlayan ve yöneten tasarım yaklaşımı olarak tanımlanabilir. Ancak bu tanım, kavramın günümüzde ulaştığı kapsamı açıklamak için yeterli değildir. Modern CMF anlayışı bir ürünün hangi renkte veya hangi malzemeden üretileceği sorularına cevap aramakla kalmamakta, aynı zamanda kullanıcı algısının nasıl şekilleneceği, ürünün hangi duygusal çağrışımları oluşturacağı, marka kimliğinin nasıl aktarılacağı ve sürdürülebilirlik

hedeflerinin nasıl destekleneceği gibi çok katmanlı tasarım problemleriyle ilgilenmektedir (Karana et al., 2014). Günümüzde CMF tasarımı, ürün geliştirme süreçlerinde mühendislik, malzeme bilimi, üretim teknolojileri, pazarlama ve kullanıcı deneyimi araştırmalarıyla birlikte çalışan disiplinler arası bir faaliyet olarak görülmektedir. Özellikle küresel pazarlarda teknik özellikleri birbirine yakın ürünlerin çoğalması, ürün farklılaştırmasında CMF kararlarının önemini artırmıştır. Nitekim birçok kullanıcı için iki ürün arasındaki tercih, teknik performans farklılıklarından çok ürünün algılanan kalitesi, malzeme hissi ve görsel karakteri üzerinden şekillenmektedir (Ashby & Johnson, 2014).

CMF yaklaşımının tarihsel kökenleri incelendiğinde, bu alanın ortaya çıkışının sanayi devrimi sonrası gelişen endüstriyel üretim sistemleriyle doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. El üretiminin egemen olduğu geleneksel üretim sistemlerinde malzeme ve yüzey kararları büyük ölçüde ustaların deneyimlerine dayanmakta ve ürünlerin kimliği kullanılan doğal malzemeler tarafından belirlenmekteydi. Ahşap, taş, deri, seramik ve metal gibi malzemeler çoğunlukla doğal görünümleriyle kullanılmakta, yüzey işlemleri ise koruma veya süsleme amacı taşımaktaydı. Bu dönemde günümüzdeki anlamıyla sistematik bir CMF yaklaşımından söz etmek mümkün değildir. Çünkü ürünlerin estetik kimliği ile teknik yapısı arasında belirgin bir ayrım bulunmamaktaydı. Yüzyılın sonlarında seri üretim tekniklerinin gelişmesiyle birlikte ürünlerin biçimsel ve görsel özellikleri teknik gerekliliklerden ayrışmaya başlamıştır. Özellikle metal işleme teknolojilerinin ilerlemesi ve yeni boya sistemlerinin geliştirilmesi sayesinde ürünlerin görünümleri üretim süreçlerinden daha bağımsız biçimde tasarlanabilir hâle gelmiştir. Bununla birlikte erken endüstriyel dönemde estetik kararların hâlen mühendislik kararlarının gölgesinde kaldığı görülmektedir. Ürün geliştirme süreçlerinde öncelik işlevsellik, dayanıklılık ve üretim verimliliğine verilirken, renk ve yüzey özellikleri çoğu zaman ikincil unsurlar olarak değerlendirilmiştir (Forty, 2007).

Yüzyılın başlarında ortaya çıkan modernist tasarım hareketleri, malzeme ve yüzey anlayışında önemli dönüşümlere yol açmıştır. Özellikle Bauhaus ekolü, malzemenin dürüst kullanımı ve üretim süreçlerinin görünür kılınması gerektiğini savunmuştur. Walter Gropius, Marcel Breuer ve Ludwig Mies van der Rohe gibi tasarımcıların çalışmalarında malzemenin doğal karakterinin korunmasına özel önem verilmiştir. Bu dönemde geliştirilen “malzeme doğruluğu” anlayışı, günümüzdeki CMF tasarımının teorik temellerinden biri olarak kabul edilmektedir (Droste, 2019). Modernist yaklaşımın etkisiyle tasarımcılar, ürünlerin yüzeylerini süsleme aracı olarak görmek yerine malzemenin özünü ortaya çıkaran bir unsur olarak değerlendirmeye başlamışlardır.

1950’li ve 1960’lı yıllarda tüketim toplumunun yükselişiyle birlikte renk kavramı pazarlama stratejilerinin önemli bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. Otomotiv ve ev elektroniği sektörlerinde farklı renk seçenekleri sunmak, ürünlerin pazarda farklılaştırılması için yaygın biçimde kullanılan yöntemlerden biri olmuştur. Bu dönemde tasarımcılar ürünün işlevi ile birlikte kullanıcıların yaşam tarzlarını ve duygusal beklentilerini de dikkate almaya başlamışlardır. Özellikle Amerikan endüstriyel tasarımında renk trendleri ile tüketici davranışları arasındaki ilişki yoğun biçimde araştırılmıştır (Heskett, 1980). 1970'li ve 1980'li yıllara gelindiğinde postmodern tasarım yaklaşımlarının etkisiyle renk ve yüzey kararları yeni anlamlar kazanmıştır. Tasarımcılar ürünlerin aynı zamanda kültürel ve sembolik nesneler olduğunu vurgulamaya başlamışlardır. Bu süreçte renklerin ve malzemelerin kullanıcı kimliği

üzerindeki etkileri daha görünür hâle gelmiştir. Alessi (Alessi, 2026) gibi firmalar, gündelik ürünleri duygusal ve kültürel anlamlar taşıyan tasarım nesnelerine dönüştürerek CMF tasarımının deneyim boyutunu ön plana çıkarmıştır. 1990'lı yıllardan itibaren ise bilgisayar destekli tasarım sistemlerinin yaygınlaşması ve küresel rekabetin artması, CMF alanının kurumsallaşmasını hızlandırmıştır. Bilhassa otomotiv sektöründe kullanıcı beklentilerinin çeşitlenmesi, CMF uzmanlarının ürün geliştirme ekiplerine dâhil edilmesini gerekli kılmıştır. Bu dönemde renk trendleri, malzeme yenilikleri ve yüzey teknolojileri üzerine çalışan profesyonel ekipler ortaya çıkmış ve CMF tasarımı ayrı bir uzmanlık alanı olarak tanımlanmaya başlanmıştır. Günümüzde otomotiv sektöründe kullanılan birçok renk sistemi ve yüzey teknolojisi, CMF araştırma ekipleri tarafından uzun yıllar süren geliştirme süreçleri sonucunda oluşturulmaktadır. Çağımızda CMF tasarımı, kullanıcı deneyimi ve duygusal tasarım yaklaşımlarıyla daha yakın ilişki kurmaya başlamıştır. Özellikle Norman'ın (2004) duygusal tasarım kuramı, kullanıcıların ürünlere yönelik değerlendirmelerinde estetik ve duyusal özelliklerin merkezi bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Bu tespit CMF tasarımcılarının görsel niteliklerle ve ürünlerin uyandırdığı duygularla da ilgilenmelerine yol açmıştır. Böylece malzeme deneyimi, dokunsal kalite ve algılanan değer gibi kavramlar CMF literatürünün temel araştırma alanları hâline gelmiştir. Sonuçta malzeme seçimleri de yeni bir perspektifle ele alınmaya başlanmıştır. Geleneksel yaklaşımda malzemeler çoğunlukla mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinden değerlendirilirken, günümüzde kullanıcıların malzemelerle kurduğu duyusal ve duygusal ilişkiler de tasarım sürecinin önemli girdileri arasında yer almaktadır. Karana vd. malzeme deneyimi kavramını geliştirerek malzemelerin kullanıcıda oluşturdukları anlamlar ve hislerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini savunmuşlardır. Böylece CMF tasarımı mühendislik merkezli bir faaliyet olmaktan çıkıp insan odaklı tasarımın önemli bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Karana et al., 2015).

Son yıllarda sürdürülebilirlik eksenli yaklaşımlar da CMF alanının kapsamını genişletmiştir. Döngüsel ekonomi, biyobazlı malzemeler, geri dönüştürülmüş hammaddeler ve düşük karbonlu üretim yöntemleri, günümüz CMF çalışmalarının temel araştırma konuları arasında yer almaktadır. Özellikle ürünlerin kullanım ömrünü uzatan yüzey teknolojileri ve yaşlandıkça estetik değer kazanan malzeme stratejileri, sürdürülebilir tasarım yaklaşımlarıyla doğrudan ilişkilendirilmektedir (Chapman, 2015). Bugün gelinen noktada CMF tasarımı, ürünün estetik görünümünü belirleyen ikincil bir faaliyet olmaktan çıkmış ve kullanıcı deneyimi, marka kimliği, algılanan kalite, üretim teknolojileri ve sürdürülebilirlik hedeflerini bir araya getiren stratejik bir tasarım alanına dönüşmüştür.

CMF Tasarımında Algı, Duygu ve Anlam Üretimi

CMF tasarımının gelişiminde bilişsel psikoloji, çevresel psikoloji, ürün semantiği, duyusal tasarım ve kullanıcı deneyimi araştırmalarının önemli katkıları bulunmaktadır. Çünkü kullanıcıların ürünlerle kurdukları ilişki açısından görsel, dokunsal ve duygusal deneyimler de ürün değerlendirmelerinin ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır. Dolayısıyla CMF tasarımının teorik temelleri, insan algısının ürünlerle nasıl etkileşime geçtiğini açıklayan disiplinler arası bir bilgi alanı üzerine kuruludur. Endüstriyel tasarım literatüründe uzun yıllar boyunca ürünlerin teknik performansları ve işlevsel yeterlilikleri ön planda tutulurken, 1980'li yıllardan itibaren kullanıcı merkezli tasarım yaklaşımlarının gelişmesiyle birlikte ürünlerin nasıl

deneyimlendikleri hususu bir araştırma konusu hâline gelmiştir. CMF tasarımının ürün geliştirme süreçlerinde daha görünür bir rol üstlenmesine zemin hazırlayan bu süreçte kullanıcıların ürünlere ilişkin ilk değerlendirmeleri çoğu zaman teknik özelliklerden önce renk, malzeme ve yüzey özellikleri üzerinden oluşmaktadır (Crilly et al., 2004).

Algı Kuramları ve Ürün Deneyimi

CMF tasarımının temelinde insan algısının çalışma prensipleri yer almaktadır. Algı, çevreden gelen duyusal verilerin seçilmesi, organize edilmesi ve anlamlandırılması süreci olarak tanımlanmaktadır (Goldstein, 2014). Bir kullanıcı yeni bir ürünle karşılaştığında ürünün biçimi, rengi, yüzey karakteri ve malzeme özellikleri duyusal sistemler aracılığıyla değerlendirilir ve bu değerlendirme sonucunda ürün hakkında zihinsel bir temsil oluşturulur.

Algısal değerlendirmelerde ilk izlenimin önemi özellikle dikkat çekicidir. Kullanıcıların bir ürün hakkındaki ilk değerlendirmelerini birkaç saniye içinde oluşturdukları bilinmektedir. Bu kısa zaman diliminde teknik performansın değerlendirilmesi mümkün olmadığından kullanıcılar çoğunlukla görsel ipuçlarına başvurmaktadırlar. Renk tonları, yüzey parlaklığı, malzeme görünümü ve işçilik kalitesi gibi CMF bileşenleri bu ilk değerlendirmelerde belirleyici rol üstlenmektedir (Bloch, 1995).

Gestalt psikolojisi CMF tasarımının anlaşılmasında önemli kuramsal araçlardan biridir. Gestalt yaklaşımına göre bireyler çevrelerindeki nesneleri parçalar hâlinde değil, bütüncül yapılar olarak algılarlar. Bu nedenle bir ürünün rengi, malzemesi ve yüzeyi birbirinden bağımsız unsurlar olarak değil, bütünleşik bir algısal sistem olarak değerlendirilmektedir (Lidwell et al., 2010). Başarılı CMF uygulamalarında renk, malzeme ve yüzey kararlarının uyumlu bir bütün oluşturmasının temel nedeni de budur.

Görsel Algı ve Renk Psikolojisi

CMF tasarımında en güçlü iletişim araçlarından biri renktir. Renk, ürün ile kullanıcı arasındaki ilk temas noktalarından biri olarak işlev görmekte ve kullanıcıların ürün hakkında hızlı yargılar geliştirmesine olanak tanımaktadır. Renklerin psikolojik etkileri uzun yıllardır farklı disiplinlerde araştırılmakta olup, belirli renklerin belirli duygusal çağrışımlar oluşturduğu genel olarak kabul edilmektedir (Elliot & Maier, 2014). Renkler farklı kültürlerde farklı anlamlara sahip olabilirken, bazı ortak eğilimlerden söz etmek mümkündür. Mavi tonları güvenilirlik, sakinlik ve profesyonellik ile ilişkilendirilirken; kırmızı enerji, hareket ve dikkat çekicilik kavramlarıyla ilişkilendirilmektedir. Siyah çoğu kültürde güç, prestij ve lüks algısı yaratırken beyaz temizlik, sadelik ve saflık çağrışımları üretmektedir. Bu nedenle birçok marka renk stratejilerini oluştururken hedef kullanıcı kitlesinin psikolojik ve kültürel özelliklerini dikkate almaktadır.

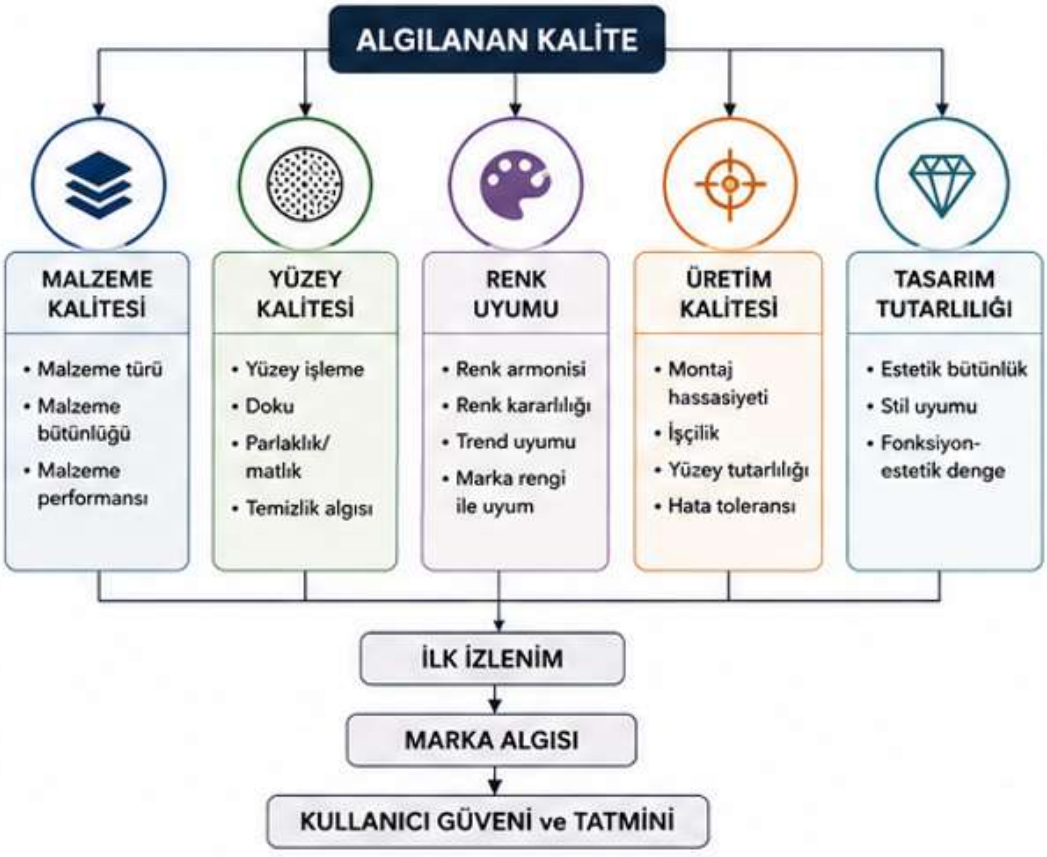
Endüstriyel tasarım bağlamında renk estetik bir tercih olduğu kadar ürün semantiğinin önemli bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Kullanıcılar renkleri ürün kategorileriyle ilişkilendirebilmektedir. Örneğin tıbbi ekipmanlarda beyaz ve açık tonların kullanımı hijyen algısını desteklerken, endüstriyel makinelerde koyu gri ve metalik tonlar dayanıklılık ve teknik yeterlilik algısı oluşturmaktadır. Benzer şekilde çevre dostu ürünlerde yeşil tonların kullanımı sürdürülebilirlik mesajının aktarılmasına katkı sağlamaktadır (Heller, 2009). Bunun yanında

renk tercihleri satın alma davranışlarını etkileyebilmekte, kullanıcıların ürün kalitesine ilişkin değerlendirmelerini değiştirebilmekte ve marka sadakatini güçlendirebilmektedir.

Dokunsal Algı ve Malzeme Deneyimi

İnsanların çevreleriyle kurdukları ilişkinin önemli bir bölümü dokunma duyusu aracılığıyla gerçekleşmektedir. Ürünlerle fiziksel temas kurulduğunda kullanıcılar biçimsel özellikleri yanında sıcaklık, sertlik, pürüzlülük, esneklik ve ağırlık gibi çok sayıda özelliği eş zamanlı olarak değerlendirmektedir. Bu nedenle malzeme seçimi kullanıcı deneyimini de doğrudan etkileyen bir tasarım kararıdır. Karana vd. (2014),'e göre malzemeler başlı başına teknik özellikleriyle açıklanamaz. Kullanıcılar malzemelerle çok katmanlı ilişkiler kurmaktadır (Karana et al., 2014). Araştırmacılar bu ilişkiyi "malzeme deneyimi" kavramı ile açıklamaktadır. Malzeme deneyimi, malzemenin fiziksel özelliklerinin ötesinde kullanıcıda oluşturduğu duyusal, duygusal ve anlamsal etkileri kapsamaktadır. Dokunsal algının ürün değerlendirmeleri üzerindeki etkisi özellikle algılanan kalite kavramı ile ilişkilidir. Kullanıcılar çoğu zaman ürünün gerçek teknik performansını ölçememelerine rağmen malzeme kalitesi üzerinden ürün hakkında genel bir kalite değerlendirmesi yapabilmektedirler. Yüzey düzgünlüğü, ağırlık hissi, montaj hassasiyeti ve dokunsal geri bildirimler bu değerlendirmelerde önemli rol oynamaktadır (Ashby & Johnson, 2014).

Şekil 1. *Algılanan kaliteyi etkileyen CMF faktörleri*



(Crilly et al., 2004); (Ashby & Johnson, 2014)[2]

[2] Çalışmada kullanılan görsellerin üretilmesinde yapay zekâ desteği kullanılmıştır.

Ürün Semantiği ve Anlam Üretimi

CMF tasarımı, duyusal deneyimlerle birlikte anlam üretme süreçlerinde de önemli rol oynamaktadır. Ürün semantiği kuramı, tasarlanmış nesnelerin kullanıcılarla sembolik bir iletişim kurduğunu savunmaktadır. Bu yaklaşıma göre ürünler sadece işlevlerini yerine getiren araçlar olmaktan ziyade belirli mesajlar taşıyan iletişim nesneleridir (Krippendorff & Butter, 1984). Renkler, malzemeler ve yüzey özellikleri bu iletişim sürecinin temel araçları arasında yer almaktadır. Bir otomobilin mat siyah yüzeyi ile yüksek parlaklığa sahip krom detayları farklı kullanıcı gruplarına farklı mesajlar iletebilmektedir. Benzer şekilde doğal ahşap kullanımı geleneksel ve sıcak bir kimliği temsil ederken, anodize alüminyum yüzeyler modernlik ve teknoloji çağrışımları oluşturabilmektedir. Krippendorff'a göre (2006), ürünlerin anlamları sadece tasarımcı tarafından belirlenmemektedir. Söz konusu anlamlar kullanıcıların yorumlama süreçleri sonucunda ortaya çıkmaktadır (Krippendorff K. , 2006). Dolayısıyla CMF tasarımında kültürel bağlam, kullanıcı profili ve kullanım senaryoları dikkate alınmadan alınan kararların beklenen anlamları üretmesi her zaman mümkün olmayabilmektedir.

Duygusal Tasarım ve CMF

CMF tasarımının en güçlü teorik dayanaklarından biri duygusal tasarım yaklaşımıdır. Norman (2004), kullanıcıların ürün tercihlerinde duygusal tepkilerinin belirleyici olduğunu ileri sürerek estetik ve duyusal özelliklerin kullanıcı memnuniyeti üzerindeki etkisini açıklayan önemli bir çerçeve sunmaktadır. Norman'ın modelinde ürün deneyimi üç düzeyde ele alınmaktadır: içgüdüsel (visceral), davranışsal (behavioral) ve yansıtıcı (reflective) düzeyler (Norman, 2004). CMF tasarımı özellikle içgüdüsel düzeyde etkili olmaktadır. Kullanıcıların, bir ürünün CMF özelliklerine verdikleri ilk tepki daha sonra ürünün kullanım deneyimini ve marka algısını da etkileyebilmektedir. Duygusal tasarım perspektifinden bakıldığında CMF kararları kullanıcıların ürüne bağlanmasını, ürünü daha uzun süre kullanmasını ve ürünle olumlu ilişkiler geliştirmesini destekleyebilmektedir. Sürdürülebilirlik açısından önemli olan bu durum, kullanıcıların duygusal bağ kurdukları ürünleri daha uzun süre kullanma eğiliminde olduklarına da işaret etmektedir (Chapman, 2015). Bu açıdan bakıldığında CMF tasarımı estetik ve sürdürülebilir ürün geliştirme stratejilerinin bir parçası olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak CMF tasarımının kuramsal temelleri; algı psikolojisi, renk psikolojisi, malzeme deneyimi, ürün semantiği, duygusal tasarım ve algılanan kalite kavramlarının kesişiminde yer almaktadır. Bu teorik altyapı, CMF'nin görsel bir tasarım uygulaması olmasının yanında kullanıcı deneyimini, marka algısını ve ürün başarısını etkileyen stratejik bir tasarım alanı olduğunu ortaya koymaktadır.

CMF Yaklaşımında Renk (Color) ve Endüstriyel Tasarım Uygulamaları

CMF yaklaşımının ilk ve çoğu zaman en görünür bileşeni renktir. Kullanıcıların bir ürünle karşılaştıklarında algıladıkları ilk özelliklerden biri olan renk, ürünün estetik karakterini belirlemenin ötesinde algılanan kalite, marka kimliği, kullanım amacı, duygusal çağrışımlar ve satın alma davranışları üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Birçok durumda kullanıcıların ürün hakkında oluşturdukları ilk değerlendirme, teknik performans veya ergonomik özelliklerden önce renk üzerinden şekillenmektedir. Bu nedenle endüstriyel tasarımda renk seçimi stratejik bir tasarım kararı olarak değerlendirilmektedir (Elliot & Maier, 2014).

Renk, fiziksel açıdan elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde yer alan ışık dalgalarının insan görme sistemi tarafından algılanması sonucu oluşmaktadır. Yaklaşık 380–780 nm dalga boyları arasındaki ışık enerjisi gözdeki koni hücreleri tarafından algılanmakta ve beyinde renk deneyimi olarak yorumlanmaktadır (Fairchild, 2013). Kullanıcı deneyimini şekillendiren bir iletişim aracı olarak renk dikkat çekme, farklılaştırma ve kimlik oluşturma gibi işlevleri yerine getirmektedir. Özellikle rekabetin yoğun olduğu ürün kategorilerinde renk, ürünlerin raf ortamında veya dijital satış platformlarında görünürlüğünü artıran önemli araçlardan biridir. Aynı teknik özelliklere sahip iki ürün arasında kullanıcı tercihlerini etkileyen temel unsurlardan biri çoğu zaman renk olmaktadır.

Renk ürünlerin kullanım amacını ve işlevlerini kullanıcıya aktarma vazifesi de görmektedir. Endüstriyel ekipmanlarda güvenlik uyarıları için kullanılan sarı ve kırmızı renkler, kullanıcıların tehlikeli bölgeleri hızlı biçimde tanımlamasını sağlamaktadır. Benzer şekilde sağlık sektöründe beyaz ve açık tonlar hijyen ve güven duygusunu desteklerken, çocuk ürünlerinde kullanılan canlı renkler eğlence ve hareketlilik algısı oluşturmaktadır (Heller, 2009). Benzer şekilde renk marka kimliği oluşturmada da etkili bir unsurdur. Kurumsal kimlikle bütünleşen renk kullanıcıların zamanla belirli renkleri belirli markalarla ilişkilendirmesine zemin hazırlamakta ve bu ilişki marka tanınırlığını artırmaktadır (Wheeler, 2018). Ayrıca renk unsuru kalite algısını desteklemekte ve kullanıcıyı bu yönde etkilemektedir. Özellikle koyu tonlar, metalik yüzeyler ve düşük doygunluklu renk paletleri birçok kullanıcı tarafından daha yüksek kalite algısıyla ilişkilendirilmektedir (Crilly et al., 2004).

Renk kuramının kökenleri antik dönemlere kadar uzanmakla birlikte modern renk teorisinin temelleri büyük ölçüde 17. ve 18. yüzyıllarda atılmıştır. Özellikle Isaac Newton tarafından gerçekleştirilen prizma deneyleri, beyaz ışığın farklı renk bileşenlerinden oluştuğunu ortaya koymuş ve modern renk biliminin başlangıcını oluşturmuştur. Johann Wolfgang von Goethe, renklerin psikolojik ve duygusal etkilerini inceleyerek renk kuramına farklı bir perspektif kazandırmıştır. Goethe'nin yaklaşımı fiziksel açıklamalardan ziyade insan deneyimine odaklanmış ve daha sonraki renk psikolojisi çalışmalarını etkilemiştir. Bauhaus okulunda görev yapan Johannes Itten, renk ilişkileri ve renk armonileri üzerine geliştirdiği sistematik yaklaşım ile tasarım eğitiminde hâlen kullanılan birçok temel kavramı ortaya koymuştur. Itten'in renk çemberi, tamamlayıcı renkler, sıcak-soğuk renk karşıtlıkları ve kontrast ilkeleri günümüz endüstriyel tasarım eğitiminde önemli yer tutmaktadır (Itten, 1970). Daha sonraki yıllarda Josef Albers, renk algısının bağlamsal niteliğini vurgulamış ve aynı rengin farklı çevresel koşullarda farklı biçimde algılanabileceğini göstermiştir. Bu çalışmalar CMF tasarımında renk kararlarını vermede ürünün bütünsel bağlamının değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur (Albers, 2013).

Renk biliminde renkler genellikle üç temel parametre üzerinden tanımlanmaktadır: ton (hue), doygunluk (saturation/chroma) ve açıklık-koyuluk değeri (value/lightness). Ton, rengin kırmızı, mavi, yeşil veya sarı gibi temel karakterini ifade etmektedir. Doygunluk, rengin saflık derecesini ve gri bileşen içeriğini göstermektedir. Açıklık-koyuluk değeri ise rengin ne kadar açık veya koyu göründüğünü tanımlamaktadır (Fairchild, 2013). Bu üç parametre tasarımcıların renkleri sistematik biçimde analiz etmelerine ve farklı uygulamalar arasında tutarlılık sağlamalarına yardımcı olmaktadır. Özellikle ürün ailelerinin tasarımında ve marka renklerinin geliştirilmesinde bu parametreler kritik öneme sahiptir.

Endüstriyel tasarım uygulamaları açısından bakıldığında renkler çok boyutlu bir rol oynamaktadır. Üretim süreçlerinde farklı malzemeler ve farklı üretim teknolojileri kullanıldığından renklerin standartlaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla Pantone, RAL, NCS gibi renk sistemleri geliştirilmiştir. Özellikle tüketici elektroniği, kozmetik ve ambalaj sektörlerinde Pantone renkleri tasarımcılar ile üreticiler arasında ortak iletişim dili oluşturmak amacıyla kullanılırken RAL sistemi özellikle mimarlık, endüstriyel ürünler ve otomotiv sektörlerinde yaygın biçimde kullanılmaktadır. NCS yaklaşımı ise renklerin insanlar tarafından nasıl algılandığını temel alması nedeniyle özellikle tasarım ve mimarlık alanlarında tercih edilmektedir (Hård & Sivik, 2001).

Günümüzde CMF tasarımında küresel üretim ağlarında renk tutarlılığının sağlanabilmesi için sayısal renk ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu tarafından geliştirilen CIELAB renk uzayı günümüzde en yaygın kullanılan renk ölçüm sistemlerinden biridir. Bu sistemde renkler üç eksen üzerinden tanımlanmaktadır:

L*: Açıklık-koyuluk değeri

a*: Kırmızı-yeşil ekseni

b*: Sarı-mavi ekseni

Bu sistem sayesinde renk farklılıkları matematiksel olarak hesaplanabilmektedir. Renk farklılıklarının değerlendirilmesinde kullanılan ΔE (Delta E) değeri, iki renk arasındaki algısal farkın sayısal karşılığını ifade etmektedir. Özellikle otomotiv ve tüketici elektroniği sektörlerinde ΔE değerleri kalite kontrol süreçlerinin temel göstergeleri arasında yer almaktadır (Sharma, 2003).

Hangi renk sistemine ait olduğu ve hangi matematiksel karşılığa denk geldiği dikkate alınmaksınız renklerin anlamları kültürler arasında önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Batı kültürlerinde beyaz genellikle saflık ve temizlik ile ilişkilendirilirken, bazı Doğu Asya toplumlarında yas ve ölümle ilişkilendirilebilmektedir. Benzer şekilde kırmızı renk Çin kültüründe şans ve refahı temsil ederken, bazı Batı toplumlarında tehlike veya uyarı anlamları taşıyabilmektedir (Heller, 2009).

Genel olarak bakıldığında renk, CMF tasarımının görsel boyutu ile birlikte kullanıcı deneyimini, marka algısını, ürün semantiğini ve pazar başarısını etkileyen çok katmanlı bir tasarım bileşenidir. Renk kuramı, psikoloji, kültür, teknoloji ve üretim süreçlerinin kesişiminde yer alan bu alan, endüstriyel tasarımın en stratejik karar mekanizmalarından biri olarak değerlendirilmektedir.

CMF Tasarımında Malzeme (Material) Deneyimi

Tarih boyunca tasarım ve üretim süreçleri büyük ölçüde mevcut malzemelerin sunduğu olanaklar tarafından şekillendirilmiştir. Taş Çağı, Tunç Çağı ve Demir Çağı gibi tarihsel dönemlerin doğrudan malzeme isimleriyle anılması bu ilişkinin en belirgin göstergelerinden biridir. İnsanlık tarihi boyunca yeni malzemelerin keşfi ile birlikte üretim teknikleri, ürün çeşitliliği, kültürel yaşam ve estetik anlayışlar da değişmiştir. Sanayi Devrimi ile birlikte demir, çelik ve cam gibi malzemelerin seri üretime uygun biçimde kullanılabilmesi, modern tasarım anlayışının gelişmesinde belirleyici rol oynamıştır. Özellikle 20. yüzyılın ilk yarısında ortaya

çıkan modernist tasarım hareketleri, malzemeyi tasarımın temel belirleyicilerinden biri olarak değerlendirmiştir. Bauhaus ile birlikte malzeme dürüstlüğü tasarımın temel ilkelerinden biri hâline gelmiştir (Droste, 2019).

CMF yaklaşımının üç temel bileşeni arasında da malzeme, ürünün hem fiziksel varlığını hem de kullanıcı deneyimini doğrudan şekillendiren en kapsamlı unsur olarak değerlendirilmektedir. Renk ve yüzey özellikleri çoğu zaman malzeme üzerinden tanımlanırken, ürünün yapısal performansı, üretilebilirliği, ekonomik değeri, sürdürülebilirlik düzeyi ve kullanıcı algısı büyük ölçüde malzeme seçimlerine bağlı olarak gelişmektedir. Bu nedenle endüstriyel tasarım literatüründe malzeme, mühendislik gereksinimlerini karşılayan teknik bir unsur, ürünün kimliğini, anlamını ve deneyimsel karakterini oluşturan temel tasarım girdilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Tasarımcı açısından tasarım sürecinin her aşamasında malzemelere ilişkin bilgi gereklidir ancak gerekli bilginin niteliği ve düzeyi, aşamaya bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik göstermektedir (Ashby & Johnson, 2014).

Geleneksel mühendislik yaklaşımlarında malzeme seçimi çoğunlukla mekanik dayanım, sertlik, yoğunluk, aşınma direnci ve maliyet gibi kriterler üzerinden değerlendirilmiştir. Ancak son otuz yılda tasarım araştırmalarında yaşanan dönüşüm, malzemelerin teknik özelliklerini aşarak boyut değiştirdiğini ortaya koymuştur. Kullanıcıların malzemeleri bir fiziksel nesneden çok belirli anlamlar, duygular ve çağrışımlar taşıyan deneyimsel unsurlar olarak algıladıkları anlaşılmıştır. Elde edilen bu deneyim günümüzde malzeme seçiminin, birçok boyutta ele alınmasına zemin hazırlamıştır (Karana et al., 2014).

Endüstriyel tasarım uygulamalarında kullanılan malzemeler genel olarak metaller, polimerler, seramikler, kompozitler, doğal malzemeler ve ileri teknoloji malzemeleri olmak üzere çeşitli gruplara ayrılmaktadır (Ashby M. F., 2011). Bu noktada metaller yüksek mekanik dayanımları, uzun kullanım ömürleri ve geri dönüştürülebilir yapıları nedeniyle endüstriyel tasarımın temel malzeme gruplarından biridir. Çelik, alüminyum, titanyum ve magnezyum alaşımları otomotivden tüketici elektroniğine kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle anodize alüminyum yüzeyler günümüzde yüksek kalite ve teknolojik gelişmişlik algısı oluşturan önemli CMF bileşenleri arasında yer almaktadır. Polimerler ise düşük yoğunlukları, kolay şekillendirilebilir olmaları ve ekonomik üretim avantajları nedeniyle yaygın biçimde kullanılmaktadır. ABS, polikarbonat, polipropilen ve poliamid gibi mühendislik plastikleri birçok tüketici ürününün temel malzemesini oluşturmaktadır. Son yıllarda geri dönüştürülmüş polimerler ve biyobazlı plastikler de sürdürülebilir tasarım uygulamalarında önem kazanmıştır.

Tasarım malzemesi olarak seramikler, yüzey kalitesi ve dokunsal özellikleri gibi avantajlarının yanında yüksek sıcaklık dayanımları, sertlikleri ve kimyasal dirençleri nedeniyle özellikle sağlık, mutfak ekipmanları ve elektronik sektörlerinde tercih edilmektedir. Bunun yanında kompozit malzemeler ise farklı malzemelerin üstün özelliklerini bir araya getirmeyi amaçlayan yapılardır. Karbon fiber takviyeli polimerler, cam elyaf kompozitler ve doğal lif takviyeli biyokompozitler yüksek performans gerektiren uygulamalarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ayrıca ahşap, bambu, mantar ve doğal lifler gibi biyolojik kökenli malzemeler son yıllarda sürdürülebilir tasarım yaklaşımlarının etkisiyle yeniden önem kazanmıştır. Bu malzemeler çevresel avantajları yanında kullanıcıların doğal ve sıcak olarak algıladıkları

duyusal özellikleri nedeniyle de tercih edilmektedir. Malzeme araştırmaları ile ortaya çıkan "malzeme deneyimi" kavramı malzemelerin Duyusal, Yorumsal, Duygusal ve Performans deneyimi olmak üzere dört temel düzeyde değerlendirilmesini ifade etmektedir.

Duyusal deneyim, malzemenin görsel ve dokunsal özellikleriyle ilişkili iken yorumsal deneyim kullanıcının malzemeye yüklediği anlamları ifade etmektedir. Bunun yanında duygusal deneyim, malzemenin kullanıcıda oluşturduğu hislerle ilişkilidir. Bazı malzemeler güven duygusu yaratırken bazıları heyecan, prestij veya nostalji hissi oluşturabilmektedir. Performans deneyimi ise malzemenin kullanım sırasında sergilediği davranışlarla ilgilidir. Dayanıklılık, aşınma direnci ve yaşlanma özellikleri bu boyutun önemli parçalarıdır.

Kullanıcı tarafından algılanan kalite, CMF tasarımında en çok araştırılan konulardan biridir. Kullanıcılar çoğu zaman ürünün gerçek teknik performansını değerlendiremezler; bunun yerine kaliteye ilişkin çıkarımlarını malzeme ve yüzey özelliklerinden hareketle oluştururlar (Crilly et al., 2004). Son yıllarda gelişen yüzey teknolojileri sayesinde polimer malzemeler de yüksek kalite algısı yaratabilecek biçimde tasarlanabilmektedir. Algılanan kalite malzemenin türü ile birlikte üretim hassasiyeti, montaj kalitesi, yüzey işleme teknikleri ve yaşlanma davranışı gibi faktörlere bağlıdır.

Tasarımda malzeme araştırmaları, sınırlı kaynakların kullanımı konusunda oluşan farkındalığın etkisi ile sürdürülebilirlik kavramını gündemine sıklıkla almaktadır. Özellikle iklim değişikliği, kaynak tükenmesi ve atık yönetimi sorunları tasarımcıları yeni malzeme çözümleri geliştirmeye yöneltmiştir. Sürdürülebilir malzemeler yenilenebilir kaynaklardan elde edilme, düşük karbon ayak izi, geri dönüştürülebilirlik, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve uzun kullanım ömrü gibi özelliklere sahip olmaktadırlar Bu bağlamda biyoplastikler, miselyum tabanlı malzemeler, tarımsal atıklardan üretilen biyokompozitler, düşük karbon ayak izine sahip üretim teknikleri, ve geri dönüştürülmüş polimerler güncel CMF araştırmalarının temel çalışma alanları arasında yer almaktadır ve giderek daha fazla ilgi görmektedir (Rognoli, et al, 2015). (Rognoli et al., 2015). Ürün yaşam döngüsünün tasarımcılar tarafından daha fazla dikkate alınması beklenmektedir.

Yüzey (Finish) Özellikleri ve Algılanan Kalite

CMF yaklaşımının üçüncü bileşeni olan yüzey (finish), ürünün kullanıcıyla kurduğu görsel ve dokunsal ilişkinin en doğrudan katmanını oluşturmaktadır. Bir ürünün rengi ve malzemesi ne kadar dikkatle seçilmiş olursa olsun, kullanıcı tarafından algılanan nihai deneyim büyük ölçüde yüzey özellikleri aracılığıyla şekillenmektedir. Çünkü kullanıcı ürünü gördüğünde ilk olarak yüzeyden yansıyan ışığı algılamakta, ürüne dokunduğunda ise doğrudan yüzeyle etkileşime girmektedir. Bu nedenle yüzey tasarımı, ürünün estetik görünümünün yanında kalite algısını, kullanım deneyimini, dayanıklılık performansını ve marka karakterini de belirleyen kritik bir tasarım alanı olarak değerlendirilmektedir (Lefteri, 2012).

Geleneksel üretim anlayışında yüzey işlemleri çoğunlukla koruyucu amaçlarla uygulanmış; aşınma, oksidasyon ve çevresel etkilerden korunma temel hedef olarak görülmüştür. Ancak günümüzde yüzeyler sadece koruyucu katmanlar değildir. Bir ürünün kimliğini oluşturan, kullanıcıyla iletişim kuran ve deneyim yaratan aktif tasarım bileşenleri olarak ele alınan yüzey tasarımları özellikle tüketici elektroniği, otomotiv, mobilya ve lüks ürün

sektörlerinde marka farklılaştırmasının en önemli araçlarından biri hâline gelmiştir (Ashby & Johnson, 2014).

Ürün tasarımında yüzey özellikleri genel olarak görsel özellikler, dokunsal özellikler ve performans özellikleri olmak üzere üç temel boyutta ele alınmaktadır. Görsel özellikler yüzeyin parlaklık düzeyi, ışık yansıtma karakteri, renk derinliği ve görsel dokusuyla ilişkilidir. Dokunsal özellikler pürüzlülük, kayganlık, sıcaklık hissi ve yüzey sertliği gibi unsurları kapsamaktadır. Performans özellikleri ise çizilme direnci, aşınma davranışı, kimyasal dayanım ve yaşlanma performansı gibi teknik kriterleri içermektedir (Lefteri, 2012).

Yüzey algısının oluşumunda en önemli faktörlerden biri de ışık ile yüzey arasındaki etkileşimdir. İnsan gözü bir nesnenin kendisini değil, yüzeyinden yansıyan ışığı algılamaktadır. Bu nedenle yüzeyin ışığı yansıtma biçimi, ürünün algılanan karakterini doğrudan etkilemektedir (Norman, 2004). Parlak yüzeyler yüksek miktarda yönlü yansıma oluşturduklarından genellikle teknoloji, hassasiyet ve lüks kavramlarıyla ilişkilendirilmektedir. Özellikle otomotiv sektöründe kullanılan yüksek parlaklık düzeyine sahip boya sistemleri ve piyano siyahı yüzeyler bu nedenle tercih edilmektedir. Buna karşılık mat yüzeyler daha yumuşak ışık dağılımı oluşturmakta ve sakinlik, doğallık veya profesyonellik algısını desteklemektedir. Saten yüzeyler ise parlak ve mat yüzeyler arasında yer almakta; her iki yaklaşımın avantajlarını belirli ölçüde bir araya getirmektedir. Bu nedenle birçok premium ürün kategorisinde tercih edilmektedir.

Kullanıcılar ürünlerle fiziksel temas kurduklarında yüzey özelliklerini dokunma duyusu aracılığıyla da değerlendirmektedirler. Bu değerlendirme çoğu zaman bilinç dışı gerçekleşmekte ve ürün hakkındaki genel kalite algısını etkileyebilmektedir (Schifferstein & Wastiels, 2014). Malzeme bilimi ve nanoteknolojideki gelişmeler yüzey tasarımına yeni boyutlar kazandırmıştır. Günümüzde birçok yüzey özelliği makro ölçekten çıkarak mikro ve nano ölçekte tasarlanmaktadır. Örneğin lotus yaprağından ilham alınarak geliştirilen süperhidrofobik yüzeyler kendi kendini temizleyebilme özelliğine sahiptir. Benzer şekilde köpekbalığı derisinden esinlenen biyomimetik yüzeyler sürtünmeyi azaltabilmekte ve antibakteriyel özellikler gösterebilmektedir (Bhushan, 2016).

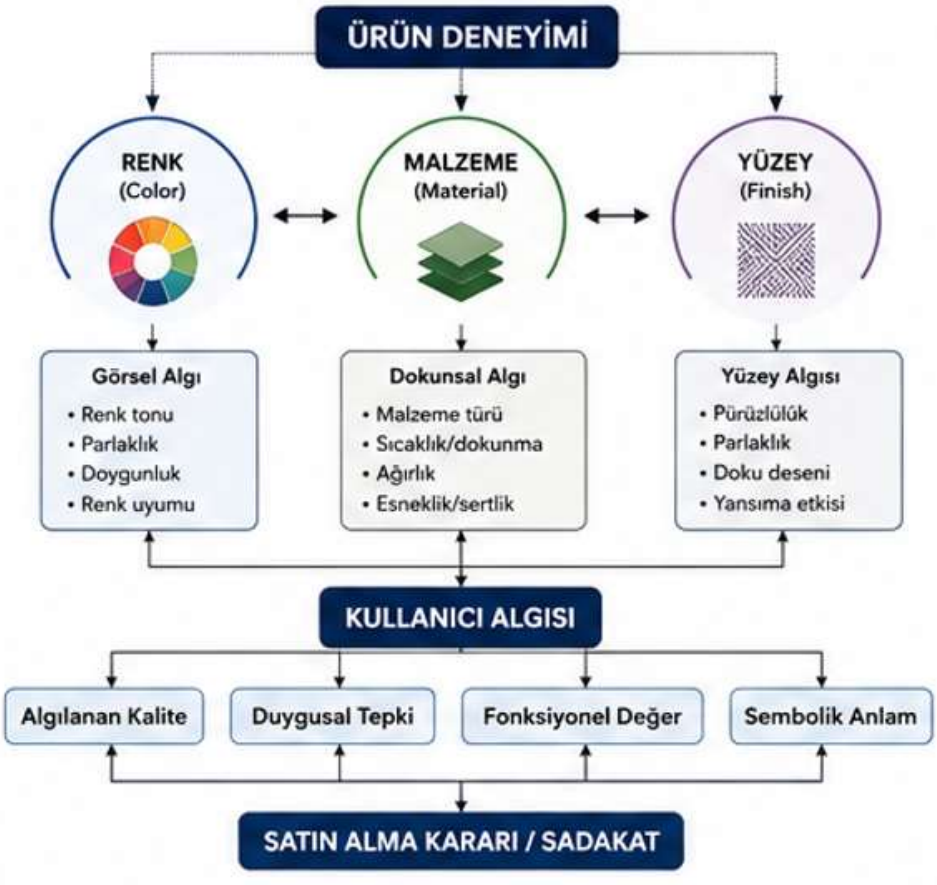
Algılanan kalite araştırmaları, kullanıcıların ürünleri değerlendirirken yüzey özelliklerine büyük önem verdiğini göstermektedir. Özellikle yüzey düzgünlüğü, birleşim detayları, çizilme direnci ve renk sürekliliği kalite algısının önemli bileşenleri arasında yer almaktadır (Crilly et al., 2004). Her ne kadar parlak, mat yada saten yüzeyler kalite algısında yüzey tasarımı açısından belirleyici olsa da yaşlanma faktörü ürünün sahip olduğu değeri etkileyebilmektedir. Geleneksel tasarım anlayışında yüzey yaşlanması çoğunlukla olumsuz bir durum olarak değerlendirilmiştir. Ancak son yıllarda geliştirilen sürdürülebilir tasarım yaklaşımları, bazı malzemelerin zamanla değer kazanabileceğini ortaya koymuştur. Bu noktada ortaya çıkan Patina kavramı özellikle deri, bakır, pirinç ve doğal ahşap gibi malzemelerde görülen doğal yaşlanma süreçlerini ifade etmektedir. Bu süreçte oluşan değişimler kullanıcılar tarafından çoğu zaman kusur olarak algılanmaz. Bunun yerine ürünün karakterinin bir parçası olarak değerlendirilmektedir (Chapman, 2015). Bu yaklaşım ürünlerin kullanım ömrünü uzatabilmekte ve kullanıcıların ürünlerle daha güçlü duygusal bağlar kurmasına katkı sağlayabilmektedir.

Yüzey tasarımı, CMF yaklaşımının kullanıcıyla en doğrudan temas kuran katmanını oluşturmaktadır. Görsel algı, dokunsal deneyim, algılanan kalite, marka kimliği ve sürdürülebilirlik gibi birçok unsur yüzey özellikleri aracılığıyla şekillenmektedir.

CMF Tasarımı ve Kullanıcı Deneyimi

Renk, malzeme ve yüzey özellikleri tek başlarına değerlendirildiğinde ürünün fiziksel özelliklerine ilişkin bilgiler sunmaktadır. Ancak CMF yaklaşımının asıl değeri, bu üç bileşenin kullanıcı deneyimi üzerindeki birleşik etkisinden kaynaklanmaktadır. Son otuz yılda tasarım araştırmalarında yaşanan önemli değişimlerden biri, ürünlerin hem işlevsel performansları hem de kullanıcı deneyimleri üzerinden değerlendirilmesidir. Kullanıcı deneyimi (User Experience-UX), bir ürünün kullanımı öncesinde, kullanım sırasında ve kullanım sonrasında ortaya çıkan tüm algısal, bilişsel ve duygusal süreçleri kapsamaktadır (Hassenzahl, 2010). Bu bağlamda CMF, kullanıcı deneyiminin şekillenmesinde merkezi bir rol üstlenmektedir. Çünkü kullanıcı ile ürün arasındaki ilk temas çoğunlukla CMF bileşenleri aracılığıyla gerçekleşmektedir. Şekil 2 de CMF Bileşenleri ve ürün deneyimi ilişkisi diyagram halinde özetlenmiştir.

Şekil 2. *CMF Bileşenleri ve ürün deneyimi ilişkisi*



(Ashby & Johnson, 2014); (Karana et al., 2014); (Norman, 2004)[3]

Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO), kullanıcı deneyimini bir kişinin bir ürün, sistem veya hizmetle etkileşimi sonucunda ortaya çıkan algılar ve tepkiler bütünü olarak

[3] Çalışmada kullanılan görsellerin üretilmesinde yapay zekâ desteği kullanılmıştır.

tanımlamaktadır (ISO, 2019). Bu tanım doğrultusunda CMF bileşenlerinin kullanıcı deneyiminin hemen her aşamasında etkili olduğu görülmektedir. Bir kullanıcı yeni bir ürünle karşılaştığında öncelikle görsel değerlendirme yapmaktadır. Bu aşamada renk paleti, malzeme görünümü ve yüzey karakteri devreye girmektedir. Daha sonra ürünle fiziksel temas kurulduğunda dokunsal deneyim oluşmaktadır. Kullanım süreci ilerledikçe malzemenin yaşlanma davranışı, yüzey dayanıklılığı ve estetik sürekliliği kullanıcı deneyiminin uzun dönemli bileşenlerini oluşturmaktadır.

CMF araştırmalarında en sık karşılaşılan kavramlardan biri algılanan kalite (perceived quality) kavramıdır. Algılanan kalite, bir ürünün gerçek teknik performansından bağımsız olarak kullanıcı tarafından değerlendirilen kalite düzeyini ifade etmektedir (Zeithaml, 1988). Algılanan kalite araştırmaları özellikle otomotiv sektöründe önemli bir çalışma alanı oluşturmuştur. Araştırmalar kullanıcıların araçların gerçek mekanik performanslarını değerlendirmeden önce kapı kapanma sesi, yüzey dokusu, panel boşlukları ve malzeme kalitesi gibi unsurlardan hareketle genel kalite değerlendirmesi yaptıklarını göstermektedir (Muffatto & Panizzolo, 1996).

CMF tasarımı ürünlerin sembolik anlamlarını desteklemektedir. Ürün semantiği yaklaşımına göre ürünler kullanıcılarla iletişim kuran anlam taşıyıcılarıdır (Krippendorff & Butter, 1984). Bu bağlamda renkler, malzemeler ve yüzeyler ürünlerin taşıdığı mesajların önemli bileşenleri hâline gelmektedir. Bir ürünün teknolojik, sportif, geleneksel, sürdürülebilir veya lüks olarak algılanmasında CMF kararları belirleyici rol oynayabilmektedir. Güncel araştırmalar ürün deneyiminin çoklu duyusal etkileşimler sonucunda oluştuğunu göstermektedir. Kullanıcılar ürünleri görerek, dokunarak, işiterek ve bazı durumlarda koklayarak değerlendirmektedir (Schifferstein & Hekkert, 2008). Bu açıdan bakıldığında CMF tasarımında duyular arası tutarlılık önemli bir kalite kriteri olarak kabul edilmektedir.

Son yıllarda sürdürülebilir tasarım araştırmalarında öne çıkan kavramlardan biri de duygusal dayanıklılık (emotional durability) kavramıdır. Jonathan Chapman tarafından geliştirilen bu yaklaşım, kullanıcıların duygusal bağ kurdukları ürünleri daha uzun süre kullanma eğiliminde olduklarını ileri sürmektedir (Chapman, 2015). CMF tasarımı bu bağın kurulmasında önemli rol oynamaktadır. Kullanıcıların sevdiği renkler, anlam yüklediği malzemeler ve yaşlandıkça karakter kazanan yüzeyler ürünün kullanım süresini uzatabilmektedir.

Sonuç

Endüstriyel tasarım tarihinde uzun yıllar boyunca renk, malzeme ve yüzey kararları ürün geliştirme süreçlerinin son aşamalarında ele alınan estetik düzenlemeler olarak değerlendirilmiştir. Ancak günümüzde CMF yaklaşımı, ürün deneyimini şekillendiren stratejik bir tasarım katmanı olarak kabul edilmektedir. Kullanıcıların ürünlerle kurdukları ilk ilişki büyük ölçüde renk, malzeme ve yüzey özellikleri üzerinden gerçekleşmekte; ürünün algılanan kalitesi, duygusal değeri ve marka kimliği önemli ölçüde bu bileşenler tarafından belirlenmektedir.

Bu çalışma kapsamında CMF kavramının tarihsel gelişimi, kuramsal temelleri ve endüstriyel tasarım içerisindeki konumu incelenmiştir. Tasarımda birer estetik nitelik olan renk,

malzeme ve yüzey bileşenleri, algı psikolojisi, ürün semantiği, malzeme deneyimi ve kullanıcı deneyimi gibi çok katmanlı süreçlerle ilişkilidir. Özellikle son yıllarda gelişen malzeme araştırmaları, duygusal tasarım yaklaşımları ve algılanan kalite çalışmaları, CMF'nin ürün başarısındaki rolünü daha görünür hâle getirmiştir.

CMF tasarımında renk, kullanıcıların ürün hakkındaki ilk değerlendirmelerini şekillendiren güçlü bir iletişim aracı olarak öne çıkmaktadır. Malzeme ise ürünün fiziksel performansının yanında kullanıcıda oluşturduğu anlamları ve duygusal çağrışımları belirlemektedir. Yüzey tasarımı ise bu iki unsurun kullanıcıyla temas ettiği deneyim katmanını oluşturarak görsel ve dokunsal kaliteyi yönlendirmektedir. Bu nedenle CMF tasarımı, ürünün teknik yapısı ile kullanıcı deneyimi arasında köprü kuran bütüncül bir sistem olarak değerlendirilmelidir.

Günümüzde sürdürülebilirlik, dijitalleşme ve kullanıcı merkezli tasarım yaklaşımlarının yükselişi, CMF tasarımına yeni sorumluluklar yüklemektedir. Malzeme seçimlerinde çevresel etkilerin dikkate alınması, uzun ömürlü ve duygusal bağ kurulabilen ürünlerin geliştirilmesi, geri dönüştürülebilir yüzey teknolojilerinin kullanılması ve yapay zekâ destekli tasarım süreçlerinin yaygınlaşması, geleceğin CMF uygulamalarını şekillendirecek temel eğilimler arasında yer almaktadır.

Türkiye örneği incelendiğinde CMF konusundaki akademik çalışmaların sınırlı olması, alanın Türkiye'de hâlen gelişmekte olan bir araştırma sahası olduğunu göstermektedir. Gelecekte kullanıcı deneyimi, sürdürülebilir malzemeler, yapay zekâ destekli tasarım süreçleri ve yerel malzeme kültürleri üzerine yapılacak çalışmaların Türkiye merkezli CMF literatürünün oluşmasına önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Türkiye'nin geleneksel üretim kültürü de CMF araştırmaları açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Anadolu'da yüzyıllar boyunca gelişen ahşap işçiliği, seramik üretimi, metal işleme teknikleri, dokuma kültürü ve doğal boya uygulamaları, çağdaş CMF araştırmalarına aktarılabilecek zengin bir bilgi birikimi oluşturmaktadır. Özellikle son yıllarda sürdürülebilir tasarım yaklaşımlarının yaygınlaşmasıyla birlikte yerel malzemeler ve geleneksel üretim teknikleri CMF tasarımı kapsamında değerlendirilebilir. Gelecekte Türkiye merkezli CMF araştırmalarının özellikle yerel malzemelerin deneyimsel özelliklerinin incelenmesi, sürdürülebilir ve biyobazlı malzemelerin ürün tasarımındaki kullanımı, kullanıcıların malzeme algılarının kültürel farklılıklar açısından değerlendirilmesi, geleneksel malzeme kültürünün çağdaş ürün tasarımına entegrasyonu gibi alanlarda yoğunlaşması beklenebilir.

Sonuç olarak CMF, günümüz endüstriyel tasarım pratiğinde ürünün estetik görünümünü belirleyen yardımcı bir unsur olmaktan ziyade kullanıcı deneyimi, algılanan kalite, marka değeri ve sürdürülebilirlik hedeflerini bütünleştiren stratejik bir tasarım alanıdır. Endüstriyel tasarım disiplininin geleceğinde rekabet avantajı sağlayan ürünlerin teknik olarak başarılı, kullanıcılarla anlamlı ve kalıcı ilişkiler kurabilen CMF stratejilerine sahip olması beklenmektedir. Bu nedenle CMF tasarımının hem akademik araştırmalarda hem de profesyonel tasarım uygulamalarında daha fazla önem kazanacağı öngörülmektedir.

Kaynakça

Albers, J. (2013). *Interaction of color (50th anniversary ed.).* . Yale University Press.

Alessi. (2026, 06 15). *ALESSI*. Gündelik Ürünler Tasarımı İşletmesi. https://alessi.com/

Ashby, M. F. (2011). *Materials selection in mechanical design (4th ed.).* . Butterworth-Heinemann.

Ashby, M., & Johnson, K. (2014). *Materials and design: The art and science of material selection in product design (3rd ed.).* Butterworth-Heinemann.

Bhushan, B. (2016). *Biomimetics: Bioinspired hierarchical-structured surfaces for green science and technology (2nd ed.).* . Springer. . https://doi.org/https://doi.org/10.1063/PT.3.3696

Bloch, P. H. (1995). Seeking the ideal form: Product design and consumer response. . *Journal of Marketing, , 59*(3), 16–29.

Chapman, J. (2015). *Emotionally durable design: Objects, experiences and empathy (2nd ed.).* . Routledge.

Crilly, N., Moultrie, J., & Clarkson, P. J. (2004). Seeing things: Consumer response to the visual domain in product design. . *Design Studies,, 25*(6), 547–577.

Droste, M. (2019). *Bauhaus 1919–1933.* . Taschen.

Elliot, A. J., & Maier, M. A. (2014). Color psychology: Effects of perceiving color on psychological functioning in humans. . *Annual Review of Psychology,, 65*, 95–120.

Fairchild, M. D. (2013). *Color appearance models (3rd ed.).* . Wiley.

Forty, A. (2007). *Objects of desire: Design and society since 1750.* . Thames & Hudson.

Goldstein, E. B. (2014). *Sensation and perception (9th ed.).* . Cengage Learning.

Hård, A., & Sivik, L. (2001). NCS—Natural Color System: A Swedish standard for color notation. *Color Research & Application,, 26*(1), 4–10.

Hassenzahl, M. (2010). *Experience design: Technology for all the right reasons.* . Morgan & Claypool.

Heller, E. (2009). *Psychologie de la couleur: Effets et symboliques.* Pyramyd. .

Heskett, J. (1980). *Industrial design.* . Thames & Hudson.

ISO. (2019). Ergonomics of human-system interaction. *Part 210: Human-centred design for interactive systems.* . International Organization for Standardization.

Itten, J. (1970). *The elements of color.* . Van Nostrand Reinhold.

Karana, E., Barati, B., Rognoli, V., & Zeeuw van der Laan, A. (2015). Material driven design (MDD): A method to design for material experiences. . *International Journal of Design, , 9*(2), 35–54.

Karana, E., Pedgley, O., & Rognoli, V. (2014). *Materials experience: Fundamentals of materials and design.* Butterworth-Heinemann.

Krippendorff, K. (2006). *The semantic turn: A new foundation for design.* . CRC Press.

Krippendorff, K., & Butter, R. (1984). Product semantics: Exploring the symbolic qualities of form. *Innovation, 3*(2), 4–9.

Lefteri, C. (2012). *Making it: Manufacturing techniques for product design (2nd ed.).* Laurence King Publishing.

Lidwell, W., Holden, K., & Butler, J. (2010). *Universal principles of design (2nd ed.).* Rockport Publishers.

Muffatto, M., & Panizzolo, R. (1996). Innovation and Product Development Strategies in the Italian Motorcycle Industry. Journal of Product Innovation Management,. *13*, 348-361. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1540-5885.1340348

Norman, D. A. (2004). *Emotional design: Why we love (or hate) everyday things.* . Basic Books.

Rognoli, V., Bianchini, M., Maffei, S., & Karana, E. (2015). DIY materials. *Materials & Design,, 86*, 692–702. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.020.

Schifferstein, H. N., & Hekkert, P. (2008). *Product experience.* Elsevier.

Schifferstein, H. N., & Wastiels, L. (2014). Sensing materials: Exploring the building blocks for experiential design. O. Karana, Pedgley, & V. Rognoli içinde, *Materials experience: Fundamentals of materials and design* (s. 15–26). Butterworth.

Sharma, G. (2003). *Digital color imaging handbook.* . CRC Press.

Wheeler, A. (2018). *Designing brand identity (5th ed.).* . Wiley.

Zeithaml, V. A. (1988). Consumer perceptions of price, quality and value: A means-end model and synthesis of evidence. . *Journal of Marketing, , 52*(3), 2–22.

BÖLÜM 3

ENDÜSTRİYEL TASARIM STÜDYOSUNDA SOYUT ÖĞRETİM İÇERİĞİNDEN FİZİKİ EĞİTSEL MATERYAL GELİŞTİRME SÜRECİNİN İNCELENMESİ

MEHMET ANAÇ[1]
CEMİL YAVUZ[2]

Giriş

Matematik ve fen bilimleri eğitimi doğrudan gözlenmesi zor olan ilişkilerin, niceliklerin ve süreçlerin anlaşılmasını gerektirir. Açı, olasılık, moleküler bağ, hücresel işleyiş veya kuvvet gibi kavramların eğitimde temsil edilmesi öğrencinin hangi ilişkiyi izleyeceği, neyi değiştireceği ve yaptığı işlemin sonucunu nasıl yorumlayacağı ile ilişkilidir. Endüstriyel tasarım disiplini, fiziksel nesnenin biçimi ile kullanıcı eylemi arasındaki bağı tasarladığı için bu sorunsala özgül bir katkı sunabilir.

Fiziki eğitsel materyaller, soyut kavramların somut nesneler aracılığıyla temsil edilmesine ve öğrenenin bu temsiller üzerinde işlem gerçekleştirmesine olanak sağlayan öğretim araçlarıdır. Bununla birlikte materyalin fiziksel olarak kullanılabilir olması, öğrenme üzerindeki etkisini tek başına açıklamamaktadır. Byrne ve diğerlerinin (2023) fiziksel manipülatifleri konu alan kapsam incelemesi, materyallerin türü, fiziksel etkileşim düzeyi, öğretim desteği ve hedeflenen öğrenme çıktısı bakımından araştırmalar arasında önemli farklılıklar bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu

1 Arş. Gör., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü. ORCID: 0000-0001-8237-4230.

2 Doç. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü. ORCID: 0000-0002-7715-3537.

nedenle eğitsel materyal tasarımının değerlendirilmesinde yalnızca nesnenin somut niteliği değil, kullanıcıya sunduğu işlemlerin öğretim hedefiyle kurduğu ilişki de dikkate alınmalıdır. Oyunlaştırma da benzer bir ayrım gerektirir. Oyun tasarım ögelerinin oyun dışı bağlamlarda kullanılması olarak tanımlanan oyunlaştırma (Deterding et al., (2011), yalnızca puan, renk veya rekabet eklemekten ibaret değildir. Eğitsel bir materyalde belirleyici olan, kuralların ve geri bildirimin öğrenilecek içeriği ne ölçüde işlemsel hâle getirdiğidir. Oyun sistemleri ile anlamlı kullanıcı eylemi arasındaki ilişki, oyun tasarımı kuramında da önemli bir inceleme alanıdır (Salen & Zimmerman, 2003).

Bu bölümün çıktıları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Bölümünde yürütülen 8 haftalık bahar dönemi stüdyo çalışmasından elde edilmiştir. Projede lise kullanıcılarının soyut matematik ve fen kavramlarını fiziksel ve etkileşimli araçlarla deneyimlemesini hedefleyen materyaller tasarlanmıştır. Proje öncesi öğretmen görüşmeleri ve anket sonuçları, proje konularının belirlenmesinde kullanılmıştır. Stüdyoda zihin haritası, yaratıcı matris, morfolojik analiz, eskiz, mock-up, prototip, ambalaj ve jüri sunumu aşamaları izlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, söz konusu stüdyo çıktılarının eğitimde etkililiğini ilan etmek değil, eğitim içeriğinin nesneye dönüştürülmesinde hangi tasarım kararlarının ayırt edilebildiğini sistematik olarak açıklamaktır. Temel araştırma sorusu şöyledir: Lise düzeyindeki soyut öğretim konuları, stüdyo ortamında hangi temsil, kullanıcı eylemi ve ürünleştirme kararları yoluyla fiziksel eğitsel materyallere dönüştürülmüştür? Buna eşlik eden sorular öğretmen gereksinimlerinin problem tanımını nasıl etkilediği, oyun kurgusunun kavramla nasıl ilişkilendirildiği ve prototiplerin ürün sistemi olarak nasıl tamamlandığıdır.

Kuramsal ve Kavramsal Çerçeve

Somutlaştırma ve fiziksel etkileşim

Bir kavramı somutlaştırmak ile o kavram üzerinde fiziksel işlem yapılmasını sağlamak birbirinden farklı tasarım işlemleridir. Örneğin açısal ilişkiyi basılı bir daire üzerinde göstermek temsili görünür kılarken, dönen bir ibreyle farklı açıları kullanıcıya karşılaştırma olanağı vermek bu temsili değiştirilebilir hale getirir. İkinci durumda öğrenilecek ilişki yalnızca nesnenin görünüşünde değil, nesneyle gerçekleştirilen eylemin yapısında da yer alır. Bu ayrım, ürünün öğretim hedefine uygunluğunu tartışırken estetik özellikler ile bilişsel işlemler arasındaki bağı sorgulamaya olanak verir.

Kolb (1984), deneyimin tek başına değil, gözlem, kavramsallaştırma ve etkin deneme ile ilişkili döngüsel bir süreç içinde değerlendirilmesini önermektedir. Buna dayanarak bu çalışmada elle kullanılabilir bir malzeme, otomatik olarak "deneyimsel öğrenme gerçekleşti" diye kodlanmamıştır. Bunun yerine tasarımın hangi eylemleri mümkün kıldığı, bu eylemlerin hangi konu ilişkilerine bağlandığı ve kullanıcının hangi geri bildirim kaynaklarına erişebileceği incelenmiştir.

Oyunlaştırma ile öğrenme içeriği arasındaki bağ

Oyunlaştırma, Deterding ve diğerlerine göre (2011) oyun tasarım ögelerinin oyun dışı bağlamlarda kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Eğitim bağlamındaki araştırmalar, oyunlaştırmanın bilişsel, motivasyonel ve davranışsal öğrenme çıktılarıyla ilişkili olabileceğini göstermekle birlikte, bu ilişkilerin kullanılan tasarım ögelerine ve uygulama koşullarına göre farklılaşabildiğine işaret etmektedir (Sailer & Homner, 2020). Dolayısıyla eğitsel bir üründe görev kartı, puanlama sistemi, döner

disk veya rekabet unsurunun bulunması, söz konusu ürünün öğretim hedefiyle işlevsel olarak bütünleştiğini tek başına göstermemektedir.

Oyunlaştırılmış öğrenme uygulamalarını inceleyen sistematik literatür araştırmalarından Zainuddin ve diğerlerinin çalışması, kullanıcı katılımı ve motivasyon gibi olumlu bulguların yanı sıra kuramsal temellendirme açısından sınırlılıklara da dikkat çekmektedir (2020). Bu çalışmada oyunlaştırma, yalnızca ürünün ilgi çekiciliğini artıran bir özellik olarak değil, kullanıcının öğretim içeriği üzerinde gerçekleştirdiği eylemlerle ilişkisi bakımından değerlendirilmektedir. Böylece oyun ögelerinin kavramsal işlem yapmayı gerektirdiği durumlarla, öncelikle katılımı ve etkinlik akışını düzenlediği durumlar arasında analitik bir ayrım yapılması amaçlanmaktadır.

Yöntem

Araştırma yaklaşımı ve bağlam

Çalışma, yürütülmüş bir endüstriyel tasarım stüdyosu uygulamasının belgelerine dayalı betimleyici ve yorumlayıcı nitel bir olgu incelemesidir. Araştırma birimi tekil bir ürünün ergonomik başarısı değil, aynı stüdyo problemi altında geliştirilen seçili prototiplerde bilgi, temsil ve eylem arasındaki tasarım ilişkileridir. Bulgulara kaynaklık eden üç belge grubu şunlardır: (i) özgün stüdyo proje föyü, (ii) öğretmen gereksinim anketinin anonimleştirilmiş toplulaştırılmış yanıtları ve (iii) final jüri fotoğraflarından oluşan görsel dokümantasyon. İlk iki grup problem tanımı ve eğitim gereksinimlerini belirlerken üçüncü grup ise seçilmiş nihai ürünlerin gözlenebilir özelliklerini açıklamak için kullanılmıştır.

Katılımcılar ve veri kaynakları

Öğretmen gereksinim anketi 32 yanıttan oluşmaktadır: 18 matematik, 1 geometri, 6 fizik, 5 kimya ve 2 biyoloji branşı bildirilmiştir. Okul türü alanında 30 yanıt lise türlerinden, iki yanıt ortaokuldan gelmektedir. Her seçeneği kaç öğretmenin işaretlediği belirtilmiştir. Sonuçlar yalnızca ankete katılan öğretmenlerin görüşlerini yansıtmaktadır.

Proje konuları, çalışmaya devam eden 38 öğrenciye dağıtılmıştır. Toplam 13 öğretim konusunun 12'si üçer öğrenciye, kombinasyon alt konusu ise iki öğrenciye verilmiştir ($12 \times 3 + 2 = 38$). Bu dağılım, aynı kavram için geliştirilen alternatif çözümleri karşılaştırmaya olanak vermiştir.

Veri çözümleme adımları

İlk aşamada öğretmen anketi sayesinde genel güçlükler ve gereksinimler belirlenmiştir. İkinci aşamada proje föyünden tasarım kısıtları, teslimler, değerlendirme ölçütleri ve takvim çıkarılmıştır. Üçüncü aşamada görseller, doğrudan gözlenebilen nesne özellikleri ile yalnızca olası kullanım yorumu olarak ileri sürülebilecek özellikler arasında ayrım gözetilerek incelenmiştir. Son aşamada seçilmiş örnekler, "öğretim içeriği – fiziksel temsil – olası kullanıcı eylemi – gözlenebilir geri bildirim – ürünleştirme" boyutlarıyla karşılaştırılmıştır. Seçilmiş örneklerin seçilme nedenleri farklı fiziksel boyutlara sahip olması ve farklı konuları ele almasıdır.

Bu çözümleme araştırmacı tarafından üretilen açıklayıcı bir karşılaştırmadır. Tüm öğrenci çalışmalarının bağımsız kodlayıcılarca çift kodlandığı, kodlayıcılar arası uyumun hesaplandığı veya analitik kategorilerin psikometrik olarak doğrulandığı bir araştırma olarak sunulmamaktadır.

Tasarım Stüdyosu Uygulamasının Kurgusu

Problem alanının belirlenmesi

Proje hazırlığında ilkokul ile lise düzeyindeki eğitsel materyal gereksinimlerine ilişkin bir ön inceleme yapılmıştır. Ardından bir lise ziyareti kapsamında branş öğretmenleriyle görüşülmüş ve bir öğretmen anketi uygulanmıştır. Bu sıra, konu dağıtımının bütünüyle stüdyo yürütücülerinin sezgisine dayanmadığını göstermektedir. Bölümde gereksinim araştırması, proje konularını bilgilendiren verilerden biri olarak değerlendirilmiştir.

Konu kapsamı ve tasarım koşulları

Projede endüstriyel tasarım öğrencilerinden, lise düzeyindeki matematik, fizik, kimya ve biyoloji derslerinde yer alan soyut konulara yönelik masaüstü etkileşimli ürünler veya etkinlik setleri tasarlamaları istenmiştir (Tablo 1). Ürünlerde oyunlaştırma, fiziksel kullanım, kullanım senaryosu, taşınabilirlik ve kolay kurulum beklenmiş, azami ölçü 70 × 100 cm olarak belirtilmiştir. İşlevsel, gerçek ölçekte prototipler hazırlanması öngörülmüş, malzeme ve üretim teknolojileri öğrenci tercihlerine açık bırakılmıştır.

Tablo 1. Özgün proje föyünde tanımlanan öğretim konu alanları

Ders	**Konu başlıkları**
Matematik	Permütasyon, kombinasyon ve olasılık
	Geometrik katı cisimler (üç boyutlu geometri)
	Üçgen, açı ve trigonometrik yorum
Fizik	Newton'un hareket yasaları
	Elektrik ve manyetizma
	Dalgalar ve optik
	Basit makineler
Kimya	Mol kavramı ve kimyasal hesaplamalar

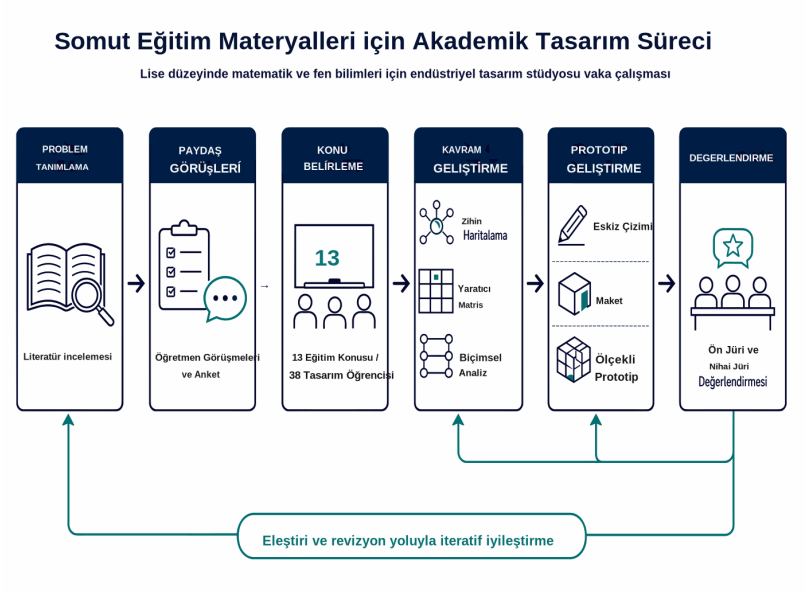
	Periyodik tablo ve element özellikleri
	Kimyasal bağlar ve moleküler yapılar
Biyoloji	DNA ve protein sentezi
	Hücre zarından madde geçişleri
	Solunum ve sindirim sistemleri

Kaynak: Endüstriyel Tasarım Stüdyosu II, 2024–2025 bahar dönemi, Proje 2 föyü.

Uygulama aşamaları ve geri bildirim ilişkileriyle açıklanması

Proje tek doğrultulu bir ürün geliştirme dizisi olarak değil, öğretmen gereksinimleriyle başlayan ve tasarım kararlarının eleştiri yoluyla yeniden ele alındığı çok aşamalı bir stüdyo uygulaması olarak değerlendirilmiştir. Şekil 1, temel teslim ve değerlendirme eşiklerini, Şekil 2 ise bu sıralı yapı içinde işleyen revizyon ilişkisini aktarmaktadır. Böylece zamansal aşamalar ile yöntemsel kararlar birbirine karıştırılmadan okunabilir. Tasarım stüdyosunun araştırma, kavramsal geliştirme, temsil üretimi ve eleştiri gibi birbirini etkileyen etkinliklerden oluşması, stüdyo pedagojisinin önemli özelliklerinden biridir. Hettithanthri ve Hansen (2022), mimarlık eğitimi bağlamındaki tasarım stüdyosu uygulamalarını inceledikleri literatür çalışmalarında, stüdyo ortamının pedagojik bileşenlerini ve tasarım süreçleriyle ilişkilerini tartışmaktadır. Bu çalışma, söz konusu literatürden hareketle endüstriyel tasarım stüdyosundaki aşamaları yalnızca kronolojik teslimler olarak değil, öğretim gereksinimlerinin kavramsal ve fiziksel tasarım kararlarıyla ilişkilendirildiği bir süreç olarak ele almaktadır. Bununla birlikte mevcut belgeler, her eleştirinin tekil prototiplerde hangi değişikliği oluşturduğunu belirlemeye yeterli değildir.

Şekil 1. Matematik ve fen bilimlerine yönelik eğitsel materyal tasarımının çok aşamalı stüdyo süreci.



Kaynak: Yazarlar tarafından stüdyo proje akışı temel alınarak hazırlanan akademik tasarım süreci diyagramı.

Şekil 2. Tasarım gereksinimi, kavramsal çözümleme, etkileşimli temsil ve prototip değerlendirmesi arasındaki iteratif ilişki.



Kaynak: Stüdyo uygulama belgelerinin yorumlayıcı ve açıklayıcı şema

Tablo 2. Stüdyo sürecinde aşama–yöntem–tasarım kararı–kanıt ilişkisi

Aşama	Uygulanan araç/etkinlik	Başlıca tasarım kararı	İzlenebilir belge
Gereksinim belirleme	Öğretmen görüşmesi/anketi, karşılaştırma	Öğretim problemini tanımlama	Görüşme/anket ve kapsam kayıtları
Konu dağıtımı	13 içerik başlığı, 38 öğrenci	Kavramı ve tasarım sınırlarını belirleme	Proje föyü ve dağıtım bilgisi
Kavramsal çeşitlendirme	Zihin haritası, 4×4 yaratıcı matris, morfolojik analiz	Alternatif temsil ve kullanım senaryoları üretme	Araştırma paftaları ve eskizler
Geliştirme	Eskiz, üç boyutlu görselleştirme, mock-up	Mekanizma, boyut, ergonomi ve etkileşim seçimi	Model ve ara maket belgeleri
Yineleme	Stüdyo kritik ve ön jüri	Biçim, işlev veya oyun kuralını revize etme	Karşılaştırmalı ara ürünler
Ürünleştirme ve sunum	1:1 prototip, ambalaj, final jüri	Fiziksel uygulanabilirliği ve sunulabilirliği değerlendirme	Prototipler, final paftaları, jüri fotoğrafları

Not: Tablo, proje föyünde istenen teslimleri ve uygulama anlatısını birlikte özetler.

Ara değerlendirme, üretim ve final jüri

Proje takviminin 1. hafta aşamasında zihin haritaları ve en az 4 × 4 yaratıcı matris kullanımı ile beş önerinin morfolojik analizle değerlendirilmesi beklenmiştir. 2. hafta fikirlerin eskizlerle gelişimi, 3. hafta üç boyutlu modelleme, 4. haftada da mock-up üretimi tanımlanmış ve ön jüri gerçekleştirilmiştir. Ön değerlendirme sonrasında ambalaj ve kurulum kararlarının eklenmesi, materyali salt temsil nesnesi olmaktan çıkarıp taşınabilir bir öğretim ürününe dönüştürme amacını görünür kılmıştır (Tablo 2).

Projeler genel anlamda süreç içindeki çalışmalar, ön jüri ve final jürisi üzerinden değerlendirilmiştir. Değerlendirmede tasarım fikri, eğitsel değer, sunum, prototip kalitesi, ambalaj ve kullanım kolaylığı dikkate alınmıştır. Bu ağırlıklar, stüdyonun kavramsal

anlatımın yanında üretim niteliği ve ürünün fiziksel tamamlanmışlığına verdiği önemi de göstermektedir.

Bulgular

Bu bölümde, Endüstriyel Tasarım Stüdyosu II kapsamında lise öğrencileri için geliştirilen eğitsel materyaller incelenmiştir. Öğretmen anketi, proje föyü ve final jürisi fotoğraflarından yararlanılarak soyut konuların fiziksel ürünlere nasıl dönüştürüldüğü açıklanmıştır. Bulgular, incelenen örneklerle sınırlıdır, tüm sınıfı temsil etmez ve ürünlerin öğrenme başarısına etkisini göstermez.

Öğretmen Gereksinimlerinin Tasarım Problemini Tanımlaması

Öğretmen anketine, 30'u lisede ve ikisi ortaokulda görev yapan 32 öğretmen katılmıştır. Katılımcılardan 18 kişi matematik, 1 kişi geometri, 6 kişi fizik, 5 kişi kimya ve 2 kişi biyoloji öğretmenidir. Sonuçlar yalnızca bu öğretmenlerin görüşlerini yansıtmaktadır.

Öğretmenler, öğrencilerin soyut kavramları anlamada ve teorik bilgiyi uygulamada zorlandığına değinirken matematiksel altyapı eksikliği ve motivasyon düşüklüğü yaşadığını belirtmiştir. Bu görüşler, kavramları somutlaştıran ve öğrencinin aktif katılımını sağlayan materyallerin tasarlanmasına yön vermiştir (Tablo 3). En sık kullanılan materyaller dijital araçlardır. Öğretmenler, geliştirilecek ürünlerin düşük maliyetli, farklı öğrenme gereksinimlerine uygun, taşınabilir ve dayanıklı olmasını beklemektedir. Sorularda birden fazla seçenek işaretlenebildiği için yanıtların toplamı katılımcı sayısını aşabilmektedir.

Tablo 3. Öğretmen anketinden elde edilen seçili tasarım gereksinimleri

Gereksinim alanı	**Öğretmen yanıtı (n=32)**	**Tasarım açısından karşılığı**
Soyut kavramları anlamada güçlük	26	Kavram ilişkilerinin somut ve okunabilir temsili
Matematiksel altyapı eksikliği	25	İşlemlerin görünür, aşamalı düzenlenmesi
Teoriyi pratiğe aktarma güçlüğü	16	Kullanıcı eylemi gerektiren senaryolar
Motivasyon düşüklüğü	16	Görev, seçim ve oyun etkileşimi
Düşük maliyet beklentisi	23	Üretim ve malzeme ekonomisi
Kolay taşınabilirlik beklentisi	17	Ambalaj, kurulum ve depolama ilişkisi

Kaynak: Proje kapsamında uygulanan öğretmen anketinin anonimleştirilmiş toplulaştırılmış verileri. Öğrenme engelleri ve materyal beklentileri farklı çoklu seçim sorularından alınmıştır.

Konu bazındaki yanıtlarda, üç boyutlu geometri ve katı cisimler için materyal ihtiyacı öne çıkmıştır. Permütasyon, kombinasyon ve olasılık konularında da ihtiyaç belirtilmiştir. Projedeki 13 konu, anket sonuçları, ders yürütücülerinin değerlendirmeleri ve stüdyonun çalışma koşulları birlikte ele alınarak belirlenmiştir.

Soyut Bilginin Fiziksel Materyale ve Kullanıcı Eylemine Dönüştürülmesi

Bazı prototiplerde soyut kavramlar, renkler, bölümler ve ölçü işaretleriyle gösterilmiştir. Diğerlerinde ise kullanıcıların parçaları döndürerek, birleştirerek veya dengeleyerek kavramları incelemesi sağlanmıştır. Böylece kavramı görsel olarak anlatan ve kullanıcı etkileşimiyle açıklayan farklı tasarımlar geliştirilmiştir. Trio Angle'da açılar, bölümlenmiş dairesel yüzey ve dönen göstergeyle gösterilmiştir. Üçgen biçimli prototipte geometrik ilişkiler,

katlanabilir yüzeyler ve ayrılabilir parçalarla ele alınmıştır (Şekil 3A). Üçüncü örnekte ise farklı uzunluk ve renklerdeki çubuklar sıralanarak karşılaştırma yapılmasına olanak verilmiştir (Şekil 3B). Bu örneklerde matematiksel kavramlar, hareketli ve düzenlenebilir parçalarla somutlaştırılmıştır.

Şekil 3. Matematiksel kavramların farklı fiziksel temsil biçimleri: (A) döner açı yüzeyi, (B) üçgen tabanlı düzenek.



A

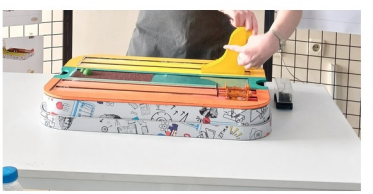


B

Kaynak: Endüstriyel Tasarım Stüdyosu II final jürisi görsel arşivinden.

NewtonVerse, hareket hatları ve çıkarılabilir parçalarla hareket konusunu ele almaktadır (Şekil 4A). Diğer düzenekte elektrik ve manyetizma konuları, delikli panel ve bağlantı parçalarıyla somutlaştırılmıştır. Kavisli yüzeye sahip diğer prototip ise denge ve harekete dayalı bir oyun alanı sunmaktadır (Şekil 4B).

Şekil 4. Fiziksel işlem önerilerinin prototiplere yansıması: (A) hareket hatları, (B) bağlantı/kurulum tablosu.



A

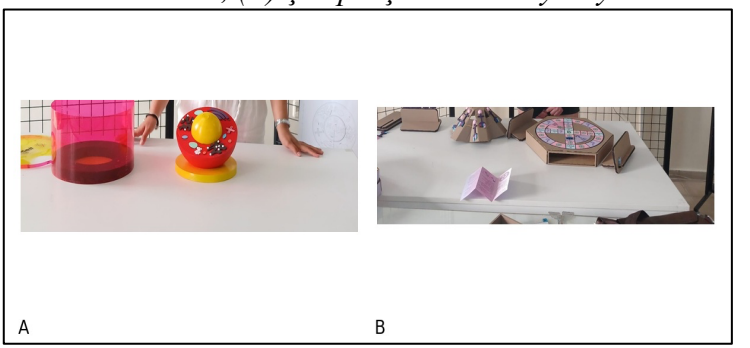


B

Kaynak: Endüstriyel Tasarım Stüdyosu II final jürisi görsel arşivinden.

EduCell'de hücre yapısı, renkli parçalar ve şeffaf saklama kabıyla sunulmuştur (Şekil 5A). Protein Fabrikası'nda ise biyolojik süreçler, farklı parçalar ve dairesel bir oyun alanıyla ele alınmıştır (Şekil 5B). Her iki tasarım da biyolojik kavramları somutlaştırmayı amaçlamaktadır.

Şekil 5. Biyolojik içeriğin iki farklı temsili: (A) hücre formu ve saklama kabı, (B) çok parçalı etkinlik yüzeyi.



Kaynak: Endüstriyel Tasarım Stüdyosu II final jürisi görsel arşivinden.

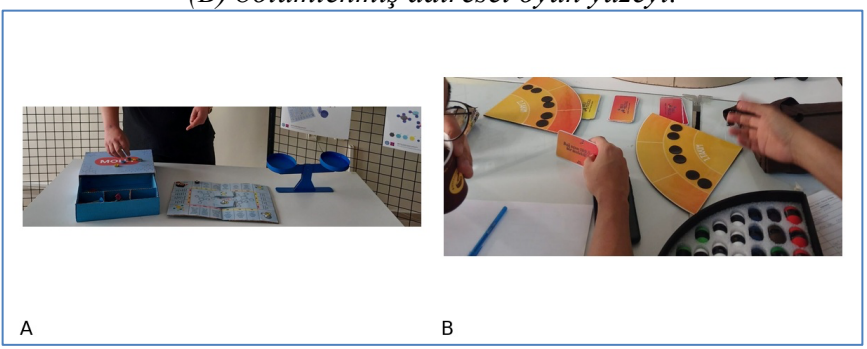
Oyunlaştırma Ögelerinin Bilgiyle Kurduğu İlişki

Proje föyünde oyunlaştırma açık bir tasarım koşulu olarak tanımlanmıştır. Buna karşın fotoğraf ve paftalarda görülen her puanlama, renkli yüzey veya yarışma önerisi doğrudan öğrenme mekanizması olarak kabul edilmemelidir. Görsel çözümleme, oyunlaştırılmış ürünlerde iki farklı ilişki biçimini ayırt etmeyi mümkün kılmıştır, birincisinde görev veya kural öğretilecek kavram üzerinde işlem yapılmasını gerektirmekte, ikincisinde oyun ögeleri öncelikle katılımı organize etmekte, konu içeriği ise kartlar veya ürün yüzeyindeki bilgi üzerinden aktarılmaktadır. Bu ayrım, tüm projeleri bir başarı hiyerarşisine yerleştirmeyen, tasarım kararlarını açıklamaya yarayan nitel bir ayrımdır.

Moleküler içerikle ilişkilendirilen MOLLY başlıklı örnekte oyun panosu ve iki kefeli teraziye benzeyen ayrı bir parça bir arada

yer almaktadır (Şekil 5A). Bu birlikte kullanım, moleküler ilişkilerin yalnızca kart üzerinde isimlendirilmesi yerine oyun bileşenleri aracılığıyla eşleştirilmesi ya da karşılaştırılması gibi işlem fırsatları sunduğunu düşündürmektedir. Build Molecule (Şekil 6A) başlıklı dairesel düzende bölümlenmiş alanlar, renkli işaretler, kartlar ve saklama bölmeleri ise görev sırası ile materyal organizasyonunun aynı ürün çevresinde tasarlandığını göstermektedir. Diğer örnekte çok sayıda ayrı birimin aynı yüzeyde düzenlenmesi ve elektronik bileşenlerin prototiple birlikte sunulması dikkat çekmektedir (Şekil 6B).

Şekil 6. Kimya içeriğine yönelik farklı oyun ve temsil örgütlenmeleri: (A) oyun panosu ile fiziksel karşılaştırma elemanı, (B) bölümlenmiş dairesel oyun yüzeyi.



Kaynak: Endüstriyel Tasarım Stüdyosu II final jürisi görsel arşivinden.

Tasarım bakımından belirleyici soru, kullanıcının doğru bir yanıt üretmek için fiziksel materyal üzerinde hangi bilişsel işlemi gerçekleştirdiğidir. Örneğin bir açı çarkını döndürmek, belirli açılar arasındaki bağı kurmaya hizmet ettiği ölçüde öğrenme içeriğiyle bütünleşir. Rastgele seçim üretmek için kullanıldığında ise içerikten görece bağımsız bir motivasyon aracı olur. Fotoğraflar bu iki kullanımın hangisinin fiilen gerçekleştiğini bütünüyle göstermediğinden, kullanım kılavuzları ve görev kartlarıyla

doğrulama sonraki analiz aşamasının önemli gerekliliklerinden biridir.

Kavram, Tasarım Kararı ve Kullanıcı Eylemi Arasındaki Bağıntı

Farklı ders içerikleri üzerinde yapılan karşılaştırma, gözlenen tasarım kararlarının üç soruyla birlikte çözümlenebileceğini göstermiştir: "Hangi ilişki temsil ediliyor?", "Kullanıcı bu ilişki üzerinde hangi işlemi yapıyor?" ve "İşlemin sonucunu hangi işaret ya da düzenekten okuyabiliyor?". Bu çalışma için geliştirilen temsil–işlem–geri bildirim ayrımı, doğrulanmış bir öğretim modeli veya başarı ölçeği olarak değil, stüdyo çıktıları arasında açıklayıcı karşılaştırma yapmayı mümkün kılan geçici bir analitik şema olarak önerilmektedir (Tablo 4). Şemanın gücü, farklı ürün biçimlerini yalnızca estetik açıdan değil, soyut içeriği eyleme bağlama bakımından ortak bir düzlemde tartışmaya açmasıdır.

Tablo 4. Seçili prototiplerde kavramsal içeriğin fiziksel etkileşime çevrilmesi

Tasarım örneği	**Temsil / somutlaştırma**	**Görünür kullanıcı eylemi**	**Kanıt sınırı**
Trio Angle	Açıların dairesel ölçek üzerinde gösterimi	Döndürme ve açı konumlarını karşılaştırma	Görsel temsil ve mekanizma görülüyor, öğrenme sonucu ölçülmedi.
Üçgen düzenek	Geometrik yüzey ve üçgen biçimli bileşenler	Yerleştirme, yeniden konumlandırma	Öğretim kuralının tamamı görselden çıkarılamıyor.
NewtonVerse	Hareket hatları ve hareketli parçalar	Parçaları hat üzerinde işletme	Hareket ölçümü ve doğruluk verisi mevcut değil.
D.K.O.	Bağlantı panosu ve elektrik bileşenleri	Parça/bağlantı kurma	Devre çıktısının etkinliği doğrulanmadı.
EduCell	Hücre biçimli yüzey, ayrıştırılmış bileşenler	Yüzey üzerindeki parçaları kullanma ve ayırma	Biyolojik doğruluk kullanıcıyla test edilmedi.
Build Molecule	Bölümlenmiş oyun alanı, kartlar ve parçalar	Seçme, yerleştirme ve eşleştirme olanağı	Görev–öğrenme bağı kılavuzla ayrıca kontrol edilmeli.

Kaynak: Nihai ürünlere dayanan araştırmacı yorumlaması. Tabloda doğrudan fotoğrafta doğrulanabilen özellikler ile olası kullanım yorumları ayrılmıştır.

Bu analitik şemadan hareketle örnekler arasında bir temsilin işlemleşmesi farklılığı gözlenmektedir. Bazı materyaller bilginin fiziksel görünümünü öne çıkarırken bazıları kullanıcının materyali yeniden düzenlemesini veya dönüştürmesini temel alır. İkinci durumda fiziksel değişimin kavramsal bir karşılığı olması tasarım kararının değerlendirilmesi için kritik bir sorudur. Bununla birlikte söz konusu ayrımın geçerli ve güvenilir bir kodlama kategorisi olarak kullanılabilmesi için tüm öğrenci paftalarının aynı ölçütlerle incelenmesi, kod tanımlarının açıklaştırılması ve bağımsız kodlayıcılar arasında tutarlılığın sınanması gereklidir.

Ürünleştirme, Ambalaj ve Süreç Belgelerinin Birlikte Değerlendirilmesi

Nihai ürünlerde zihin haritaları, yaratıcı matrisler, alternatif konsept renderları, teknik çizimler, kullanım senaryoları ve birinci ölçekte prototiplerin yan yana sunulduğu görülmektedir. Bu dokümantasyon dizisi, 8 haftayı kapsayan özgün proje föyündeki araştırma, fikir geliştirme, eskiz, üç boyutlu modelleme, mock-up ve final prototipi teslimlerinin görsel karşılıklarını ortaya koymaktadır. Ancak yalnızca nihai jürideki pafta diziliminden her öğrencinin hangi eleştiriyi ne zaman aldığı veya her prototipin önceki sürümüne göre hangi ölçüde iyileştiği çıkarılamaz. Bu nedenle burada "iteratif sürecin doğrudan kanıtlandığı" değil, süreci belgelemek için tasarlanan çıktıların finalde bir araya getirildiği sonucuna varılmaktadır.

Ambalajın proje föyünde ayrı bir aşama olarak belirlenmiş olması nihai ürünleri yalnızca kavramsal prototip değil, sınıfta muhafaza edilmesi, taşınması ve kurulması beklenen kullanım nesneleri olarak ele almaya yöneltmiştir. Trio Angle örneğinde çark ile ayrı kutu, NewtonVerse örneğinde çantalı, açıldığında birden

fazla çalışma yüzeyi oluşturan düzenek, EduCell örneğinde şeffaf muhafaza kabı ve ayrı temsil nesnesi, Protein Fabrikası örneğinde farklı etkinlik modülleriyle ilişkili ambalaj görülmektedir. Bu çeşitlilik, ambalajın yalnızca koruyucu bir kabuk değil, materyalin kullanım sırasını, parça kaybı riskini ve sınıfta kurulma biçimini belirleyen tasarımsal bir unsur olarak tartışılabileceğini göstermektedir.

İçerik–etkileşim–saklama ilişkisinin birlikte tasarlanması özellikle lise dersliği gibi sınırlı süre ve alana sahip bağlamlarda önemlidir. Bununla birlikte fotoğrafta görülen kurulumun kolay, maliyetin düşük veya üretimin dayanıklı olduğuna karar verebilmek için süre ölçümü, ürün testleri ya da kullanıcı değerlendirmeleri gerekir. Öğretmen anketindeki düşük maliyet ve kolay taşınabilirlik beklentileri ile final prototiplerdeki ambalaj çözümleri arasında bir tasarım niyeti uyumu kurulabilir.

Öğretmen gereksinimi ile nihai prototip arasında doğrudan bir neden–sonuç ilişkisi kurulamadığından, aşağıdaki analitik dönüşüm matrisi öğretmen anketinin proje düzeyinde belirlediği tasarım problemi ile final jüri arşivinde gözlenebilen ürün özelliklerini karşılaştırmalı olarak bir araya getirmektedir. Matrisin her satırında soyut içerik, bu içeriği somutlaştıran fiziksel temsil, tasarlanan veya görsellerde izlenebilen kullanıcı işlemi, oyunlaştırmayla kurulan olası bağ ve ürün kararı ayrıştırılmıştır. Böylece materyalin hangi kavramsal ilişkiyi hangi kullanıcı eylemi aracılığıyla erişilebilir kılmayı hedeflediği incelenebilir (Tablo 5).

Tablo 5. Seçili öğrenci projelerinde gereksinim–kavramsal temsil–fiziksel işlem–oyunlaştırma–tasarım kararı dönüşüm matrisi

Örnek / kavram	**Somut temsil ve kullanıcı işlemi**	**Tasarım kararı / oyun bağlantısı**	**Yorum ve kanıt sınırı**
Trio Angle / açılar	Dereceli daire ve döner göstergeyle	Radyal ölçek ve döner ibre, görevlerin içeriği	Soyut açı ilişkisini değiştirilebilir bir fiziksel duruma

	açıları ayarlama, karşılaştırma	fotoğrafta görünmüyor	çevirir, öğrenme başarısı ölçülmedi.
Üçgen düzenek / geometri	Üçgen yüzeyleri ve ayrılabilir parçaları yerleştirme, yeniden düzenleme	Modüler üçgen gövde, renklerle ayırt edilen yüzeyler	Geometrik ilişkileri elle kurmaya olanak tanır, tam oyun yönergesi bilinmiyor.
NewtonVerse / hareket	Hareket hatları üzerinde bileşenleri kaydırma ve yeniden konumlandırma	Birden fazla hareket şeridi, taşınabilir kutu/çanta	Kuramsal hareketi işlem haline getirir, ölçüm doğruluğu veya öğrenme etkisi gösterilemez.
D.K.O. / elektrik	Delikli panelde iletkenleri ve bağlantı elemanlarını yerleştirme	Modüler kurulum yüzeyi, renkli bağlantılar, katlanabilir gövde	Devre kurulumunu somutlaştırmayı amaçlar, çalışma doğrulaması belgelendirilmemiş tir.
EduCell / hücre	Renklerle farklılaştırılmış hücre öğelerini fiziksel model üzerinde ayırt etme	Küresel ana form, ayrı bileşenler, şeffaf saklama haznesi	Sınıflandırmaya ve temsil etmeye dayanır, hücresel doğruluk ayrıca incelenmelidir.
Protein Fabrikası / protein	Dairesel oyun yüzeyindeki parça ve kartları seçme, sıralama olanağı	Bölümlenmiş yüzey, çok parçalı etkinlik, muhafaza elemanları	Süreçleri aşamalara ayırmayı hedefler, oyun kuralları ve bilimsel sıra ayrıca doğrulanmalı.
MOLLY / molekül	Oyun tablosunda parçaları seçme, ayrı çift kefeli form ile karşılaştırma olanağı	Oyun panosu, taşlar, saklama kutusu ve bağımsız karşılaştırma elemanı	İşlemsel öğrenme potansiyeli vardır, kefeli parçanın tam kullanım kuralı bilinmiyor.
Build Molecule / kimya	Dairesel bölmeleri ve görev kartlarını kullanarak öğeleri konumlandırma	Dilimli oyun yüzeyi ve ayrılabilir kartlar	Kavramı görev basamaklarına dağıtır, kimyasal doğruluk ve öğrenme çıktısı ölçülmedi.

Kaynak: Öğretmen anketinin toplulaştırılmış yanıtlarının çözümlenmesi

Matriste öne çıkan ortak mekanizma, soyut içeriğin önce algılanabilir bir fiziksel işarete (açı ölçeği, hücre bileşeni, bağlantı

noktası veya hareket hattı), ardından kullanıcı tarafından değiştirilebilir bir düzenlemeye dönüştürülmesidir. Bu değişiklik tasarımın etkileşim boyutunu oluşturur. Tüm örneklerin eşit düzeyde işlemsel olduğu ileri sürülemez: Trio Angle ve NewtonVerse'de dönüş/durum değiştirme daha doğrudan izlenirken EduCell ve Protein Fabrikası'nda görsel sınıflandırma ve parça organizasyonu belirgindir. Böylece ürünler arasında temsilden işleme uzanan tasarım kararlarının farklılaşması görülmektedir.

Çalışmanın Açıklayıcı Katkısı

İncelenen projelerde üç temel tasarım kararı öne çıkmıştır: öğretmenlerin belirttiği ihtiyaçların ele alınması, soyut konuların fiziksel parçalar ve kullanıcı eylemleriyle somutlaştırılması, ürünlerin ambalaj, kurulum ve saklama çözümleriyle tamamlanması. Ürünün görsel çekiciliğinin yanında, kullanım biçiminin öğretilecek konuyla ilişkisi de önem taşımaktadır. Çalışma, bu kararların öğrenci projelerine nasıl yansıdığını açıklamaktadır. Ürünlerin öğrenmeye katkısını değerlendirmek için lise öğrencileriyle kullanım çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Tartışma

Gereksinimlerden materyal tasarım kararlarına geçiş

Öğretmen yanıtlarının ağırlıkla soyut kavramları anlama ve matematiksel altyapı sorunları üzerinde yoğunlaşması, ürün tasarımının başlangıç problemini soyut kavram–eylem ilişkisi üzerinden tanımlamaya gerekçe sağlamaktadır. Görsel olarak etkileyici bir nesne üretmek ile öğrencinin karmaşık bir ilişkiyi inceleyebileceği bir düzenek tasarlamak arasında önemli bir ayrım vardır. Bulgulardaki döner açı yüzeyi, parçaları konumlandırılabilir

üçgen model, modüler bağlantı panosu ve parçalı biyolojik temsil gibi örnekler, bu ayrımın ürün biçimi üzerindeki somut karşılıklarını göstermektedir.

Bu bağlamda gereksinimlerden tasarım kararlarına bir geçiş izlendiği söylenebilir. Ancak tekil bir anket yanıtının belirli bir öğrencinin tekil tasarım özelliğine neden olduğu gösterilmiş değildir. Öğretmen taraması ile nihai ürünler arasındaki ilişkinin nedensel değil, proje düzeyinde problem tanımını bilgilendiren bir ilişki olarak kurulması gerekir. Projelerin tüm süreç belgeleri öğrenciler bazında eşleştirilmediği için ampirik yorum bu sınır içinde tutulmuştur. Seçilmiş çıktılar arasında görünürlük sağlama ve kullanıcı tarafından değiştirilebilir ilişki kurma bakımından ayrımlar bulunması, somutlaştırmanın ürün tasarımında tekil bir nitelik olmadığını düşündürmektedir. Bu bölümde "temsilin işlemleşmesi", soyut bir öğretim ilişkisini fiziksel nesnenin hareket, bağlama, sıralama, karşılaştırma veya dönüştürme eylemlerine bağlama biçimi için açıklayıcı bir adlandırma olarak kullanılmaktadır. Kavramın kendisi doğrulanmış bir ölçüm ölçeği değildir, daha ileri araştırmaların kodlama kategorisi adayıdır.

Bu öneriyle birlikte ürünün üç soruya cevap verebilmesi beklenir: Neyi temsil ediyor, kullanıcı temsille ne yapıyor ve sonucu nasıl değerlendirebiliyor? Üçüncü soru özellikle önemlidir çünkü kullanıcının bir nesneyi hareket ettirmesi, işlemin bilimsel açıdan doğru yorumlandığını garanti etmez. Kimi materyallerde ölçek, renk veya eşleşme açık bir geri bildirim üretebilirken kimilerinde öğretmenin anlatımı veya kullanım kılavuzu gerekli olabilir. Dolayısıyla görsel olarak saptanan potansiyel ile fiilî öğretim performansı arasındaki boşluk daha sonraki araştırma alanıdır.

Oyunlaştırmanın katmanları

Öğretim içeriklerine oyunlaştırma eklenmesi, stüdyo föyünün bütün öğrencilere yönelttiği ortak koşuldur. Bulgular, bu koşulun birbirinden farklı oyun parçalarıyla karşılandığını gösterse de kuralların bilginin yapısına ne ölçüde etkili olduğu her ürün için eşit derecede değildir. Kart seçimiyle başlayan ve ardından öğretim kavramı üzerinde işlem yapılmasını gerektiren görevler ile içeriği önceden verilmiş bir açıklamaya puan ekleyen düzenlemeler analitik olarak ayrılmalıdır. Oyunlaştırmanın öğrenme çıktılarıyla ilişkisini inceleyen meta-analitik bulgular, oyunlaştırılmış uygulamalarda bilişsel, motivasyonel ve davranışsal sonuçlar bakımından olumlu etkiler bildirmekle birlikte, bu etkilerin uygulamalar arasında değişebildiğini göstermektedir (Sailer & Homner, 2020).

Zainuddin ve diğerleri (2020) de oyunlaştırma araştırmalarının kuramsal ve yöntemsel özelliklerinin değerlendirilmesi gerektiğine dikkat çekmektedir. Bu çerçevede mevcut stüdyo uygulamasında gözlenen görev kartları, döner düzenekler, eşleştirme bileşenleri ve fiziksel oyun alanları, öğrenme başarısının göstergeleri olarak değil, öğretim içeriğinin kullanıcı eylemleriyle ilişkilendirilmesine yönelik tasarım kararları olarak yorumlanmıştır. Geliştirilen ürünlerin öğrenme üzerindeki etkisinin belirlenmesi için gerçek hedef kullanıcılarla yürütülecek karşılaştırmalı ve görev temelli çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Fiziksel bir düzenek üzerinde gerçekleştirilen karşılaştırmanın bilimsel ilişkiyi açıklaması, oyunlaştırılmış etkinliğin içeriğe entegre edilmiş olduğunu gösterebilecek işaretlerden biridir. Buna karşın bir döner çarkın tek başına görülmesi veya hareketli parçanın varlığı, doğru geri bildirim mekanizmasını doğrulamamaktadır. Bu nedenle araştırma, "oyunlaştırma başarıyı artırdı" iddiasını değil, "oyunlaştırma gerekliliği ürünlerde farklı görev ve temsil örgütlenmelerine dönüştürüldü" bulgusunu savunmaktadır.

Stüdyo eleştirisi

Projenin özgün takviminde birbiri ardına planlanan fikir çeşitlendirme, modelleme, mock-up, ön jüri ve final aşamaları ile görsellerde gözlenen pafta–ürün birlikteliği, stüdyonun çoklu temsil araçlarıyla yürütüldüğünü destekler. Cross (2011) ve Brown'ın (2008) tasarım düşüncesi tartışmaları bağlamında bu yapı, problem ve çözümün beraber geliştiği süreçlerle ilişkilendirilebilir. Fakat nihai ürünler tek tek revizyon tarihleri veya eleştiri kayıtları içermediğinden, hangi geri bildirimin hangi iyileşmeye neden olduğunu belirlemek mümkün değildir.

Ambalaj ve kurulum kararları da sonuçlara önemli bir boyut eklemektedir. Öğretmenlerin düşük maliyet ve taşınabilirlik beklentilerine karşın, fiziksel materyal yalnızca doğru kavramı göstermesiyle sınırlı değerlendirilirse gerçek sınıf bağlamındaki koşullar gözden kaçabilir. Final örneklerinde iç içe geçen modüller, saklama kutuları, açılır yüzeyler ve taşıma bileşenleri gözlenmiştir. Bu özellikler sınıf içi uygulanabilirlik niyetini gösterir. Ancak bunların pratikte daha hızlı kurulduğunu, daha ekonomik üretildiğini veya uzun ömürlü olduğunu öne sürmek için ek test gerekmektedir.

Bilimsel katkının kapsamı

Çalışmanın açıklayıcı katkısı, stüdyo ürünlerini tek tek anlatmak yerine öğretim gereksinimi, temsil, fiziksel işlem ve ürünleştirme arasındaki bağlantıları görünür kılmasıdır. Önerilen karar zinciri; (a) başlangıçta hangi öğrenme güçlüğünün tarif edildiğini, (b) ilgili kavramın nesnede hangi gösterim ilkesiyle temsil edildiğini, (c) kullanıcının kavramı işlemek için ne yaptığını ve (d) bunun hangi kullanım, saklama ve kurulum kararlarıyla tamamlandığını sorgular. Bu ilişki, farklı ders konularını aynı ölçütle tartışmak için kullanılabilir bir araştırma aracı adayıdır.

Önerinin daha geniş bir katkıya dönüşmesi için veri zenginleştirmesi gereklidir: tam öğrenci portfolyolarının bire bir eşleştirilmesi, ürünlere ait kullanım yönergelerinin toplanması, iki bağımsız araştırmacı tarafından kodlama yapılması ve kategori tanımlarının uzlaşıyla netleştirilmesi. Ardından lise öğrencileri ve branş öğretmenleriyle yapılacak görev-temelli kullanım çalışmaları, temsil–işlem ilişkisinin doğru kavramsal sonuç üretip üretmediğini inceleyebilir. Bu araştırma aşamaları henüz yapılmadığı için bu bölümdeki öneri sonuçlanmış bir tasarım modeli gibi sunulmamıştır.

Sınırlılıklar ve Araştırma Etiği

Bu incelemenin ilk sınırlılığı, veri setlerinin aynı ayrıntı düzeyinde olmamasıdır. Öğretmen anketi toplulaştırılmış olarak çözümlenmiş, stüdyo aşamaları proje föyünden belirlenmiş, ürünlerin fiziksel özellikleri ise seçilmiş nihai ürünlerden yorumlanmıştır. Süreç belgeleriyle ürünlerin öğrenci bazında tam eşleştirilmemiş olması, güçlü nedensel çıkarımları engeller. İkinci sınırlılık, anketin 32 yanıtının iki ortaokul katılımcısını da kapsaması ve branş bazında yanıt paydalarının eşit olmamasıdır. Ancak proje föyü ve soyut kavramlar belirlenirken bu durum göz önüne alınmış ve ortaokul katılımcılarının yanıtları yok sayılmıştır.

Sonuç ve Öneriler

Bu bölümde incelenen proje uygulaması, lise düzeyindeki soyut matematik ve fen içeriklerinin tasarımcılar için yalnızca görselleştirme problemi olmadığının yanısıra fiziksel temsil, kullanıcı eylemi, görev kurgusu ve kullanım koşullarını birlikte düşünmeyi gerektiren bir ürün tasarımı problemi oluşturduğunu göstermektedir. Öğretmen anketinde ortaya çıkan öğrenme güçlükleri ve kullanım beklentileri, projenin gereksinim odaklı

çerçevelenmesine katkı sağlamış, final prototiplerinde bu sorunsal farklı fiziksel çözümlerle karşılanmıştır. Karşılaştırmalı incelemede en ayırt edici özellik, bir soyut kavramın yalnızca maket ya da işaretle görünür kılınması değil, kullanıcı tarafından gerçekleştirilebilen bir işlemle ilişkilendirilebilmesidir. Bu nedenle bölüm, eğitsel materyal tasarımının çözümlemesinde gereksinim–temsil–işlem–ürünleştirme zincirini önermektedir. Zincir, öğretim çıktısını ölçen bir ölçek veya doğrulanmış stüdyo modeli değildir. Çoklu tasarım örnekleri arasındaki farkları tartışmayı kolaylaştıran açıklayıcı bir araştırma önerisidir.

İlerleyen çalışmalarda öncelikle 38 katılımcıya ait bütün tasarım çıktılarının eksiksiz envanterinin çıkarılması, bütün stüdyo çıktılarının ortak bir kod kitabıyla taranması, oyun görevlerinin ve geri bildirimlerinin öğretim hedefleriyle ilişkisinin branş uzmanlarınca değerlendirilmesi ve geliştirilen prototiplerin gerçek lise kullanıcılarıyla uygulanması önerilmektedir. Böyle bir genişletme, burada görünür kılınan tasarım kararlarının hem güvenilir biçimde sınıflandırılmasını hem de olası öğrenme sonuçlarıyla ilişkilendirilmesini mümkün kılacaktır.

Kaynakça / References

Brown, T. (2008). Design thinking. *Harvard Business Review, 86*(6), 84-92, 141. https://hbr.org/2008/06/design-thinking

Byrne, E. M., Jensen, H., Thomsen, B. S., & Ramchandani, P. G. (2023). Educational interventions involving physical manipulatives for improving children's learning and development: A scoping review. *Review of Education, 11*(2), e3400. https://doi.org/10.1002/rev3.3400

Cross, N. (2011). *Design thinking: Understanding how designers think and work.* Berg.

Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining "gamification". *15th International Academic MindTrek Conference*, (pp. 9-15). https://doi.org/10.1145/2181037.2181040

Hettithanthri, U., & Hansen, P. (2022). Design studio practice in the context of architectural education: A narrative literature review. *International Journal of Technology and Design Education, 32*, 2343-2364. https://doi.org/10.1007/s10798-021-09694-2

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*, Prentice-Hall.

Sailer, M., & Homner, L. (2020). The Gamification of learning: A meta-analysis. *Educational Psychology Review, 32*(1), 77-112. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09498-w

Salen, K., & Zimmerman, E. (2003). *Rules of play: Game design fundamentals.* MIT Press.

Zainuddin, Z., Chu, S. K., Shujahat, M., & Perera, C. (2020). The impact of gamification on learning and instruction: A systematic review of empirical evidence. *Educational Research Review, 30*, 100326. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100326

BÖLÜM 4

ÜRÜN TASARIMI GELİŞTİRMESİNDE TAGUCHI DENEY TASARIMININ UYGULANMASI

Tina BAHRAMİ[1]
Prof. Dr. Aydın ŞIK[2]
Dr. Öğretim Üyesi Fulya SARPER[3]

[1]Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Bölümü ORCID:0000-0001-8280-822X
[2]Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstriyel Tasarım Bölümü ORCID: 0000-0002-8977-9094
[3]Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Turizm Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Anabilim Dalı ORCID: 0000-0001-6386-9385

Giriş

Ürün tasarımında müşteri memnuniyetinin bir kuruluşun mevcut ve gelecekteki sürdürülebilirliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Memnun müşteri, şirketin ürünlerine veya hizmetlerine dikkat çekerek şirket için bir reklam sözcüsü olarak hareket eder. Bilgiye erişim açısından artan rekabet, benzer ürün ve hizmetlerin varlığı vb. kuruluşlar arasındaki rekabeti arttırmasından dolayı şirketlerin ayakta kalmasının tek yolu daha değerli ve üstün kaliteli ürün ve hizmetler sunmaktır. Bu konu müşterilerin ihtiyaç ve isteklerine yanıt olarak ürün, hizmet ve keşiflerin sağlanmasında yenilik ve değişimi zorunlu kılmaktadır. Bu gereksinimler etkin bir şekilde karşılanırsa, işletme daha başarılı olacaktır. Birçok işletme için ürünün yeniden tasarımı kritik bir süreçtir. Bu konu kritiktir çünkü kuruluşun veya şirketin gelir ve kar payları yeni ürünlerin tasarımına bağlıdır. Optimal ürün tasarımı; bir organizasyonun başarısının, büyümesinin ve hayatta kalmasının kritik bir bileşenidir. İşletmeler ve ürün üreten kuruluşlar, tedarik zincirinin tüm seviyelerinde küresel müşteri talebine yanıt olarak üretilen ürünün kalitesini sağlama zorluğuyla sürekli olarak karşı karşıya kalmaktadır.

Sorunu çözmenin yöntemlerinden biri, üretim sistemlerinde tasarım parametrelerini optimize etmek için yaygın olarak kullanılan bir teknik olan Taguchi test tasarımını kullanmaktır. Bu yöntem, test koşullarını oluşturabilmek için ortogonal dizi tabloları adı verilen özel tabloları kullanmaktadır. Tabloların kullanımı, deney tasarımının basit ve güvenilir olmasını sağlamaktadır. Taguchi yöntemi, sağlam bir tasarım geliştirmek için gereken analitik çalışmaların sayısını, ayrıca genel test süresini ve maliyetini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ürün ve süreç tasarlamaya gelince, Taguchi yöntemi kaliteli tasarıma öncelik vermektedir. Öte yandan geleneksel yöntemler, üretim sırasında ve sonrasında denetim ve

kalite kontrolüne öncelik vermektedir (Taguchi, G. at., 2005; Taguchi, G. 2004; Dovey, S.J. and Matthews, A., 1998).

Yeni Ürün Geliştirme (NPD) Süreci

Yeni ürün geliştirme (NPD) süreci, bir organizasyonun yeni ve yenilikçi bir ürün yaratmak veya mevcut bir ürünü geliştirmek için tüm kaynaklarını, tesislerini ve yeteneklerini çok amaçlı ekipler şeklinde kullandığı bir süreçtir (Montgomery, D.C., 1991; Yang, W.H., and Tarng, Y.S., 1998; Montgomery, D.C., 2008). Başka bir tanım, sürecin esas olarak bilginin geliştirilmesi ve organizasyonda yer alan birey ve grup tarafından gerçekleştirilen rutin ve rutin olmayan görevlerin akışını içeren bilgi entegrasyonu ve birleşimi faaliyetleri olduğunu belirtir. Bu süreç, tasarım ve üretim süreçleri boyunca müşteri talimatlarını ve siparişlerini, piyasa talebini ve teknolojik gelişmeleri ileten bir faaliyetler topluluğu olarak tanımlanır. Ürün Yönetimi ve Geliştirme Derneği'nin el kitabına göre, yeni ürün geliştirme, "şirketin (ilk) fikirleri olgunlaştırarak pazarlanabilir ürünlere ve hizmetlere dönüştürmeye yönelik doğal hedefini gerçekleştiren tekrarlanabilir bir dizi görev, adım ve eylem" olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre, tüm süreç birden fazla alt sürece (alt süreçler) ve alt aşamalara ayrılabilmektedir (Giri, J., at. 2024; Singh, T. K., at., 2024; Akram Afzal, M., 2017).

Deney Tasarımı (Taguchi Yöntemi)

Taguchi yöntemi, sağlam deney tasarımları yoluyla bir süreçteki varyasyonu azaltmayı içerir. Yöntemin genel amacı, üretici için düşük maliyetle yüksek kaliteli ürün üretmektir. Taguchi yöntemi, varyasyonu koruyan Japon Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiştir. Taguchi, farklı parametrelerin, sürecin ne kadar iyi çalıştığını tanımlayan bir süreç performans özelliğinin ortalama ve varyansını nasıl etkilediğini araştırmak için deney tasarlama yöntemi geliştirmiştir. Taguchi tarafından önerilen deney tasarımı, süreci etkileyen parametreleri ve bunların hangi seviyelerde değiştirilmesi

gerektiğini düzenlemek için ortogonal diziler kullanmayı içerir. Faktöriyel tasarım gibi tüm olası kombinasyonları test etmek yerine, Taguchi yöntemi kombinasyon çiftlerini test eder. Bu, minimum deney miktarıyla hangi faktörlerin ürün kalitesini en çok etkilediğini belirlemek için gerekli verilerin toplanmasına olanak tanır. Böylece zaman ve kaynak tasarrufu sağlar. Taguchi yöntemi, orta sayıda değişken (3 ila 50), değişkenler arasında az sayıda etkileşim ve yalnızca birkaç değişkenin önemli ölçüde katkıda bulunduğu durumlarda en iyi şekilde kullanılır (Wu, Y., 2005; Taguchi, G., 2004).

Taguchi, kaliteyi geliştirmenin en iyi yolunun onu tasarlamak ve ürüne entegre etmek olduğuna inanmıştır. Kalite iyileştirme, en başından, yani bir ürünün veya sürecin tasarım aşamalarında başlamakta ve üretim aşaması boyunca devam etmektedir. Üretim hattındaki bir üründe kaliteyi inceleme girişimi yerine, tasarım aşamalarının başlarında kalite iyileştirme geliştirmek için "çevrim dışı" bir strateji önermiştir. Taguchi, kalitesizliğin teftiş, tarama veya kurtarma süreciyle iyileştirilemeyeceğini gözlemlemiştir. Hiçbir denetim, kaliteyi ürüne geri getiremez; muayene sadece bir semptomu tedavi edebilir. Bu nedenle kalite kavramları, önleme felsefesine dayandırılmalı ve bu felsefe etrafında geliştirilmelidir. Ürün tasarımı, kontrolsüz uygulama ve çevresel faktörlerin üretim süreçleri üzerindeki etkisinden etkilenmeyecek kadar sağlam olmalıdır. Taguchi, çok daha yüksek yatırım getirisi için tasarımda kaliteyi ön planda tutmakta ısrar etmiştir.

Sonuçların Analizi

Taguchi yönteminde, aşağıdaki üç hedeften bir veya daha fazlasını elde etmek için deneylerin sonuçları analiz edilmektedir:

- İncelenen faktörlerin ve etkileşimlerin etki eğilimini belirlemek,
- Sonuçların değişkenliği üzerindeki önemli faktörleri ve bunların göreceli etkilerini belirlemek,

•Bir ürün veya süreç için en iyi veya optimum koşulu belirlemek,

•Bireysel faktörlerin katkısının tahmini,

•Optimum değer altında beklenen yanıtın tahmini yapmaktadır.

Optimum koşul, faktörlerin her birinin ana etkileri incelenerek belirlenmektedir. Süreç, faktör seviyelerinin ortalama etkileri için sayısal sonuçların küçük aritmetik manipülasyonunu içermekte ve genellikle basit bir hesap makinesinin yardımıyla yapılabilmektedir. Ana etkiler, faktörlerin etkisinin genel eğilimini göstermektedir. Karakteristik, yani daha yüksek veya daha düşük bir değerin tercih edilen sonucu üretip üretmediği bilinerek, en iyi sonuçları üretmesi beklenen faktörlerin seviyeleri tahmin edilebilmektedir.

Bireysel faktörlerin katkısının bilgisi, bir üretim süreci üzerinde kurulacak kontrolün niteliğine karar vermenin anahtarıdır. Varyans analizi (ANOVA), tek bir faktörün göreceli yüzde etkisini belirlemek ve önemli faktörleri önemsiz olanlardan ayırmak için deneyin sonuçlarına en yaygın olarak uygulanan istatistiksel işlemdir. Belirli bir analiz için ANOVA tablosunun incelenmesi, hangi faktörlerin kontrol edilmesi gerektiğini ve hangilerinin kontrol edilmediğini belirlemeye yardımcı olur. Optimum koşul belirlendikten ve beklenen performans (tahmin edilen değer) tahmin edildikten sonra, bir doğrulama deneyi yürütmek genellikle gerekli ve iyi bir uygulamadır. Ayrıca, tam faktöriyel koşulların herhangi birinde (L-8 deneyi için 128) performans, gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarından da hesaplanabilmektedir.

Materyal ve Metod

Geleneksel deney tasarımından farklı olarak, Taguchi deney tasarımı hem ortalamaları hem de değişkenliği hesaba katmaktadır. Üretim sürecinin değişkenliğine izin vermek için pişirme fırınları, standartların altındaki faktör seviyelerini karşılayacak şekilde

tasarlanmalı ve geliştirilmelidir. Hem ortalama faktör seviyesini hem de varyasyonları etkileyen faktörleri belirlemek için Taguchi yöntemi kullanılabilir. Çok çeşitli istatistiksel tasarım tekniklerini içeren klasik deney tasarımı yöntemleri uzun süredir kullanılmaktadır. Bu teknikleri kullanmak için gereken yüksek düzeyde istatistiksel karmaşıklık, mühendislerin uygulamalarını zorlaştırmıştır. Bu nedenle büyük ölçüde bu yöntemlerden kaçınılmıştır (Bahrami, T., 2022).

Bu çalışmada amaç; iki farklı endüstriyel fırınında aynı ürünü üretmek ve hangi fırın en iyi sonucu ortaya çıkarttığını öğrenerek hedef fırının daha iyi performans sergilemesini sağlayan faktörleri bulmak ve daha sonraki çalışmalarda değerlendirmektir.

Ürün Tasarımı

Hedeflenen ürün olarak pandispanya pastacılık kekine karar verilmiş, araştırmak için çeşitli bilgiler ve malzemeler hazırlanmıştır. Tasarıma göre yerli ürünler kullanılmıştır. Kontrol dışında olan faktörleri en aza indirmek için daha az çeşit malzeme içeren bir tarif seçilmiş ve birkaç faktör sabit olarak tutulmuştur. Malzemelerin listesini şeker, yumurta, un, hamur kabartma tozu, vanilya ve bu malzemelerin tamamı aynı firma ürünü olarak tüm analizler boyunca kullanılmıştır. Fırın modeli, sıcaklık ve süre değişken faktör olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan kek tarifi, malzemelerin üretim kaynağı, malzemelerin ölçüsü ve kalıp boyutu sabit faktör olarak belirlenmiştir.

Tarif, potansiyel gürültü faktörlerinin deneysel prosedür üzerindeki etkilerini en aza indirmek için kontrollü bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Özellikle, oda sıcaklığı 20°C'den 21°C'ye yalnızca hafif bir artış veya düşüş kaydedilerek nispeten sabit kalmıştır. Tüm deneylerde nem ortamının %50 ile %55 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Ayrıca çevresel koşullarda önemli bir değişiklik olmaması için tüm denemeler bir haftalık süre içinde gerçekleştirilmiştir. Ana bileşen (un) dışında kalan bileşenler (yumurta, şeker) tüm deneme çalışmalarında kullanılan bir karışım oluşturmak üzere birleştirilmiştir.

Örnek kek kalıpları, pişirmeye hazır olan hamurun kek kalıbına yerleştirilmesi esnasında oluşabilecek negatif etkileri ortadan kaldırmak için önceden belirlenmiş bir yere konmuştur. Tüm harmanlama aynı çırpıcı, KitchenAid tarafından aynı karıştırma hızına sahip pilot profesyonel hamur karıştırıcı ve 4 kg hamur kapasiteli bir karıştırma kabı ile yapılmıştır. Tüm denemelerde aynı tip kek kalıbı (yuvarlak 18 çap) kullanılmıştır. Malzeme porsiyonlama, tartmak, hamuru kalıba dökmek ve hazır olan kek kalıbını fırından çıkarmak gibi görevlerin her birini tamamlamıştır.

Şekil 1. a)Kek için kullanılan kalıp, b) Kek için kullanılan malzemeler, c) çırpıcı

a)  *b)*  *c)* 

Şekil 2. a) Kullanılan A fırını b) Kullanılan B fırını

a)  *b)* 

Pandispanya kek örnekleri, 1 gr hassasiyetle elektronik terazi kullanılarak tartılmıştır. Tüm deneylerde karıştırma ve pişirme işlemlerini zamanlamak için standart bir kronometre kullanılmıştır.

Net bir hedef belirlemek

Taguchi yöntemi, nihai konunun net bir tanımıyla başlamaktadır. Bu yöntemin bir sonucu olarak, hangi değişkenlerin en hafif ağırlığa sahip olduğu belirlenmiştir. Böylece bu deneyde kullanılan 2 farklı fırın modelinin hangisinde en iyi sonuç elde edileceği belirlenmiştir.

Faktörlerin seçilmesi

İkinci adımda, kekin hafif olmasını en çok etkileyen tasarım parametreleri seçilmiştir. Kontrol faktörleri ve gürültü faktörleri, parametre tasarım deneyinde iki yaygın faktör türüdür. Gürültünün aksine, bir kontrol faktörünün seviyesi ayarlanabilir ve korunabilir, ancak tepki karakteristiğinin performansı bundan olumsuz etkilenebilir. Tablo. 1'de "temel çalışma parametreleri" listesi gösterilmektedir.

Tablo 1. Karışık ortogonal diziler

Parametreler		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Birimler
A	Fırın modeli	A	B	-	-
B	Sıcaklık (°C)	170	180	190	(°C)
C	Süre (dk.)	10	15	20	(dk.)

Mevcut mühendislik donanımı ile bu parametreler kek özellikleri üzerindeki etkileri açısından test edilebilir. İki model sanayi tip fırın ve diğer parametrelerin üç seviyesidir. Tekrarlanabilirliği sağlamanın ve değişkenliğin etkilerini hesaba katmanın bir yolu olarak her test konfigürasyonu için iki veri seti toplanmıştır.

Başarılı bir deneysel tasarım için, ilgili süreç aşamalarının ve bunların ürün özelliklerini nasıl etkiledikleri ile ilişkilerinin tam

olarak anlaşılmasının gerekli olduğu belirlenmiştir. Bilgi akışının uygun şekilde organize edilmesini sağlamak için kek pişirme çalışmasında kullanılacak potansiyel kek özellikleri ve kontrol faktörlerinin bir listesi hazırlanmıştır. Sonuç olarak, kek ürününün fiziksel özellik iyileştirmesi için en önemli olduğu belirlenen bir performans özelliği tespit edilmiştir. Bu özellik kekin ağırlığıdır. Ayrıca her bir kategori, istenilen optimizasyon yolunun yönüne ve kategori ile ilişkilendirilen kalite karakteristiğine göre belirlenmiştir. En iyi tahmin değerinin, hedef değerle ne kadar yakından ilişkili olduğuna bağlı olarak küçük olması daha iyi olduğu için, kek ağırlığı 'daha düşük-daha iyi' özelliği ile ilişkilendirilmiştir.

Düşük değerin en iyi olduğu sinyal-gürültü (S/N) oranı, her faktör seviyesi kombinasyonu için hesaplanmaktadır -10 tabanlı log kullanılarak küçük-en iyi S/N oranı denklem 1'dir.

$$S/N=-10*\log(\Sigma(Y^2)/n) \quad (1)$$

Burada S, verilen faktör seviyesi kombinasyonu için tüm gürültü faktörlerine yönelik yanıtların standart sapmasıdır. Yüzey yüksekliği ise 'daha büyük-daha iyi' bir kalite özelliği ile ilişkilendirilmiştir.

Her faktör seviyesi kombinasyonu için daha büyük olanın en iyi olduğu sinyal-gürültü (S/N) oranı hesaplanmaktadır. -10 tabanlı log kullanılarak daha büyük-daha iyi S/N oranı denklem 2'dir.

$$S/N=-10*\log(\Sigma(1/Y^2)/n) \quad (2)$$

Bu denklemlerde N, toplam yanıt sayısını, Y ise bu yanıtların özelliklerini temsil etmektedir. Ayarların optimal kombinasyonu, DOE tabanlı OA ve S/N oranı ile parametrik seviyeler kullanılarak belirlenmektedir.

Ortogonal seçimi

Taguchi sürecinin üçüncü adımında iki düzeyde bir parametreyi ve üç düzeyde iki parametreyi araştırmak için uygun OA'nın seçilmesi gerekmektedir. Üç faktörün ana etkileri ve seviyeleri, OA'da belirli bir sütuna yerleştirilerek incelenmiştir ve sonuç Tablo 2'de gösterilmiştir. Taghuchi yöntemini kullanarak 18 adet farklı kombinasyon deneysel analiz elde edilmiştir. Tablo 2. her analiz için faktörlerin hangi seviyesini kullanmak gerektiğini göstermektedir.

Tablo 2. Taguchi yöntemi ile tasarlanan ortogonal diziler (L18)

Faktörler	Fırın modeli	Sıcaklık (°C)	Süre (dk.)
1	A	170	10
2	A	170	15
3	A	170	20
4	A	180	10
5	A	180	15
6	A	180	20
7	A	190	10
8	A	190	15
9	A	190	20
10	B	170	10
11	B	170	15
12	B	170	20
13	B	180	10
14	B	180	15
15	B	180	20
16	B	190	10
17	B	190	15
18	B	190	20

Araştırmanın uygulanması

Taguchi'nin dördüncü adımı deneyi gerçekleştirmektir. Deney sırasında iki fırın üzerinde test edilen 18 farklı donanım konfigürasyonu vardır. İlgili fırınlarda pişirilmiş olan ürünün nihai sonucunu ve kalitesini kapsamlı bir analiz yapmak için bir test düzeneği kurulmuştur. Tekrarlanabilirliği sağlamanın ve değişkenliğin etkilerini hesaba katmanın bir yolu olarak her test

konfigürasyonu için veri seti toplanmıştır. İşlevselliğini ve etkinliğini test etmek için iki farklı fırında toplam 18 adet kek pişirilmiştir.

Verilerin istatistiksel analizi

Taguchi işleminde, istatistiksel bir analiz gerçekleştirmek için L18 deneyi verileri kullanılmıştır. Her kontrol faktörü için ağırlık yanıtı ve S/N oranları hesaplanmıştır. Varyans analizi (ANOVA) en önemli kontrol parametrelerini belirlemek ve bunların kalite ve ürünün pişmesi üzerindeki etkilerini ölçmek için kullanılmıştır. MINITAB 15.0 yazılım programı tarafından oluşturulan tam bir rastgeleleştirme prosedürü kullanılarak seçilen ortogonal dizinin seviyeleri ile aynı prosedür kullanılarak atanmıştır.

Parametrik kombinasyon yoluyla optimizasyon

Taguchi'nin kullandığı diğer adım, en iyi parametre değerlerini belirlemektir. Kontrol faktörü seviyelerinin optimal kombinasyonu, ANOVA, S/N oranı ve yanıt eğrisi analiz sonuçları kullanılarak bulunmuştur. Bu çalışmanın veri işlemesinin her yönü ve ayrıca üretilen grafikler MINITAB 15.0 istatistiksel yazılım paketi aracılığıyla hesaplanmış ve görüntülenmiştir.

Araştırma Bulguları

Veri Analizi

Ürün kalite özelliği, kek ağırlığı için toplanan deneysel veriler Tablo 3'te listelenmiştir. Listedeki kalite karakteri olarak adlandırılan sonuçlar Taghuchi yönteminin belirttiği 18 deney sonunda elde edilmiştir.

Tablo 3. Ağırlık ve yüzey yüksekliği özellikleri için veri toplama

Deney sayısı	Faktörler			Kalite karakterleri
	Fırın modeli	Sıcaklık	Süre	Kek ağırlığı
	-	(°C)	(dk.)	(gr)
1	A	170	10	290

2	A	170	15	245
3	A	170	20	250
4	A	180	10	290
5	A	180	15	270
6	A	180	20	240
7	A	190	10	310
8	A	190	15	275
9	A	190	20	265
10	B	170	10	306
11	B	170	15	292
12	B	170	20	312
13	B	180	10	312
14	B	180	15	302
15	B	180	20	286
16	B	190	10	336
17	B	190	15	326
18	B	190	20	306

Şekil 3. ve Şekil 4.'te Taguchi yöntemi ile tasarlanan 18 pişirme deneyin sonuçları görülmektedir. Bu deneyler iki farklı kategoride (iki farklı fırın) ile yapılmış ve kombinasyon olarak Tablo 4. kullanılmıştır.

Şekil 3. A fırını ile pişirilmiş kekler



Şekil 4. B fırını ile pişirilmiş kekler



Toplanan verilerin istatistiksel olarak işlenmesini daha kolay anlamak, verileri uygun bir şekilde sunmak için yanıt grafikleri ve tabloları kullanılmaktadır. ANOVA tekniği, sonuçları sona erdirmekte ve yorumlanmasına olanak tanımaktadır. Verileri

doğru kullanmak ve uygulamak hedefi ile ilk adımda sonuçların birini dikkate alarak Taguchi analizi kek ağırlığı değerli sonuç için tekrarlanmış ve bu analizler doğrultusunda önemli sonuçlar elde edilmiştir. Uzmanlara danışılarak ve kullanıcı fikirleri dikkate alınarak kalite belirleten faktörler için hangi karakteristik ve görsel özeliğe sahip olurlarsa, sonucun memnun edici olduğu sorulmuştur. Alanında uzmanların ve bu ürünü kullananların memnuniyeti ve beklentisi analizi doğru yapabilmek hedefiyle en önemli adımlardan biridir. Araştırma sonucunda sonucun kek ağırlığının daha hafif olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kek Ağırlığı Verilerinin Analizi

Tablo 4. her faktör için en yüksek ortalama değere sahip olan seviye en iyi sonucun elde edildiğini göstermektedir. Birinci faktör olarak fırın modelinde ikinci fırın (B), ikinci faktör olarak sıcaklık için üçüncü seviye (190 °C) ve son faktör olarak süre için ilk seviye (10 dk.) bulunmuştur.

Faktörlerin seviyeleri arasındaki en yüksek ortalama ve en az ortalama farkına delta denir.Örnek olarak Tablo 4.'te fırın modeli için delta: 308,7-270,6 = 38,1 ve her faktörün deltasına göre derecesi belirlenmiştir. En yüksek delta fırın modeline aittir bu yüzden derecesi 1'dir. En düşük delta ise sıcaklık faktörüne aittir ve derecesi 3'tür.

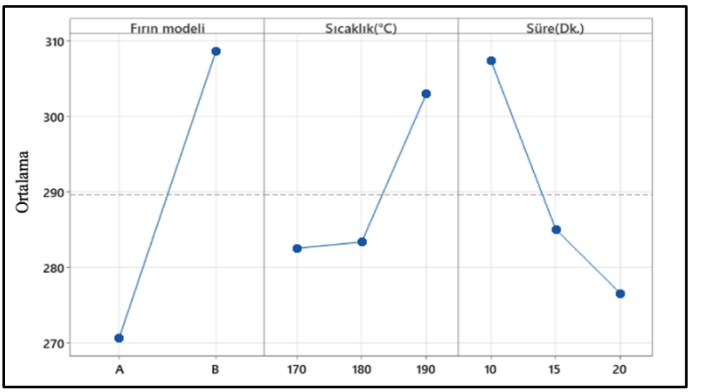
Tablo 4. Kek ağırlığı ortalamaları için yanıt tablosu

Seviye	Fırın modellerinden elde edilen ortalama kek ağırlığı (gr)	Sıcaklık faktörü ile elde edilen ortalama kek ağırlığı (gr)	Süre faktörü ile elde edilen ortalama kek ağırlığı (gr)
1	270,6	282,5	307,5
2	308,7	283,3	285,0
3	-	303,0	276,5
Delta	38,1	20,5	30,8
Derece	1	3	2

Tablo 4. için elde edilen sonuç Şekil 5.'te gösterilmiştir. Bu grafikte her faktörün hangi seviyesi optimal sonucu sağladığını göstermektedir. Etkenlerin ortalama grafiği her faktörün en yüksek olan noktası, o faktörün en uygun seviyesini göstermektedir.

Şekil 5. optimal sonucu elde etmek için faktörlerin en doğru kombinasyonunu göstermekte ve bu kombinasyon Tablo 4. ile aynıdır. Yani fırın modeli faktör için B fırını, sıcaklık için üçüncü seviye ve süre faktörü için birinci seviye olarak bulunmuştur.

Şekil 5. Ana etkenler ile elde edilen keklerin ortalama ağırlığı grafiği



Şekil 6. a) ve b)'de sırasıyla kek ağırlığı için en iyi ve en kötü sonuçları göstermektedir. Şekil 6.a)'da B fırını ile pişirilmiş ve Şekil 6.b)'de ise A fırını ile pişirilmiş kek görülmektedir. Hedeflenen kek özellikleri kalite bakımında iki resmin kıyaslamasında açıkça görülmektedir.

Şekil 6. a) Ortalama değerine göre kek ağırlığı için en iyi sonuç
b) Ortalama değerine göre kek ağırlığı için en kötü sonuç

a)  b) 

Tablo 5.'te faktörlerin sinyal gürültü oranını göstermektedir. Kek ağırlığı için yapılan bu analiz 'daha küçük daha iyi' kavramı esas alınarak yapılmıştır. Tablo 5.'te belirlenen her faktörün istenilen sonucu elde etmek için en uygun seçilen seviyesi, sinyal gürültü oranlarını belirten değerler görülmektedir.

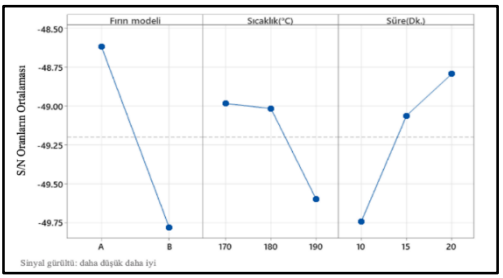
Tablo 5. Kek ağırlığı ile elde edilen sinyal-gürültü oranların yanıt tablosu

Seviye	Fırın modeli	Sıcaklık (°C)	Süre (dk.)
1	-48,62	-48,98	-49,74
2	-49,78	-49,02	-49,06
3	-	-49,60	-48,79
Delta	1,16	0,61	0,95
Derece	1	3	2

S/N oran dönüşümünü kullanarak deneysel tasarım verilerini analiz etmek için kek ağırlığını 'daha küçük daha iyi' kalite özelliğini temel alarak düşünmek gerekmektedir. Bu, Taguchi teorisine uygundur. Ancak, kullanılan fırın modeli artık tahmin değerini etkileyecek en önemli faktör olacaktır. Sonuç olarak, en büyük delta değerine sahip olan faktör, kek ağırlığını mümkün olduğu kadar belirtilen değere yaklaştıran değişken olacaktır.

Şekil 7.'de analizde değerlendirilen üç değişkenin hangisinin etkisinin en çok olduğunu basit bir şekilde göstermektedir. B fırın modeli için sinyal gürültü değeri en düşük seviyede olduğu bu faktörün diğer faktörlere göre daha önemli değere sahip olduğunu göstermektedir. Fırın modeli faktöründe iki seviye arasındaki görünen ciddi fark, bu faktörün optimum hedefe ulaşmak için en önemli ölçüt olduğunu başka bir şekilde göstermektedir.

Şekil 7. Ana etkenler ile elde edilen kek ağırlığının S/N oranların ortalama grafiği



Tablo 6. ve 7. sırasıyla ilgili ANOVA testlerinin sonuçlarının bir özetini sunmaktadır. Tablo 6.'da, işlemdeki diğer faktörlerle karşılaştırıldığında en büyük etkiye sahip olduğu için fırın modeli en önemli işlem kontrol faktörü olduğu açıktır. Katkı yüzdelerini bir arada incelersek hedeflenen kaliteyi elde etmek için en çok etkiye sahip olan faktör fırındır, ikinci olarak süre ve son olarak sıcaklıktır.

Tablo 6. Kek ağırlığı için ANOVA analizi

Kaynak	df	Kareler Toplamı	Katkı Düzeyi	Kareler Ortalaması	F-Değer	P-Değer
Fırın modeli	1	6536	%50,95	6536,1	48,02	0,00002
Sıcaklık (°C)	2	1615	%12,59	807,7	5,93	0,01615
Süre (dk.)	2	3043	%23,72	1521,7	11,18	0,00181
Hata	12	1633	%12,73	136,1	-	-
Toplam	17	12828	%100,00	-	-	-

Tablo 7. Kek ağırlığı için model özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
11,6667	%87,27	%81,96	%71,35

Tablo 6.'da ANOVA farklı faktör seviyelerindeki yanıt değişken ortalamalarını karşılaştırarak bir veya daha fazla faktörün önemini değerlendirmektedir. Df serbestlik derecesidir ve bu derece her faktörün değerleri değişmekte serbest olan sayıdır. Seq SS ardışık kareler toplamlarıdır ve faktörlerin farklı birleşenleri için ANOVA ölçüleridir. Katkı değeri her faktörün analizin sonucunda

katkı yüzdesini belirtmektedir. Kekin ağırlığının optimal sonuca varması için en çok katkıda bulunan fırın modeli olduğunu göstermektedir. Adj MS düzeltilmiş kareler toplamlarıdır ve modelin farklı bileşenleri için varyasyon ölçüleridir. F-değeri faktörün yanıtla ilişkili olup olmadığını belirlemek için kullanılan test istatistiğidir. P-değeri genellikle 0,05 anlamlı düzeydir ve sonuca varma riskini %5 olduğunu göstermektedir. Fırın modelin P-değeri 0,00002 ve süre 0,00181 düzeyinde istatistiksel olarak 0,05'den daha küçük olduğu için anlamlıdır.

Tablo 7.'de S modelin yanıtı ne kadar iyi tanımladığını değerlendirmektedir, S değeri ne kadar düşükse, model yanıtı o kadar iyi tanımlamaktadır. R^2 model tarafından belirlenmiş yanıttaki varyasyon yüzdesidir. Bu değer ne kadar yüksek olursa model verilere o kadar uygundur ve doğru tepki göstermektedir. Genellikle Taguchi analizlerinde %85 üstü modelin doğru olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada R^2 toplam değeri %87,27olarak görülmektedir ve bu da modelin güvenilir olduğunu göstermektedir.

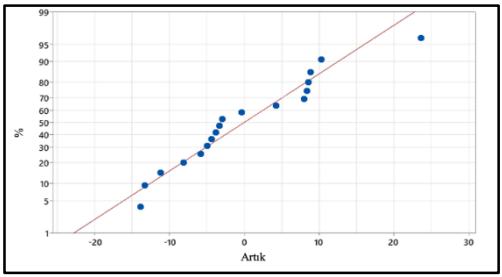
R-sq (adj) model tarafından açıklanan, gözlem sayısına göre modeldeki tahmin edicilerin sayısı için ayarlanmış yanıttaki varyasonun yüzdesidir.

R-sq (pred) modelin yeni gözlemlere yönelik ne kadar iyi tahmin ettiğini göstermektedir. Bu değer ne kadar büyük olursa o model daha iyi tahmin yeteneğine sahiptir. Tablo 7.'de bu değer %71,35'dir.

Şekil 8. kek ağırlığı için kalıntıların normal olan olasılığını göstermektedir. Dağılım normal olduğunda artıkları (bir değerin o grup için tüm değerlerin ortalaması arasındaki fark) beklenen değerlerler ile kıyaslamaktadır. Şekil 8.'de kırmızı çizgi normal olan kalıntı değerler ve noktalarsa deneylerin sonunda elde edilmiş sonuçlardır. Bu noktalar kırmızı çizgiye ne kadar yakın olurlarsa o deneyin o kadar doğru olduğunu göstermektedir. Genel anlamda, bu

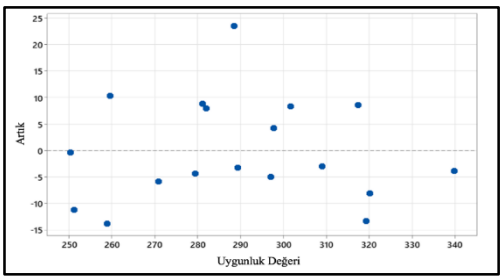
noktaların normal çizgiye yakın olduğunu ve deneyin beklenen akışta olduğunu grafik şeklinde göstermektedir.

Şekil 8. Kek ağırlığı için ANOVA normal olasılık grafiği



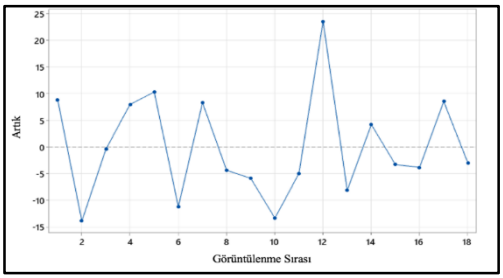
Şekil 9. artıkların rastgele dağılımı ve sabit ANOVA'ya sahip olduğu varsayımını doğrulamak için artıklara karşılık uygun grafiği göstermektedir. İdeal olarak, noktalar 0'ın her iki tarafına rastgele düşmelidir ve noktalarda tanınabilir desenler olmamalıdır.

Şekil 9. Kek ağırlığı için ANOVA artıklar uygunluğa karşı grafiği



Şekil 10. artıkların birbirinden bağımsız olduğu varsayımını doğrulamak için artıklara karşı sipariş grafiğidir. Bağımsız kalıntılar, zaman sırasına göre görüntülendiğinde hiçbir eğilim göstermemektedir. Noktalardaki dağılımlar, birbirine yakın artıkların ilişkili olabileceğini ve dolayısıyla bağımsız olmadığını gösterebilir. İdeal olarak, şekil üzerindeki artıklar merkez çizgisi etrafında rastgele düşmelidir.

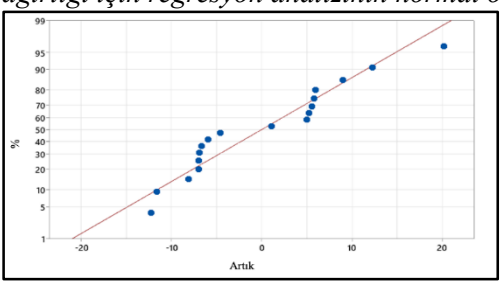
Şekil 10. Kek ağırlığı için ANOVA kalıntılar görüntülenmek sırasına karşı grafiği



Taguchi yöntemi deneylerden elde edilen sonuçlar ve hesaplanan ortalamaları göz önünde bulundurarak hedef faktörün (çıktı olarak), kontrol faktörleriyle (girdi olarak) ilişkisinin matematiksel denklemini hesaplamaktadır. Bu denklem istatistik analizlerinde regresyon olarak adlandırılmaktadır. Regresyon denklemi daha fazla deneye gerek kalmadan, belirli hedefe ulaşmak için etken faktörlerin oranıdır. Taghuchi yöntemini birçok alanda, hedefleri birbirinden farklı ürün tasarımında ve ürün geliştirme tasarımında kullanımının yaygın olmasının önemli sebeplerden biri deney sayısını en aza indirip, maliyetleri de en aza indirmektedir.

Şekil 11.'de daha önce bahsedilen normal olasılık grafikler gibi sonuçların normal değerlerden sapmasını göstermektedir. Bu şekilde kırmızı çizgi normal değer ve mavi noktalar yapılan deneylerin sonuçlarıdır. Deney sonuçların kırmızı çizgiye yakın olmaları modelin güvenirliğini göstermektedir.

Şekil 11. Kek ağırlığı için regresyon analizinin normal olasılık grafiği



Bu çalışmada iki farklı fırın kullanıldığı için Taguchi yöntemi ile her fırın farklı kategorilere ayrılmış ve her fırın için farklı regresyon analizi yapılmıştır. Tablo 8. regresyon analizinin doğruluk yüzdesini göstermektedir.

Tablo 8. Kek ağırlığı için katsayılar

Terim	Coef	SE Coef	%95 CI	T-Değer	P-Değer	VIF
Sabit	132,3	65,9	(-8,9/ 273,6)	2,01	0,064	-
Sıcaklık (°C)	1,025	0,360	(0,253/ 1,797)	2,85	0,013	1,00
Süre (dk.)	-3,083	0,720	(-4,628/-1,538)	-4,28	0,001	1,00
Fırın modeli	-	-	-	-	-	-
B	38,11	5,88	(25,50/50,73)	6,48	0,000	1,00

A fırınının regresyon analizi;

Kek ağırlığı (gr) = 132,3 + 1,025 Sıcaklık (°C) – 3,083 Süre (dk.)

B fırının regresyon analizi;

Kek ağırlığı (gr) = 170,4 + 1,025 Sıcaklık (°C) – 3,083 Süre (dk.)

Tablo 8. bilinmeyen kalite karakteri tahminleri ve bir tahmin değişkeni (faktörler) ile yanıt arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. SE Coef katsayı tahmininin kesinliğini ölçmek için katsayı standart hatası kullanılmaktadır. Bu hata ne kadar küçük olursa, tahmin o kadar kesin olmaktadır.

%95 CI modeldeki her bir faktör için popülasyon katsayısının tahminini değerlendirmek güven aralığıdır. Bir regresyon analizinde ne kadar çoklu bağlantı olduğunu açıklamak için VIF değer kullanılmaktadır. Çoklu doğrusal bağlantı sorunludur, çünkü regresyon katsayılarının ANOVA değerini artırabilir. Bu da tahmin edici faktörlerin her birinin yanıt üzerindeki bireysel etkisini değerlendirmeyi zorlaştırmaktadır. Eğer VIF=1 olursa ilişkili değildir.

Tablo 9. Kek ağırlığı için regresyon analizinin model özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
12,4768	%83,01	%79,37	%70,01

Tablo 10. Kek ağırlığı için ANOVA analizi

Kaynak	df	Kareler Toplamı	Katkı Düzeyi	Kareler Ortalaması	F-Değer	P-Değer
Regresyon	3	10649	%83,01	3549,6	22,80	0,000
Sıcaklık (°C)	1	1261	%9,83	1260,8	8,10	0,013
Süre (dk.)	1	2852	%22,23	2852,1	18,32	0,001
Fırın modeli	1	6536	%50,95	6536,1	41,99	0,000
Hata	14	2179	%16,99	155,7	-	-
Toplam	17	12828	%100	-	-	-

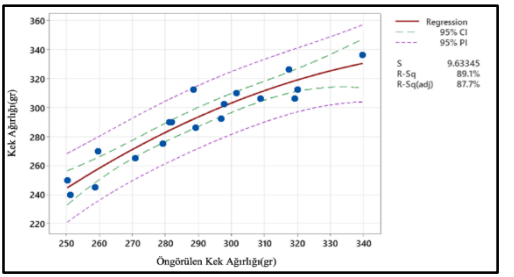
Taguchi'nin sağladığı diğer değer sahibi olan analiz ise değerlerin ortalamasını kullanarak sonuçların öngörülmesidir. Tablo 11.'de deney sonuçları ve öngörülen sonuçları bir arada gösterilmektedir.

Tablo 11. Kek ağırlığı için öngörülen Taguchi sonuçları

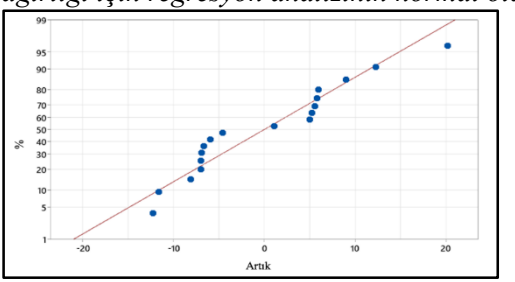
-	Faktörler			-	
	Fırın modeli	Sıcaklık	Süre	Kek ağırlığı	Öngörülen kek ağırlığı
	-	(°C)	(dk.)	(gr)	(gr)
1	A	170	10	290	281,167
2	A	170	15	245	258,833
3	A	170	20	250	250,333
4	A	180	10	290	282,000
5	A	180	15	270	259,667
6	A	180	20	240	251,167
7	A	190	10	310	301,667
8	A	190	15	275	279,333
9	A	190	20	265	270,833
10	B	170	10	306	319,278
11	B	170	15	292	296,944
12	B	170	20	312	288,444
13	B	180	10	312	320,111
14	B	180	15	302	297,778
15	B	180	20	286	289,278
16	B	190	10	336	339,778
17	B	190	15	326	317,444
18	B	190	20	306	308,944

Şekil 12.'de elde edilen CI uyum için güven aralığı ve PI tahmin aralığı, gelecekte başka bir tahmin değerinin olasılığı olan bir aralıktır. Deney sonuçları olan mavi noktalar, regresyon çizgisine yakın olmaları, modelin doğru ve güvenirliği yüksek olduğunu göstermektedir.

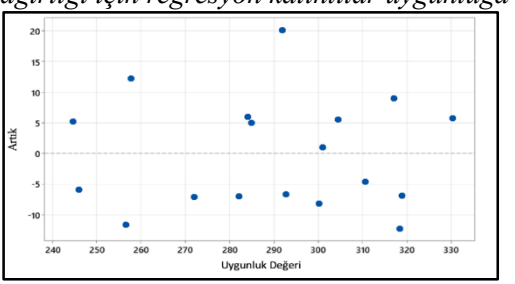
Şekil 12. Kek ağırlığının model için uygunluk çizgi grafiği



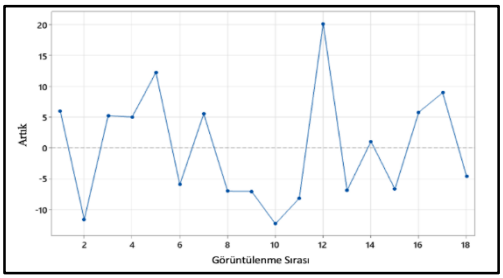
Şekil 13. Kek ağırlığı için regresyon analizinin normal olasılık grafiği



Şekil 14. Kek ağırlığı için regresyon kalıntılar uygunluğa karşı grafiği



Şekil 15. Kek ağırlığı için regresyon kalıntılar görüntülenmek sırasına karşı grafiği



Sonuç ve Değerlendirme

Bu araştırmada, etkili olduğu gösterilen temel karakteristik yöntemlerin kullanımı yoluyla kritik tasarım bilgilerinin bir alt kümesi oluşturulmuş ve verimli bir şekilde yönetilmiştir. Ürün gereksinimlerinde değişiklik olduğundan, temel özellikler, ürün gereksinimleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olan özelliklerdir. Temel karakteristik süreç için çok sayıda destekleyici uygulamanın entegrasyonu gerekmektedir. Bu nedenle, temel özellikleri kullanarak tasarım amacını yakalama yöntemlerine ilişkin tartışma, organizasyon ve uygulama konularına ilişkin bir değerlendirme ile birleştirilmiştir.

Bu çalışmada, fırın özellikleri aracılığıyla süreç kontrollerinin optimize edilmesinin, büyük ölçekli keklerin pişirilmesini uygun şekilde iyileştirmek için kullanılabileceği gösterilmiştir. Sağlam tasarım için veri toplamayı kolaylaştırmak amacıyla doğrusal olmayan ortogonal dizilerin tanıtılması ve öncelikli etkileri belirlemek için elde edilen verilerin yanıt Tabloları ve grafiklerle işlenmesi dahil olmak üzere düzenli problem çözme teknikleri uygulanmıştır.

Çalışmanın bir parçası olarak birincil hedef tüketiciler için kritik olduğu düşünülen iki kalite tepkisine dayanıklı bir kek ürünü geliştirmektir. Kek ağırlığı ölçülen özelliklerdir. Süreç anlayışı, iki

yanıtın S/N oranı performansının karşılaştırılması ve en iyi kontrollerin seçilmesi yoluyla elde edilen değişkenlik azaltma yönünün inceleştirilmesi yoluyla metodik bir şekilde geliştirilmiştir. Taguchi tarafından önerilen ANOVA, bu amaca ulaşmak için hem ortalama tekrar yanıtına hem de S/N oranı dönüştürülmüş verilere uygulanmıştır. Bu tarama tasarımı analizinin bulguları aşağıdaki sonuçları ortaya çıkarmıştır:

•Fırının kalitesi, ağırlık tepkisini etkileyen en önemli faktörlerdir. Hedeflenen verilere ulaşmak için fırının kalitesi kritik olduğu keşfedilmiştir.

•Pişirme sıcaklığının fırında sabit kalması ve sıcak havanın dışarıya çıkmaması değişkenliği azaltmada kritik öneme sahiptir.

•Kek ağırlığı ortalama değerlerinin pişirme süresi arttıkça azaldığı görülmüştür.

•Kek ağırlığı için elde edilen P-değerler 0,05'den daha küçük olduğu için modelin anlamlı olduğu tespit edilmiştir.

•B model fırın ile hazırlanmış kekler için en iyi sonuç alınmıştır. Üretilen kekler için bu kalite farkı fırın modelinden kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Fırın modeli olarak B, sıcaklık faktörü için 180 °C ve süre olarak 20 dk. en iyi sonuç olarak tespit edilmiş her faktörün seviyeleridir.

Taguchi tarafından önerilen tasarım araçlarının, özellikle seri üretim fırınların standardizasyonu için pazar talepleri ışığında, gıda mühendisliğindeki iyileştirme çabalarının çözümünde kritik olabileceği görülmüştür. Bu araştırmanın bir diğer avantajı da, Taguchi'nin yapılandırılmış problem çözme yaklaşımının, ürün ve süreç mühendisleri ile kalite fonksiyonu personelinin katılımıyla uzmanlaşmış bilginin üretilmesine ve farkındalığın geliştirilmesine nasıl izin verdiğini göstermesidir.

Tasarımdaki değişiklikler için bir değerlendirme yöntemi de dâhil edilmiştir. Bu çalışma, ürün geliştirme ekibi içindeki tasarım bilgisi akışını geliştirme ve farklı tasarım gerekçeleriyle yeniden tasarımın karmaşık hale gelme olasılığını azaltma potansiyeline sahiptir. Bu avantajların bir sonucu olarak, ürünün daha iyi anlaşılması, geliştirme çevrim süresi ve maliyetlerinde azalma sağlanmaktadır. Ürün tasarımı işlevselliğinin daha iyi anlaşılması yoluyla tasarım amacını yakalamaya yönelik kavramsal çerçeveler bu analizin odak noktası olmuştur. Sorunlu alanlar daha sonra ek araştırmalarla ele alınabilir.

Kek ürününün; tat, koku, renk, kabuk görünümü, doku, yapı ve görünüm gibi fırın özelliklerinden etkilenen bir dizi diğer kalite özellikleri ile ilgili ve aynı zamanda fırının da kalite özellikleri ile ilgili çalışma yapılması önerilmektedir. Spesifik olarak, mühendislik fırınlarında bir kek ürününün üzerinde veya optimizasyonu ile ilgili fırın özelliklerine vurgu yapılarak ek deneysel araştırmaların yapılması beklenebilir.

Kaynaklar

Akram Afzal, M. (2017). Risks in new product development (NPD) projects. PhD Dissertation, Cranfield University School of Management, Bedford.

Bahrami T., (2022). "Ürün Tasarımı Geliştirmesinde Taguchi Deney Tasarımın Uygulanması" Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye.

Dovey, S.J., Matthews, A., (1998). Taguchi and TQM quality issues for surface engineered applications, Research Centre in Surface Engineering, Universitiy of Hull, Surface and Coatings Technology, Hull.

Giri, J., Sunheriya, N., Sathish, T., Kadu, Y., Chadge, R., Giri, P., Parthiban, A. and Mahatme, C., (2024) "Optimization of process

parameters to improve mechanical properties of fused deposition method using taguchi method", Interactions Vol. 245, Issue 1, Pages 87.

Montgomery, D. C. (2008). Design and Analysis of Experiments, 8th Edition, John Wiley & Sons Inc., New York.

Montgomery, D.C., (1991). Design and analysis of experiment, John Wiley& Sons, Newyork

Singh, T. K., Birru, A. K. and Singh, K. N., (2024). "Optimizing the printing parameters for dimensional accuracy of distal femur bone by using Taguchi's method", Journal of Engineering and Applied Science, Vol. 71, Issue, Pages 10.

Taguchi, G. (2004). Taguchi's Quality Engineering Handbook. New York: John Wiley & Sons Inc, Hoboken.

Taguchi, G., Chowdury, S., Wu, Y., (2005). Taguchi's quality engineering hanbook. ASI consulting group, LLC, Livonia, Michigan.

Wu, L., Liu, H., and Su, K. (2020). Exploring the dual effect of effectuation on new product development speed and quality. Journal of Business Research, 106, 82-93.

Yang, W.H., Tarng, Y.S., (1998). Design optimization of cutting parameters for turning based on Taguchi Method, Journal of Materials Processing Technology, Taiwan.


BİDGE