

Hareketli Grafiklerin Bilişsel Ergonomisi: Karmaşık Yönlendirme Sistemlerinde Verimli İletişim Stratejileri

Ahmet Yiğit Yamak¹

Özet

Görsel iletişim tasarımının geleceği, karmaşık bilgiyi anında ve zahmetsizce aktarabilme yeteneğine bağlıdır. Bu makale, hareketli grafiklerin (motion graphics) statik ve bilişsel açıdan zorlayıcı görselleştirmelere kıyasla insan algısını kökten hızlandırdığını ve bilginin işlenme verimliliğini artırdığını savunmaktadır. Kuramsal olarak, Bilişsel Yük Kuramı (CLT) çerçevesinde, hareketli grafikler gereksiz zihinsel yükü ortadan kaldırarak bilginin çalışma belleğine daha temiz ve odaklanmış bir şekilde girmesini sağlar. Bu avantaj, özellikle Çok Nitelikli Karar Verme görevlerinde, fonolojik döngü üzerindeki yükün hafiflemesiyle deneysel olarak kanıtlanmış ölçülebilir bilişsel kazanımlar şeklinde ortaya konmuştur. Hareketin yönlendirici işlevi, Gestalt prensipleri (özellikle Ortak Kader ve Süreklilik) aracılığıyla kullanıcının rota ve akışları kesintisiz bir bütün olarak algılamasına olanak tanır. Bu üstünlük, özellikle New York City metrosu gibi karmaşık bilgi yoğunluğu ve yüksek strese sahip mekânlarda kendini gösterir; burada statik yönlendirme tabloları, kullanıcıların bilgiye erişimini ve karar verme süreçlerini zorlaştırır. Dinamik dijital tabelalar; havalimanları, hastaneler ve yoğun ulaşım merkezleri gibi yüksek stresli ortamlarda statik sistemlere kıyasla algısal ve operasyonel açıdan ezici bir üstünlüğe sahiptir. Ancak, yanlış yapılandırıldığında aşırı yüklenmeye (Extraneous Load) yol açabileceği riski bulunmaktadır. Çalışma, görsel iletişim tasarımcılarına, hareketli grafiklerin sunduğu yüksek bilişsel verimliliği en üst düzeye çıkarma stratejileri sunarak alanın geleceğine yön vermektedir.

1 ORCHID: 0009-0009-6368-8475, Öğretim Görevlisi, Başkent Üniversitesi Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Ankara, yigitayamak@gmail.com

1. GİRİŞ

Görsel iletişim tasarımının geleceği, karmaşık bilgiyi kullanıcıya anında ve zahmetsizce aktarabilme yeteneğine bağlıdır. Çoklu ortam teknolojileri çağında görsel araçların kullanımı hızla yaygınlaşsa da, bilgi yoğunluğunun geometrik olarak artması geleneksel durağan (statik) görselleştirmeleri yetersiz kılmaktadır. Bu yetersizlik, bilgiye erişimde algısal engeller ve ciddi bilişsel tıkanıklıklar yaratır. Bilişsel Yük Kuramı (CLT) çerçevesinde incelendiğinde, statik görselleştirmelerin neden olduğu bu tıkanıklıklar; acil durum yönlendirmeleri, veri analizi veya karmaşık ulaşım ağları gibi bilginin hızlı işlenmesi gereken kritik bağlamlarda doğrudan performans düşüşlerine yol açmaktadır. Durağan grafikler, kullanıcıların aktif olarak tarama yapmasını, önemli noktaları bulmasını ve bilgiyi zihinsel olarak organize etmesini gerektirir. Bu ek zihinsel çaba, bilginin kendi doğasından veya öğrenme sürecinin kendisinden ziyade, doğrudan tasarımın verimsizliğinden kaynaklanan yüksek bir Gereksiz Bilişsel Yük (Extraneous Cognitive Load) oluşturur.

Çalışma belleği kapasitesinin bu şekilde israf edilmesi, yüksek bilgi yoğunluğuna sahip ortamlarda temel bir tasarım problemidir. Bu durum, durağan sistemlerin aşamadığı temel bir çıkmazı ortaya koyar: Statik tasarım ya estetik netlik uğruna doğruluğu feda eder ya da yüksek doğruluk uğruna gereksiz bilişsel yük yaratır. Statik sistemler, bu iki uç arasında sıkışıp kalır ve dinamik değişimlere uyum sağlayamaz.

Hareketli grafikler (Motion Graphics), tam da bu kavramsal ve yapısal çıkmaza bir yanıt olarak insan algısını hızlandırır. Metin, şekil ve görsellerin hareket ve sesle birleşimi, bilgiyi arama maliyetini ortadan kaldırarak kullanıcının zihinsel kaynaklarını doğrudan bilgiyi anlamlandırmaya ayırmasını sağlar. Hareketli grafiklerin asıl kavramsal üstünlüğü, Çiftli Kodlama Kuramı (Dual Coding Theory - DCT) ile de yakından ilişkilidir. İnsan zihni bilgiyi görsel-mekânsal sistem ve sözel sistem olmak üzere iki ayrı kanalda işler. Statik tasarımlar genellikle yalnızca görsel kanalı aşırı yüklerken; hareketli grafikler bu yükü iki kanal arasında etkili bir şekilde dengeler. CLT ve DCT'nin birleşimi, pratikte Algısal Rehberlik (Perceptual Guiding) kavramını doğurur. Tasarımda hareket, pasif bir süsleme değil, dikkati yönlendiren aktif bir sinyaldir. Bu teorik avantaj, hastaneler, havaalanları veya toplu taşıma merkezleri gibi stres faktörünün çalışma belleğini daralttığı ortamlarda hayati bir operasyonel üstünlüğe dönüşür. Günümüzde Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) ve Artırılmış Gerçeklik (AR) entegrasyonları sayesinde karmaşık bilgi ağları, statik nesnelere olmaktan çıkarılarak kullanıcıyı anlık verilerle yönlendiren sıfır yüklü, dinamik deneyimlere dönüştürülmektedir. Tüm bu avantajlara rağmen hareket, yanlış kullanıldığında tehlikeli bir dikkat dağıtıcı olabilir; bu noktada en büyük risk,

Gereksizlik İlkesi'nin (Redundancy Principle) ihlal edilmesidir. Sonuç olarak, statik sistemlerin bilgi aktarımındaki sınırlamalarını kalıcı olarak aşmak ancak bilişsel yükü azaltmak, yükü kanallara dengeli dağıtmak ve yeni işlevsiz yükler yaratmamak stratejilerinin entegrasyonu ile mümkündür.

Bu kuramsal zemin ışığında, bu çalışmanın amacı, karmaşık yönlendirme sistemlerinde hareketli grafiklerin yönlendirme performansını güçlendirmek üzere bilişsel yük kuramı çerçevesinde tasarım stratejileri önermek, bu stratejileri mevcut literatürdeki bulgularla sentezlemek ve dinamik dijital tabelaların uygulama yönlerini ayrıntılandırmaktır. Çalışma kapsamında özellikle, hareketli grafiklerin statiklere göre hangi bilişsel yük türlerini nasıl değiştirebileceği; yoğun etkileşimli mekânlarda renk, hareket hızı, yönlendirme okları ve çok dilli etiketler gibi hangi tasarım öğelerinin extraneous yükü azaltıp germane (asıl) yükü artıracacağı ve son olarak dinamik yönlendirme sistemlerinin güvenilirlik ile kullanıcı güveni üzerindeki etkilerinin nasıl ölçülüp iyileştirilebileceği sorularına odaklanılır. Bu sorular, CLT odaklı bir çerçeve temel alınarak, çoklu kanal işleme dinamikleri ve görsel-işitsel entegrasyon mekânlarında kanıt temelli tasarım ilkeleriyle cevaplandırılacaktır. Belirtilen amaç doğrultusunda bu çalışma, dinamik yönlendirme mimarisinin tasarımını bilişsel yük dengesi ve algısal akıcılık hedefleriyle ilişkilendiren kavramsal bir çerçeve sunar. Sistem; akışkanlık, yönlendirme hızı ve hata toleransı gibi ölçütler üzerinden değerlendirilirken, tasarım ve değerlendirme yönleri için uygunluk ve uygulanabilirlik metrikleri tartışılır. Literatürdeki CLT odaklı bulgular, hareketli gösterimlerin gereksiz yükü azaltma ve asıl yükü artırma potansiyelini destekler niteliktedir. Ayrıca, dijitalleşmiş ve konum tabanlı verilerin anlamlılık sunması, AR/VR tabanlı navigasyon sistemleri ile gerçek zamanlı geribildirimler, bilişsel yükün yönetimi için ek bir tasarım zemini oluşturur. Çalışmanın sınırlılıkları bağlamında, sunulan çerçevenin kavramsal olduğu unutulmamalıdır. Dinamik haritaların uygulanabilirliği, bağlamsal kullanıcılar ve farklı fiziksel ortamlar açısından değişiklik gösterebileceğinden bağlam odaklı testler kaçınılmazdır. Son olarak, erişilebilirlik ve kapsayıcılık hedefleri tasarım kararlarının temel belirleyicileri olarak çalışmanın her adımında önceliklendirilmektedir.

2. BİLİŞSEL YÜK KURAMI (CLT) VE ÇALIŞMA BELLEĞİ YÖNETİMİ

Hareketli grafiklerin sunduğu algısal üstünlük, insan zihninin bilgiyi nasıl işlediğine dair temel bilimsel kuramlarla, özellikle Bilişsel Yük Kuramı (*Cognitive Load Theory - CLT*) ile güçlü bir şekilde açıklanabilir.

2.1. CLT'nin Temelleri ve Sınırlı Çalışma Belleği Kapasitesi

Bilişsel Yük Kuramı, Paas, Renkl ve Sweller (2004) tarafından geliştirilmiş olup, öğrenmenin başlamadan önce eşzamanlı olarak işlenmesi gereken bilginin miktarı ve öğeler arası etkileşimi ile ortaya çıkan karmaşık bilişsel görevlerin öğrenilmesi sürecini inceler. Bu kuram, bilişsel kaynaklarımızın sınırlı olduğunu varsayar. Çalışma belleği, bilginin geçici olarak depolanması ve işlenmesi mekanizmasını ifade eder ve kapasitesi kısıtlıdır. Dolayısıyla, öğrenme ve karar verme başarısı, çalışma belleğini aşırı yüklemeyen, optimize edilmiş bilgi sunumuna bağlıdır.

2.2. Üç Bilişsel Yük Türünün Detaylı Analizi

CLT, bilişsel süreçler üzerindeki baskıyı yönetmeyi hedefler ve bilişsel yükü üç kategoriye ayırarak hareketli grafiklerin nasıl optimize ettiğini açıklar:

1. İçsel Yük (*Intrinsic Load*): Bilginin kendisinin doğal karmaşıklığı ve öğeler arası etkileşimi ile ilişkilidir. Bu yük, materyalin doğası gereği yüksek kalsa da, hareketli grafikler görselleştirme yoluyla karmaşıklığı ayrıştırarak (*chunking* veya kavramsal birimler olarak) ve zamansal sıralama ile yönetilebilir hale getirerek bu yükü dolaylı olarak yönetir.
2. Gereksiz Yük (*Extraneous Load*): Kötü tasarım, gereksiz tarama çabası veya sunum yöntemlerinden kaynaklanan, öğrenme hedefiyle ilgisi olmayan zihinsel çabadır. Hareketli grafiklerin temel avantajı, görsel akışı rehberleyerek gereksiz zihinsel çabayı ortadan kaldırmasıdır. Bu, bilgiyi yapılandırarak, gereksiz görsel öğeleri eleyerek ve dikkati yönlendirerek sağlanır.
3. Germe Yük (*Germane Load*): Öğrencinin bilginin yapılandırılmasına, şemaların oluşturulmasına ve uzun süreli belleğe aktarılmasına ayırdığı faydalı zihinsel çabadır. Hareketli grafikler, *Extraneous* yükü minimize ederek, bilginin anlamlandırılmasına ayrılan kaynakları artırır ve böylece *Germane* yüke ayrılan kapasiteyi optimize eder.

2.3. Hareketli Grafikler Aracılığıyla Bilişsel Optimizasyon

Hareketli grafikler, karmaşık statik bir grafiğin analiz edilmesi için harcanacak olan zihinsel sıralama ve eşleştirme çabasını, bilginin zamansal olarak sıralanması yoluyla ortadan kaldırır. Bu mekanizma, kullanıcının enerjisini karmaşık yapıyı anlamaya (*Germane* Yük) yönlendirmesini sağlar.

Bu optimizasyonun ampirik kanıtı, Multi-Attribute Decision-Making (Çok Nitelikli Karar Verme) gibi zihinsel olarak zorlu görevlerde elde edilen ölçülebilir bilişsel kazanımlarda ortaya konmuştur. Araştırmalar, interaktif

görselleştirmelerin bilişi nasıl güçlendirdiğine dair nicel kanıtlar sunmuştur. Örneğin, interaktif arayüzler ile yapılan çalışmalarda, kullanıcıların durağan yöntemlere kıyasla daha az çalışma belleği kaynağına ihtiyaç duyduğu ve karar kalitesinin arttığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, görselleştirmenin biliş üzerindeki amplifikasyon etkisinin temel mekanizmasını ortaya koyar: görselleştirme, özellikle fonolojik döngü üzerindeki yükü hafifleterek çalışma belleğini serbest bırakır .

Karmaşık verinin statik olarak işlenmesi, zihinde sürekli karşılaştırma ve sözel prova (fonolojik döngü) gerektirir. Hareketli veya etkileşimli grafikler ise bu karşılaştırma ve sıralama işini görsel olarak üstlenir (zamansal sıralama veya görsel gruplama kullanarak). Bu süreç, çalışma belleğinin kısıtlı kapasitesini zorlayan karmaşık görevlerde, bilişsel mimarinin *amplifikasyonunu* temsil eder. Hareketli grafiklerin faydası, sadece *bilgiyi sunmak* değil, bilgiyi işleme işini sistemin üstlenmesidir, böylece bilişsel kaynaklar daha yüksek düzeyde anlama ve karar verme için kullanılabilir.

Aşağıdaki tablo, hareketli grafiklerin bu bilişsel yük türleri üzerindeki düzenleyici etkisini özetlemektedir:

Bilişsel Yük Türleri ve Hareketli Grafikler ile Optimizasyon Mekanizması

Bilişsel Yük Türü	Durağan/ Karmaşık Grafikler Üzerindeki Etkisi	Hareketli Grafikler ile Optimizasyon Mekanizması	İlgili Kaynak
İçsel Yük (Intrinsic Load)	Karmaşık materyalin doğası gereği yüksek kalır.	Görselleştirme ile karmaşıklığı ayrıştırarak (chunking/ conceptual unitler olarak) ve zamansal sıralama ile yönetilebilir hale getirir.	(Kirschner, 2002; Tindall - Ford & Sweller, 2006)
Gereksiz Yük (Extraneous Load)	Kötü tasarımdan, gereksiz tarama çabasından kaynaklı artar.	Bilgiyi yapılandırarak, gereksiz görsel öğeleri elimine ederek ve dikkati yönlendirerek zihinsel çabayı azaltır.	(Meguerdichian vd., 2016)
Germen Yük (Germane Load)	Öğrenmeye ayrılan çaba, gereksiz yük nedeniyle azalır.	Çalışma belleğini (özellikle fonolojik döngü) serbest bırakarak anlamlandırmaya ayrılan kapasiteyi artırır ve bilişi amplifiye eder.	(Sweller, 2010; nboer & Sweller, 2010)

3. ÇİFTLİ KODLAMA (DCT) VE ALGILAMADA İŞLEME MEKANİZMALARI

Hareketli grafiklerin etkinliği, bilişsel yük yönetimi ile birlikte bilginin çoklu kipliklerde (multimodal) nasıl kodlandığına dair teorilerle güçlü biçimde desteklenmektedir. Allan Paivio'nun Çiftli Kodlama Kuramı (Dual-Coding Theory - DCT), insan zihninin hem görsel hem de sözel bilgiyi ayrı ancak birbirine bağlı kanallar aracılığıyla eş zamanlı işlediğini varsayar. Bu paralel işleme yeteneği, bilginin geri çağırılması için birden fazla yol oluşturarak bellek oluşumunu güçlendirir. Hareketli grafikler, animasyon (görsel kanal) ve anlatım (sözel kanal) unsurlarını dinamik olarak entegre ederek bu avantajdan maksimum düzeyde yararlanır. Açıklayıcı video formatlarında da vurgulandığı üzere, dinamik görsellerin konuşma akışıyla eşzamanlı iletildiği, bilginin sözlü sunumu ile görselleştirilmesi arasında gecikme yaratmayarak öğrenme sürecini daha ekonomik hâle getirmekte ve dikkatin bölünmesini (split attention) engellemektedir (Poehls et al., 2025). Bilişsel Yük Kuramı (CLT) çerçevesinde değerlendirildiğinde, farklı duyuşsal kipliklerin ölçülü kullanımıyla gereksiz (extraneous) yük azaltılmakta ve anlamlandırma süreçleri kolaylaşarak asıl (germane) yük artırılmaktadır (Evans et al., 2023). Nitekim anlatı odaklı e-öğrenme modüllerinde de animasyonlu anlatımın yazılı metne kıyasla bilişsel yük açısından daha elverişli olduğu, gereksiz görsel unsurların ayıklanmasının bu dengeyi sağlamada kritik bir rol oynadığı ifade edilmektedir (Mystakidis et al., 2021). Benzer bir tasarım mantığı, yaşlı kullanıcılar için geliştirilen kapsayıcı iletişim projelerinde de izleyicinin bellek yükünü minimize etmek amacıyla metin ve sesli anlatımın şemalarla desteklenmesi şeklinde karşımıza çıkmaktadır (Panadisi, 2023).

Hareketli grafikler, bilginin algılanma şeklini kökten değiştirerek algısal akıcılık sağlar ve bu mekanizmalar Gestalt psikolojisi prensipleriyle (Ortak Kader ve Süreklilik) bütünleşir. Görsel öğelerin senkronize veya sürekli bir akış içinde sunulması, karmaşık yönlendirme şemalarında bilginin tek, tutarlı bir birim olarak algılanmasını mümkün kılar. Bu algısal üstünlük literatürde “zamana yayılmış kademeli kurulum” (progressive build-up) mekanizmasıyla da açıklanır; beyaz tahta (whiteboard) animasyonlarında içeriklerin tek seferde yığılması yerine zaman içinde aşamalı biçimde inşa edilmesi, öğrenenleri zihinsel görselleştirmeye sevk ederek bilişsel maliyeti düşürür (Schneider et al., 2023). Algısal akıcılığın bir diğer boyutu ise görsel-ışitsel öğelerin tek bir “ifade birliği” (expressive unity) olarak tasarlanmasıdır. Çokduyulu (multisensory) müze deneyimi projelerinde gerçek ve dijital içeriğin entegrasyonu, ışık, iç mekân düzeni ve görsel-ışitsel gramerin dramatizasyonla birleştirilmesi, izleyicinin akışı çok daha tutarlı takip etmesine hizmet eder (Pietroni et al., 2021). Tüm bu prensipler, bilgiyi tarama ve zihinsel olarak birleştirme yükünü

izleyiciden alıp dinamik sistemin kendisine kaydırarak zihinsel koordinasyon maliyetlerini sıfıra yaklaştırır.

Bilişsel maliyetleri düşürmenin ötesinde hareket, veri sunumuna duygusal tonlama ve bağlam ekleyerek kullanıcı katılımını destekleyen güçlü bir görsel hikâye anlatımı (narrative visualization) aracıdır. Görsel anlatımın toplumsal bağlam ve öz-düşünümsellik (refleksivite) hedefleriyle kurgulandığı transmedya çalışmalarında, anlatı çerçevelerinin biliş ve duygu etkileşimi üzerinden derin bir anlam üretimi sağladığı görülmektedir (Sotelo, 2021). Çocukların anlam kurma süreçlerini inceleyen araştırmalar da görsel ve işitsel uyaranların etkileşimli anlatı akışı içinde bilgi üretimini doğrudan desteklediğini kanıtlamaktadır (Sylla et al., 2022). Görsel medya aracılığıyla kültürlerarası karşılaşmaları inceleyen projeler ise, görsel anlatıların yorumlanmasının empati, öz-keşif, metabiliz ve eleştirel düşünmeyi güçlendirebildiğini raporlayarak bu araçların yalnızca hatırlanabilirlik değil, “anlamlandırma derinliği” de sunduğunu doğrular (García & Cores-Bilbao, 2021). Ancak, dinamik anlatımlı videoların etkileşimli makale formatlarıyla karşılaştırıldığı çalışmalarda tutma (retention) bakımından her zaman mutlak bir üstünlük sağlamadığı; zaman verimliliği ile yaş ve öğrenim düzeyi gibi demografik değişkenlere duyarlılık gösterdiği de unutulmamalıdır; bu durum, hareketli grafik tasarımının her bağlamda otomatik bir üstünlük sağlamayabileceği yönünde kritik bir sınır koşulu sunar.

4. DİNAMİK DİJİTAL TABELALARIN OPERASYONEL ÜSTÜNLÜĞÜ VE YÖNLENDİRME (WAYFINDING) MİMARİSİ

Yönlendirme (*Wayfinding*), karmaşık bilişsel haritalama, mekânsal anlama ve karar verme süreçlerini içeren hayati bir insan faktörü görevidir. Dinamik dijital tabelalar, bu süreçleri optimize etmede statik sistemlere göre kritik üstünlükler sunar.

4.1. Yüksek Stresli Ortamlarda Algısal ve Operasyonel Üstünlük

Bulgular, dinamik dijital tabelaların, havalimanları, hastaneler ve yoğun ulaşım merkezleri gibi yüksek stresli ve bilgi yoğun ortamlarda statik sistemlere kıyasla algısal ve operasyonel açıdan ezici bir üstünlüğe sahip olduğunu açıkça göstermektedir. Statik sistemlerin değişen bilgileri güncelleyebilme kapasitesinden yoksun olması, özellikle yüksek trafik alanlarında kullanıcıların bilgi alımını zorlaştırmaktadır.

Buna karşın, dinamik dijital tabelalar (*Digital Signage*), gerçek zamanlı bilgi sunarak statik sistemlerin sınırlamalarını aşar. Havalimanları, tren istasyonları ve kongre merkezleri gibi karmaşık ortamlarda, yolcuların kapı değişiklikleri,

acil durumlar veya hat değişiklikleri gibi anlık bilgilere hızlı erişimi kritik öneme sahiptir . Örneğin, Heathrow Havalimanı gibi alanlarda uygulanan entegre dijital yönlendirme sistemleri, yolculara gerçek zamanlı yürüme süreleri ve kişiselleştirilmiş bildirimler sunarak operasyonel üstünlük sağlamıştır.

Dinamik dijital tabelalar, yüksek stresli ortamlarda sadece verimlilik sağlamakla kalmaz; aynı zamanda belirsizliği azaltarak ve doğru, güncel bilgi sunarak kullanıcıda Bilişsel Güven (*Cognitive Trust*) tesis eder. Bu, kullanıcının “durumu kontrol altında tutma” çabasını azaltır ve stres altında dahi navigasyon performansının korunmasını sağlayan bir operasyonel dayanıklılık aracıdır.

4.2. Hareketi Koruma ve Bilişsel Engelleme İlkesi

Hareketli grafiklerin yönlendirmede sağladığı temel avantajlardan biri, Hareketi Koruma İlkesi (*Principle of Motion Preservation*) ile ilişkilidir. Aktif ulaşım modları (yürüme gibi) kullanılırken, yönlendirme bilgileri hızlı ve anlaşılır bir şekilde sunulmalıdır. Statik sistemler, kullanıcının bilgiyi işlemek için durmasını ve bilinçli karar verme süreçlerini başlatmasını gerektirir, bu da fiziksel ve bilişsel bir engelleme yaratır.

Hareketli yönlendirme sistemleri, dinamik oklar ve animasyonlar aracılığıyla, kullanıcının dur-kalk yapmadan hareket etmelerine olanak tanır; böylece hem fiziksel hem de bilişsel yükleri azaltır . Dinamik animasyonlar, bilginin tarama yükünü sıfıra indirir; kullanıcı görsel olarak yönlendirildiği için zihinsel karşılaştırma ve karar verme çabası azalır. Optimum rota sunumu açısından, dinamik haritalar karmaşık koridorlar arası veya katlar arası navigasyonu anlık olarak görselleştirerek, statik sistemlere göre daha tutarlı ve sorunsuz bir deneyim sunar.

4.3. Başarılı Örnek Çalışmalar ve Kritik Uygulama Alanları

Dinamik yönlendirme sistemlerinin teorik avantajları, insan faktörünün ve bilişsel kısıtlılıkların en yoğun şekilde test edildiği çeşitli kritik sektörlerde kanıtlanmıştır. Yön bulma (wayfinding) yalnızca fiziksel bir “rota izleme” eylemi değil; çevresel bilginin algılanması, işlenmesi ve eyleme dökülmesini kapsayan karmaşık bilişsel-davranışsal bir süreçtir (Bomfim & Cruz, 2023). İnsanlar karmaşık mekânlarda yön bulurken bilişsel yüklerini hafifletmek için çevredeki kişilere danışarak “sosyal dışsallaştırma” eğilimi gösterebilir de, bu durum her zaman erişilebilir veya sosyal açıdan uygun olmayabilir (Goldenberg, 2025). Bu noktada, yalnızca statik bir haritanın dijitalleştirilmesinden ibaret olmayan dinamik uygulamalar devreye girer. Veriyi anlık bağlama göre filtreleyerek bilişsel aşırı yüklenmeyi önleyen, kendi kendine yeten (self-service)

ve operasyonel dayanıklılığı yüksek bu sistemlerin başarısı çeşitli kritik alanlarda öne çıkmaktadır.

Bu bağlamda hastaneler, doğal bir kaygı, fiziksel yorgunluk ve yüksek stres altında bulunan kullanıcıların bilişsel kapasitelerinin (“sub-optimal” zihin durumunun) daraldığı karmaşık mimari alanlar olarak dikkat çeker (Al-Sharaa et al., 2022). Yaşlanma ve bilişsel gerileme durumlarında dahi etkili işaretleme sistemlerinin, mekânsal planlama yükünü “dışsallaştırarak” zihinsel kapasiteyi telafi ettiği bilinmektedir (Wiener & Pazzaglia, 2021). Ancak durağan tabelalar tek başına yeterli değildir; EEG ve sanal gerçeklik (VR) ile yapılan testler, hedefi vurgulayan hareketli renk kodlamalarının ve çevresel ipuçlarının (affordance) sinirsel düzeyde bilişsel iş yükünü anlamlı ölçüde azalttığını göstermektedir (Kalantari et al., 2022). Klinik tasarımına odaklanan saha çalışmaları da mimari yapının ve koridor düzeninin yön bulma verimliliğini derinden etkilediğini, mimari okunabilirliğin zayıf olduğu durumlarda telafi edici dinamik katmanlara (örneğin AR tabanlı sanal oklara) ihtiyaç duyulduğunu kanıtlamaktadır (Zamani et al., 2025). Ancak tamamen otonom bir yönlendirme her zaman mümkün olmayacağından, bu sistemlerin klinik personelin iş akışını destekleyecek biçimde tasarlanması esastır (Sahoo et al., 2024). Ulaştırma ve çok modlu transfer merkezleri kapsamında ele alınan havalimanları ve uluslararası devasa metro ağları gibi yüksek bilgi yoğunluğuna sahip ortamlarda ise durağan bilgi panoları hızla güncelliğini yitirir ve kullanıcılarda belirsizlik üretir. Londra Heathrow Havalimanı gibi ekosistemlerde, entegre dijital yönlendirme panelleri yolculara anlık yürüme süreleri ve peron değişikliklerini eşzamanlı görselleştirerek mekânsal tereddütleri büyük ölçüde ortadan kaldırır. Burada temel işlev sadece en kısa rotayı bulmak değil; tıkanıklık yönetimi ve anlık risk faktörlerini hesaba katan bağlama duyarlı bir karar destek mekanizması sunmaktır.

Geçici ancak devasa kalabalıkları ağırlayan etkinlik ve kongre merkezleri gibi “yüksek uyarım” ortamlarında (tema parkları veya fuar alanları), statik tabelalar anlık değişimlere yanıt veremediği için hızla işlevsizleşir. Saha çalışmaları, gerçek zamanlı güncellenen dijital panoların durumsal farkındalığı korumada kritik olduğunu göstermektedir (Dattel et al., 2025). Ayrıca VR tabanlı “ciddi oyun” (serious game) deneyleri, acil tahliye gibi senaryolarda dinamik yön bulma ipuçlarının, kullanıcıların kalp atım hızını, gerilimini ve algılanan zorluk (challenge) seviyesini statik ipuçlarına kıyasla belirgin biçimde düşürdüğünü kanıtlamaktadır (Irshad et al., 2021). Dinamik arayüzler, yalnızca bilgi vermekle kalmaz, kalabalıkların yaya trafiğini dengeleyerek psikofizyolojik bir stres kontrol mekanizması olarak da çalışır. Müzeler, galeriler ve kültür-sanat komplekslerindeki sergi alanlarında yönlendirme, eserlerin önüne geçmeden estetik deneyimi koruma ve aynı zamanda anlaşılabilirlik

üretme ikilemini taşır. Statik haritalar bilişsel yük yaratırken, lokasyon tabanlı AR uygulamaları yönlendirmeyi eser bağlamıyla birleştirerek bir hikaye anlatımı aracına dönüştürür. Hareketli grafikler, Gestalt'ın Süreklilik ilkesini kullanarak kalabalıkların belirli küratöryel rotalarda yığılma olmadan, algısal bir akıcılık içinde ilerlemesini sağlar. Ticari alanlar ve mega alışveriş merkezleri incelendiğinde, buralardaki reklam panoları ve mağaza vitrinlerinin kullanıcının çalışma belleğinde çok yüksek bir “Gereksiz Yük” (Extraneous Load) oluşturan görsel gürültüler olduğu görülür. Kullanıcılar, hızlı ve olumsuz duygu yaşamadan hedefe ulaşmak isterler; bu nedenle yönlendirme sistemlerinin tipografi, renk kodlaması ve görsel hiyerarşi açısından son derece tutarlı olması gerekir (Siyanbola et al., 2023). Dinamik kiosklar, hareketin dikkat çekici doğasını kullanarak bu statik gürültüyü keser ve hedefe uzanan animasyonlu bir çizgi ile zihinsel tarama çabasını sıfırlayarak bilişsel ergonomiyi tesis eder. Büyük ölçekli eğitim yerleşkeleri ve akıllı kampüsler gibi iç ve dış mekânların iç içe geçtiği çok katmanlı yapılarda yön bulma, bireylerin mekânsal yetenekleri ile doğrudan ilişkilidir. Kontrollü deneyler, algılanan iş yükü arttıkça yön bulma performansının düştüğünü; ancak dijital bir uygulamaya sahip olmanın tek başına başarıyı garantilemediğini, arayüzün kullanılabilirlik sorunlarından arındırılmış olması gerektiğini göstermektedir (Tahir & Krogstie, 2023). Bu doğrultuda akıllı kampüs ekranları; anlık derslik bilgileri ve sınav güzergahları gibi kişiselleştirilmiş verileri çok boyutlu, hareketli ve dilden bağımsız piktografik desteklerle sunarak kampüs içi mobilitayı kesintisiz hale getirir.

Makro ölçekte değerlendirildiğinde, akıllı şehir ağları ve afet yönetimi gibi alanlarda dinamik yönlendirme, günlük navigasyonun ötesine geçerek kriz anlarında hayatta kalma kararlarını şekillendiren operasyonel bir güvenlik altyapısı olarak öne çıkar. Panik anında daralan çalışma belleği nedeniyle statik tahliye planları işlevini yitirirken, akıllı şehir sensörleriyle entegre AR rotaları, tıkanıklık noktalarına göre “en güvenli” (her zaman en hızlı olmayan) tahliye güzergahını otonom olarak günceller. Bu sistemlerin gerçek anlamda başarılı olabilmesi için erişilebilirlik sonradan eklenen bir özellik olmamalı; engelli kullanıcılar için işitsel bildirimler ve ekran okuyucu uyumluluğu gibi çoklu duyuşsal (multimodal) çözümlerle birleştirilerek tam kapsayıcı bir teknolojik çerçeve sunulmalıdır (Greyling, 2025).

5. OPTİMUM TASARIM STRATEJİLERİ VE RİSK MİTİGASYONU

5.1. Bilişsel Aşırı Yük Riskleri ve Gereksizlik İlkesi İhlali

Hareketli grafikler (animasyonlar, video tabanlı görselleştirmeler) kavramsal süreçleri görünür kılabildikleri için öğretimsel açıdan güçlü araçlar olarak ele alınır; ancak bu tür multimedya materyallerinin öğrenmeye katkısı, tasarımın insan bilişsel mimarisinin sınırlılıklarıyla uyumuna belirgin biçimde bağlıdır (Noetel et al., 2021; Torkar, 2021; Mayer, 2021; Sepp et al., 2022). Bilişsel Yük Kuramı (Cognitive Load Theory) ve Bilişsel Multimedya Öğrenme Kuramı (Cognitive Theory of Multimedia Learning, CTML) çerçeveleri, çalışma belleğinin sınırlı kapasitesi ve bilgiyi görsel/işitsel kanallarda işlemesi nedeniyle, uygunsuz multimedya düzenlemelerinin öğrenenleri hedef dışı (extraneous) işlemlemeye iterek dikkat dağınıklığı ve performans kaybı yaratabildiğini vurgular (Wilson, 2020). Nitekim CTML temelli tasarım ilkelerinin uygulanmasının yalnızca öğrenme materyallerinde değil, değerlendirme ortamlarında (ör. bilgisayar tabanlı testlerde) dahi daha az görsel arama, daha fazla ilgili bölgeye odaklanma ve daha düşük bilişsel yük göstergeleriyle ilişkili olabildiği; bunun da başarıyı artırabildiği raporlanmıştır. Bu çerçevede “bilişsel aşırı yük” riski özellikle gereksiz (extraneous) bilişsel yük üzerinden tartışılır. CTML, öğrenme sırasında bilişsel yükün (i) içsel/özsel (intrinsic-essential) işleme, (ii) gereksiz (extraneous) işleme ve (iii) üretici/üretken (germane-generative) işleme boyutlarıyla ele alınabileceğini; öğretim tasarımının temel hedeflerinden birinin gereksiz işlemeyle azaltmak olduğunu belirtir (Umutlu & Akpınar, 2020). Bu ayrımın deneysel olarak desteklendiği ve gereksiz yükün; sunum formatının öğrenenin dikkatini amaç dışı uyaranlara çekmesi, aynı anda rekabet eden temsillerin çalışma belleğinde gereksiz karşılaştırma/engelleme gerektirmesi veya görsel arama maliyetini artırması gibi mekanizmalarla yükseldiği gösterilmiştir. Örneğin, göz-izleme verileriyle yürütülen bir multimedya ders çalışmasında, gereksiz yük manipülasyonu olarak “fazladan (redundant) ekran metni ekleme” koşulunun, öğrenenin dikkat dağılımını değiştirerek performansı düşürmeye elverişli bir bilişsel profil üretebildiği ortaya konmuştur. Bu tür gereksiz yüklenmenin yaygın bir kaynağı, Richard Mayer’in Gereksizlik İlkesi (Redundancy Principle) ile çelişen tasarım kararlarıdır. Gereksizlik İlkesi, öğrenenlerin genellikle “grafik/animasyon + sözlü anlatım” düzeninden, “grafik/animasyon + sözlü anlatım + sözlü anlatımın birebir aynısı olan eşzamanlı ekran metni” düzenine kıyasla daha iyi öğrendiğini öne sürer; çünkü eşzamanlı ve birebir tekrar eden yazılı metin, öğrenme hedefini desteklemek yerine gereksiz işleme doğurabilir. Bu gerekçelendirme, CTMLnin iki kanallı (dual-channel) ve sınırlı kapasiteli

işleme varsayımlarıyla temellenir: animasyon ve ekran metni aynı anda sunulduğunda, ikisi de ağırlıklı olarak görsel kanalı talep eder ve öğrenenin dikkati animasyonu izleme ile metni okuma arasında bölünerek görsel kanalda rekabet doğurur. Mayer’ın öğretim videolarına ilişkin kanıt temelli ilkeler derlemesi, gereksiz ekran metninin kaldırılmasının transfer performansını artırabildiğini ve bunun mekanizmasının “baskılayıcı/rekabetçi” görsel işleme ile animasyon–metin arasında gidip gelmeye zorlanma olabileceğini açıkça tartışır. Benzer biçimde, çevrimiçi öğretime dönük uygulama önerileri de “aynı içeriğin tekrar tekrar ve eşzamanlı sunulmasının” (CLT’de daha genel “redundancy effect”, CTML’de daha özel “redundancy principle”) çalışma belleğinde rekabet yaratarak gereksiz bilişsel yük bindirebileceğini belirtir.

Modalite İlkesi ve Bağlamsal Etkiler

Modalite İlkesi (Modality Principle) bağlamında, özellikle öğrenenin birinci dilinde (L1) tasarlanan birçok multimedya derste, görsellerin yazılı metin yerine sözlü anlatımla desteklenmesi, görsel kanalın yükünü azaltıp işitsel kanalı daha işlevsel kullanarak öğrenmeyi güçlendirebilir. Bu yaklaşım, CTML’in “kanıt temelli video tasarımı” özetlerinde hem ilke düzeyinde hem de deneysel bulgular üzerinden savunulur; yani hedef, görsel kanalı ekran metniyle doldurmak yerine görsel–işitsel dağılımla özsel işleme yönetmektir. Nitekim çok sayıda derlemeyi birleştiren meta-meta-analitik bir genel bakış, modalite ve sözel gereksizlik (verbal redundancy) etkilerinin literatürde “sağlam” olarak raporlandığını; ancak etkilerin bağlama göre değişebildiğini de not eder. Bu noktada önemli bir nüans vardır: Aynı meta-meta-analiz, bazı durumlarda sözel gereksizliğin küçük olumlu etkiler de gösterebildiğini, dolayısıyla “her koşulda zararlıdır” şeklinde mutlak bir yorumun her bağlam için geçerli olmayabileceğini vurgular (ör. çift kanaldan destekleyici yarar olasılığı). Benzer biçimde Mayer, ikinci dil (L2) ile öğrenmede modalite ilkesinin tersine dönebilen koşullar olabileceğini; yani bazı L2 bağlamlarında yazılı sözcüklerin işitsel anlatıma göre daha avantajlı olabileceğini bir sınır koşulu olarak raporlamaktadır. Bu nedenle, gereksizlik ilkesini ihlal eden “birebir aynı metni ekranda verme” uygulaması çoğu STEM tipi içerikte gereksiz yük riski taşıırken, hedef kitle, dil yeterliği, anlatımın anlaşılabilirliği ve ortamın hız kontrolü gibi değişkenler tasarım kararına dâhil edilmelidir (Karabıyık et al., 2022).

Gereksiz ekran metninin bilişsel maliyeti, yalnızca kuramsal bir öngörü değil; süreç verileriyle de desteklenmiştir. Göz-izleme temelli bir çalışmada “gereksiz (redundant) koşul” (animasyon + sesli anlatım + anlatımla aynı ekran metni), öğrenenlerin hem metne hem animasyona bakmasını teşvik ederek sınırlı bakış süresini iki görsel kaynağa bölmüş; metin eklendiğinde animasyona

ayrılan sürenin azaldığı ve metin–animasyon arasında geçiş davranışlarının arttığı gösterilmiştir. Aynı çalışma, bu tür gereksiz metnin “gereksiz” kabul edilme gerekçesini, sesli anlatımla aynı bilgiyi taşımaya ve öğrenenin ya bu metni işlemek ya da baskılamak zorunda kalmasına bağlar; bu da gereksiz bilişsel yükü artırma mekanizmasıyla tutarlıdır. Bu bulgu, gereksizlik ilkesinin tipik açıklamasını doğrudan somutlar: Eşzamanlı ve birebir metin, öğreneni animasyonun sunduğu dinamik ipuçlarını izlemekten alıkoyarak hareketli görselleştirmenin potansiyel avantajlarını zayıflatabilir. Ayrıca bu durum, CTML ilkelerinin değerlendirme görevlerine transfer edildiği çalışmalarda gözlenen “daha az görsel arama ve daha fazla ilgili unsurlara odaklanma” gibi çıktılarla ters yönde bir süreç örüntüsü sergiler; yani tasarım iyileştikçe gereksiz arama azalırken, gereksiz metinle görsel arama ve bölünmüş dikkat artabilir.

Bununla birlikte literatür, gereksizlik ilkesinin etkisinin her zaman aynı yönde ve büyüklükte olmayabileceğine işaret eder. Örneğin, gerçek sınıf bağlamlarında yürütülen bazı araştırmalar, gereksizlik etkisinin zayıflayabildiğini veya öğrenenlerin gereksiz materyali “yok sayma” stratejileri geliştirebildiğini tartışmaktadır (Kutbay & Akpınar, 2020; Liman-Kaban, 2023). Meta-meta-analitik düzeyde de “sözel gereksizlik” için küçük olumlu ortalama etkiler raporlanması, bazı koşullarda metnin telafi edici bir destek olarak iş görebileceğini düşündürür. Dahası, eğitmenin aksanı gibi anlaşılabilirliği etkileyebilecek değişkenlerde “daha fazla metin desteğinin” öğrenme puanlarını her zaman değiştirmeyebildiği; fakat algılanan öğretim etkililiği gibi değerlendirmeleri etkileyebildiği gösterilmiştir. Bu nedenle, tasarım ilkelerini uygularken “ilkelerin bağlam duyarlı olduğu” ve özellikle dil, hız kontrolü (öğrenenin durdurup geri sarabilmesi), materyal karmaşıklığı ve öğrenenin ön bilgisi gibi değişkenlerin dikkate alınması gerektiği görüşüyle uyumlu bir yorum daha temkinli olacaktır.

Tasarıma Dönük Çıktılar

Bu bulgular birlikte ele alındığında, hareketli grafiklerin bilişsel avantajını korumak için, özellikle aynı anda sunulan sözel bilgilerde aşağıdaki tasarım yönelimleri gereçlendirilebilir:

- Animasyon + sesli anlatım düzenini varsayılan seçenek yapmak (modalite ilkesine uygun olarak), mümkünse ekran metnini birebir transkript şeklinde eşzamanlı vermemek.
- Metin gerekli ise (ör. erişilebilirlik, teknik ses sorunları, hedef kitlenin özellikleri), “birebir aynı metin” yerine seçici ve işlevsel metin desteği tasarlamak; ancak bu tür ek işaretlerin de yeni bir bilgi katmanı olarak ek yük doğurabileceği ve uygun tasarlanmadığında beklenen yararı

sağlamayabileceği unutulmamalıdır (Tannert et al., 2023; Magnone et al., 2023).

- Tasarım kararlarını dengeli vermek: Gereksizlik ilkesinin tipik etkisi (gereksiz metin → gereksiz yük) ile literatürde raporlanan sınır koşulları (bazı bağlamlarda metnin telafi edici rolü; L2’de modalitenin tersine dönebilen örüntüler; bazı çalışmalarda zayıf/ters etkiler) arasında denge kurmak.

Hareketli grafiklerin pedagojik gücünü tam anlamıyla yansıtabilmek, materyale “daha fazla öge eklemekle” değil; CTML ve CLT’nin öngördüğü biçimde gereksiz işlemelemeyi azaltan, kanallar arasında işlevsel bir denge kuran tasarım tercihleriyle mümkündür. Sesli anlatımla birebir aynı ekran metninin eşzamanlı kullanımı, görsel kanal rekabeti ve bölünmüş dikkat üzerinden gereksiz bilişsel yük riskini belirgin biçimde artırdığından, tasarım sürecinde öğrenenin dikkatini dağıtacak her türlü tekrardan kaçınmak temel odak olmalıdır.

5.2. Çok Kanallı Sunum ve Kapsayıcılık Odaklı Tasarım Prensipleri

Yoğun ve karmaşık kentsel ulaşım düğümlerinde yön bulma, bilgiyi sadece sergilemekten ziyade; doğru zamanda, bağlama uygun ve farklı ihtiyaçlara göre sunmayı gerektirir (Noetel vd., 2021). Yön bulma araçları artık durağan basılı materyallerin ötesine geçerek, kullanıcıyla etkileşime giren ve birden fazla duyuya hitap eden dijital platformlara dönüşmektedir. Sabit bilgi panolarının yerini almaya başlayan sanal ve artırılmış gerçeklik uygulamaları, mekânın dokusuna uyum sağlayan, çok boyutlu ve anlık veri sunabilen ortamlar yaratmaktadır. Bu dönüşüm, kullanıcının karmaşık çevreyi ve rotaları zihninde yorucu bir şekilde hesaplaması yerine, bilgiyi doğrudan ve eyleme dönük biçimde almasını sağlar (Mayer, 2021). Bu çok kanallı yaklaşımın kuramsal temelinde Çiftli Kodlama Kuramı (DCT) ve çoklu ortam öğrenme ilkeleri yatar. Bilginin hem görsel hem de işitsel veya yazılı olarak eşgüdümlü sunulması, kullanıcının çevreyi anlamlandırmasını ve zihninde haritalandırmasını büyük ölçüde kolaylaştırır (Schmidt & Stumpe, 2025). Ne var ki, tüm iletişim araçlarının eşzamanlı ve kontrolsüz kullanımı, kullanıcının odaklanmasını zorlaştırarak zihinsel kapasiteyi zorlayan bir yorgunluğa neden olabilmektedir. Bu nedenle iyi bir tasarım, gereksiz ayrıntıları eleyerek kullanıcının çalışma belleğini korumayı hedefler (Karabıyık vd., 2022). Tasarımın asıl gücü, bilgiyi yığmak yerine kullanıcıya anlamlı gelen, tamamlayıcı ipuçlarıyla zihinsel yükü dengelemesinden gelir. Bilgi yoğunluğunu yönetmek için yönlendirme içerikleri, “yerel rota” (dönüşler, anlık kararlar) ve “küresel yönelim” (genel doğrultu, akılda kalıcı referans noktaları) olarak ayrıştırılmalıdır. Etkili bir

yönlendirme; görsel, işitsel ve metinsel ipuçlarını birbirine fiziksel olarak yakın ve doğru zamanlamayla (uzamsal ve zamansal tutarlılıkla) vermelidir (Lazou & Tsinakos, 2022). Kullanıcının temel sorularına odaklanarak, bilgiyi bağlama göre açılıp kapanabilen sade katmanlar hâlinde sunmak en sağlıklı yaklaşımdır. Bu tür zihinsel baskıları engellemek için, sistem arayüzlerinin esnek yapıda tasarlanması ve bilgi akışının kullanıcının bireysel ayarlarına veya anlık tercihlerine göre düzenlenebilmesi büyük önem taşır. Kapsayıcılık ise bu sistemlerde sonradan eklenen bir özellik değil, tasarımın çekirdeğidir. Görme yetersizliği olan bireyler için işitsel ve dokunsal bildirimler, işitme farklılıkları olanlar için ise sistematik altyazı ve metin destekleri aynı anda, erişilebilir bir formatta sunulmalıdır (Familoni & Babatunde, 2024). Benzer şekilde, çok dillilik de dil bariyerlerini kaldırmak için hayati bir adımdır (Umutlu & Akpınar, 2020; Wilson, 2020). Gelişen teknolojiler sayesinde fiziksel tabelaları statik olarak çoğaltmak yerine; görüntü işleme ve AR destekli dinamik çeviri katmanlarıyla her kullanıcıya kendi tercih ettiği dilde, anlık ve esnek bir yönlendirme sunmak mümkün hâle gelmiştir (Torkar, 2021). Bu deneyimi daha da kesintisiz kılan unsur, gerçek zamanlı veri akışı ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) ve AR entegrasyonudur. Arka planda çalışan güncel bir GIS altyapısı, farklı kaynaklardan gelen verileri toplayarak kullanıcının konumuna ve erişilebilirlik gereksinimlerine en uygun rotayı anında üretir (Sepp vd., 2022). Artırılmış gerçeklik çözümleri, fiziksel çevreye dijital rehberlik öğeleri ekleyerek kişilerin içinde buldukları ortamı daha kolay ve güvenli bir şekilde kavramalarına yardımcı olur. Fakat buradaki temel amaç ekranı grafiklerle doldurmak değil, aksine kullanıcının dikkatini dağıtmadan sürdürülebilir bir “bilişsel ekonomi” kurmaktır.

Tüm bu yenilikçi ilkelerin başarılı bir biçimde hayata geçebilmesi, tasarım sürecinin doğrudan kullanıcılarla ve evrensel prensipler ışığında yürütülmesine bağlıdır. Çeşitli gereksinimleri olan bireylerin tasarım sürecine aktif katılımı ve gerçek mekânlarda yürütülen denemeler; sunulan çözümlerin sadece estetik veya yüzeysel bir beğeni sunmaktan öte, zihinsel eforu azaltma ve pratik fayda sağlama konusundaki gerçek başarısını ortaya koymaktadır (Vacková vd., 2023). Beklentileri ve çevresel veriyi anlık olarak işleyip dengeli biçimde sunabilen böyle bir mimari sayesinde yön bulmak, stresi yüksek bir problem çözme seansı olmaktan çıkar; herkes için doğal, erişilebilir ve güven veren akıcı bir hareketlilik deneyimine dönüşür.

5.3. Performans Değerlendirme ve Uygulama Metrikleri

Dinamik yönlendirme (wayfinding) arayüzlerinin başarısı, görsel estetiğin ötesine geçerek gerçek zamanlı geri bildirimlerin niteliği, karar mekanizmalarının hızı ve sistemin hata koşullarındaki dayanıklılığı gibi

somut performans metrikleriyle değerlendirilmelidir. Ağ dalgalanmaları ve sistem gecikmeleri kullanıcı deneyimini doğrudan bozabileceği için, tasarımın zamansal akışkanlığının temel bir ölçüt olarak kabul edilmesi büyük önem taşır. Ayrıca, kapsayıcı arayüzlerde kamera akışları veya uyarı sinyalleri gibi eşzamanlı verilerin durumsal farkındalığı artıracak bir bilgi katmanlamasıyla sunulması gerekmektedir. Grafik yönlendirme unsurlarının (oklar, uyarı panelleri vb.) kullanıcı zihninde kesintisiz bir eylem döngüsü yaratabilmesi, arayüzün algısal akışkanlığı ile doğrudan ilgilidir. Güvenlik açısından kritik durumlarda, milisaniyelik gecikmeler bile operatörün karar kalitesini ve tepki süresini zayıflatır; bu sebeple uçtan uca gecikme süreleri tasarım sürecinde sıkı bir şekilde denetlenmelidir. Yönlendirme hızını ölçmek için görev tamamlama süreleri ile kritik uyarılara verilen yanıt süreleri temel alınır. Özellikle proaktif sistemlerde doğruluk ile hız arasındaki denge gözetilirken, uyarıların zamanlamasının da sürücü veya kullanıcı performansı üzerindeki etkileri hesaba katılmalıdır (Mussi et al., 2025). Bunun yanı sıra, sistem veri kesintisi ya da sensör arızası yaşadığında kullanıcıyı doğru şekilde toparlayabilmesi arayüzün hata toleransını belirler. İnsan-sistem etkileşimindeki belirsizliklerin yönetilebilmesi adına, hata sonrası toparlanma süresi, manuel kontrole güvenli geçiş ve arayüz bildirimlerinin netliği gibi değişkenlerin düzenli stres testleriyle sınanması şarttır (Bouzón et al., 2025). Değerlendirme süreçleri sadece kontrollü laboratuvar ortamlarıyla kısıtlı kalmamalı, saha gerçekliklerini de yansıtacak çok boyutlu bir yapıya bürünmelidir. Bir arayüzün etkinliği; hedeflenen kullanıcılara uygunluğu, kurumsal olarak benimsenmesi, sahada doğru biçimde uygulanabilirliği ve uzun vadeli bakım süreçlerinin sürdürülebilirliği gibi geniş bir çerçevede ele alınmalıdır (Bouzón et al., 2025). Karmaşık sistemlerin gerçek dünya koşullarına aktarılması maliyetli olabildiğinden, simülasyon ve kademeli doğrulama stratejileriyle tasarımın işlevselliği güvence altına alınabilir. Modüler test düzenekleri, arayüzün farklı koşullar altında nasıl tepki verdiğini ve saha entegrasyonuna ne kadar hazır olduğunu açıkça ortaya koyar.

Grafik yönlendirme araçlarının en büyük vaatlerinden biri kullanıcı üzerindeki bilişsel yükü hafifletmektir. Ancak bu vaat, görev başarısı, durumsal farkındalık ve zihinsel iş yükü gibi somut insan faktörleri verileriyle kanıtlanmaya muhtaçtır. Kapsayıcı veya sanal gerçeklik destekli arayüzler bazen hedeflenenin aksine zihinsel yorgunluğu artırabilmektedir. Şeffaflık ve bilgi akışının insan performansı üzerindeki olumlu etkileri varsayımsal kalmamalı, mutlaka tepki süresi ve bilişsel kaynakların verimli kullanımı üzerinden ampirik testlerle doğrulanmalıdır (Bouzón et al., 2025). Kullanıcıların ekranda sunulan dinamik verilere olan inancı, arayüz tasarımında bilişsel güven kavramının temelini oluşturur. Arayüzün sadece anlaşılır olması yetmez, aynı zamanda doğruluğu

konusunda kullanıcıyı ikna etmesi gerekir. Güvenlik öncelikli sistemlerde şeffaflık hissini artırmak ve belirsizliği en aza indirmek için geri dönüş algoritmalarına ve net yönlendirme mesajlarına ihtiyaç duyulur (Bouzón et al., 2025). Yanlış alarmların asgari düzeye indirilmesi, sistemin inandırıcılığını korurken uyarıların isabet oranını da yükseltir. Uyarı güvenilirliği ve zamanlaması gibi faktörler, kullanıcının sisteme duyduğu güveni doğrudan etkilediği için tasarım sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır (Mussi et al., 2025).

Dinamik sistemlerde, kullanıcı profillerinin ve çevresel değişkenlerin farklılığı evrensel ve tekil bir metrik yaklaşımını geçersiz kılar. Arayüzlerin kültürel beklentilere, okuryazarlık seviyelerine veya dikkat dağıtıcı çevresel gürültülere nasıl uyum sağladığı, mutlaka kendi doğal bağlamı içinde test edilmelidir. Tasarım prototipleri önce kontrollü simülasyonlarda sınanmalı, ardından gerçek operasyonel platformlara aktararak doğrulama süreçleri çeşitlendirilmelidir. Güvenilirlik ve devamlılık için arayüzlerin tek seferlik testlerle değil, uzun soluklu izleme ve stres testleriyle değerlendirilmesi zorunludur (Bouzón et al., 2025). Sonuç olarak, yönlendirme sistemlerinin gerçek başarısı; bağlamsal değişkenleri, teknik arıza senaryolarını ve uzun vadeli bakım gereksinimlerini harmanlayan geniş çaplı ampirik doğrulamalarla kanıtlanabilir.

6. SONUÇ VE GELECEK YÖNELİMLERİ

Görsel iletişim tasarımının ve karmaşık yönlendirme sistemlerinin geleceği, yoğun bilginin anında ve zihinsel bir tıkanıklık yaratmadan aktarılabilmesine bağlıdır. Bu çalışma, hareketli grafiklerin statik ve durağan görselleştirmelere kıyasla bilginin işleme verimliliğini optimize ettiğini ve insan algısını kökten hızlandırdığını ortaya koymuştur. Bilişsel Yük Kuramı perspektifinden bakıldığında, durağan tasarımlar bilgiyi organize etme ve tarama yükünü izleyiciye bırakırken, hareketli grafikler Gestalt prensipleri aracılığıyla bu süreçleri sistemin kendisine devrederek gereksiz zihinsel yükü ortadan kaldırmaktadır. Bu durum, kullanıcının kısıtlı çalışma belleği kapasitesini bilginin yapısını anlamaya yönlendirmesini sağlayarak bilişsel süreçleri serbest bırakır. Buna ek olarak, Çiftli Kodlama Kuramı temelinde hareketli grafiklerin görsel ve işitsel kanalları eşzamanlı ve tamamlayıcı biçimde entegre etmesi, tek kanala yüklenen baskıyı azaltmakta ve bilginin çoklu kanallardan derinlemesine kodlanmasını sağlamaktadır. Bu mekanizma, karmaşık yönlendirme şemalarının ve verilerin algısal bir akıcılık ve hikâye anlatımı içinde sunulmasına imkân tanır.

Teorik kazanımlar, özellikle hastaneler, havalimanları ve yoğun metro ağları gibi karmaşık, yüksek bilgi akışına sahip ve stresli kamusal alanlarda doğrudan operasyonel üstünlüklere dönüşmektedir. Durağan haritaların tarihsel süreçte sergilediği estetik netlik ve mekânsal doğruluk ikilemi,

dinamik dijital tabelalar sayesinde aşılmaktadır. Bu sistemler, Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Artırılmış Gerçeklik teknolojilerini harmanlayarak, haritayı statik bir yorumlama nesnesi olmaktan çıkarıp kullanıcının anlık konumuna göre şekillenen kişiselleştirilmiş bir deneyime dönüştürür. Gerçek zamanlı veri sunumu, kullanıcının zihninde bilişsel güven tesis ederek stres altında bile navigasyon performansının korunmasını sağlar. Bununla birlikte, hareketli grafiklerin yanlış kurgulandığında yaratabileceği bilişsel aşırı yük riski dikkatle yönetilmelidir. Tasarımda Gereksizlik İlkesi'nin ihlal edilmesi, yani grafik, sesli anlatım ve birebir aynı ekran metninin eşzamanlı sunulması, görsel kanalda ciddi bir rekabet ve bölünmüş dikkat yaratarak yönlendirme performansını düşürebilir. Bu nedenle tasarımcılar, kapsayıcılığı sağlarken zihinsel kapasiteyi koruyan seçici ve işlevsel bir bilgi mimarisi kurmalıdır.

Alanın gelecekteki araştırma ve uygulama yönelimleri, sistemlerin bütüncül bir değerlendirmeye tabi tutulmasını gerektirmektedir. Geliştirilen kavramsal modeller laboratuvar sınırlarını aşarak farklı kültürel beklentilere, altyapılara ve çevresel koşullara sahip gerçek dünya ortamlarında test edilmelidir. Simülasyonlardan operasyonel platformlara geçişte, sistemlerin hata sonrası toparlanma süresi ve uzun vadeli sürdürülebilirliği gibi çok boyutlu metriklerle değerlendirilmesi şarttır. Ayrıca, hareketli tasarımların zihinsel yükü azalttığı iddiası uçtan uca gecikme, karar hızları ve göz-izleme verileri gibi nesnel insan faktörleri metrikleriyle nicel olarak desteklenmelidir. Geleceğin dinamik tabelaları, sabit ekranların ötesine geçerek kullanıcının mobil cihazları ve akıllı donanımlarıyla senkronize çalışan, uzamsal ve zamansal tutarlılığa sahip kişisel arayüzlere evrilmelidir. Görüntü işleme destekli anlık çeviri katmanları ve her kullanıcının erişilebilirlik seviyesine uyarlanabilen esnek rotalar sunan altyapılar, bu tasarım evriminin merkezinde yer alacaktır. Görsel iletişim tasarımında sistem arayüzlerinin bilişsel bir ekonomi anlayışıyla kurgulanması, merkeze insan algısının kısıtlılıklarını ve esnekliğini alan disiplinlerarası bir yaklaşımın benimsenmesiyle mümkün olacaktır.

References

- Al-Sharaa, A., Adam, M., Nordin, A. S. A., Mundher, R., & Alhasan, A. (2022). Assessment of Wayfinding Performance in Complex Healthcare Facilities: A Conceptual Framework. *Sustainability*, 14(24), 16581. <https://doi.org/10.3390/su142416581>
- Bomfim, L. C., & Cruz, S. S. (2023). Understanding Spatial Cognition for Designing Pedestrian Wayfinding Systems. *U Porto Journal of Engineering*, 9(2), 132–157. https://doi.org/10.24840/2183-6493_009-002_002081
- Bouzón, I., Pascual, J., Costales, C., Crespo, A., Cima, C., & Melendi, D. (2025). Design, Implementation and Evaluation of an Immersive Teleoperation Interface for Human-Centered Autonomous Driving. *Sensors*, 25(15), 4679. <https://doi.org/10.3390/s25154679>
- Chen, X., Wang, J., & Zhuang, Y. (2025). Semantic-Driven Paradigm Shift in Campus Guide Design Leveraging the KE-AIGC Framework. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, 21(1), 1–27. <https://doi.org/10.4018/ijswis.368039>
- Dattel, A. R., Hross, M., Chevrier, G., Vaidya, V., Golendukhina, A., Amann, M., & Matsuyoshi, E. (2025). The Impact of Thrill on Situation Awareness in a Theme Park. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 69(1), 1129–1133. <https://doi.org/10.1177/10711813251370729>
- Evans, N., Schmolmueller, A., Stolper, M., Inguaggiato, G., Hooghiemstra, A. M., Tokalić, R., Pizzolato, D., Foeger, N., Marušić, A., Hoof, M. van, Lanzerath, D., Molewijk, B., Dierickx, K., & on, G. W. (2023). VIRT2UE: A European train-the-trainer programme for teaching research integrity. *Research Ethics*, 20(2), 187–209. <https://doi.org/10.1177/17470161231161267>
- Familoni, B. and Babatunde, S. (2024). USER EXPERIENCE (UX) DESIGN IN MEDICAL PRODUCTS: THEORETICAL FOUNDATIONS AND DEVELOPMENT BEST PRACTICES. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(3), 1125-1148. <https://doi.org/10.51594/estj.v5i3.975>
- García, M. del C. M., & Cores-Bilbao, E. (2021). Deliberate training and incidental learning through the Autobiography of Intercultural Encounters through Visual Media: Capitalising on a European tool to enhance visual literacy and intercultural dialogue globally. *Language Teaching Research*, 27(2), 299–331. <https://doi.org/10.1177/13621688211050964>
- Goldenberg, V. (2025). A thematic synthesis of the experiences and perceptions of everyday wayfinding. <https://doi.org/10.31234/osf.io/92q3x>
- Greyling, S. F. (2025). A Braille Trail for all: Inclusive design in the Karoo Desert National Botanical Garden. *African Journal of Disability*, 14. <https://doi.org/10.4102/ajod.v14i0.1764>

- Irshad, S., Perkiş, A., & Azam, W. (2021). Wayfinding in Virtual Reality Serious Game: An Exploratory Study in the Context of User Perceived Experiences. *Applied Sciences*, 11(17), 7822. <https://doi.org/10.3390/app11177822>
- Kalantari, S., Tripathi, V., Kan, J., Rounds, J. D., Mostafavi, A., Snell, R. S., & Cruz-Garza, J. G. (2022). Evaluating the impacts of color, graphics, and architectural features on wayfinding in healthcare settings using EEG data and virtual response testing. *Journal of Environmental Psychology*, 79, 101744. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2021.101744>
- Karabıyık, C., Arslan, S., & Kavaklı, N. (2022). Comparison of input modes: L2 comprehension and cognitive load. *Participatory Educational Research*, 9(6), 173-191. <https://doi.org/10.17275/per.22.134.9.6>
- Kutbay, E. and Akpınar, Y. (2020). Investigating Modality, Redundancy and Signaling Principles with Abstract and Concrete Representation. *International Journal of Education in Mathematics Science and Technology*, 8(2), 131. <https://doi.org/10.46328/ijemst.v8i2.710>
- Lazou, C. and Tsinakos, A. (2022). Exploring Augmented Reality Affordances for Media Literacy in the EFL Context. *European Conference on E-Learning*, 21(1), 449-457. <https://doi.org/10.34190/ecel.21.1.673>
- Liman-Kaban, A. (2023). Evaluation of 10 Popular Very Young Learner Videos on YouTube. *Ubiquity Proceedings*. <https://doi.org/10.5334/uproc.79>
- Magnone, K., Ebert, J., Creeden, R., Karlock, G., Loveday, M., Blake, E., ... & Yeziarski, E. (2023). Cognitively Loaded: An Investigation of Educational Chemistry YouTube Videos' Adherence to Mayer's Multimedia Principles. *Journal of Chemical Education*, 100(2), 432-441. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00591>
- Mayer, R. (2021). Evidence-based principles for how to design effective instructional videos. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 10(2), 229-240. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2021.03.007>
- Mussi, M., Metelli, A., Restelli, M., Losapio, G., Bessa, R., Boos, D., ... & Zanotti, G. (2025). Human-AI interaction in safety-critical network infrastructures. *Iscience*, 28(9), 113400. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.113400>
- Mystakidis, S., Filippousis, G., Tolis, D., & Tseregkouni, E. (2021). Playful Metaphors for Narrative-Driven E-Learning. *Applied Sciences*, 11(24), 11682. <https://doi.org/10.3390/app112411682>
- Noetel, M., Griffith, S., Delaney, O., Harris, N., Sanders, T., Parker, P., ... & Lonsdale, C. (2021). Multimedia Design for Learning: An Overview of Reviews With Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 92(3), 413-454. <https://doi.org/10.3102/00346543211052329>
- Panadisi, G. (2023). Taking care of the elderly through the tools of animated communication design: a useful and ethical imperative. <https://doi.org/10.26530/9789401496476-080>

- Pietroni, E., Pagano, A., Biocca, L., & Frassinetti, G. (2021). Accessibility, Natural User Interfaces and Interactions in Museums: The IntARSI Project. *Heritage*, 4(2), 567–584. <https://doi.org/10.3390/heritage4020034>
- Poehls, J., Meuschke, M., Carvalhais, N., & Lawonn, K. (2025). Either Or: Interactive Articles or Videos for Climate Science Communication. *Computer Graphics Forum*, 44(3). <https://doi.org/10.1111/cgf.70129>
- Sahoo, B., Pillai, J. S. K., Md, S., & Sahoo, M. C. (2024). Implementation of Wayfinding Signage in Public Hospitals and Its Evaluation Towards Quality Improvement. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.65435>
- Schmidt, R. and Stumpe, B. (2025). Systematic review of mobile augmented reality applications in geography education. *Review of Education*, 13(1). <https://doi.org/10.1002/rev3.70042>
- Schneider, S., Krieglstein, F., Beege, M., & Rey, G. D. (2023). Successful learning with whiteboard animations – A question of their procedural character or narrative embedding? *Heliyon*, 9(2), e13229. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13229>
- Sepp, S., Wong, M., Hoogerheide, V., & Castro-Alonso, J. (2022). Shifting online: 12 tips for online teaching derived from contemporary educational psychology research. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(5), 1304–1320. <https://doi.org/10.1111/jcal.12715>
- Siyanbola, A. B., Oladesu, J. O., AFOLABI, B. E. F., Adeyemi, A. O., & Uzzi, F. O. (2023). Redirecting Movements and Recreating Environment with Visually Oriented Wayfinding Signage System: A Case Study of Fine and Applied Art Building, Olabisi Onabanjo, Ibogun Campus. *Yıldız Journal of Art and Design*, 10(1), 33–47. <https://doi.org/10.47481/yjad.1219117>
- Sotelo, X. (2021). Transmedia Narratives of Social Intervention: Affecting Reflexiveness in the Communicative Phenomenon as a Key Competence in Education. *International Journal of Transmedia Literacy (Ijtl)*, 5. <https://doi.org/10.7358/ijtl-2019-005-sote>
- Sylla, C., Gil, M. M., & Pereira, Í. S. P. (2022). Untangling the complexity of designing tools to support tangible and digital intercultural story telling in troubled times: a case in point. *Literacy*, 56(1), 3–17. <https://doi.org/10.1111/lit.12263>
- Tahir, R., & Krogstie, J. (2023). Impact of Navigation Aid and Spatial Ability Skills on Wayfinding Performance and Workload in Indoor-Outdoor Campus Navigation: Challenges and Design. *Applied Sciences*, 13(17), 9508. <https://doi.org/10.3390/app13179508>
- Tannert, S., Eitel, A., Marder, J., Seidel, T., Renkl, A., & Glogger-Frey, I. (2023). How can signaling in authentic classroom videos support reasoning on how to induce learning strategies?. *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.974696>

- Torkar, G. (2021). Interview with Richard E. Mayer about Multimedia Materials and Textbooks. *Center for Educational Policy Studies Journal*. <https://doi.org/10.26529/cepsj.1238>
- Umutlu, D. and Akpınar, Y. (2020). Effects of Different Video Modalities on Writing Achievement in Flipped English Classes. *Contemporary Educational Technology*, 12(2), ep270. <https://doi.org/10.30935/cedtech/7993>
- Vacková, P., Čermáková, A., & Kucirkova, N. (2023). Children's Digital Books: Development, Testing and Dissemination of Quality Criteria. <https://doi.org/10.31265/usps.268>
- Wei, Y., Liu, J., Jin, L., Shu, W., Deng, F., Ou, S., Pan, S., & Wu, J. (2023). Individual Behavior and Attention Distribution during Wayfinding for Emergency Shelter: An Eye-Tracking Study. *Sustainability*, 15(15), 11880. <https://doi.org/10.3390/su151511880>
- Wiener, J., & Pazzaglia, F. (2021). Ageing- and dementia-friendly design: theory and evidence from cognitive psychology, neuropsychology and environmental psychology can contribute to design guidelines that minimise spatial disorientation. *Cognitive Processing*, 22(4), 715–730. <https://doi.org/10.1007/s10339-021-01031-8>
- Wilson, T. (2020). Role of Image and Cognitive Load in Anatomical Multimedia, 301-311. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43283-6_31
- Zamani, Z., Puccetti, C., & Joy, T. (2025). Blueprints for Better Care: Unveiling the Role of Clinic Design in Enhancing Patient Experience and Efficiency. *Herd Health Environments Research & Design Journal*, 18(3), 33–68. <https://doi.org/10.1177/19375867251328016>