T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARİ TASARIM SÜRECİNDE BİLİŞSEL YÜK: TASARIM ORTAMI VE GÖREV ZORLUĞUNUN ÇOKLU GÖSTERGELERLE DEĞERLENDİRİLMESİ

İhsan Erdem ER

DOKTORA TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Mimari Tasarım Programı

Danışman

Doç. Dr. Feride Pınar ARABACIOĞLU

İkinci Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hasan TAŞTAN

Haziran, 2026

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARİ TASARIM SÜRECİNDE BİLİŞSEL YÜK: TASARIM ORTAMI VE GÖREV ZORLUĞUNUN ÇOKLU GÖSTERGELERLE DEĞERLENDİRİLMESİ

İhsan Erdem ER tarafından hazırlanan tez çalışması 08.06.2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Mimari Tasarım Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Feride Pınar ARABACIOĞLU Yıldız Teknik Üniversitesi Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Hasan TAŞTAN Yıldız Teknik Üniversitesi İkinci-Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Feride Pınar ARABACIOĞLU, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Aslı Sungur, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Dilek YILDIZ ÖZKAN, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Togan TONG, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Bülent Onur TURAN, Üye
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Feride Pınar ARABACIOĞLU sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Mimari Tasarım Sürecinde Bilişsel Yük: Tasarım Ortamı ve Görev Zorluğunun Çoklu Göstergelerle Değerlendirilmesi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim.

Bu tez çalışması sürecinde, tez sahibinin kontrolü altında dil ve ifade bütünlüğünü güçlendirmek, teknik süreçleri desteklemek, literatür taraması, kodlama ve veri görselleştirme amacıyla Üretken Yapay Zekâ (ÜYZ) araçlarından ChatGPT 5.5 kullanılmıştır.

ÜYZ araçlarının yanlış veya gerçek dışı bilgi (halüsinasyon) üretebilme riski taşıdığının farkında olduğumu, bu araçlardan elde edilen tüm çıktıları doğruluk, bütünlük, güvenilirlik ve etik standartlar açısından dikkatle kontrol ettiğimi beyan ederim.

ÜYZ kullanımı hiçbir aşamada yazarın entelektüel katkısının, bilimsel muhakemesinin ve özgün fikir üretiminin yerine geçmemiştir. Tez çalışmasında yer alan tüm bilgi, veri, analiz, iddia ve referansların doğruluğu, güncelliği ve bilimsel geçerliliğine ilişkin sorumluluk tamamen tarafıma aittir.

Beyanımın aksinin tespiti hâlinde doğabilecek her türlü idari ve hukuki sorumluluğu kabul ederim.

İhsan ERDEM ER

İmza

Bu çalışma, “Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü’nün FDK-2025-6924” numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Eşime

ve

oğluma,

TEŞEKKÜR

Bu doktora tezinin tamamlanmasında emeği geçen herkese en içten teşekkürlerimi sunarım. Öncelikle, akademik hayatım boyunca bana rehberlik eden, yol gösteren ve her adımda destekleyen danışmanım Doç. Dr. Feride Pınar Arabacıoğlu'na en içten teşekkürlerimi sunuyorum. İkinci danışmanım Dr. Hasan Taştan'a da yol boyunca sunduğu değerli katkıları, sabrı ve desteği için minnettarım. Ayrıca, tezimi değerlendirerek bana yeni bakış açıları kazandıran jüri üyelerine de teşekkür ediyorum. Bu süreçte en büyük gücüm ise şüphesiz ki sevgili eşim Cemre Akalın Er oldu. Onun sonsuz desteği, anlayışı ve sabrı olmasaydı bu yolculuk çok daha zor olurdu. Her an yanımda olduğunu bilmek bana hep güç verdi, her düşüşte yeniden ayağa kalkmamı sağladı. Ve belki bir gün bu satırları okuyacak olan canım oğlum Ege Er… Senin varlığın, en yorulduğum anlarda bile bana umut ve mutluluk verdi. Hayatın bana verdiği en güzel hediye sensin. Bir gün kendi hayallerinin peşinden koşarken, bu satırların ardındaki emeği ve sevgiyi hissedebilmen dileğiyle…

İhsan Erdem ER

İÇİNDEKİLER

1 GİRİŞ **20**

1.1 Problem Tanımı ve Tezin Amacı 20

1.2 Kavramsal ve Terminolojik Çerçeve 23

1.3 Hipotez ve Araştırma Soruları 25

1.4 Tezin Araştırma Tasarımı 26

1.5 Tezin Kapsamı 29

1.6 Tezin Özgün Değeri 30

2 LİTERATÜR İNCELEMESİ **31**

2.1 Bilişsel Yük Teorisi 31

2.1.1 Dışsal Bilişsel Yük 33

2.1.2 İçsel Bilişsel Yük 34

2.1.3 Etkin Bilişsel Yük 35

2.2 Bilişsel Yük Teorisinin Kavramsal Modeli 36

2.2.1 Bilişsel Yükün Etki Faktörleri 41

2.2.2 Bilişsel Yükün Değerlendirme Kriterleri 48

2.3 Bilişsel Yükün Ölçüm Teknikleri 53

2.3.1 Öz Bildirim Ölçümleri 54

2.3.2 Fizyolojik Ölçümler 57

2.3.3 Davranışsal Ölçümler 61

2.3.4 Performansa Dayalı Ölçümler 64

2.4 Mimari Tasarım Alanında Bilişsel Yük Çalışmalarının Sistematik İncelemesi 66

2.4.1 Sistematik İnceleme Yöntemi 66

2.4.2 Sistematik İnceleme Bulguları 70

2.4.3 Sistematik İnceleme Bulgularının Değerlendirmesi 82

2.4.4 Sistematik İnceleme Sonucu 88

3 DENEYSEL METODOLOJİNİN GELİŞTİRİLMESİ 90

3.1 Benzer Zorluktaki Mimari Tasarım Görevlerinin Belirlenmesi 90

3.1.1 Mimari Tasarım Görevlerini Belirleme Yöntemi 92

3.1.2 Mimari Tasarım Görevlerine Dair Zorluk Düzeyi Analizi 94

3.1.3 Mimari Tasarım Görevlerini Belirlemenin Deney Tasarımına Yansımaları 97

3.2 Ölçüm Teknikleri ve Veri Ön İşleme Süreci 98

3.2.1 Öz-Bildirim Ölçekleri 101

3.2.2 EEG Ölçüm Sistemi 101

3.2.3 EDA Ölçüm Sistemi 102

3.2.4 HR Ölçüm Sistemi 104

3.2.5 Performans Ölçümü 104

3.3 EDA Ölçüm Sisteminin Geçerlik Testi 105

3.3.1 Ölçüm Sistemi ve Deneysel Kurgu 108

3.3.2 EDA Tepkilerinin Analizi 112

3.3.3 EDA Ölçümlerinin Yorumlanması 119

3.3.4 Ölçüm Sisteminin Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi 121

3.4 Deneysel Çalışma Öncesi Pilot Deney 122

3.4.1 Pilot Çalışmanın Deneysel Kurgusu ve Veri Toplama Süreci 122

3.4.2 Pilot Çalışmanın Bulguları 127

3.4.3 Pilot Çalışmanın Değerlendirmesi ve Deneysel Protokole Yönelik Düzenlemeler 134

3.5 Deneysel Çalışmanın Yöntemi 136

3.5.1 Katılımcılar 136

3.5.2 Deney Protokolü 137

3.5.3 Ölçüm Teknikleri 141

3.5.4 Veri Analizi 141

3.5.5 Yöntemin Kısıtlılıkları 143

4 BİLİŞSEL YÜKÜN TASARIM ORTAMI VE GÖREV ZORLUĞUNA BAĞLI DEĞİŞİMİ 147

4.1 Faktör Etkileri ve Etkileşim Analizi 147

4.1.1 Öz Bildirim Ölçümlerine Dayalı Bulgular 149

4.1.2 Fizyolojik Ölçümlere Dayalı Bulgular 150

4.1.3 Performans Ölçümlerine Dayalı Bulgular 153

4.2 Tasarım Ortamı Karşılaştırmaları 154

4.2.1 Öz Bildirim Ölçümleri Üzerinden Tasarım Ortamı Karşılaştırmaları 156

4.2.2 Fizyolojik Ölçümler Üzerinden Tasarım Ortamı Karşılaştırmaları 156

4.2.3 Performans Ölçümleri Üzerinden Tasarım Ortamı Karşılaştırmaları 157

4.3 Görev Zorluğu Karşılaştırmaları 158

4.3.1 Öz Bildirim Ölçümleri Üzerinden Görev Zorluğu Karşılaştırmaları 159

4.3.2 Fizyolojik Ölçümler Üzerinden Görev Zorluğu Karşılaştırmaları 159

4.3.3 Performans Ölçümleri Üzerinden Görev Zorluğu Karşılaştırmaları 160

4.4 Öz Bildirim ve Fizyolojik Göstergeler Arasındaki İlişkiler..... 161

4.5 Deneysel Çalışmanın Değerlendirmesi 162

4.5.1 Tasarım Ortamının Bilişsel Yük Üzerindeki Etkisi 162

4.5.2 Görev Zorluğunun Bilişsel Yük Üzerindeki Sınırlı Etkisi 168

4.5.3 Ölçüm Türlerine Göre Bilişsel Yükün Farklı Yansımalar 173

4.5.4 Metodolojik Değerlendirme ve Öneriler 175

5 SONUÇ 180

KAYNAKÇA 186

A Sistematik İnceleme Sonucunda Belirlenen Çalışmalar 213

B Öz Bildirim Anket Soruları 219

C Öz Bildirim Ölçümleri için Tasarım Ortamı Etkisi Analizleri 220

D Fizyolojik Ölçümleri için Tasarım Ortamı Etkisi Analizleri 221

E Performans Ölçümleri İçin Analiz Sonuçlar 222

F Öz Bildirim Ölçümleri için Görev Zorluğu Etkisi Analizleri **223**
G Fizyolojik Ölçümler için Görev Zorluğu Etkisi Analizleri **224**

SİMGE LİSTESİ

CR	Tutarlılık Oranı
df	Serbestlik Derecesi
dk	Dakika
d_z	Eşleştirilmiş Örneklemler İçin Etki Büyüklüğü
F	Varyans Analizi Test İstatistiği
Hz	Hertz
m	Metre
p	Anlamlılık Düzeyi
r_s	Spearman Sıra Korelasyon Katsayısı
w_i	Normalize Edilmiş Ağırlık Değeri
z	Standart z-Skoru
η^2	Varyansın açıklanan oranı

KISALTMA LİSTESİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci *(Analytic Hierarchy Process)*
AI	Yapay Zekâ *(Artificial Intelligence)*
AR	Arttırılmış Gerçeklik *(Augmented Reality)*
BYT	Bilişsel Yük Teorisi *(Cognitive Load Theory)*
CLS	Bilişsel Yük Ölçeği *(Cognitive Load Scale)*
EDA	Elektrodermal Aktivite *(Electrodermal Activity)*
EEG	Elektroensefalografi *(Electroencephalography)*
EOG	Elektrookülografi *(Electrooculography)*
FBS	İşlev–Davranış–Biçim (*Function–Behavior–Structure*)
fNIRS	Fonksiyonel Yakın Kızılötesi Spektroskopi *(functional Near-Infrared Spectroscopy)*
GSR	Galvanik Deri Tepkisi *(Galvanic Skin Response)*
HR	Kalp Atış Hızı *(Heart Rate)*
MCLSVE	Sanal Ortamlar için Çok Boyutlu Bilişsel Yük Ölçeği *(Multidimensional Cognitive Load Scale for Virtual Environments)*
NASA-TLX	NASA Görev Yükü İndeksi *(NASA-Task Load Index)*
NAS-RTLX	NASA Ağırlıklandırılmamış Görev Yükü İndeksi *(NASA-Raw Task Load Index)*
SCL	Deri İletkenlik Düzeyi *(Skin Conductance Level)*
SCR	Deri İletkenlik Tepkisi *(Skin Conductance Response)*
VR	Sanal Gerçeklik *(Virtual Reality)*
XR	Genişletilmiş Gerçeklik *(Extended Reality)*

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: Tezin akış şeması **28**

Şekil 2.1: BYT'nin Paas ve Van Merriienboer (1994) tarafından geliştirilen ilk modeli. **37**

Şekil 2.2: Choi ve diğ. (2014)'ün BYT modeli **38**

Şekil 2.3: Tasarım alanı için yeniden yorumlanan BYT modeli **40**

Şekil 2.4: Mimari tasarım ortamı örnekleri **44**

Şekil 2.5: Zihinsel süreç şeması **50**

Şekil 2.6: Paas ve diğ.'nin (2003) zihinsel çaba ve performans ilişkisi grafiği **52**

Şekil 2.7: Tez kapsamında oluşturulan BYT modelinin genişletilmiş hali **53**

Şekil 2.8: FBS modelinin temel yapısı **62**

Şekil 2.9: Linkografi analizi örnekeleri (Lee ve Ostwald, 2019). **64**

Şekil 2.10: Sistematik tarama ve seçim süreci **70**

Şekil 2.11: Mimari Görev Türleri ve Tasarım Süreci Odakları **71**

Şekil 2.12: Deneysel tasarım türü, etki faktörü ve örneklem büyüklüğü arasındaki ilişkiler **75**

Şekil 2.13: Çalışmaların kullandıkları değerlendirme terimleri ve ölçüm yöntemlerine göre sınıflandırılması **80**

Şekil 3.1: Araştırmada kullanılan tasarım problemi **93**

Şekil 3.2: Her bir işlevsel varyasyon için tasarım çıktısı örnekleri **95**

Şekil 3.3: Deney sürecinde kullanılan ekipmanlar **99**

Şekil 3.4: Arduino tabanlı EDA ölçüm düzeneği ve kayıt koşulları. **109**

Şekil 3.5: Tüm katılımcılar için standartlaştırılmış EDA değerleri. Katılımcıların 12/18'inde en yüksek fizyolojik uyarılmışlık jüri sonrası fazda gözlenmiştir. **113**

Şekil 3.6: Jüri öncesi, süreci ve sonrası fazlara ait ortalama standartlaştırılmış EDA değerlerinin deneyim düzeyine (birinci sınıf–son sınıf) göre karşılaştırılması. **114**

Şekil 3.7: İletişim yönü (Kod-1) ve iletişim etkisi (Kod-2) kategorilerine göre frekans dağılımları ve ortalama standartlaştırılmış EDA (z-skor) değerleri **116**

Şekil 3.8: Deneyim düzeyine göre (birinci sınıf–son sınıf) içerik analizi kodlarına ait ortalama standartlaştırılmış EDA (z-skor) değerleri **117**

Şekil 3.9: Tüm katılımcılar için iletişim yönü ve iletişim etkisi kategorilerine göre ortalama standartlaştırılmış EDA (z-skor) değerleri **118**

Şekil 3.10: Deneyin akış şeması **123**

Şekil 3.11: Tasarım problemi için verilen tasarım alanı ve tefrişler **124**

Şekil 3.12: Dijital (üstte) ve fiziksel (altta) modelleme ortamında üretilen modeller ve dökümantasyonları **126**

Şekil 3.13: Çalışmaya katılan katılımcıların yaş dağılımları (İlk oturum sağda ikinci oturum solda) **137**

Şekil 3.14: Deneysel çalışmanın akış şeması **138**

Şekil 3.15: Zor görev için kullanılması beklenen tefriş elemanları ve tasarım alanı **140**

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1: Bilişsel yük araştırmalarında kullanılan temel kavramlar ve bu araştırmadaki kullanımları **23**

Tablo 1.2: Tezin araştırma soruları ve hipotezleri **26**

Tablo 2.1: Eğitim sırasındaki bilişsel yükü azaltmaya yönelik öğretimsel uygulamalar **42**

Tablo 2.2: Öz Bildirim Ölçümlerinde Kullanılan Anket Örnekleri ve Ölçtükleri Bilişsel Yük Bileşenleri (*Katılımcı, zorluk düzeyine göre her boyutu sıralar; bu sıralama, önceden belirlenen ağırlık katsayılarıyla çarpılarak toplam puan hesaplanır.) **55**

Tablo 2.3: Bilişsel yük ile ilişkilendirilen başlıca fizyolojik göstergeler ve bunlara karşılık gelen ölçüm yöntemleri **57**

Tablo 2.4: McIsaac ve diğ. (2015)'in ikincil görev taksonomisi **64**

Tablo 2.5: Dahil etme ve hariç tutma kriterleri **67**

Tablo 2.6: SCOPUS ve WoS veri tabanlarında kullanılan arama sorguları ve filtreler **69**

Tablo 2.7: Görev türlerine göre bilişsel yük üzerindeki etkiler (istatistiksel olarak anlamlı bulgular) **77**

Tablo 3.1: Yapılandırılmış AHP anketi **94**

Tablo 3.2: AHP tabanlı algılanan tasarım görevi zorluk sıralaması (1 = en zor, 5 = en kolay) **95**

Tablo 3.3: Fizyolojik verilerin ön işleme adımları ve dayanak kaynakları **99**

Tablo 3.4: Tasarım çıktılarının değerlendirme kriterleri **104**

Tablo 3.5: Kullanılabilirlik bölümünün araştırma soruları **107**

Tablo 3.6: İçerik analizi için kullanılan kodlama şeması ve örnekleri **110**

Tablo 3.7: AHP anketinde kullanılan stres faktörleri **111**

Tablo 3.8: Birinci sınıf ve son sınıf öğrenciler için jüri öncesi, süreci ve sonrası fazlara ilişkin Nemenyi çoklu karşılaştırma sonuçları **114**

Tablo 3.9: Deneyim düzeyine göre jüri fazlarında performans–stres ilişkisine ait Spearman korelasyon sonuçları **115**

Tablo 3.10: Deneyim düzeyine göre stres faktörlerinin ağırlıkları (w_i) **118**

Tablo 3.11: NASA-RTLX sonuçları **128**

Tablo 3.12: CLS (zihinsel yük / çaba) sonuçları **128**

Tablo 3.13: MCLSVE (içsel–dışsal–etkin yük) sonuçları **129**

Tablo 3.14: EEG sonuçları **130**
Tablo 3.15: EDA sonuçları **130**
Tablo 3.16: HR sonuçları **131**
Tablo 3.17: Tasarım çıktılarının ortama göre başarı değişimi **132**
Tablo 3.18: Ölçüm türlerine göre etki büyüklüleri ve güven aralıkları **133**
Tablo 3.19: Deney sürecinde kullanılan karşı dengeleme yöntemi **141**
Tablo 3.20: Araştırma soruları ve bu sorular için yapılan analizler **142**
Tablo 4.1: Faktör etkileri ve etkileşim analizleri için özet bulgu tablosu **148**
Tablo 4.2: Öz bildirim ölçümleri için gerçekleştirilen karma varyans analizi sonuçları **149**
Tablo 4.3: EDA göstergeleri için karma varyans analizi sonuçları **150**
Tablo 4.4: EEG göstergeleri için karma varyans analizi sonuçları **151**
Tablo 4.5: HR göstergesi için karma varyans analizi sonuçları **153**
Tablo 4.6: Performans göstergeleri için karma varyans analizi sonuçları **153**
Tablo 4.7: Tasarım ortamı etkisine ilişkin özet bulgu tablosu **155**
Tablo 4.8: Görev zorluğu etkisine ilişkin özet bulgu tablosu **158**
Tablo 4.9: Öz bildirim ve fizyolojik göstergeler arasındaki yönsel uyum analizi sonuçları **161**
Tablo 4.10: Tasarım ortamı etkisine dair bulgular ve değerlendirmeleri **163**
Tablo 4.11: Görev zorluğu etkisine dair bulgular ve değerlendirmeleri **169**
Tablo 4.12: Kullanılan mimari tasarım görevi özelinde hangi bilişsel yük ölçütlerinin hangi etki faktörlerine duyarlı olduğunun listesi (Bir ölçütün ilgili etki faktörüne duyarlı kabul edilmesi için, karma deneysel tasarım kapsamında o etkiye ait iki alt koşulda da anlamlı farklılık göstermesi aranmıştır.) **175**

ÖZET

Mimari Tasarım Sürecinde Bilişsel Yük: Tasarım Ortamı ve Görev Zorluğunun Çoklu Göstergelerle Değerlendirilmesi

İhsan Erdem ER

Mimarlık Anabilim Dalı
Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Feride Pınar ARABACIOĞLU

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hasan TAŞTAN

Bu tez çalışması, mimari tasarım süreçlerinde bilişsel yükün tasarım ortamı ve görev zorluğu bağlamında nasıl farklılaştığını çoklu ölçüm teknikleriyle incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada bilişsel yük teorisi açıklanmış ve mimarlık alanındaki ilgili çalışmalar sistematik olarak incelenmiştir. İkinci aşamada öz-bildirim ölçekleri, fizyolojik ölçümler ve performans göstergelerini bir araya getiren deneysel bir metodoloji geliştirilmiştir. Son aşamada ise bu metodoloji, 60 mimarlık öğrencisinin katılımıyla iki faktörlü karma deneysel tasarım kapsamında uygulanmıştır. Tasarım ortamı fiziksel ve dijital modelleme olmak üzere katılımcı içi faktör, görev zorluğu ise kolay ve zor görev olmak üzere katılımcılar arası faktör olarak ele alınmıştır. Bilişsel yük; NASA-RTLX, CLS ve MCLSVE ölçekleriyle, fizyolojik göstergeler EEG, EDA ve HR verileriyle, performans ise tasarım başarısı ve zihinsel verimlilik göstergeleriyle değerlendirilmiştir.

Bulgular, tasarım ortamına bağlı olarak öz-bildirim temelli bilişsel yük ölçümlerinde fiziksel modelleme ortamında daha yüksek puanlar elde edildiğini göstermiştir. Fiziksel modelleme ortamına ilişkin puanların dijital modelleme ortamına göre daha yüksek olması, bu ortamın katılımcılar tarafından daha yüksek bilişsel yükle deneyimlendiğini düşündürmektedir. Fizyolojik ölçümler ise özellikle EEG göstergeleri üzerinden tasarım ortamı ve görev zorluğuna duyarlı örüntüler ortaya koymuştur. Fiziksel modelleme ortamında beta değerlerinin daha yüksek olması, daha yüksek bilişsel odaklanmayla; dijital modelleme ortamında theta değerlerinin daha yüksek olması ise çalışma belleği ve problem çözme talepleriyle ilişkili olabilecek bir örüntü olarak değerlendirilmiştir. Performans göstergelerinde tasarım başarısı açısından tasarım ortamına bağlı anlamlı bir farklılık bulunmazken, zihinsel verimlilik göstergeleri dijital modelleme ortamı lehine daha yüksek değerler göstermiştir.

Görev zorluğuna ilişkin bulgular, öz-bildirim temelli bilişsel yük ölçümlerinde kolay ve zor görev grupları arasında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir. Buna karşın fizyolojik göstergelerde belirli yönlü ayrışmalar gözlenmiştir. Zor görev koşulunda EDA'nın SCR genliği kolay göreve göre daha yüksek bulunurken, EEG verilerinde kolay görev koşulunda theta ve beta değerlerinin zor göreve göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. HR açısından kolay ve zor görev koşulları arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir. Performans ölçütlerinde ise kolay görev koşulunda tasarım başarısı zor göreve göre daha yüksek bulunmuş, ancak zihinsel verimlilik açısından iki görev koşulu arasında anlamlı bir farklılık görülmemiştir. Ayrıca öznel ve fizyolojik ölçümler arasında anlamlı ve tutarlı bir ilişki tespit edilememiştir.

Sonuç olarak çalışma, mimari tasarım süreçlerinde bilişsel yükün tek boyutlu bir yapı olarak değerlendirilemeyeceğini ve farklı ölçüm yöntemlerinin bu yapının farklı bileşenlerine duyarlı olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda tez, mimari tasarımda bilişsel yükün değerlendirilmesine yönelik öz-bildirim, fizyolojik veri ve performans göstergelerini birlikte ele alan çoklu ölçüm temelli bir metodolojik çerçeve sunmaktadır.

ABSTRACT

Cognitive Load in The Architectural Design Process: Evaluation of Design Environment and Task Difficulty with Multi-Indicators

İhsan Erdem ER

Department of Architecture

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Assoc. Dr. Feride Pınar ARABACIOĞLU

Co-supervisor: Asst. Assist. Dr. Hasan TAŞTAN

This thesis examines how cognitive load differs in architectural design processes in relation to design environment and task difficulty through multiple measurement techniques. The study was conducted in three stages. First, cognitive load theory was explained, and relevant studies in architecture were systematically reviewed. Second, an experimental methodology integrating self-report scales, physiological measurements, and performance indicators was developed. Third, this methodology was implemented with 60 architecture students using a two-factor mixed experimental design. Design environment, defined as physical and digital modeling, was treated as a within-subject factor, while task difficulty, defined as easy and difficult tasks, was treated as a between-subject factor. Cognitive load was assessed using NASA-RTLX, CLS, and MCLSVE scales; physiological responses were evaluated through EEG, EDA, and HR data; and performance was assessed through design success and mental efficiency indicators.

The findings showed that self-report-based cognitive load scores were higher in the physical modeling environment than in the digital modeling environment. EEG indicators also revealed environment- and task-related patterns. Higher beta values in the physical modeling environment may indicate greater cognitive focus, whereas higher theta values in the digital modeling environment may be associated with working memory and problem-solving demands. No significant difference was found in design success between the two environments, while mental efficiency indicators were higher in the digital modeling environment.

Regarding task difficulty, no significant difference was found between easy and difficult task groups in self-report-based cognitive load measures. However, physiological and performance indicators showed partial distinctions. EDA-SCR amplitude was higher in the difficult task condition, while EEG theta and beta values were higher in the easy task condition. HR did not differ significantly between task conditions. Design success was higher in the easy task condition, whereas mental efficiency did not show a significant difference. No significant and consistent relationship was detected between subjective and physiological measurements.

Overall, the study suggests that cognitive load in architectural design processes cannot be treated as a one-dimensional construct. Different measurement methods appear to be sensitive to different components of cognitive load. Accordingly, the thesis presents a multi-measurement methodological framework for evaluating cognitive load in architectural design by integrating self-report, physiological, and performance-based indicators.

Keywords: Cognitive Load, Architectural Design, Design Environment, Task Difficulty, Physiological Measurements, EDA, EEG

1
GİRİŞ

Mimari tasarım süreci, karmaşık bilişsel işlemler gerektiren ve bireylerin sınırlı çalışma belleği kapasitesi ile doğrudan ilişkili olan bir problem çözme sürecidir. Bu süreçte ortaya çıkan bilişsel yük, hem tasarım performansını hem de öğrenme süreçlerini etkileyen kritik bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

Buna karşın, mimari tasarım bağlamında bilişsel yükün nasıl ölçüleceği ve farklı tasarım koşullarında nasıl değiştiği henüz yeterince açık değildir. Özellikle öz bildirim değerlendirmeleri ile fizyolojik ölçümler arasındaki ilişkinin sınırlı sayıda çalışmada ele alınmış olması, bu alanda daha bütüncül ve çok boyutlu araştırmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu tez çalışması, söz konusu problem alanına odaklanmakta olup, araştırmanın amacı ve hipotezleri izleyen alt başlıklarda ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

1.1 Problem Tanımı ve Tezin Amacı

Mimari tasarım, bireyden hem karmaşık mekânsal ilişkileri anlamlandırmasını hem de yaratıcı çözümler üretmesini gerektiren bilişsel açıdan yoğun bir süreçtir. Bu süreçte, tasarımcının sınırlı kapasiteye sahip çalışma belleği ile tasarım problemlerini çözmesi, zihinsel kaynakların etkin kullanımını zorunlu kılar. Tasarım görevlerinin karmaşıklığı ve kullanılan ortamın özellikleri, tasarımcının bilişsel yük düzeyini doğrudan etkileyerek performansı ve yaratıcılığı şekillendirebilir (Chandrasekera ve diğ., 2024; Mejia-Puig ve Chandrasekera, 2023a; Mohamed-Ahmed ve diğ., 2013).

Bu bağlamda, mimari tasarım eğitiminde görevlerin ve ortamların bilişsel yük üzerindeki etkisini anlamak, öğrenme süreçlerini optimize etmek açısından önemlidir. Ancak literatürde, bu sürecin ölçümü çoğunlukla öznel değerlendirmelere dayanmaktadır (Calpin ve Menold, 2023; Henstrom ve diğ.,

2024; J. Liu ve diğ., 2024). Öznel ölçekler, bireylerin deneyimlerine doğrudan erişim sağlasa da yanıtlayıcı önyargıları ve bireysel farklılıklar nedeniyle sınırlılıklar barındırır (Skulmowski, 2022). Fizyolojik ölçüm teknikleri, bu sınırlılıkları aşmak için bilişsel süreçlerin daha nesnel ve sürekli biçimde izlenmesine olanak tanımaktadır.

Elektroensefalografi (EEG), elektrodermal aktivite (EDA) ve kalp atış hızı (HR) gibi fizyolojik ölçümler, bilişsel yükün anlık değişimlerini takip edebilme imkânı sunarak öznel verileri tamamlayıcı bir değerlendirme potansiyeline sahiptir. Ancak, mimari tasarım süreçlerinde bu tür fizyolojik verilerin kullanımı henüz sınırlı düzeydedir (Bölüm 2.4).

Bu genel çerçeve içinde literatürde belirgin bazı boşluklar dikkat çekmektedir. Öncelikle, tasarım ortamı en sık incelenen değişken olmasına rağmen, çalışmaların büyük çoğunluğu sanal gerçeklik (Henstrom ve diğ., 2024; Umair ve diğ., 2022), artırılmış gerçeklik (Hou ve diğ., 2015) ve karma gerçeklik (Darwish ve diğ., 2023; W. L. Wu ve diğ., 2021) gibi ileri teknolojik ortamların etkilerine odaklanmaktadır. Buna karşılık, mimari tasarım pratiğinde yaygın olarak kullanılan fiziksel modelleme, eskiz ve dijital modelleme gibi temel ortamların doğrudan karşılaştırıldığı çalışmalar (Ahmed ve diğ., 2011; Cote ve diğ., 2011; Mejia-Puig ve Chandrasekera, 2023b; Mohamed-Ahmed ve diğ., 2013) sınırlıdır. Ayrıca mevcut çalışmaların önemli bir bölümü tasarım değerlendirmesi (Cha ve diğ., 2023; Fiorentino ve diğ., 2020; Henstrom ve diğ., 2024; Kalantari ve diğ., 2023) veya basit modelleme (Mahmoudzadeh ve diğ., 2021; Yang ve diğ., 2023; F. Zhang ve diğ., 2017) görevlerine odaklanmakta, doğrudan mekânsal tasarım sürecini ele alan sınırlı sayıda çalışma (de Souza ve diğ., 2023; Diliara ve diğ., 2011; McMahan ve Bowman, 2007; Yang ve diğ., 2023) bulunmaktadır.

İkinci olarak, görev zorluğu faktörü, bilişsel yük üzerindeki etkisi açısından literatürde en az incelenen değişkenlerden biridir. Oysa bilişsel yük teorisi (BYT) çerçevesinde görev zorluğu, doğrudan görevin içsel karmaşıklığını belirleyen ve bu nedenle içsel bilişsel yükü şekillendiren temel bir bileşen olarak kabul edilmektedir. Li ve diğ. (2020), Nishihara ve diğ. (2022) ve Zhang ve diğ. (2017) farklı zorluk seviyelerine sahip görevler tasarlayarak bilişsel yük üzerindeki etkileri incelemiş olsa da, bu çalışmaların temel odağı görev zorluğundan ziyade fiziksel ortamın bilişsel yük üzerindeki etkisidir. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen sistematik

tarama sonucunda ise yalnızca Ashrafganjouei ve Gero'nun (2021) tasarım görevlerinin zorluk düzeyini problem tanımlılığı üzerinden ele alarak bu değişkenin bilişsel süreçler üzerindeki etkisini incelediği belirlenmiştir. Geri kalan çalışmalarda ise görev zorluğu açık ve sistematik bir değişken olarak ele alınmak yerine sabit veya örtük bir unsur olarak bırakıldığı görülmüştür.

Üçüncü olarak, bilişsel yük kavramının ele alınışında literatürde belirgin bir kavramsal belirsizlik bulunmaktadır. Mevcut çalışmaların büyük bir bölümünde bilişsel yük, öz değerlendirme teknikleri aracılığıyla ölçülmekte ve bu kapsamda en yaygın kullanılan araçlardan biri NASA Görev Yükü İndeksi (NASA-TLX) ölçeğidir. Ancak bu ölçek doğrudan bilişsel yükü değil, algılanan iş yükünü ölçmektedir. Bu durum, birçok çalışmada bilişsel yük kavramının iş yükü (Lesage ve Dorta, 2011), bilişsel iş yükü (Hou ve diğ., 2015; Yu ve Gero, 2017) veya zihinsel iş yükü (Li ve diğ., 2020; Pierre ve diğ., 2011; Smith-Jackson ve diğ., 2016) gibi ilişkili ancak kavramsal olarak farklı yapılar üzerinden değerlendirilmesine yol açmaktadır. Buna karşılık, bilişsel yükü daha doğrudan ölçmeyi amaçlayan öz bildirim ölçeklerini kullanan sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Mejia-Puig ve Chandrasekera (2023a) ile W. L. Wu ve diğ. (2021) Bilişsel Yük Ölçeği (CLS – *Cognitive Load Scale*) kullanarak zihinsel çaba ve zihinsel yük üzerinden bilişsel yükü ele alırken, sistematik incelemede (Bölüm 2.4) yer alan hiçbir çalışmada içsel veya dışsal bilişsel yük bileşenlerinin değerlendirme faktörü olarak doğrudan kullanılmadığı görülmüştür. Bu durum, bilişsel yükün literatürde çoğunlukla tek boyutlu ve bütüncül bir yapı olarak ele alınmasına neden olmaktadır.

Son olarak, bilişsel yük ölçümü için kullanılan teknikler açısından metodolojik bir boşluk bulunmaktadır. Mevcut çalışmaların büyük bir bölümü öz bildirim tekniklerine veya gözleme dayalı yaklaşımlara dayanmakta; öznel, fizyolojik ve performans temelli ölçümlerin birlikte kullanıldığı araştırmalar sınırlı kalmaktadır (Kalantari ve diğ., 2023; Li ve diğ., 2020; Pierre ve diğ., 2011; Zhang ve diğ., 2017). Ancak bu çalışmalar arasında yalnızca Pierre ve diğ. (2011) tasarım ortamının bilişsel yüke etkisini göz takibi ve ikinci görev performansı üzerinden incelemiştir. Geri kalan çalışmalar ağırlıklı olarak fiziksel ortamın bilişsel yüke etkisine odaklanmaktadır. Bu durum, tasarım sürecindeki bilişsel yükün hem bireysel deneyim hem de fizyolojik ve performans temelli göstergeler üzerinden bütüncül olarak değerlendirilmesini güçleştirmektedir.

Bu araştırma, söz konusu boşlukları ele almak amacıyla mimari tasarım sürecinde kullanılan tasarım ortamlarının (fiziksel ve dijital modelleme) ve görev zorluğunun (zor ve kolay) bilişsel yük üzerindeki etkilerini inceleyen deneysel bir metodoloji geliştirmeyi ve test etmeyi amaçlamaktadır. Araştırma, bu iki etki faktörünü (tasarım ortamı ve görev zorluğu) çoklu ölçüm tekniklerinden elde edilen veriler üzerinden karma deneysel bir tasarım çerçevesinde analiz ederek, bilişsel yükün farklı ölçüm tekniklerine bağlı yansımaları arasındaki ilişkileri ortaya koymayı ve tasarım sürecine özgü bilişsel yük dinamiklerini daha kapsamlı biçimde açıklamayı hedeflemektedir.

Bu kapsamda çalışma, sistematik literatür incelemesi, metodoloji geliştirme ve iki faktörlü karma deneysel uygulama olmak üzere üç aşamalı bir araştırma tasarımıyla yürütülmüştür. Araştırmanın yöntemsel akışı ve deneysel tasarım yapısı Bölüm 1.4'te ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

1.2 Kavramsal ve Terminolojik Çerçeve

Bilişsel yük araştırmalarında kullanılan terminoloji, farklı disiplinlerin etkisiyle çeşitlenmiş ve zaman zaman birbiriyle örtüşen kavramlar üzerinden ifade edilmiştir. Mimarlık, tasarım eğitimi, insan-bilgisayar etkileşimi ve ergonomi alanlarında bilişsel yük; bilişsel iş yükü, zihinsel iş yükü, zihinsel çaba, algılanan iş yükü, öznel iş yükü ve bilişsel eylem gibi yakın kavramlarla birlikte kullanılabilmektedir. Bu nedenle, tez kapsamında kullanılan kavramların hangi anlamda ele alındığının ve hangi ölçüm yaklaşımıyla ilişkilendirildiğinin açık biçimde tanımlanması gerekmektedir. Tablo 1.1'de, bu tezde kullanılan temel kavramlar ve kavramlar arasındaki ayrımlar özetlenmiştir.

Tablo 1.1: Bilişsel yük araştırmalarında kullanılan temel kavramlar ve bu araştırmadaki kullanımları

Kavram	Kısa tanım	Araştırmadaki karşılığı
Bilişsel yük	Bir görevin yerine getirilmesi sırasında sınırlı çalışma belleği üzerinde oluşan toplam zihinsel talep düzeyidir.	Tezin ana çatı kavramıdır. Tasarım ortamı ve görev zorluğuna bağlı olarak öz-bildirim, fizyolojik ve performans göstergeleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Tablo 1.2: Bilişsel yük araştırmalarında kullanılan temel kavramlar ve bu araştırmadaki kullanımları (devamı)

Zihinsel yük	Bireyin görevin kendisine yüklediği bilişsel talebi nasıl algıladığını ifade eder. Bilişsel yük teorisinde zihinsel yük, görevin yapısal özellikleriyle ilişkili olmakla birlikte bireyin bu görevi algılama biçimi üzerinden değerlendirilir.	Bu tezde zihinsel yük, özellikle CLS ölçeğinin bir alt boyutu olarak ele alınmıştır. Katılımcıların tasarım görevini ne düzeyde zihinsel talep içeren bir süreç olarak algıladığını değerlendirmek için kullanılmıştır.
Zihinsel çaba	Bireyin görevi yerine getirmek için fiilen harcadığı bilişsel kaynak miktarıdır.	Öz-bildirim ölçeklerinde katılımcıların algıladıkları çaba düzeyiyle ilişkilendirilmiştir.
Bilişsel iş yükü	Bir görevin veya sistemin bireyin bilişsel kaynakları üzerinde oluşturduğu yükü ifade eden, özellikle insan-bilgisayar etkileşimi ve kullanıcı deneyimi çalışmalarında kullanılan bir kavramdır.	Literatürde bilişsel yük ile yakın kullanılan bir terim olarak ele alınmış; ancak bu tezde ana kavramsal çerçeve bilişsel yük teorisi üzerinden kurgulandığı için kullanılmamıştır.
Zihinsel iş yükü	Görev sırasında deneyimlenen zihinsel talep, zaman baskısı, performans algısı, çaba ve zorlanma gibi bileşenleri kapsayan iş yükü kavramıdır.	NASA-RTLX gibi ölçeklerden elde edilen değerlendirmelerin yorumlanmasında dikkate alınmıştır. Bilişsel yükle ilişkili olmakla birlikte onunla özdeş kabul edilmemiştir.
Algılanan iş yükü	Bireyin görev sonrasında kendi deneyimine dayalı olarak bildirdiği iş yükü düzeyidir.	Öz-bildirim ölçeklerinden elde edilen sonuçların öznel niteliğini açıklamak için kullanılmıştır.
Bilişsel eylem	Tasarım sürecinde düşünme, karar verme, temsil üretme ve problem çözme süreçlerinin gözlenebilir eylemler üzerinden incelenmesidir.	Bu tezde doğrudan protokol analizi yapılmamış; ancak tasarım çıktıları ve performans göstergeleri bilişsel süreçlerin dolaylı yansımaları olarak ele alınmıştır.

Tablo 1.3: Bilişsel yük araştırmalarında kullanılan temel kavramlar ve bu araştırmadaki kullanımları (devamı)

İçsel yük	Görevin kendi yapısından, karmaşıklığından ve içerdiği öğeler arasındaki etkileşim düzeyinden kaynaklanan bilişsel yük bileşenidir.	Görev zorluğu değişkeni ile ilişkilendirilmiştir. Kolay ve zor görev ayrımı, içsel yükü farklılaştırmak amacıyla kurgulanmıştır.
Dışsal yük	Görevin sunuluş biçimi, kullanılan araç, temsil ortamı, arayüz ve çevresel düzenlemelerden kaynaklanan ek bilişsel yük bileşenidir.	Tasarım ortamı değişkeni ile ilişkilendirilmiştir. Fiziksel ve dijital modelleme ortamları dışsal yük açısından karşılaştırılmıştır.
Etkin Yük	Öğrenme, anlamlandırma ve şema geliştirme süreçlerinin bireyde oluşturduğu bilişsel işlem yüküdür. Güncel bilişsel yük teorisinde diğer yük türlerinden bağımsız ve doğrudan ölçülebilir ayrı bir bileşen olarak ele alınması tartışmalıdır.	Bu tezde doğrudan ölçülmemiştir. Bulguların yorumlanmasında, bilişsel yük artışının her durumda olumsuz bir sonuç olarak değerlendirilmemesi gerektiğini açıklamak için kullanılmıştır.

1.3 Hipotez ve Araştırma Soruları

Bu araştırma, tasarım ortamı (fiziksel ve dijital modelleme) ve görev zorluk düzeyinin (zor ve kolay) bilişsel yük üzerindeki etkilerini öz bildirim, fizyolojik ve performans temelli ölçümler üzerinden analiz etmektedir. Ayrıca bu ölçümler arasındaki ilişkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Tablo 1.2'de, tezin temel araştırma soruları ve bu sorular ile ilişkili hipotezler listelenmiştir.

Tablo 1.4: Tezin araştırma soruları ve hipotezleri

Araştırma Soruları	**Hipotezler**
S1: Mimari tasarım ortamı ve görev zorluğu, mimari tasarım sürecindeki bilişsel yükün öz-bildirim, fizyolojik ve performans göstergelerini nasıl etkilemektedir?	**H1**: Fiziksel modelleme ortamında gerçekleştirilen mimari tasarım görevleri, dijital modelleme ortamında gerçekleştirilen görevlere kıyasla öz-bildirim, fizyolojik ve performans temelli bilişsel yük göstergelerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir artışa yol açar.
	H2: Zor mimari tasarım görevi, kolay mimari tasarım görevine kıyasla öz-bildirim, fizyolojik ve performans temelli bilişsel yük göstergelerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir artışa yol açar.
S2: Bilişsel yükün öz-bildirim göstergeleri ile fizyolojik göstergeleri arasında nasıl bir ilişki vardır?	**H3**: Öz-bildirim temelli bilişsel yük puanlarındaki artış ile fizyolojik bilişsel yük göstergelerindeki artış arasında pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki vardır.

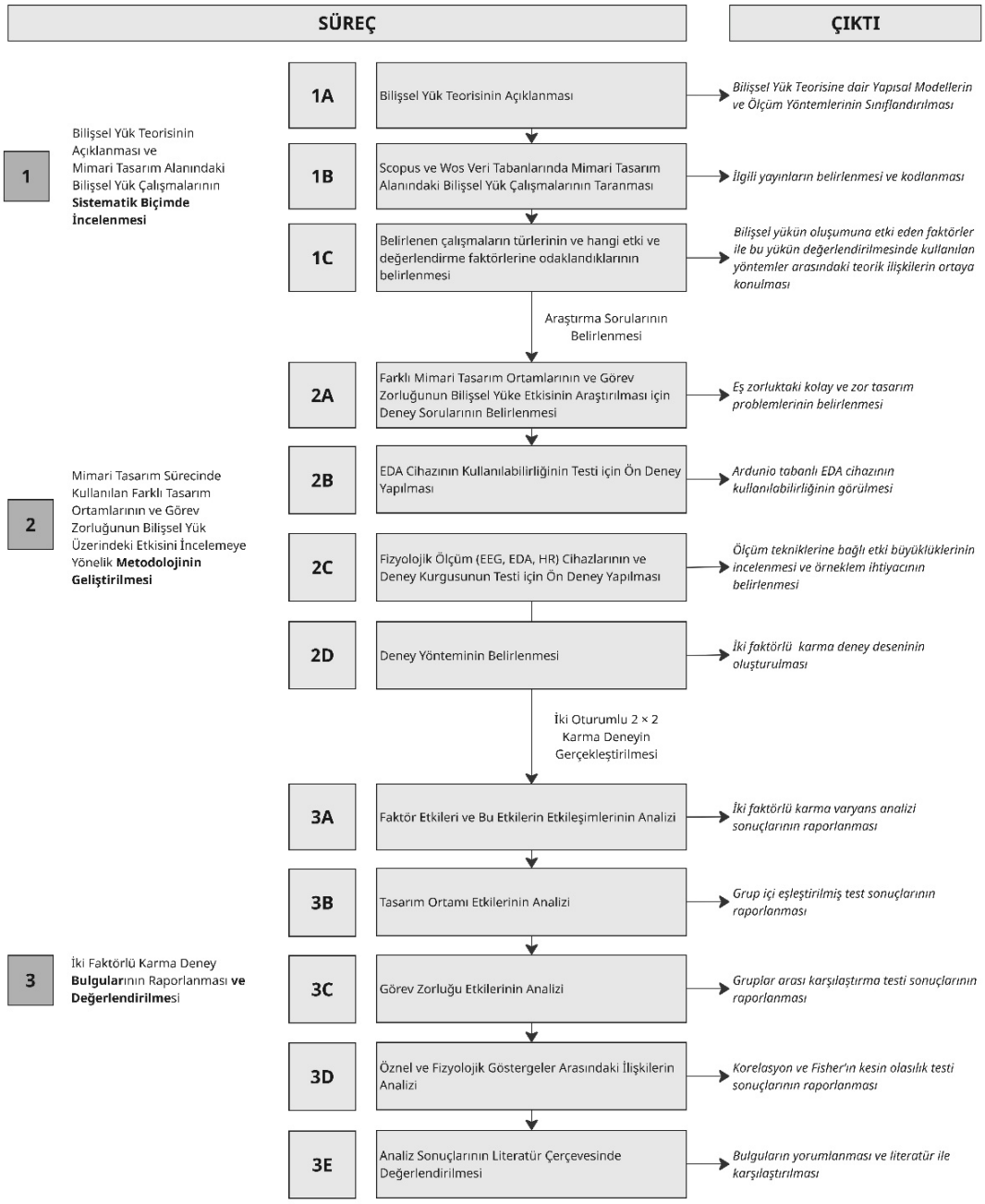
1.4 Tezin Araştırma Tasarımı

Bu tez, mimari tasarım süreçlerinde bilişsel yükün doğasını öz bildirim, fizyolojik ve performans ölçümleri üzerinden inceleyen ve üç aşamalı bir araştırma tasarımına dayanan bir çalışmadır. Bu aşamalar; (i) literatür özeti ve sistematik literatür incelemesi, (ii) araştırma metodolojisinin geliştirilmesi ve (iii) deneysel çalışma bulguları ve değerlendirmeleridir. Tezin akış şeması Şekil 1.1'de gösterilmiştir.

İlk aşama, literatür incelemesidir. Bu aşama, BYT açıklanarak (Bölüm 2.1) kavramsal modellemelerinin gelişimi ele alınmış ve mimari tasarım alanına

uyarlanmıştır (Bölüm 2.2). Ardından bilişsel yük ölçüm teknikleri sınıflandırılarak açıklanmıştır (Bölüm 2.3). Devamında, mimari tasarım alanındaki bilişsel yük çalışmaları sistematik olarak incelenmiştir (Bölüm 2.4). Mevcut teoriler ve uygulamalar üzerine yapılan bu sistematik tarama, alana dair eksikleri saptayarak tezin araştırma sorularının ve hipotezlerinin belirlenmesini sağlamıştır.

İkinci aşamada, deneysel araştırma metodolojisinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Bu kapsamda, tekrarlı ölçümlerde kullanılacak eş zorluk düzeyine sahip tasarım görevleri belirlenmiş (Bölüm 3.1), fizyolojik ölçümlerde kullanılacak EDA sisteminin uygulanabilirliği test edilmiş (Bölüm 3.3) ve ana deney protokolü pilot çalışma ile sınanmıştır (Bölüm 3.4). Bu süreç sonucunda, deneysel çalışmada kullanılacak nihai metodolojik çerçeve oluşturulmuştur (Bölüm 3.5).



Şekil 1.1: Tezin akış şeması

Üçüncü aşamada, mimari tasarım sürecinde bilişsel yükün tasarım ortamı ve görev zorluğu değişkenlerine bağlı olarak nasıl değiştiği, iki faktörlü karma deneysel çalışma ile incelenmiştir. Bu doğrultuda, tasarım ortamı değişkeni grup-içi *(within-subjects)*, görev zorluğu değişkeni ise gruplar-arası *(between-subjects)* faktör olarak ele alınmıştır. Bu çerçevede bilişsel yük, öz bildirim, fizyolojik ve performans temelli ölçümler aracılığıyla çok boyutlu olarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen veriler doğrultusunda, tasarım ortamı ve görev zorluğunun bilişsel yük üzerindeki ana ve etkileşim etkileri analiz edilmiş (Bölüm 4.1); ardından bu

etkilerin detaylı karşılaştırmaları tasarım ortamı (Bölüm 4.2) ve görev zorluğu (Bölüm 4.3) bağlamında incelenmiştir. Ayrıca öz bildirim ve fizyolojik göstergeler arasındaki ilişkiler analiz edilmiş (Bölüm 4.4) ve elde edilen tüm bulgular literatür çerçevesinde değerlendirilmiştir (Bölüm 4.5).

1.5 Tezin Kapsamı

Bu tez, mimari tasarım süreçlerinde bilişsel yükün tasarım ortamı ve görev zorluğu bağlamında nasıl değiştiğini, öz bildirim, fizyolojik ve performans temelli ölçümler aracılığıyla incelemektedir. Çalışma, bilişsel yükün çok boyutlu yapısını analiz etmeyi hedeflemekte olup, belirli tasarım ortamları, görev zorluk düzeyleri, katılımcı profili ve ölçüm teknikleri ile sınırlandırılmıştır.

İlk aşamada gerçekleştirilen sistematik literatür incelemesi, mimarlık, iç mimarlık ve peyzaj mimarlığı alanlarıyla sınırlandırılmış olup yalnızca BYT çerçevesinde yürütülen ampirik çalışmaları kapsamaktadır.

Bu inceleme doğrultusunda, araştırmanın metodolojik çerçevesi belirli sınırlar çerçevesinde yapılandırılmıştır. Bu doğrultuda, tasarım görevleri basit mimari mekân tasarımı ile sınırlandırılmıştır. Görev kapsamında katılımcılardan, döşeme ve tefriş elemanlarını kullanarak iki kotu bağlayan belirli bir işleve sahip mekân tasarımı yapmaları istenmiş; cephe tasarımı gibi daha karmaşık ve zaman gerektiren tasarım problemleri kapsam dışında bırakılmıştır. Ayrıca deneysel çalışmanın süre açısından uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla tasarım görevleri kısa süreli olacak şekilde kurgulanmıştır.

Çalışmada bilişsel yükü etkileyen faktörler, deneysel olarak kontrol edilebilir iki değişken ile sınırlandırılmıştır. Bunlardan ilki tasarım ortamıdır ve bu değişken, karşılaştırılabilirliği sağlamak amacıyla fiziksel modelleme ve dijital modelleme olmak üzere iki farklı ortam üzerinden ele alınmıştır. İkinci değişken ise görev zorluğudur. Görev zorluğu, deneysel olarak ayırt edilebilirliği sağlamak amacıyla iki uç değer üzerinden, kolay ve zor olmak üzere tanımlanmıştır.

Bilişsel yükün değerlendirilmesinde kullanılan ölçüm teknikleri de belirli sınırlar dahilinde seçilmiştir. Bu kapsamda çalışma, öz bildirim, fizyolojik ve performans temelli ölçümler ile sınırlandırılmış; davranışsal ölçüm teknikleri kapsam dışında bırakılmıştır. Öz bildirim verilerinin toplanmasında NASA- Ağırlıklandırılmamış

Görev Yükü İndeksi (NASA-RTLX – *NASA Raw Task Load Index*), CLS ve Sanal Ortamlar için Çok Boyutlu Bilişsel Yük Ölçeği (MCLSVE – *Multidimensional Cognitive Load Scale for Virtual Environments*) anketleri kullanılmıştır. Fizyolojik ölçümler EEG, EDA ve HR verileri ile sınırlandırılmıştır. Performans değerlendirmesi ise tasarım başarısı ve zihinsel verimlilik göstergeleri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Son olarak, araştırmanın katılımcı grubu, dijital modelleme eğitimi almış üçüncü ve dördüncü sınıf mimarlık öğrencileri ile sınırlandırılmıştır.

1.6 Tezin Özgün Değeri

Bu çalışma, mimari tasarım sürecinde bilişsel yükün incelenmesine yönelik literatürdeki kavramsal ve metodolojik boşlukları ele alarak alana katkı sunmayı amaçlamaktadır. Öncelikle, mimari tasarım bağlamında bilişsel yük araştırmalarını sistematik olarak inceleyerek mevcut çalışmaların sınırlılıklarını ortaya koymakta ve bu alandaki temel araştırma boşluklarını net bir biçimde tanımlamaktadır.

İkinci olarak, bilişsel yük kavramının literatürde (Bölüm 2.4.2.3) sıklıkla iş yükü ve zihinsel iş yükü gibi kavramlarla karıştırıldığına dikkat çekmekte ve bu kavramlar arasındaki ayrımı netleştirmektedir. Ayrıca bilişsel yükü, zihinsel yük ve zihinsel çaba gibi değerlendirme boyutlarına ek olarak içsel, dışsal ve etkin yük bileşenleri çerçevesinde de ele alarak kavramın çok boyutlu yapısını ortaya koymaktadır.

Üçüncü olarak, çalışma metodolojik açıdan önemli bir katkı sunmaktadır. Bilişsel yükün değerlendirilmesinde öz bildirim, fizyolojik ölçümler ve performans verilerini birlikte kullanan karma teknikli bir yaklaşım benimseyerek, bilişsel yükün daha kapsamlı biçimde analiz edilmesini mümkün kılmaktadır.

Son olarak, tasarım ortamı ve görev zorluğu gibi iki temel değişkeni birlikte ele alan deneysel tasarımı ile bilişsel yükün mimari tasarım sürecindeki dinamiklerini karşılaştırmalı olarak incelemekte ve bu değişkenlerin etkilerini bütüncül bir çerçevede değerlendirmektedir.

2
LİTERATÜR İNCELEMESİ

Çalışmanın bu bölümünde ilk olarak Bölüm 2.1'de tezin kuramsal çerçevesini oluşturan BYT açıklanmıştır. Ardından Bölüm 2.2'de BYT'nin zaman içinde hangi etki ve değerlendirme faktörleri üzerinden açıklandığına ilişkin kavramsal modeller incelenerek mimari tasarım alanına özgü yeni bir kavramsal model uyarlaması geliştirilmiştir. Bölüm 2.3'te literatürde bilişsel yük ölçümü için kullanılan teknikler sınıflandırılarak açıklanmıştır. Bölüm 2.4'te mimari tasarım alanındaki bilişsel yük teorisinin kullanıldığı çalışmalar sistematik olarak incelenmiştir.

2.1 Bilişsel Yük Teorisi

BYT, insan bilişsel mimarisine dayalı olarak bilginin nasıl işlendiğini, depolandığını ve uzun süreli belleğe nasıl aktarıldığını açıklayan bir kuramdır (Bannert, 2002; Gerjets ve diğ., 2009; Sweller ve diğ., 2019). Bu teori, insanın bilişsel sisteminin çalışma belleği ve uzun süreli bellek olmak üzere iki temel bileşenden oluştuğunu öne sürmektedir. Çalışma belleği, yeni bilgileri geçici olarak işleyen, ancak kapasitesi oldukça sınırlı olan bir sistemdir. Uzun süreli bellek ise geniş ve kalıcı bilgi depolama alanı olup, bilgi şemalarının burada saklanması yoluyla öğrenme süreci gerçekleşmektedir (Sweller ve Sweller, 2006).

BYT, insan bilişsel mimarisini evrimsel süreçle ilişkilendiren bir yaklaşıma sahiptir. Bu bağlamda, D. Geary (2007, 2008) tarafından öne sürülen biyolojik olarak birincil ve biyolojik olarak ikincil bilgi ayrımı büyük önem taşımaktadır. Biyolojik olarak birincil bilgiler, evrimsel süreç içinde doğrudan öğrenmeye yatkın olduğumuz, örneğin yüzleri tanıma veya ana dilimizi konuşma gibi becerileri içerir. Bu tür bilgiler, bilinçsiz ve çabasız bir şekilde edinilir. Öte yandan, biyolojik olarak ikincil bilgiler, kültürel süreçlerle öğrenilen ve kazanımı bilinçli bir çaba gerektiren becerileri kapsamaktadır. Okuma, yazma veya matematiksel işlemler biyolojik

olarak ikincil bilgilere örnektir (Paas ve Sweller, 2012). BYT, biyolojik olarak ikincil bilgilerin öğrenme sürecini nasıl daha etkili hale getirebileceğimizi inceleyen bir teoridir. Ancak biyolojik olarak birincil bilgilerin öğrenilmesi BYT'nin kapsamı dışındadır.

BYT, çalışma belleği ve uzun süreli bellek arasındaki etkileşim açısından beş temel ilkeye dayanır (Sweller ve Sweller, 2006):

- *Bilgi Depolama İlkesi:* İnsanlar, uzun süreli belleklerinde büyük miktarda bilgiyi saklama kapasitesine sahiptir. Öğrenme süreci, bilgilerin uzun süreli belleğe kodlanması ile gerçekleşir.
- *Ödünç Alma ve Yeniden Düzenleme İlkesi:* Yeni öğrenilen bilgiler, diğer bireylerden ödünç alınarak (taklit yoluyla öğrenme, okuma, dinleme vb.) veya mevcut bilgilerle yeniden organize edilerek uzun süreli bellekte depolanır.
- *Rastgele Üretme ve Test Etme İlkesi:* Yeni bilgiye ulaşmanın mümkün olmadığı durumlarda, bireyler problem çözme sürecinde rastgele hipotezler üretir ve bunları test ederek yeni öğrenmeler gerçekleştirir.
- *Sınırlı İşleme Kapasitesi İlkesi:* Çalışma belleğinin kapasitesi oldukça sınırlıdır. İnsanlar genellikle aynı anda 5 ila 9 bilgi öğesini işleyebilir ve bu bilgiyi yaklaşık 20 saniye içinde kaybedebilir (Cowan, 2001; Miller, 1956; Peterson ve Peterson, 1959). Bu nedenle, karmaşık öğrenme görevlerinde çalışma belleğinin aşırı yüklenmesi öğrenmeyi zorlaştırabilir (O. Chen ve diğ., 2018).
- *Çevresel Düzenleme ve Bağlantı Kurma İlkesi:* Çevresel uyaranlar, uzun süreli bellekte depolanan bilgilerin harekete geçirilmesine yardımcı olur. Uzmanlık düzeyine bağlı olarak, iyi yapılandırılmış bilgi şemaları, çalışma belleğini zorlamadan otomatik olarak kullanılabilir hale gelir (Ericsson ve Charness, 1994).

Bu ilkeler, öğrenmenin sadece bilgi edinme değil, aynı zamanda mevcut bilişsel kaynakların etkin yönetimiyle gerçekleştiğini vurgular. BYT'ye göre, bu süreçte ortaya çıkan yük üç temel bileşen üzerinden sınıflandırılır: dışsal bilişsel yük, içsel bilişsel yük ve etkin bilişsel yük (Sweller ve diğ., 2019). Bu yük türleri aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Bu bağlamda, bilişsel yük kavramı, çalışma belleğinin sınırlı kapasitesi ile karşılaşılan bilgi işleme talepleri arasındaki etkileşimden doğmaktadır (Sweller, 2011). Öğrenme sürecinde karşılaşılan bu talepler, çalışma belleğinin sınırlı kapasitesi açısından bir kısıt oluşturmakta ve bu durum literatürde "bilişsel yük" olarak kavramsallaştırılmaktadır. Başka bir ifadeyle, bilgi işleme sürecinde ortaya çıkan bu sınırlayıcı etki, öğrenmenin etkinliğini doğrudan etkileyen bir yük olarak ele alınmaktadır.

2.1.1 Dışsal Bilişsel Yük

Dışsal bilişsel yük, öğrenme sürecini doğrudan desteklemeyen, fakat kullanılan öğretim yöntemi veya ortam nedeniyle ortaya çıkan gereksiz bilişsel yükü ifade eder. Örneğin, karmaşık veya fazla bilgi içeren bir eğitim materyali öğrencinin çalışma belleğini gereksiz yere yorarak öğrenmeyi zorlaştırabilir. Bu nedenle etkili öğretim tasarımı, dışsal yükü azaltarak öğrenme sürecini sadeleştirmeyi hedeflemelidir (Mayer, 2024; Sweller ve diğ., 2019).

BYT, özellikle bu dışsal yükün azaltılmasına odaklanmaktadır (Sweller ve diğ., 2019). Literatürdeki çok sayıda deneysel çalışma, bu yükün öğrenme çıktıları üzerindeki etkilerini araştırmaya yönelmiştir (Hernandez Sibo ve diğ., 2024).

Bu doğrultuda BYT, dışsal yükü azaltmaya yönelik çeşitli öğretim teknikleri önermektedir:

- Hedefsiz problem çözme yerine yapılandırılmış görevler sunmak (Sweller ve Levine, 1982),
- Tamamlanmış örnek çözümlerle öğrenmeyi desteklemek (Sweller ve Levine, 1982),
- Kısmi çözümler üzerinden yönlendirilmiş öğrenme sağlamak (G Van Merrienboer ve M Krammer, 1987),
- Bölünmüş dikkati önlemek amacıyla bilgi kaynaklarını bütünleştirmek (Tarmizi ve Sweller, 1988),
- Gereksiz içerik ve grafiklerden kaçınmak (Ayres ve Sweller, 2021),
- Çoklu modlarla (ör. hem işitsel hem görsel) bilgi sunmak (Mousavi ve diğ., 1995).

Bu öğretim teknikleri, özellikle dışsal bilişsel yükün azaltılmasının öğrenme çıktıları üzerinde olumlu etkiler yaratacağı varsayımıyla geliştirilmiştir. Ancak, dışsal bilişsel yükün azaltılması her durumda öğrenme üzerinde doğrudan olumlu bir etki yaratmamaktadır. Örneğin çözümlü örnekler, bölünmüş dikkat ve gereksiz içerik etkisine ilişkin deneysel araştırmalar, düşük görev karmaşıklığı durumlarında dışsal yükün azaltılmasının öğrenme performansını artırmadığını göstermiştir (Hernandez Sibo ve diğ., 2024). O. Chen ve diğ.'nin (2023) çalışması, dışsal bilişsel yükün azaltılmasının, yalnızca görev karmaşıklığı yüksek olduğu durumlarda öğrenme sonuçlarını olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Bu ve benzeri bulgular, dışsal bilişsel yükün öğrenme üzerindeki etkisinin görev karmaşıklığına bağlı olarak değiştiğini göstermekte ve teorik çerçeveye içsel bilişsel yük kavramının entegrasyonunu zorunlu kılmaktadır.

2.1.2 İçsel Bilişsel Yük

İçsel bilişsel yük, öğrenme materyalinin içerdiği karmaşıklık ile bireyin sahip olduğu ön bilgi düzeyi arasındaki etkileşimden kaynaklanır. Birey, bir konuya dair ne kadar fazla ön bilgiye sahipse, yeni bilgileri anlamlandırması ve öğrenmesi de o kadar kolay olur. Buna karşılık, ön bilginin yetersiz olması durumunda, yeni bilginin kavranması güçleşir ve bu durum içsel bilişsel yükü artırır. Bu nedenle, yeni bilgilerin mevcut bilgi şemalarıyla ilişkilendirilmesi, içsel bilişsel yükün düzeyini belirleyen en önemli etkenlerden biridir (Kalyuga, 2023).

İçsel bilişsel yük, bir görevin doğasında var olan karmaşıklık ve bu görevin anlaşılması için gereken bilgi miktarıyla belirlenir (Sweller ve diğ., 2019). Öğrenme sürecinde, bilgi unsurlarının etkileşimini artırmak veya azaltmak, bilişsel yükü yönetmede önemli bir faktördür (Hernandez Sibo ve diğ., 2024; Mayer, 2024). Daha düşük karmaşıklığa sahip bilgiler için, öğretim düzenlemeleri yoluyla unsur etkileşiminin artırılması, bireylerin benzer problem durumlarını tanımasını sağlar ve öğrenmeyi destekler (Paas ve Van Merriienboer, 1994). Ancak, bilgi karmaşıklığı yüksek olduğunda, başlangıçta görev bileşenlerini ayrı ayrı sunmak ve ardından bütünleşmiş bilgi sağlamak, öğrenme sürecini daha etkili hale getirebilir (P. A. Kirschner, 2002).

Bu bağlamda, öğretim stratejilerinin yalnızca dışsal bilişsel yükü azaltmaya odaklanması yeterli değildir; aynı zamanda içsel bilişsel yükün görev karmaşıklığına uygun şekilde yapılandırılması gerekmektedir. Seufert ve diğ.'nin

(2007 farklı karmaşıklık düzeylerine sahip bütünleştirme görevleri üzerinden yürüttüğü deneysel çalışmada, grafiksel desteklerin yalnızca düşük içsel bilişsel yük koşullarında etkili olduğu, yüksek içsel bilişsel yük durumlarında ise öğrenme performansını artırmadığı gösterilmiştir. Buna karşılık, Zeitlhofer ve diğ.'nin (2024), laboratuvar ortamında gerçekleştirilen problem çözme görevlerinde görev karmaşıklığını sürekli yüksek tutarak yürüttüğü çalışmada, yüksek karmaşıklığın öğrenme performansı, etkin bilişsel yük ve meta-farkındalık üzerinde olumlu etkiler yarattığı ortaya konmuştur. Bu sebeple, içsel bilişsel yükün öğrenme üzerindeki etkisinin tek yönlü olmadığı ve görev karmaşıklığı ile öğretimsel yapılandırmaya bağlı olarak değiştiği anlaşılmaktadır.

2.1.3 Etkin Bilişsel Yük

Dışsal bilişsel yükün azaltılmasının her durumda öğrenme performansını artırmadığını ve benzer şekilde içsel bilişsel yükün görev karmaşıklığına bağlı olarak öğrenme üzerindeki etkisinin değiştiğini gösteren deneysel bulgular (Seufert ve diğ., 2007; Zeitlhofer ve diğ., 2024), BYT'de etkin bilişsel yük kavramının geliştirilmesine zemin hazırlayan tartışmaları desteklemiştir (Sweller, 2011). Bu kavram, bireylerin yeni ve ilgili bilgileri mevcut bilgileriyle organize etmek ve bütünleştirmek için harcadıkları çabayı ifade eden "etkin bilişsel yük" olarak adlandırılmaktadır. Bu yük türü, öğrenmenin kalıcılığı açısından kritik olan çalışma belleği ile uzun süreli bellek arasındaki anlamlı bağlantıların kurulması için harcanan bilişsel çabadır.

Etkili öğretim stratejileri, etkin bilişsel yükü destekleyerek öğrenmeyi kalıcı hale getirmeye odaklanmalıdır (Gerjets ve diğ., 2009). Öğrenme sürecinde etkin bilişsel yükü artırmak amacıyla önerilen öğretim teknikleri arasında bireyleri kendi açıklamalarını yapmaya teşvik etmek (Chi ve diğ., 1989) ve hataları tespit edip düzeltmeye yönlendirmek (Große ve Renkl, 2007) yer almaktadır. Ancak, bu yük türünün değişkenliğini doğrudan ölçmeye yönelik ampirik çalışmalar oldukça sınırlıdır (Gonnermann-Müller ve Krüger, 2024; Hernandez Sibo ve diğ., 2024; Mayer, 2024; Suryani ve diğ., 2024).

Başlangıçta, BYT, içsel, dışsal ve etkin yükün toplamının genel bilişsel yükü oluşturduğunu ve öğretimsel tasarımın bu toplam yükü çalışma belleğinin sınırları içinde tutmayı amaçlaması gerektiğini varsaymıştır (Sweller ve diğ., 2019). Bu varsayıma göre etkin bilişsel yük toplam bilişsel yüke dışsal yükün yerine geçerek

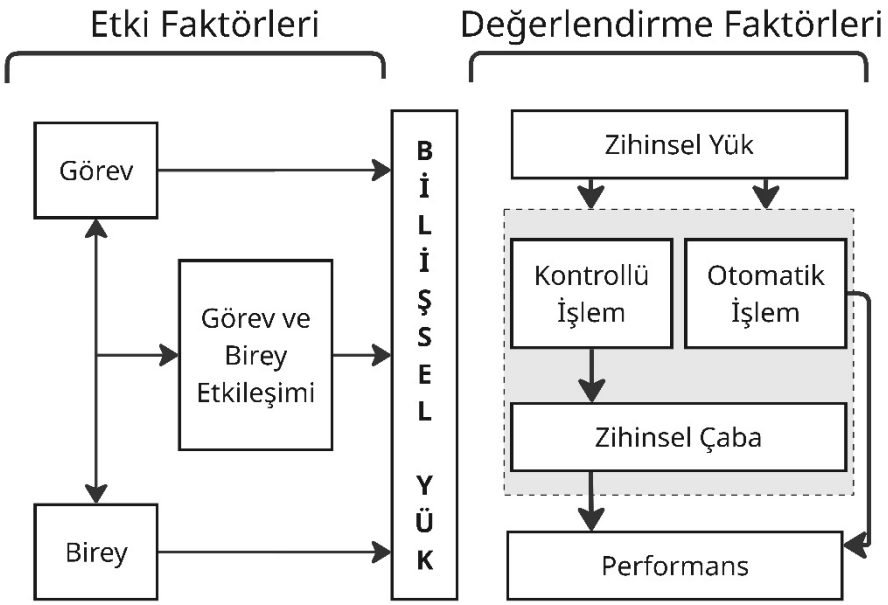
katkıda bulunmaktadır. Ancak, Sweller ve diğ. (2019) artık etkin bilişsel yükün toplam yüke katkıda bulunmak yerine çalışma belleği kaynaklarını dışsal bilişsel süreçlerden alıp, öğrenme görevinin içsel bilgileriyle ilgili etkinliklere yeniden dağıttığını varsaymaktadır.

Bu değişikliğe olan ihtiyaç, şu sorundan kaynaklanmaktadır: Eğer etkin bilişsel yük sadece dışsal yük azaldığında onun yerine geçiyorsa, dışsal yük azaldığında toplam yükte herhangi bir değişiklik olmaması gerekirdi. Ancak, birçok ampirik çalışma, dışsal yük azaldığında toplam yükte de bir azalma olduğunu göstermiştir (Kalyuga, 2023; Sweller ve diğ., 2019). Bu sebeple mevcut yaklaşım, etkin bilişsel yükün kendi başına bir yük oluşturmak yerine, dışsal yükten içsel yüke kaynak aktarımı yapan bir yeniden dağıtım işlevi olduğunu varsaymaktadır (Sweller ve diğ., 2019). Dolayısıyla, güncel BYT'de, toplam bilişsel yük esas olarak içsel ve dışsal yük tarafından belirlenmektedir. Bu nedenle öğretim tasarımında dışsal yükün azaltılması öncelik kazanmaktadır.

2.2 Bilişsel Yük Teorisinin Kavramsal Modeli

BYT, ilk ortaya atıldığı dönemden bu yana kavramsal olarak farklı modellerle açıklanmış ve zamanla kapsamı genişletilerek çeşitli bileşenler eklenmiştir. Bu modeller, özellikle öğretim tasarımı, öğrenen özellikleri ve öğrenme görevine ilişkin değerlendirme stratejileri açısından farklı boyutlara ayrılmıştır. Teorinin kavramsal çerçevesi, sadece bilişsel yük bileşenlerini açıklamakla kalmamış, aynı zamanda bu yükün nedenlerine ve ölçülme biçimlerine ilişkin kategorik ayrımlar geliştirmiştir.

BYT'nin Şekil 2.1'de görülen ilk boyutsal modeli, Paas ve Van Merriienboer (1994) tarafından geliştirilmiştir. Bu model bilişsel yükü, bir bireyin belirli bir görevi yerine getirirken bilişsel sistemine binen zihinsel talepleri ifade eden çok boyutlu bir kavram olarak tanımlamaktadır. Bu kavram, etki faktörleri ve değerlendirme faktörleri olmak üzere iki ana boyut üzerinden açıklamaktadır. Etki faktörleri bilişsel yükü etkileyen değişkenleri, değerlendirme faktörleri ise bu yükün çıktıları üzerinde gözlemlenebilen sonuçlarını temsil etmektedir. Bu yapı hem görev koşullarının hem de bireysel farklılıkların öğrenme süreci üzerindeki etkisini açıklamak amacıyla geliştirilmiştir.



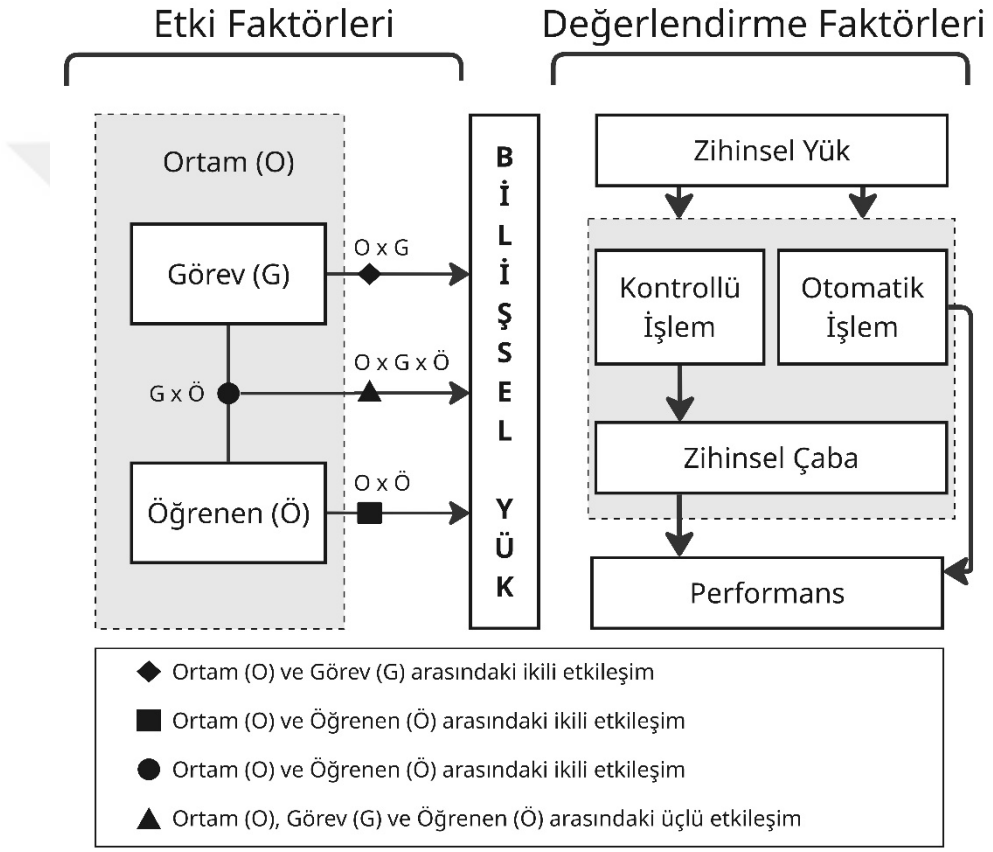
Şekil 2.1: BYT'nin Paas ve Van Merriienboer (1994) tarafından geliştirilen ilk modeli.

Modelin etki faktörleri boyutu, görevle ilgili unsurlar, bireysel özellikler ve bu iki unsurun etkileşimi olmak üzere üç temel kaynağa dayanmaktadır. Görevin karmaşıklığı, zaman baskısı, çevresel gürültü gibi durumlar yükü doğrudan artıran dışsal koşulları temsil ederken; bireyin ön bilgi düzeyi, bilişsel kapasitesi ve bilişsel tarzı gibi görece sabit bireysel özellikler de yükü şekillendirmektedir. Bu iki kümenin etkileşimi ise, bireyin motivasyonu, uyarılmışlık düzeyi veya görevden algıladığı zorluk gibi değişkenlerle yükün dinamik doğasını belirlemektedir.

Değerlendirme boyutu ise bireyin karşılaştığı görevi nasıl deneyimlediğini ve bu deneyimin çıktılarla ilişkisini açıklamayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda zihinsel yük, görevin doğasından kaynaklanan sabit bilişsel talep düzeyini ifade ederken; zihinsel çaba, bireyin bu talebi karşılamak için harcadığı aktif bilişsel kaynakları temsil etmektedir. Performans ise, yükün birey üzerindeki etkisinin doğrudan çıktısı olarak değerlendirilmekte ve başarı, hız ya da hata sayısı gibi ölçütlerle ifade edilmektedir. Bu üç değerlendirme boyutu birlikte ele alındığında, bireyin belirli koşullarda ne düzeyde zorlandığı ve bu zorlanmanın öğrenme çıktılarına nasıl yansıdığı bütüncül olarak analiz edilebilmektedir.

Paas ve Van Merriienboer (1994) bu ilk modeli, bilişsel yükün çoklu kaynaklardan beslendiğini ve bu yükün farklı şekillerde değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Ancak bu modelde, öğrenme ortamının fiziksel özellikleri bilişsel

yükü oluşturan nedenler arasında açıkça tanımlanmamıştır. Choi ve diğ. (2014) bu eksikliği gidermek amacıyla bilişsel yükün etki faktörleri boyutunu yeniden yapılandırarak fiziksel öğrenme ortamını modelin bağımsız bir bileşeni olarak tanımlamışlardır. Şekil 2.2'de görülen bu model, özellikle karmaşık görevlerin uygulandığı gerçekçi öğrenme ortamlarında, çevresel değişkenlerin (ses, ışık, sıcaklık, araç-gereç düzeni vb.) bilişsel yük üzerindeki etkilerini vurgulamaktadır. Böylece model, daha bütüncül bir çerçeve sunmuş ve çevresel koşulların da etki faktörleri arasında değerlendirilmesi gerektiğini önermiştir.



Şekil 2.2: Choi ve diğ. (2014)'ün BYT modeli

Bu yeni yaklaşımda, öğrenme görevleri ile öğrenme ortamı kavramsal olarak birbirinden ayrıştırılmıştır. Özellikle "fiziksel öğrenme ortamı" terimi, geleneksel "öğrenme ortamı" kavramının yerine önerilmiş ve bu yeni modelde hem öğrenme görevini hem de öğrenciyi çevreleyen bir bileşen olarak konumlandırılmıştır. Bu bağlamda, fiziksel öğrenme ortamı yalnızca mekânsal özellikleri değil; aynı zamanda kullanılan öğrenme materyallerinin rengi, boyutu, dokusu, düzeni, sıcaklık, ses düzeyi gibi duyusal uyaranları da kapsamaktadır. Model, bireyin

öğrenme sürecinde fiziksel çevresel uyaranlara sürekli maruz kaldığını ve bunun bilişsel yük üzerinde doğrudan etkili olabileceğini savunmaktadır.

Choi ve diğ. (2014), bu çevresel faktörlerin yalnızca dışsal yük bağlamında değil, doğrudan bilişsel süreçleri etkileyen bir unsur olarak ele alınması gerektiğini öne sürerek örnekler üzerinden açıklamaktadır. Örneğin, stetoskop ya da bilgisayar gibi araçların yalnızca çevresel birer nesne değil, görevle bütünleşmiş bilişsel destekleyiciler olarak değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu görüş, bilişsel yükün bireyin zihinsel süreciyle sınırlı olmadığı, çevreye dağıtılmış bir yapıya sahip olabileceği fikrine dayanmaktadır.

Bu yeni BYT modeli ışığında, bilişsel yük sadece öğrenme materyalinin yapısına ve bireyin özelliklerine değil, aynı zamanda öğrenmenin gerçekleştiği bağlama ve koşullara bağlı olarak dinamik biçimde açıklanmaktadır. Ancak bu model mimari tasarım bağlamında sınandığında önemli sınırlılıkları olduğu görülmektedir.

Öncelikle, fiziksel öğrenme ortamı, modelde genel bir üst bileşen olarak tanımlansa da bu bileşenin alt sınıflamaları veya nitelikleri detaylı bir biçimde ele alınmamıştır. Özellikle tasarım eğitimi gibi farklı araçlar ve medya türleri (örneğin, bilgisayar destekli tasarım, sanal gerçeklik, kâğıt-kalem eskiz ya da fiziksel maket üretimi) arasında değişen ortam tiplerinin bilişsel yük üzerindeki etkilerinin modellenebilmesi için daha ayrıntılı bir çevresel yapı tanımlamasına ihtiyaç vardır.

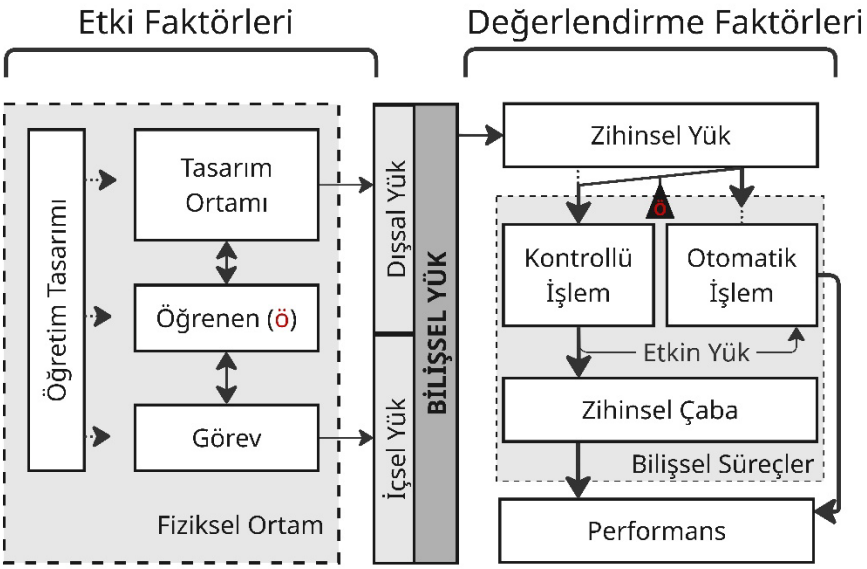
İkinci olarak, model, eğitim süreçlerini sadece genel öğretimsel bağlam içinde değerlendirmekte ve verilen eğitimin etkisini tüm modelin içine dağılmış olarak yorumlamaktadır. Bu durum, eğitimi bağımsız bir etki faktörü olarak analitik biçimde izole etmeye ve etki düzeyini doğrudan değerlendirmeye olanak tanımamaktadır. Özellikle farklı öğretim stratejilerinin (örneğin, senaryo tabanlı eğitim, görev yönelimli rehberlik, örnekleme yoluyla aktarımlar vb.) bireyin görev performansı ve çaba düzeyi üzerindeki etkilerini incelemek açısından bu sınırlılık önemli bir eksikliktir.

Son olarak, çevresel faktör ile görev unsuru arasındaki ayrım modelde açık biçimde tanımlanmamıştır. Mevcut modelde tasarım ortamı, görevin bir bileşeni olarak ele alınmakta; bu durum görev zorluğu ile ortamdan kaynaklanan zorlukların birbirinden ayrıştırılmasını güçleştirmektedir. Özellikle, görevin doğasından kaynaklanan bilişsel talepler ile kullanılan ortamın (örneğin, arayüz özellikleri veya

temsil biçimleri) yarattığı ek bilişsel yükün iç içe geçmesi, bu iki etkinin analitik olarak ayrı ayrı değerlendirilmesini sınırlamaktadır.

Buna ek olarak, modelde fiziksel çevre koşulları (örneğin, sıcaklık, ışık, gürültü) ile tasarım ortamına özgü araç ve arayüz özellikleri aynı çevresel bileşen altında ele alınmakta ve bu durum farklı türdeki çevresel etkilerin kavramsal olarak ayrıştırılmasını zorlaştırmaktadır.

Tüm bu nedenlerle, özellikle tasarım eğitimi bağlamında gerçekleştirilen çalışmalar için, çevresel faktörlerin daha ayrıntılı alt başlıklarla ele alındığı, eğitimsel etkilerin ayrıştırıldığı ve ortam-görev-etkileşim yapılarının daha net sınırlarla belirlendiği yeni bir modele ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, söz konusu ihtiyaca yanıt vermek amacıyla mevcut BYT modelleri mimari tasarım bağlamında yeniden yorumlanmış ve Şekil 2.3'te sunulan bilişsel yük modeli oluşturulmuştur.



Şekil 2.3: Tasarım alanı için yeniden yorumlanan BYT modeli

Şekil 2.3'te sunulan model, BYT'nin önceki kavramsal modelleri temel alınarak tasarlanmış ve özellikle mimari tasarım eğitimi bağlamındaki deneysel araştırmalar için yeniden yapılandırılmıştır. Model, önceki modellere paralel olarak bilişsel yükü oluşturan etki faktörleri ile bu yükün çıktılar üzerindeki etkilerini ölçen değerlendirme faktörleri olmak üzere iki ana boyutta yapılandırılmıştır. Etki faktörleri başlığı altında, öğretim tasarımı, tasarım ortamı, öğrenen ve görev bileşenleri fiziksel ortam bağlamında ele alınmakta ve bu bileşenlerin bilişsel yük üzerindeki etkileri içsel ya da dışsal yük olarak modellenmektedir. Değerlendirme

faktörleri ise, zihinsel yükün kontrollü ve otomatik işlem süreçleri aracılığıyla zihinsel çaba ve bilişsel süreçler üzerinden eyleme nasıl yansıdığını açıklamaktadır.

Bu model, tasarım ortamını fiziksel çevreden ayrı bir yapı olarak tanımlaması ve öğretimsel etkiyi diğer etki faktörlerinden ayrıştırması bakımından önceki modellerden farklılaşmaktadır. Tezin bir sonraki bölümünde, bu modelde yer alan her bir bileşen sırasıyla açıklanmaktadır.

2.2.1 Bilişsel Yükün Etki Faktörleri

Şekil 2.3'te sunulan modelde, bilişsel yükü şekillendiren nedenler iki aşamalı bir yapı içinde ele alınmaktadır. İlk aşama, öğrenme performansının ölçülmesinden önce gerçekleşen öğretim sürecini kapsamakta ve öğretim tasarımını içermektedir. Bu aşamada bilgi düzeni, sunum stratejileri ve rehberlik düzeyi gibi unsurlar belirlenmekte ve öğrenenin görevle karşılaşma biçimini yapılandırmaktadır. Bu çerçevede öğretim tasarımı, bilişsel yüke doğrudan etki eden bir bileşen olarak değil, sınanma sürecinde etkili olan tüm faktörleri önceden yapılandıran üst düzey bir belirleyici olarak konumlandırılmıştır.

İkinci aşama ise, öğrenenin belirli bir görev bağlamında performansının değerlendirildiği sınanma sürecini kapsamaktadır. Bu aşamada; öğrenen, görev ve tasarım ortamı olmak üzere üç temel faktör bulunmaktadır. Bu faktörler, öğretimden sonraki performans görevlerinin gerçekleştiği çerçeveyi oluşturmaktadır.

Öğrenen, bireysel farklılıklarıyla hem içsel hem de dışsal yüke doğrudan katkı sağlayan bir aktördür. Ön bilgi düzeyi, motivasyon, duygusal durum ve bedenlenmiş bilişsel stratejiler gibi faktörler, bireyin bilişsel yükle başa çıkma becerilerini şekillendirmektedir. Görev, ölçülen eğitim görevinin karmaşıklık düzeyi ve zaman kısıtasını temsil etmektedir. Görev içsel bilişsel yüke doğrudan etki eden bir faktör olarak tanımlanmıştır.

Tasarım ortamı ise, görevin yerine getirildiği dijital, analog ya da hibrit ortamları kapsamaktadır. Bu ortamlar, tasarım eylemini destekleyen ya da zorlaştıran arayüzler olarak bilişsel yükün dışsal boyutuna etki etmektedir. Son olarak, fiziksel ortam tüm bu faktörlerin içinde bulunduğu çevresel koşulları tanımlamaktadır.

2.2.1.1 Öğretim Tasarımı

BYT'nin geleneksel modellerinde (Paas ve Van Merriënboer, 1994; Choi vd., 2014), öğretimsel müdahaleler genellikle öğrenen ve görev etkileşimi kapsamında değerlendirilmiş; bu nedenle öğretim tasarımı bilişsel yükün bağımsız bir etki faktörü olarak doğrudan tanımlanmamıştır. Oysa BYT'nin temelinde yer alan yük yönetimi, yalnızca görev sürecinde değil, bu göreve hazırlık aşamasında verilen eğitimin niteliğiyle de şekillenmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada önerilen modelde öğretim tasarımı, diğer tüm faktörlerden zamansal olarak ayrılarak sürecin ilk aşamasında ve bağımsız bir etki faktörü olarak ele alınmaktadır (Şekil 2.3).

Bu modelleme yaklaşımı, öğretim tasarımının doğrudan ölçülen bilişsel yük bileşenlerine değil, bu yükü taşıyan öğrenen üzerindeki hazırlayıcı etkilerine odaklanmaktadır. Başka bir deyişle, öğretim tasarımı doğrudan bilişsel yükü artıran ya da azaltan bir kaynak olmaktan çok, öğrenenin bilgi ve strateji düzeyini belirleyerek, görev sırasında oluşacak yükün seyrini dolaylı olarak şekillendirmektedir.

Bilişsel yükü azaltmaya yönelik öğretimsel stratejiler bu bağlamda kritik öneme sahiptir. Literatürde sıkça yer bulan örnekler arasında bölünmüş dikkat etkisini azaltan yapılandırmalar, rehberliğin kademeli olarak azaltılması, örnek çözüm sunumu gibi uygulamalar yer almaktadır. Tablo 2.1'de, öğretim tasarımına ilişkin bilişsel yük araştırmalarında sıkça kullanılan öğretimsel etkiler ve bu etkilere dayalı ampirik çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 2.1: Eğitim sırasındaki bilişsel yükü azaltmaya yönelik öğretimsel uygulamalar

Öğretimsel Etki	**Açıklama**	**Örnek Çalışmalar**
Bölünmüş Dikkat Etkisi	Bilginin iki farklı kaynaktan alınması sonucu yükün artması	Pouw ve diğ., 2019; Zhang, 2024
Örnek Çözüm Sunumu	Görev çözüm yollarının örneklerle verilmesi	Renkl, 2017; Chen ve diğ., 2023
Rehberliğin Azaltılması	Öğrenciye sağlanan desteğin zamanla azaltılması	Van Merriënboer ve diğ., 2024
Duygusal Tasarım Öğeleri	Eğitsel materyallerde olumlu duygular uyandıran tasarımlar	Um ve diğ., 2012

Tablo 2.2: Eğitim sırasındaki bilişsel yükü azaltmaya yönelik öğretimsel uygulamalar(devamı)

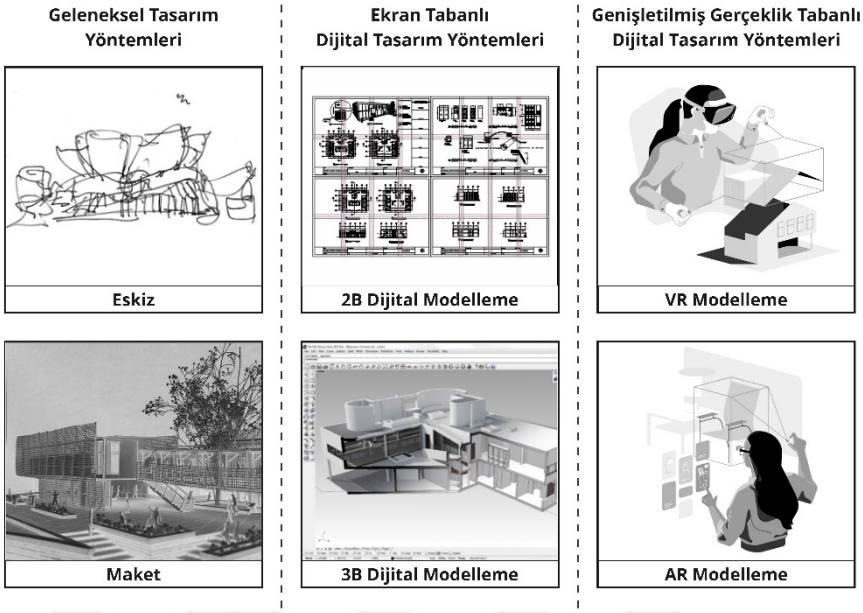
Bedenlenmiş Öğrenme	Jest ve hareketlerle bilgiyi destekleme	Cook ve diğ., 2012
İkili kodlama	Görsel ve sözel bilgililerin birlikte birbirini destekleyecek biçimde sunulması	Sweller ve diğ., 2019; Mayer, 2001
Çapa Etkisi	Önceden sunulan bilgi veya örneklerin öğrenmeyi yönlendirmesi	Garvin ve diğ., 2020
Dikkat Çekici Öğeler	Animasyon, renk ve ses gibi dikkat çekici ama anlamlı uyaranların kullanımı	Park ve diğ., 2015
Ön Bilgi Aktivasyonu	Görev öncesi öğrenenin zihinsel modelini etkinleştirmeye yönelik içeriklerin kullanımı	Bransford ve Johnson, 1972; Kalyuga, 2007
İş Birlikli Öğrenme	Gurup çalışması ile bireyler arası bilişsel kaynak paylaşımının sağlanması	Kirschner ve diğ., 2009; Dillenbourg,

Eğitim sırasındaki bilişsel yükü azaltmaya yönelik tüm bu öğretimsel uygulamalar, doğrudan görev ya da fiziksel çevre üzerinde değil, bireyin zihinsel süreçlerini yapılandıran ve öğrenme öncesinde devreye giren müdahalelere dayanmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada "öğretim tasarımı" faktörü, görev, öğrenen ve çevresel koşullardan bağımsız bir yapıda ele alınmıştır. Böyle bir ayrım, bireyin aldığı eğitimin niteliğinin görev performansı üzerindeki etkisini daha açık biçimde izlemeyi mümkün kılmaktadır. Ayrıca, bilişsel yükün yalnızca görev esnasındaki taleplerle değil, bu göreve hazırlık sürecinde karşılaşılan eğitim stratejileriyle de şekillendiği dikkate alındığında, öğretim tasarımının modelde ayrı bir bileşen olarak konumlandırılması BYT'nin zamansal olarak çok aşamalı yapısına daha uygun ve açıklayıcı bir çerçeve sunmaktadır.

2.2.1.2 Tasarım Ortamı

BYT kapsamında tasarım ortamı, bireyin görevi yerine getirmek için kullandığı araç, arayüz veya platformları ifade eder. Mimarlık eğitimi alanında en çok kullanılan tasarım ortamları Şekil 2.4'de gösterilmiştir. İlgili şekilde listelenen her bir ortam, kullanıcıdan farklı bilişsel ve motor beceriler talep eder. Bu sebeple Şekil

2.3’te gösterilen BYT modelinde bu faktör kullanıcının deneyimine bağlı olarak doğrudan dışsal bilişsel yüke etki edecek şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 2.4: Mimari tasarım ortamı örnekleri

İnsan makine etkileşimi ve BYT alanlarının kesişimindeki birçok çalışma bu faktörün etkilerine odaklanmaktadır (Suryani ve diğ., 2024). Bu alandaki çalışmalar farklı tasarım ortamlarının dışsal bilişsel yüke etkisinin aynı zamanda göreve de bağlı olduğunu göstermektedir. Örneğin sanal gerçeklik (VR, *Virtual Reality*) ortamları, özellikle tasarım değerlendirmesi ve mekânsal deneyimleme gibi görevlerde, kullanıcıya yüksek düzeyde algısal bilgi sunarak dışsal bilişsel yükü azaltmaktadır (Henstrom ve diğ., 2024; Zarei ve DiPaola, 2021). Ancak, aynı VR ortamlarının kullanım karmaşıklığı, özellikle açık uçlu tasarım görevlerinde dışsal bilişsel yükün artmasına sebep olmaktadır (Barrett, 2023; S. H. Cha ve diğ., 2023).

Bu çalışmalar, tasarım ortamı faktörünün bilişsel yük üzerindeki etkisinin yalnızca teknolojik altyapıya değil, aynı zamanda görev türüne ve kullanıcının deneyimine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgudan yola çıkarak bu faktörün öğrenenle görev arasında bir arayüz görevi gördüğünü bu nedenle de bilişsel yükün dışsal boyutuyla doğrudan, içsel boyutuyla ise görev zorluğuna olan etkisi yüzünden dolaylı olarak ilişkili olduğu söylenebilir.

Bu çok yönlü etkileşim, özellikle mimarlık gibi hem soyut düşünmeyi hem de uzamsal beceri gerektiren disiplinlerde daha da belirgin hale gelmektedir. Bu tür tasarım odaklı alanlarda kullanılan tasarım ortamın niteliği, yalnızca öğrenenin

dışsal bilişsel yükünü değil, aynı zamanda öğrenenin etkin bilişsel yükünü ve görev başarısını da doğrudan şekillendiren kritik bir faktör olarak öne çıkmaktadır.

2.2.1.3 Öğrenen

Şekil 2.3'te görülen "öğrenen" faktörü, bireyin bilişsel yükle başa çıkma kapasitesini belirleyen tüm bireysel, duyuşsal ve bilişsel özellikleri kapsayan çok katmanlı bir yapıdır. Bu faktörün bilişsel yüke etkisi, bireyin daha önceki deneyimi ve duygusal motivasyonu olmak üzere iki ana kritere bağlıdır. Aynı görev ve ortam koşulları altında farklı bireylerin farklı düzeyde bilişsel yük deneyimlemesi, büyük ölçüde bu bireysel farklılıklardan kaynaklanmaktadır (Sweller, 2024).

Bu çalışma kapsamında geliştirilen Şekil 2.3'teki BYT modelinde bu faktör bilişsel yükün içsel ve dışsal boyutuyla doğrudan ilişkilendirilmemiştir. Bunun yerine toplam bilişsel yükün kişide oluşturduğu zihinsel yükün nasıl kontrol edileceğine karar veren bir dağıtıcı olarak konumlandırılmıştır. Bu dağıtıcı işlevi, zihinsel yükün ne tarafa yükleneceğine karar veren bir terazi gibi düşünülebilir. Eğer kişinin ölçülen göreve dair ön bilgisi varsa görevin gerektirdiği işlemleri otomatik bir şekilde yapacağı için daha az zihinsel çaba harcayacaktır. Ancak tam tersi bir durumda gerekli işlemlere dair ön bilgisi olmadığında bu işlemleri çözmek için daha fazla zihinsel çaba harcaması gerekecektir.

Başka bir şekilde açıklamak gerekirse bireyin sahip olduğu şemalar, yeni bilginin zihinde nasıl işleneceğini doğrudan şekillendirmektedir. Bu nedenle, aynı görevde uzman bireyler daha düşük zihinsel çaba harcarken, acemi bireyler sınırlı şema sayısı ve düşük işlemleme kapasitesi nedeniyle daha yüksek zihinsel çaba harcarlar.

Mimarlık eğitiminde bu durum oldukça yaygındır; örneğin, birinci sınıf öğrencileri soyut mekânsal ilişkileri kavramsallaştırmakta ve bunları iki boyutlu çizimlere aktarmakta zorlanırken, ileri seviyedeki öğrenciler bu tür görevleri daha otomatikleştirilmiş zihinsel süreçlerle yönetebilir (Menezes, 2005). Bu sebeple bu çalışmada öğrenen faktörü kişinin zihinsel yükünü kontrollü ve otomatik işlemler arasında nasıl dağıtacağına karar veren bir dağıtım fonksiyonu olarak açıklanmıştır.

Öğrenen faktörünün etkisi yalnızca bilgi düzeyiyle sınırlı değildir; kişinin duygusal durumları ve motivasyonları da bilişsel yükün sebep olduğu zihinsel çabayı önemli ölçüde etkiler. Örneğin, öğrenme materyallerinin renkli grafikler, ilgi çekici başlıklar veya mizahi unsurlar gibi olumlu duygusal tasarım unsurları içermesi,

öğrenenlerin zihinsel çabalarını daha uzun süre sürdürebilmesine yardımcı olmakta ve zihinsel çabalarını daha etkili yönetmelerine katkı sağlamaktadır (Um ve diğ., 2012). Literatürdeki çalışmaların (Y. Liu ve diğ., 2024; Wigfield ve diğ., 2015) bulguları öğrenenin duygu durumuna bağlı olarak artan motivasyon ve tutumunun görev için gerekli olan zihinsel çabayı sağlamalarına katkı sağladığını göstermektedir. Ancak literatürde motivasyon ve tutumun öğrenmeye etkisinin olmadığını gösteren çalışmalar da bulunmaktadır (Howard ve diğ., 2021; Santana-Monagas ve diğ., 2025). Bu çelişkili bulgular bu faktöre dair daha fazla ampirik çalışmaya ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Bilişsel yük yönetiminde dikkate alınması gereken bir diğer unsur ise iş birliğine dayalı kollektif öğrenme süreçleridir. F. Kirschner ve diğ. (2009) birden fazla bireyin ortak bilişsel kaynakları kullanarak çalışma yürütmesinin, bireysel iş yükünü hafiflettiğini ve toplam bilişsel kapasitenin daha etkin kullanılmasını sağladığını ortaya koymuştur. Bu durum görevin oluşturduğu bilişsel yükün grup çalışma ile grup üyeleri arasında paylaştırılabildiğini göstermektedir. Mimarlık eğitiminde yaygın olarak kullanılan grup projeleri, bu avantajı doğrudan uygulama fırsatı sunmaktadır. Öğrenciler arasında görev paylaşımı yapılarak, karmaşık projelerin farklı bileşenlerine odaklanılması sağlanabilir ve böylece karmaşık görevlerin oluşturduğu yüksek bilişsel yük grubun toplam bilişsel kapasitesi ile karşılanabilir.

2.2.1.4 Görev ve Zaman

Görev ve zaman faktörü, ölçümü yapılan görev karmaşıklığı ve bu göreve ilişkin zaman kıstasını temsil etmektedir. İki boyutlu bu faktör, öğrenenin içsel bilişsel yük seviyesini doğrudan etkileyen bir faktördür. Görev, öğrenenin yerine getirmesi beklenen bilişsel süreçlerin yoğunluğu, sırası ve türü ile tanımlanırken zaman ise bu sürecin gerçekleşmesi için tanınan sürenin miktarını ifade etmektedir.

Görev karmaşıklığı, öncelikle bireyin çalışma belleği kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir. Çalışma belleğinin sınırlı kapasitesi sebebiyle, karmaşık görevlerde bilgi unsurlarını bu unsurlar arasındaki ilişkileri anlamak için gerekli yükü arttıkça içsel bilişsel yük de doğrusal olarak artmaktadır (Sweller ve diğ., 2019). Etkin bir öğrenmenin olabilmesi için görev ve zaman faktörünün, kişinin bilişsel kapasitesini aşmayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Özellikle mimarlık gibi soyut, çok katmanlı ve uzamsal beceri gerektiren tasarım alanlarında, tasarım görevleri

çoğunlukla yüksek unsur etkileşimi içermektedir. Bu nedenle bu alanların eğitim süreçlerinde, verilen eğitim görevlerinin karmaşıklığı öğrenenlerin deneyim düzeyine göre kademeli olarak düzenlenmelidir.

Ayrıca, görev zorluğu bireyin motivasyonu ve çaba düzeyiyle de yani öğrenen faktörü ile de ilişkilidir. Özellikle bireyin motivasyonu, çaba düzeyi ve ön bilgisi, görevin karmaşıklığını nasıl deneyimleyeceğini etkilemektedir. Çok basit görevler, öğreneni bilişsel olarak yeterince meşgul etmediği için düşük katılım ve düşük motivasyonla sonuçlanabilir (Evans ve diğ., 2024). Buna karşılık, çok karmaşık görevler ise çalışma belleğinin kapasitesini aşarak aşırı yüklenmeye sebep olabilmektedir (Paas ve diğ., 2005).

Oldham and Cummings (1996) belirli bir karmaşıklığın üzerindeki görevlerin yaratıcılığa pozitif etki ettiğini göstermiştir. Dolayısıyla, öğrenenin bilgi seviyesi ve bilişsel kaynakları dikkate alınarak, görev zorluklarının zaman içinde kademeli olarak artırılması hem öğrenme motivasyonunu hem de bilişsel verimliliği destekleyici bir strateji olarak değerlendirilebilir.

Zaman baskısı ise öğrenme ya da problem çözme sürecine tanınan sürenin kısıtlanmasıyla oluşan ve görev zorluğunun ikincil alt boyutudur. Literatürde zaman baskısının bilişsel yük üzerindeki etkisi için çelişkili bulgular bulunmaktadır. Bazı çalışmalar (Galasso ve Profeta, 2024; Moore ve Tenney, 2012), zaman baskısının performansı olumsuz etkilediğini ve dışsal bilişsel yükü artırdığını göstermektedir. Ancak başka çalışmalar (Ritter ve diğ., 2012; Samaratunga ve diğ., 2025) ise, belirli düzeyde zaman kısıtının öğrenen üzerinde dikkat ve motivasyonu artışı sağladığını göstermiştir. Bu çelişkili bulgular zaman etkisinin bilişsel yükün diğer etki faktörlerine göre değişkenlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

2.2.1.5 Fiziksel Ortam

BYT'nin erken dönem modellerinde fiziksel ortam, bilişsel yükün oluşumuna dolaylı etkilerde bulunan bir unsur olarak değerlendirilerek ayrı bir faktör olarak belirtilmemiştir (Paas ve Van Merriienboer, 1994). Ancak Choi ve diğ. (2014), bu eksikliği gidererek fiziksel ortam faktörünü BYT modeli için ayrı bir etki faktörü olarak yeniden tanımlamışlardır. Bu çalışmada önerilen Şekil 2.3'teki modelde de benzer şekilde fiziksel ortam, sadece görev veya öğrenen faktörüyle ilişkili dolaylı

bir bağlam değil; bilişsel yük üzerinde doğrudan etkili olan bir etki faktörü olarak konumlandırılmıştır. Böylece bu faktörün yalnızca bir bağlam değil; görev, öğrenen, tasarım ortamı ve öğretim tasarımı ile etkileşime giren bir etmen olarak tanımlanmıştır.

Fiziksel ortam koşulları; ışık, ses, sıcaklık, yerleşim planı, hacim ve geçirgenlik gibi mekânsal özellikleri içerecek şekilde çok boyutlu bir yapıya sahiptir. Bu öğelerin her biri, öğreneninin algısal sürecine etki etmektedir. Örneğin, yetersiz aydınlatma, yoğun gürültü veya dağınık bir yerleşim düzeni, tasarım ortamının kullanılabilirliğini azaltarak dışsal bilişsel yükü artırabilir. Benzer şekilde, bu tür fiziksel uyaranlar, göreve odaklanmayı zorlaştırarak içsel bilişsel yükün de artmasına yol açabilir. Buna karşılık, fiziksel ortam koşulları uygun şekilde düzenlendiklerinde tam tersi bir etki yaratarak hem dışsal hem de içsel yükün azalmasını sağlayabilir.

Özellikle fiziksel ortama dair görsel ve işitsel dikkat dağıtıcılar, hali hazırda sınırlı olan bilişsel kapasitenin gereksiz yere tüketilmesine yol açmaktadır. Bu da asıl öğrenme sürecine odaklanmayı güçleştirmektedir (Paas ve Van Merrienboer, 2020). Fisher ve diğ. (2014) buna yönelik olarak sınıf ortamında gerçekleştirdikleri deneysel bir çalışmada, aşırı dekorasyonlu sınıfların çocuklarda dikkat dağınıklığına yol açarak öğrenme çıktılarının zayıflamasına neden olduğu göstermiştir. Buna ek olarak, ofis ortamlarında belirli bir derecenin üstündeki (Li ve diğ., 2020) ve altındaki (Zhang ve diğ., 2017a)) ortam sıcaklığının dışsal bilişsel yükü arttırarak performansı olumsuz etkilediği deneysel olarak kanıtlanmıştır.

Fiziksel ortam koşullarının bilişsel yük üzerindeki etkisi sadece klasik sınıf ve ofis gibi tekil bir mekân etkileri ile sınırlı kalmamaktadır. Özellikle mimarlık gibi çoğu zaman masaüstü çizim, maket üretimi, dijital modelleme gibi farklı ortamlarda yürütülen uygulamalı tasarım eğitimlerinde bu ortamların her biri farklı düzeyde bilişsel talep yaratmaktadır. Örneğin dağınık bir stüdyo ortamı, uygun olmayan masa düzeni veya yetersiz aydınlatma gibi koşullar, öğrencinin tasarım sürecine ayırabileceği zihinsel kaynakları dolaylı olarak azaltmaktadır.

2.2.2 Bilişsel Yükün Değerlendirme Kriterleri

Bilişsel yük doğrudan gözlemlenebilen ya da değişimi anlık olarak izlenebilen bir kavram değildir. Bu nedenle, değerlendirilmesi dolaylı yöntemlere dayanmaktadır

(Suryani ve diğ., 2024). Literatürdeki BYT modelleri (Choi ve diğ., 2014; Paas ve Van Merriienboer, 1994) bu değerlendirmenin; zihinsel yük, zihinsel çaba ve performans olmak üzere üç temel değerlendirme ölçütü üzerinden yapılabileceğini belirtmektedir. Bu çalışmada önerilen BYT modelinde de söz konusu değerlendirme kriterleri korunmuştur (Şekil 2.3).

2.2.2.1 Zihinsel Yük

Zihinsel yük, BYT'nin literatürdeki modellerinde (Choi ve diğ., 2014; Paas ve Van Merriienboer, 1994) bireyin kişisel özelliklerin bağımsız olarak öğrenme görevinin gerektirdiği bilişsel taleplerin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Bu yük türü, temel olarak bir görevin doğasında var olan bilgi miktarını, bu bilgilerin birbirleriyle olan ilişkilerini ve görevin yapısal karmaşıklığını içermektedir. Bu tanıma göre zihinsel yük göreve özgü ve kişiden bağımsızdır. Bu nedenle literatürde (Calpin ve Menold, 2023; Henstrom ve diğ., 2024a; J. Liu ve diğ., 2024) zihinsel yük, çoğunlukla içsel bilişsel yükle ilişkilendirilerek değerlendirilmektedir.

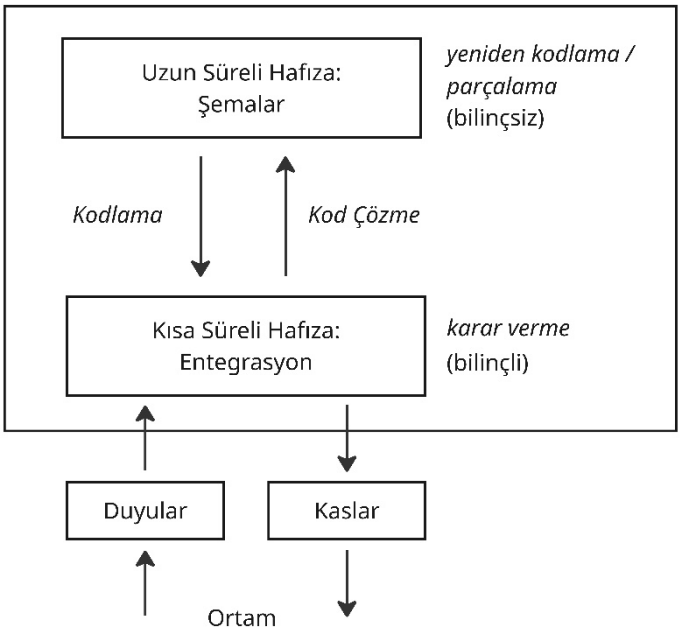
BYT modellerinde zihinsel yük, kişisel özelliklerden bağımsız olarak, belirli bir görevin her birey için aynı düzeyde zihinsel yük oluşturacağı varsayımıyla açıklanmaktadır. Bu varsayıma göre, bir öğrenme görevinin o görevi yapan tüm bireylerde eşdeğer zihinsel yük yaratması beklenir. Ancak bu teorik çerçevenin uygulamada bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Çünkü öğrenen üzerinde oluşan zihinsel yükün ölçümü, yine öğrenen üzerinden yapılmaktadır. Bu durum, ölçümlenen verinin ne olursa olsun bireye bağımlı hale gelmesine neden olmakta ve zihinsel yükün teoride bireyden bağımsız kabul edilse de pratikte bireysel farklılıklardan etkilenebileceğini göstermektedir.

Dolayısıyla, zihinsel yük teorik olarak öğrenme görevine ait sabit ve yapısal bir özellik olarak tanımlansa da ölçüm aşamasında bireysel özelliklere duyarlı bir faktör haline gelmektedir. Bu nedenle bu çalışmada önerilen BYT modelinde (Şekil 2.3) zihinsel yük içsel bilişsel yükün bir yansıması olarak değil, öğrenen üzerinde oluşan toplam bilişsel yükün bir çıktısı olarak tanımlanmıştır. Bu bağlamda, zihinsel yük; öğretim tasarımı, görev yapısı, öğrenen özellikleri, tasarım ortamı ve fiziksel çevre gibi tüm etki faktörlerinin birleşik etkisinin öğrenen tarafından algılanan yükü olarak değerlendirilmiştir.

2.2.2.2 Zihinsel Çaba

Zihinsel çaba, bireyin görevi yerine getirirken görevin oluşturduğu zihinsel yükü karşılamak amacıyla aktif olarak harcadığı kaynakların toplamını ifade etmektedir. Literatürde bu kavram, bireyin görevi öğrenme veya tamamlama sürecinde ne kadar kontrollü zihinsel işlem gerçekleştirdiğiyle ilişkilendirilir (P. A. Kirschner, 2002; Sweller, 2011). Dolayısıyla zihinsel çaba; bireyin görevi çözmek için bilinçli olarak ayırdığı dikkat, motivasyon ve işlemleme kapasitesinin bir göstergesi olarak kabul edilir. Bu kavramın daha net anlaşılabilmesi için insan zihninde gerçekleşen bilinçli ve bilinçsiz işlemlerin tanımlanması gereklidir.

Caspersen ve Bennedsen (2007) bu süreci Şekil 2.5'teki şema ile açıklamaktadır. İnsanın öğrenme sürecindeki zihinsel faaliyetleri kısa süreli çalışma belleği ve uzun süreli bellek arasındaki iletişime dayanır. Çalışma belleği aktif olarak kontrollü işlemlerin yapıldığı alanı temsil eder. Öğrenme sırasında bu işlemler soncusunda bilgi şemaları oluşturularak bu şemalar uzun süreli belleğe kaydedilir. Bu şemaların kaydedilmesi sürecinde zihinde oluşan yüke ise etkin bilişsel yük olarak tanımlanmaktadır (Choi ve diğ., 2014; P. A. Kirschner, 2002; Sweller ve diğ., 2019).



Şekil 2.5: Zihinsel süreç şeması

Şemalar birçok tekil bilgiyi birbiriyle ilişkilendirerek tek bir birim olarak saklamamızı sağlar. Bu sayede, tek tek her bilgiyi hatırlamak yerine, o bilgileri bir

şema halinde çağırarak kullanabiliriz. Dolayısıyla, ileride daha önceden öğrendiğimiz bir konu hakkında bilgiye ihtiyaç duyduğumuzda uzun süreli bellekten bu şemalar getirilerek kısa süreli bellekte kontrollü işlemler için kullanırız.

İnsanın öğrenme sürecine dair bu bilişsel yapı, BYT'nin kavramsal modelinde de karşılık bulmaktadır. Sırasıyla Şekil 2.3'te gösterilen kontrollü ve kontrolsüz işlemler de Şekil 2.5'teki kısa ve uzun süreli hafızada gerçekleşen işlemlere karşılık gelmektedir. Zihinsel çaba, zihinsel yükün uzun süreli bellekten gelen şemalar aracılığıyla otomatik olarak karşılanan kısmı dışında kalan ve bireyin dikkatini yönlendirerek kontrollü biçimde işlemeye çalıştığı bilişsel talepleri ifade etmektedir.

Sweller (2011), zihinsel yük ile zihinsel çabanın kuramsal olarak farklı yapılar olduğunu, ancak çoğu durumda pozitif yönde ilişkili olduklarını belirtmektedir. Bu tanıma göre zihinsel yük, bir görevi başarıyla tamamlamak için gerekli olan bilişsel kaynak miktarını temsil ederken; zihinsel çaba, bireyin bu göreve yönelik gerçekten ayırdığı kaynak miktarını yansıtır. Ancak bu ilişki her zaman doğrusal değildir. Örneğin, yüksek ya da düşük zihinsel yük, bireyin motivasyonel özelliklerine bağlı olarak düşük zihinsel çabaya neden olabilir (Paas ve diğ., 2003). Aynı şekilde, iki birey aynı testi benzer başarıyla tamamlayabilir; ancak bu sonuca ulaşmak için harcadıkları zihinsel çaba düzeyleri farklılık gösterebilir.

Zihinsel çabanın ölçülmesinde genellikle öz bildirim temelli anketler kullanılmaktadır. Bu anketlerde bireylerden görev sonrasında görevi ne kadar zorlayıcı bulduklarını derecelendirmeleri istenmektedir. Bu ölçüm, öznel olduğu kadar göreve ve bireysel motivasyona da duyarlıdır. Örneğin bazı bireyler zor bir göreve yüksek motivasyonla yaklaşarak daha fazla zihinsel çaba harcarken, bazıları görevi önemsemeyip minimum çabayla tamamlamaya çalışabilir. Bu nedenle zihinsel çabanın yorumlanmasında motivasyon, ilgi ve hedef yönelimi gibi duyuşsal bileşenlerin etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır (Moreno, 2009).

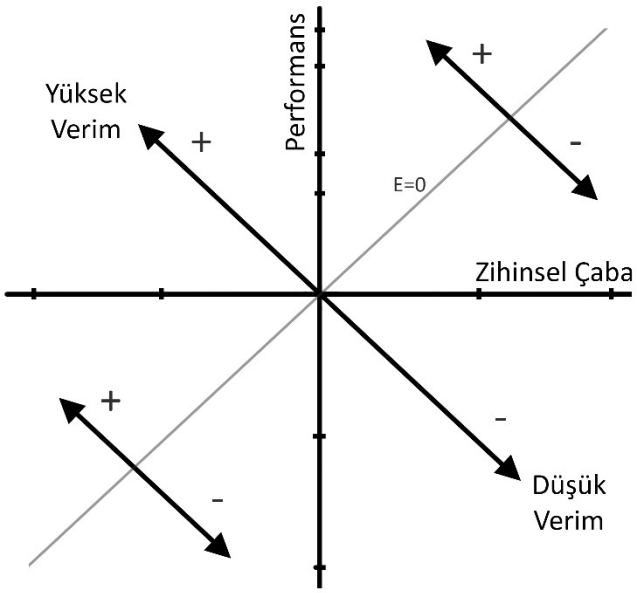
2.2.2.3 Performans

Performans faktörü, bireyin zihinsel çabasının sonucunda ortaya koyduğu gözlemlenebilir davranışı veya çıktıyı ifade etmektedir. Bu çıktı, bireyin bir görevi ne ölçüde başarıyla tamamladığını gösteren tüm fiziksel veya dijital ürünleri

kapsarken gözlemlenebilir davranışlar ise bu çıktıların üretimi sürecindeki eylemleri kapsamaktadır.

Performans faktörünün bu sebeple iki boyutlu bir yapısı bulunmaktadır. Eylem boyutu çoğunlukla protokol çalışmaları (Ashrafganjouei ve Gero, 2021a; Erhan ve diğ., 2022a) üzerinden incelenirken, çıktı boyutu ise görev başarısı (Kalantari ve diğ., 2023a; Li ve diğ., 2020a) üzerinden incelenmektedir. BYT literatüründe, bu görev başarısı ile dışsal bilişsel yük arasında ters orantılı olması beklenir (Sweller, 2011). Bireyin dikkatini görevden uzaklaştıran dışsal bilişsel yük seviyesi arttıkça performansının düşmesi beklenir. Ancak performans faktörü sadece dışsal bilişsel yükten değil; motivasyon, dikkat, beceri düzeyi ve kullanılan araçlar gibi çok sayıda faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle, performans verilerinden doğrudan dışsal bilişsel yüke dair kesin yorumlar yapmak çoğu zaman yanıltıcı olabilir (Suryani ve diğ., 2024).

Ayrıca zihinsel çabanın soncunda oluşan çıktı başarısı her zaman doğrusal değildir. Aynı sayıda doğru yanıta ulaşan iki birey, bu sonuca çok farklı düzeylerde zihinsel çaba harcayarak ulaşmış olabilir. Bu nedenle, öğrenme performansını değerlendirirken sadece sonuç değil, sürece harcanan zihinsel çabanın da dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 2.6: Paas ve diğ.'nin (2003) zihinsel çaba ve performans ilişkisi grafiği

Zihinsel çaba ve performans arasındaki ilişkiyi daha doğru biçimde değerlendirmek amacıyla, Paas ve diğ. (2003) bu iki değişken arasındaki etkileşimi Şekil 2.6'daki

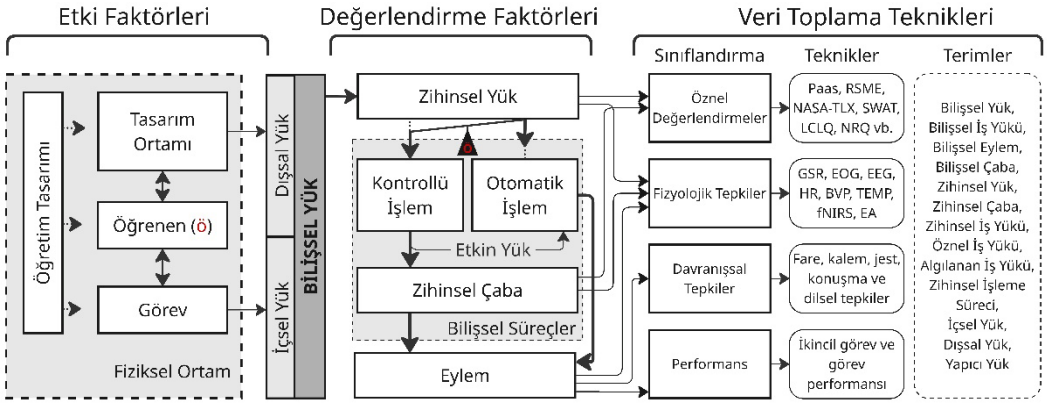
çizgi grafiği üzerinden değerlendiren "zihinsel verimlilik" yaklaşımını önermiştir. Bu yöntemde, her birey için zihinsel çaba ve performans değerleri z-puanı ile normalize edilir. Ardından, bu iki puanın farkı alınarak ölçeklendirilir ve bir zihinsel verimlilik skoru (E) elde edilir:

$$E = ((z_\{performans\} - z_\{çaba\}))/\sqrt{2}$$

Bu hesaplama sayesinde, yüksek performansı düşük çaba ile elde eden bir birey yüksek verimlilik; düşük performansa rağmen yüksek çaba harcayan bir birey ise düşük verimlilik sergilemiş olur. Bu teknik hem bilişsel yükün hem de öğrenme çıktılarının birlikte değerlendirildiği dengeli bir analiz imkânı sunmaktadır. Bu sayede performans faktörü tek başına değil; zihinsel yük ve zihinsel çaba ile birlikte analiz edilebilmektedir.

2.3 Bilişsel Yükün Ölçüm Teknikleri

BYT literatüründe değerlendirme kriterleri olarak kabul edilen zihinsel yük, zihinsel çaba ve performans, temel olarak üç ayrı boyutta ele alınmakta; her biri farklı teknikler kullanılarak ölçülmektedir. Literatürde bu teknikler öz-bildirim, fizyolojik tepkiler, davranışsal tepkiler ve performans temelli ölçüm teknikleri olmak üzere dörde ayrılmaktadır (F. Chen ve diğ., 2016; Suryani ve diğ., 2024).



Şekil 2.7: Tez kapsamında oluşturulan BYT modelinin genişletilmiş hali

Bu tez kapsamında geliştirilen kavramsal BYT modeli, bilişsel yükün ölçüm tekniklerini de kapsayacak biçimde Şekil 2.7'deki gibi genişletilmiştir. Bu sayede, bilişsel yükün hangi değerlendirme faktörlerinin hangi ölçüm teknikleri ile incelenebileceği gösterilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde modele dahil edilen bu teknikler sırasıyla açıklanmıştır.

2.3.1 Öz Bildirim Ölçümleri

Öz bildirim temelli ölçümler, bireylerin bir görev sonrasında deneyimlerini kendi algılarına göre değerlendirdikleri yöntemlerdir. Genellikle görev tamamlandıktan sonra uygulanan bu yöntemler, kullanıcıların kendi zihinsel yük, çaba ve performanslarını değerlendirmelerini sağlamaktadır. Uygulaması kolay ve ekonomik olması nedeniyle literatürde en yaygın kullanılan ölçüm türlerinden biridir (Suryani ve diğ., 2024). Ayrıca hem doğrudan bilişsel yükü hem de bilişsel yükün tüm değerlendirme faktörlerini ölçmek için kullanılabilmektedir.

Öz bildirim ölçümleri görev sonrası görüşme veya anket formatında uygulanabilmektedir. Bazı anketler doğrudan bilişsel yükü (Ayres, 2006), bazıları ise yalnızca zihinsel yük (Vásquez ve diğ., 2014) veya zihinsel çaba (Paas, 1992) gibi bileşenleri ölçmektedir. Daha kapsamlı ölçekler ise bu bileşenlerin her birini ayrı alt boyutlar halinde ölçebilmektedir (Hwang ve diğ., 2013; Krell, 2017).

Bunlara ek olarak, genel iş yükü ölçümünde kullanılan NASA-TLX gibi araçlar da doğrudan bilişsel yükü ölçmemesine rağmen; zihinsel talep, fiziksel talep, zaman baskısı, çaba, performans ve hayal kırıklığı gibi alt boyutları sayesinde bilişsel etkinliğin dolaylı bir göstergesi olarak kullanılabilmektedir (Devos ve diğ., 2020; Y. ; Wu ve diğ., 2024). Literatürde bilişsel yük veya göstergelerini ölçmek için sıklıkla kullanılan anketler ve değerlendirme faktörleri Tablo 2.2'te listelenmiştir.

Tablo 2.3: Öz Bildirim Ölçümlerinde Kullanılan Anket Örnekleri ve Ölçtükleri Bilişsel Yük Bileşenleri (*Katılımcı, zorluk düzeyine göre her boyutu sıralar; bu sıralama, önceden belirlenen ağırlık katsayılarıyla çarpılarak toplam puan hesaplanır.)

Değerlendirme Faktörü	**Anket Adı**	**Soru Sayısı**	**Likert Tipi**	**Kaynak**
Bilişsel Yük	CLQ (*Cognitive Load Questionnaire*)	1	7	(Ayres, 2006)
İçsel Yük, Dışsal Yük, Etkin Yük	MCLSVE (*Multidimensional Cognitive Load Scale for Virtual Environments*)	18 (3+11+4)	9	(Andersen ve Makransky, 2021)
İçsel Yük, Dışsal Yük, Etkin Yük	CLS (*Cognitive Load Scale*)	8 (2+3+3)	7	(Klepsch ve diğ., 2017)
İçsel Yük, Dışsal Yük, Etkin Yük	CLCQ (*Cognitive Load Component Questionnaire*)	6 (2+2+2)	5	(Naismith ve diğ., 2015)
İçsel Yük, Dışsal Yük, Etkin Yük	CLS (*Cognitive Load Scale*)	10 (3+3+4)	10	(Leppink ve diğ., 2013)
Zihinsel Yük	ESCAM (*Subjective Mental Workload Scale*)	20 (6+4+4+3+3)	5	(Vásquez ve diğ., 2014)
Zihinsel Çaba	MERS (*Mental Effort Rating Scale*)	1	9	(Paas, 1992)
Zihinsel Çaba	RSME (*Rating Scale Mental Effort*)	1	9	(Zijlstra ve van Doorn, 1985)

Tablo 2.4: Öz Bildirim Ölçümlerinde Kullanılan Anket Örnekleri ve Ölçtükleri Bilişsel Yük Bileşenleri (*Katılımcı, zorluk düzeyine göre her boyutu sıralar; bu sıralama, önceden belirlenen ağırlık katsayılarıyla çarpılarak toplam puan hesaplanır.) (devamı)

Zihinsel Yük, Zihinsel Çaba	**StuMMBE-Q (*Students' Mental Load and Mental Effort in Biology Education-Questionnaire*)**	**12 (6+6)**	**3**	**(Krell, 2017)**
Zihinsel Yük, Zihinsel Çaba	CLS (*Cognitive Load Scale*)	4 (2+2)	6	(Hwang ve diğ., 2013)
Zihinsel Yük, Çaba, Zaman, Performans, Fiziksel Yük, Hayal Kırıklığı	NASA-TLX (*NASA-Task Load Index*)	6 (1+1+1+1+1+1)	20*	(Hart, 2006)
Zaman Baskısı, Zihinsel Çaba, Stres	SWAT (*Subjective Workload Assessment Technique*)	3 (1+1+1)	3*	(Reid ve Nygren, 1988)

Öz bildirim temelli ölçümler her ne kadar hızlı ve düşük maliyetli yöntemler olsa da ölçüm anında katılımcıların süreci hatırlamalarına ve kendi kendini değerlendirme becerilerine dayalı olmaları sebebiyle bireysel farklılıklara duyarlı yöntemlerdir (Naismith ve diğ., 2015). Ayrıca bu yöntemler ile görev süresince yaşanan anlık değişimleri incelenememektedir. Tüm bu sınırlılıklara rağmen bu teknik halen bilişsel yükü ölçmekte en etkili teknik olarak kabul görmektedir (Ayres, 2019; Sweller ve diğ., 2011). Ancak bu sınırlılıkları aşmak ve ölçümlerin güvenilirliğini artırmak için, öz bildirimlerin fizyolojik veya davranışsal tekniklerle birlikte kullanılması önerilmektedir.

2.3.2 Fizyolojik Ölçümler

Bilişsel yükün değerlendirilmesinde kullanılan tekniklerden biri de bireylerin görev sırasındaki fizyolojik tepkilerinin analizine dayanan ölçümlerdir. Bu teknikler, bireyin bilişsel bir görev sırasında gösterdiği biyolojik yanıtları zamana duyarlı ve objektif biçimde değerlendirme imkânı sunmaktadır (Y. Liu ve diğ., 2025). Bu sayede, bireylerin bilişsel süreçlerine doğrudan müdahale etmeden görev esnasında sürekli veri kaydı toplanabilmektedir. Bu özellikleri sayesinde fizyolojik ölçümler, görev sırasındaki yük dalgalanmalarını yüksek zaman çözünürlüğüyle izleme olanağı sunmaktadır.

Ancak bu ölçümler genellikle çevresel koşullar (örneğin sıcaklık, ışık, ses düzeyi) ve bireysel fizyolojik farklılıklara (kilo, yaş, boy vb.) karşı oldukça duyarlıdır. Bu nedenle analiz sürecinde, bu tür görev dışı etkilerin veriden ayrıştırılması gerekmektedir (Zakeri ve diğ., 2023). Öte yandan, her bireysel ya da çevresel etkeni veri setinden tamamen temizlemek her zaman mümkün değildir. Bu sebeple fizyolojik ölçümler, öz bildirim ya da performansa dayalı tekniklerle birlikte kullanıldığında daha tutarlı ve geçerli sonuçlar sunmaktadır (Suryani ve diğ., 2024).

Tablo 2.5: Bilişsel yük ile ilişkilendirilen başlıca fizyolojik göstergeler ve bunlara karşılık gelen ölçüm yöntemleri

Ölçüm Yöntemi	**Fizyolojik Gösterge**	**Görev**	**Bilişsel Faktör**	**Kaynak**
EEG	theta/alpha	Tasarım Değerlendirmesi	Bilişsel İş Yükü	(Kalantari ve diğ., 2023a)
EEG	theta/delta	Tasarım Değerlendirmesi	Zihinsel İşleme	(Hu ve diğ., 2021a)
EEG	theta/alpha	Psikolojik Test	Zihinsel İş Yükü	(Li ve diğ., 2020a)
EDA	Cilt iletkenliği	Aritmetik Görev	Bilişsel Yük	(Ghaderyan ve diğ., 2018)

Tablo 2.6: Bilişsel yük ile ilişkilendirilen başlıca fizyolojik göstergeler ve bunlara karşılık gelen ölçüm yöntemleri (devamı)

EDA	Cilt iletkenliği ve sıcaklığı	Tangram Bulmacaları	Bilişsel Yük	(Vanneste ve diğ., 2021)
Göz Takibi	Göz hareketi	Fotoğraf Değerlendirme	Bilişsel Yük	(Jam ve diğ., 2021)
Göz Takibi	Göz hareketi	Mekân Tasarımı	Zihinsel İş Yükü	(Cote ve diğ., 2011)
Göz Takibi	Göz bebeği büyüklüğü	Fotoğraf Değerlendirme	Bilişsel İş Yükü	(Yu ve Gero, 2017)
Göz Takibi	Göz kırpma oranı	Fotoğraf Değerlendirme	Bilişsel Yük	(Valtchanov ve Ellard, 2015)
HR	HR	Psikolojik Test	Zihinsel İş Yükü	(Zhang ve diğ., 2017)
HRV	RMSSD ve LF/HF	Yönetim Planlaması	Bilişsel İş Yükü	(Sehgal ve diğ., 2025)
HRV	SDNN, Pnn50, RMSSD, LF/HF	Satranç	Bilişsel Yük	(Fuentes-García ve diğ., 2019)
fNIRS	Oksidasyon düzeyi	Mekân Tasarımı	Zihinsel Çaba	(Mejia-Puig ve Chandrasekera, 2023)
fNIRS	Oksidasyon düzeyi	Tasarım Değerlendirmesi	Bilişsel Yük	(Mejia-Puig ve diğ., 2022)

Literatürde bilişsel yükün fizyolojik temelli değerlendirilmesinde genellikle göz hareketleri, EEG, EDA ve HR gibi parametreler kullanılmaktadır. Ancak, fNIRS (fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopi) ve EOG (elektrookülografi) gibi daha

az yaygın fizyolojik ölçüm araçları da çeşitli çalışmalarda bilişsel yük ile ilişkilendirilmektedir. Bilişsel yük ile ilişkilendirilen başlıca fizyolojik göstergeler ve bunlara karşılık gelen ölçüm teknikleri, literatürde yer alan örnek çalışmalar üzerinden Tablo 2.3'te özetlenmiştir.

Literatürde en yaygın kullanılan fizyolojik ölçüm teknikleri arasında EEG, EDA, HR ve göz takibi yer almaktadır. Bu teknikler, bireylerin görev süresince maruz kaldıkları bilişsel yük ve çabayı, çeşitli fizyolojik göstergeler aracılığıyla izlemeye olanak tanır. Bu yöntemlerle gerçekleştirilen çalışmalarda, fizyolojik veriler ile öz bildirim temelli bilişsel yük ölçümleri arasında bazı durumlarda anlamlı korelasyonlar saptanırken, bazı çalışmalarda ise bu göstergeler ile öz bildirim verileri arasında anlamlı bir ilişkiler görülmemiştir (Ayres ve diğ., 2021).

Bu çelişkili bulgular, söz konusu ölçüm araçlarının görev türüne ve bağlama göre değişken etkinlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Aşağıda, bilişsel yük ölçümünde en çok tercih edilen dört temel ölçüm aracının ana prensipleri, ürettiği çıktılar ve bilişsel yükle ilişkisine dair literatür bulguları özetlenmiştir.

- *EEG,* beynin elektriksel aktivitesini kaydederek zihinsel süreçlerin doğrudan analizine olanak tanıyan bir ölçüm tekniğidir. Bu yöntemle elde edilen sinyaller, farklı frekans aralıklarındaki beyin dalgaları üzerinden değerlendirilir: delta (0.5–3 Hz) uyku, theta (4–7 Hz) zihinsel çaba ve problem çözme, alpha (8–12 Hz) dinlenme, beta (13–30 Hz) dikkat ve odaklanma, gamma (>30 Hz) ise yüksek bilişsel işlem yükü ile ilişkilendirilmektedir (Qin ve Bulbul, 2023). Bu dalga aktiviteleri genel olarak değerlendirilmekle birlikte, çok kanallı EEG cihazları sayesinde frontal, parietal, temporal gibi bölgelere özgü analizler de yapılabilmektedir (Gevins ve diğ., 1997).

BYT bağlamında en yaygın kullanılan EEG göstergelerinden biri, frontal korteksteki theta/alpha oranıdır. Bu oran, bireyin çalışma belleği üzerindeki bilişsel yükünün arttığı durumlarda yükselme eğilimi göstermektedir (Li ve diğ., 2020). Görev sırasında düşük alpha ve yüksek theta aktiviteleri, artan zihinsel çabanın nörofizyolojik işareti olarak kabul edilmektedir. EEG ölçümleri hem sürekli veri kaydı hem de belirli uyarıcılara bağlı zaman kilitli analizler yoluyla da çalışılabilmektedir (Kalantari ve diğ., 2023). Son yıllarda geliştirilen taşınabilir EEG sistemleri, bu analizlerin laboratuvar dışı ortamlarda dahi gerçekleştirilmesini

mümkün kılmıştır. Emotiv, NeuroSky, OpenBCI gibi cihazlar; özellikle eğitim ve tasarım araştırmalarında sıklıkla tercih edilmektedir.

- *EDA,* deri yüzeyindeki ter bezlerinin aktivitesini ölçerek bireyin fizyolojik uyarılmışlık ve stres düzeyini değerlendirmeye yarayan bir yöntemdir. Temel olarak, sempatik sinir sisteminin aktivasyonu sonucunda cilt gözeneklerinin genleşmesiyle artan deri iletkenliğinin zamana bağlı değişimini ölçer (Barreto ve diğ., 2007a). Bu nedenle, özellikle dışsal bilişsel yükün neden olduğu stres artışı, genellikle EDA değerlerindeki yükselme ile ilişkilendirilir (Ghaderyan ve diğ., 2018).

  Karmaşık bilgi sunumu, dikkat dağıtan çevresel uyaranlar veya zaman baskısı gibi unsurlar bireyin stres seviyesini artırarak EDA değerlerinin yükselmesine yol açabilir (Nourbakhsh ve diğ., 2012). Ancak, EDA'daki değişimler her zaman doğrudan bilişsel yükten kaynaklanmayabilir; duygusal tepkiler, fiziksel hareketler veya ortam sıcaklığı gibi faktörler de bu ölçümün hassasiyetini etkilemektedir. (Civitello ve diğ., 2014a). Bu nedenle, EDA verilerinin yorumlanmasında bağlamsal faktörler göz önünde bulundurulmalı ve ideal olarak diğer ölçüm teknikleriyle birlikte değerlendirilmelidir. Shimmer3 GSR+, Empatica E4 gibi taşınabilir biyosensör cihazlar, EDA verisini yüksek zaman çözünürlüğüyle kaydedebilme imkânı sunmaktadır.
- *HR,* bireylerim belirli bir süre içindeki kalp atış hızlarının yoğunluğunun ve değişiminin ölçümüne dayalı analiz tekniğidir. Artan dışsal bilişsel yük genellikle artan kalp atım hızı ile ilişkilendirilmektedir (Zhang ve diğ., 2017). Bu tür analizler için akıllı saatlerde bulunan HR sensörleri kullanılabilmektedir (Mach ve diğ., 2022). Ancak daha hassas bir değerlendirme için HR değişkenliği analizi tercih edilmektedir. Bu analiz tekniğinde, kalp atımları arasındaki milisaniyelik zaman aralıklarının değişkenliği ölçülmektedir. Yüksek değişkenlik, genellikle bireyin bilişsel kapasitesini iyi yönettiğini gösterirken; düşük değişkenlik, yüksek bilişsel stres veya zihinsel yük ile ilişkilendirilmektedir (Fuentes-García ve diğ., 2019). HR değişkenliği analizleri için yüksek frekanslı ölçüm yapabilen Polar H10, BioHarness ve Shimmer gibi cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır.
- *Göz takibi,* bireylerin gözlerindeki değişiklikleri inceleyen tekniklerdir. Bu tekniklerde göz kırpma (Valtchanov ve Ellard, 2015), göz bebeğinin hareket yönü (Cote ve diğ., 2011), sabit kalma süresi (Jam ve diğ., 2021) ve göz bebeği çapı (Yu

ve Gero, 2017) verileri kullanılmaktadır. Bu veriler arasından en çok göz bebeği çapındaki değişiklikler (*Pupillometri*) dikkat seviyesi ve zihinsel yükle ilişkilendirilmektedir (Yu ve Gero, 2017). Bilişsel görev sırasında artan zihinsel yük, genellikle göz bebeği çapında büyümeye neden olmaktadır (Jam ve diğ., 2021). Bu parametre, özellikle sürekli ve uzun süreli dikkat gerektiren görevlerde oldukça hassas bir belirteçtir. Tobii, Pupil Labs gibi göz takip cihazlarıyla göz bebeğindeki milimetrik değişiklikler yüksek doğrulukla izlenebilmektedir.

2.3.3 Davranışsal Ölçümler

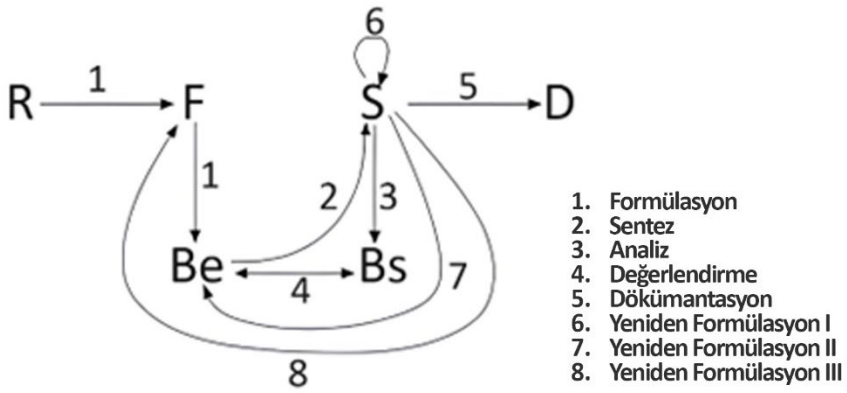
Davranışsal ölçümler, bireylerin bilişsel süreçlerini doğrudan müdahalede bulunmadan, görev sırasındaki eylem, hareket, konuşma, jest, bakış gibi davranışlarını işlem sırasına veya biçimine dayalı olarak analiz eden gözlem temelli ölçüm teknikleridir (F. Chen ve diğ., 2016). Bu ölçümler, bireylerin görev sırasındaki bilişsel yük değişimlerinin, davranışsal tepkilerinde etkiye sebep olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bilişsel yük araştırmalarında davranışsal analizler, genellikle vücut hareketlerinin, yüz ifadelerinin ve eylem örüntülerinin sistematik biçimde sınıflandırıldığı analiz yöntemlerine dayanır. Bu bağlamda, konuşma analizi (Müller ve diğ., 2001), ses tonu analizi (Leino ve diğ., 2004), kalem veya fare hareketlerinin izlenmesi (Oviatt, 2006) gibi teknikler bilişsel yükün dolaylı göstergeleri olarak kullanılmaktadır.

Bu alandaki araştırmalar, görev zorluğuna bağlı olarak konuşma özelliklerinde belirgin değişimler gözlendiğini göstermektedir. Bazı çalışmalar (Lively ve diğ., 1993; Titze ve Scherer, 1983), yüksek bilişsel yük koşullarında konuşma hızı, enerji, genlik ve değişkenliğin arttığını bildirmiştir; diğerleri ise tonlama zirveleri (Kettebekov, 2004) ve ses frekansı (*pitch*) aralığı paternleri (Lively ve diğ., 1993; Wood ve diğ., 2004) gibi belirli ses örüntülerini bilişsel yükle ilişkilendirmiştir. Ayrıca, ses frekansı değişkenliğinin de bilişsel yükle ilişkili olabileceği belirtilmiştir (Titze ve Scherer, 1983; Tolkmitt ve Scherer, 1986; Wood ve diğ., 2004).

Buna ek olarak, konuşmanın dilbilgisel ve sözel özellikleri de bilişsel yük göstergesi olarak kullanılabilmektedir. Yüksek bilişsel yük durumlarında akıcılık, artikülasyon hızı, duraklama ve doldurucu kelime oranlarında anlamlı farklılıklar görülmüştür (Berthold ve Jameson, 1999). Kelime sıklığı ve birinci çoğul şahıs kullanımı gibi dilsel değişkenlerdeki farklılıklar da benzer biçimde yükle

ilişkilendirilmektedir (Sexton ve Helmreich, 2000). Öte yandan, dijital kalem hareketleri ve kullanım örüntülerinin de arayüz karmaşıklığını ve bilişsel yükü değerlendirmede kullanılabilmektedir (Oviatt, 2017; Sharp ve diğ., 2007). Ayrıca, yürüme paternlerindeki değişimlerin de bilişsel yükle anlamlı şekilde ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Verrel ve diğ., 2009).

Tasarım alanında ise davranışsal ölçümler çoğunlukla protokol analizi tekniğiyle uygulanmaktadır (Cagan ve diğ., 2013; Dinar ve diğ., 2015). Bu yaklaşımda, tasarım süreci belirli kavramsal kategorilere ayrılarak tasarımcının problem çözme davranışları model temelli biçimde sınıflandırılmaktadır. Mimari tasarım araştırmalarında sıklıkla tercih edilen protokol modellerinden biri, İşlev–Davranış–Biçim (*Function–Behavior–Structure*, FBS) protokolüdür . FBS modeli, tasarım sürecini altı değişken ve bunlar arasındaki sekiz geçiş üzerinden tanımlamaktadır. Modelin genel formülasyonu Şekil 2.8'de sunulmuştur.



Şekil 2.8: FBS modelinin temel yapısı

Bu modelde yer alan değişkenler şunlardır:

- *Gereksinimler (Requirements – R):* Tasarım problemini çözmek için gerekli koşulları ve ihtiyaçları, tasarımcıdan bağımsız biçimde tanımlar.
- *İşlev (Function – F):* Tasarımın amacını ve tasarlanan nesnenin neyi gerçekleştirmesi gerektiğini ifade eder.
- *Davranış (Behavior – B):* Tasarım nesnesinin yapısından kaynaklanan davranışlar (Bs) ile beklenen davranışları (Be) kapsar.
- *Biçim (Structure – S):* Tasarım nesnesini oluşturan bileşenleri ve bu bileşenler arasındaki ilişkileri temsil eder.

- *Belgeleme (Document – D):* Tasarımın aktarılmasını sağlayan çizim, model veya rapor gibi temsil araçlarını tanımlar.

Model ayrıca bu değişkenler arasında sekiz farklı geçiş tanımlamaktadır: formülasyon, sentez, analiz, değerlendirme, dokümantasyon ve yeniden formülasyon I, II ve III. Bu geçişler tasarımcının problem tanımından çözüm üretimine ve yeniden düşünmeye kadar uzanan bilişsel süreçlerini yansıtmaktadır (Gero ve Mc Neill, 1998).

Bu FBS protokolü kapsamında yapılan analizlerde, katılımcının konuşma, çizim veya modelleme sırasında gerçekleştirdiği her bilişsel eylem F, B veya S kategorilerinden birine atanır. Ardından bu eylemlerin toplam sayısı veya geçiş sayısı bilişsel yükün göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Figen Gül, 2014). Buna ek olarak P-S indeksi de bilişsel yük göstergesi olarak kullanılmaktadır (Kan ve Gero, 2017). P problemi alanını temsil etmekte ve F ve Be eylemlerinden oluşurken S çözüm alanını göstermekte ve S, Bs ve D bileşenlerinden oluşmaktadır. Dolayısıyla, P–S indeksi = (F + Be) / (S + Bs + D) şeklinde hesaplanarak zihinsel çabanın nereye yönlendirildiğini ölçmek için kullanılmaktadır (Ashrafganjouei ve Gero, 2021; Sopher ve diğ., 2022).

Protokol analizi yöntemleri, her bir model birimine ayrılan toplam süre üzerinden yapılabileceği gibi, bu birimler arasındaki geçiş örüntülerinin analiziyle de gerçekleştirilebilmektedir. Bu geçiş örüntülerini incelemede en sık kullanılan tekniklerden biri, Linkografi analizidir (Goldschmidt, 2014).

Linkografi, tasarım sürecinde ortaya çıkan düşünce birimlerinin birbirleriyle kurduğu bağlantı yoğunluğunu ve yönünü görselleştirerek, tasarım düşüncesinin akışını inceleyen bir analiz tekniğidir. Bu yöntemde her düşünce birimi bir "düğüm *(node)*" olarak temsil edilir ve aralarındaki ilişkiler ileriye (f*orward link*) veya geriye dönük (*backward link*) veya yatay *(horizontal link)* bağlantılar şeklinde tanımlanır (Şekil 2.9). Bu bağlantıların sayısı ve yoğunluğu, tasarımcının problem çözme sürecindeki yaratıcılık düzeyi, fikir çeşitliliği ve bilişsel yük dinamikleri hakkında çıkarımlar yapılmasını olanak sağlamaktadır (Kan ve Gero, 2017). Ancak literatürdeki çalışmalar, bu yöntemi çoğunlukla tasarım sürecinin yapısını ve fikir üretim akışını çözümlemek amacıyla kullanmıştır. Linkografi sonuçlarını BYT çerçevesinde yorumlayan bir araştırmaya bu tez kapsamında yapılan taramada (Bölüm 2.4.2.3) rastlanmamıştır.



Şekil 2.9: Linkografi analizi örnekeleri (Lee ve Ostwald, 2019).

Davranışsal ölçümler, bilişsel yükü doğrudan sayısal olarak göstermese de tasarım sürecinde ortaya çıkan zihinsel yoğunluk, problem çözme stratejileri ve yaratıcılık düzeylerinin anlaşılmasına olana sağlamaktadır. Bu sebeple bu tür ölçüm teknikleri, öz bildirim ve fizyolojik verilerle birlikte kullanıldığında, BYT'nin değerlendirme boyutunda daha güvenilir ve bütüncül sonuçlar sağlamaktadır.

2.3.4 Performansa Dayalı Ölçümler

Performansa dayalı ölçümler, bireyin görev süresince ortaya koyduğu başarı düzeyini temel alarak bilişsel yükün dolaylı biçimde değerlendirilmesini sağlar. Bu yaklaşım, çalışma belleği kapasitesi aşıldığında öğrenmenin ve performansın düşeceği varsayımına dayanır (Paas ve Van Merriienboer, 1994). Bu teknikler asıl görev ve ikincil görev performansı ölçümü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

İkincil görev (*dual-task*) yöntemi, katılımcının ana görevle eşzamanlı olarak daha basit bir görevi yerine getirmesini içerir. Ana görev daha fazla bilişsel kaynak gerektirdiğinde, ikincil görev performansında düşüş gözlenir ve bu azalma artmış zihinsel yükün dolaylı bir göstergesi olarak yorumlanır (O'Donnel, 1986; Paas ve diğ., 2003).

İkincil görev olarak verilebilecek görevleri McIsaac ve diğ. (2015), hem görevin karmaşıklığı hem de bireyin deneyimi (yenilik düzeyi) olmak üzere iki temel boyutta kategorize ederek açıklamaktadır. Yenilik *(novelty)* boyutu, bireyin göreve olan aşinalığına bağlı olarak "düşük" ve "yüksek" olarak ikiye ayrılırken; karmaşıklık *(complexity)* boyutu ise görevin içerdiği bileşen sayısı ve dikkat gereksinimi açısından "düşük" ve "yüksek" düzeylerde tanımlanmaktadır. Bu iki boyutun kesişimiyle, motor ve bilişsel görevlerin farklı kombinasyonlarını içeren sistematik bir ikincil görev taksonomisi elde edilmektedir. Bu modele göre düzenlenmiş görev örnekleri Tablo 2.4'de sunulmuştur.

Tablo 2.7: McIsaac ve diğ. (2015)'in ikincil görev taksonomisi

Görev türü	Görev yeniliği	Görev karmaşıklığı (Düşük)	Görev karmaşıklığı (Yüksek)
Tekil motor	Düşük	Bir bardak su içmek	Bir bardak su ile yürümek
	Yüksek	Tekerlekli sandalye sürmek	Koltuk değnekleri ile yürümek
Tekil bilişsel	Düşük	Alfabeyi söylemek	Basit çıkarma işlemleri yapmak
	Yüksek	Alfabeyi sıra atlayarak söylemek	Hızlı işitsel sayısal toplama testi (PASAT)
Çift motor-motor	Düşük	Bir bardak su içerken diğer el ile not yazmak	Yürürken cep telefonundan mesaj yazmak
	Yüksek	Bir ayağı hızlıca sallarken altı köşeli bir yıldız çizmek	Tek teker üzerinde giderken jonglörlük yapmak
Çift bilişsel-motor (1)	Düşük	Tek ayak üzerinde dururken alfabeyi söylemek	Engel üzerinden yürürken aile bireylerinin isimlerini söylemek
	Yüksek	Tek ayak üzerinde dururken kelime üretme görevi yapmak	Engel üzerinden yürürken 7'şer çıkarma yapmak
Çift bilişsel-motor (2)	Düşük	Bir hedefe mümkün olduğunca hızlı işaret etmek ve 1'den 100'e saymak	Cepler arasında para transferi yaparken 3'er çıkarma yapmak
	Yüksek	Çorap giyerken gardıropta bulunabilecek kıyafetleri saymak	7'şer çıkarma yaparken aynı anda jonglörlük yapmak

(1) numaralı satırlarda yenilik bilişsel görevde, zorluk motor görevde değişirken.

(2) numaralı satırlarda yenilik motor görevde, zorluk bilişsel görevde değişmektedir.

Ancak bazı durumlarda birey, ikincil göreve bağlı bilişsel yük artışına rağmen performansını korur ama bunun için normalden daha fazla zihinsel çaba harcar. Bu durum "efor bölgesi" olarak tanımlanır ve bu aşamada yük artışı performans düşüşüne hemen neden olmaz; ancak sürdürülebilir değildir. Birey uzun süre efor

bölgesinde kaldığında ikincil görevdeki hata oranları artar, bilişsel yorgunluk oluşur ve performans düşmeye başlar (F. Chen ve diğ., 2016). Bu durum, performans ölçümlerinin bilişsel yükü tek başına değil, zihinsel çaba göstergeleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Veltman ve Jansen, 2005).

Doğrudan performansa dayalı ölçümlerde ise asıl görev başarısının görevi tamamlama süresi (Kalantari ve diğ., 2023), hata sayısı (Li ve diğ., 2020) veya kalite puanları (Mohamed-Ahmed ve diğ., 2013) gibi metrikler kullanılarak ölçülmesidir. Ancak karmaşık görevlerde, tek bir doğru yanıtın bulunmaması veya nitel farklılıkların önem kazanması nedeniyle doğrudan performansa dayalı ölçümler çoğu zaman sınırlı kalmaktadır. Örneğin, mimarlık öğrencilerinin tasarım görevleri sırasında oluşturdukları çözümler farklı stratejiler içerse de aynı işlevsel başarıya ulaşabilir; bu nedenle performans puanları tek başına zihinsel yükü yansıtmayabilir. Bu tür durumlarda performans ölçümleri, öz bildirim ve fizyolojik göstergelerle birlikte ele alındığında daha güvenilir hale gelmektedir. (Paas ve Van Merriënboer, 1993).

2.4 Mimari Tasarım Alanında Bilişsel Yük Çalışmalarının Sistematik İncelemesi

2.4.1 Sistematik İnceleme Yöntemi

Bu sistematik inceleme, PRISMA *(Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)* yönergelerine (Moher ve diğ., 2009) uygun biçimde yürütülen sistematik bir literatür taramasıdır. Çalışmanın amacı mimarlık alanındaki BYT'ye dayalı olarak gerçekleştirilen ampirik araştırmaları belirlemek, bu çalışmaları karşılaştırmalı biçimde sınıflandırmak ve elde edilen bulgular ışığında alanın metodolojik eğilimlerini ortaya koymaktır.

Bu sistematik literatür taraması, mimari tasarım eğitimi başta olmak üzere tasarım odaklı bilişsel süreçleri konu alan ve 2025 yılı Mayıs ayına kadar yayımlanmış çalışmaları kapsamaktadır. Bu kapsamda seçilen her bir çalışma; örneklem özellikleri, deneysel tasarım türü, kullanılan ölçüm teknikleri (öz bildirim, fizyolojik, davranışsal, performans temelli), görev türleri, araştırma bağlamı ve temel bulgular açısından sistematik olarak analiz edilmiştir.

Verilerin bütünsel biçimde karşılaştırılabilmesi amacıyla, seçilen tüm çalışmalar standartlaştırılmış bir kodlama formu üzerinden kaydedilmiştir. Bu formda her bir çalışmaya ait kimlik numarası, araştırma amacı, kullanılan görev türü, etki faktörü (örneğin tasarım ortamı, fiziksel çevre, bireysel farklılıklar vb.), ölçüm tekniği ve kullanılan değerlendirme araçları ayrı sütunlar hâlinde düzenlenmiştir (Ek 1).

Bu doğrultuda gerçekleştirilen sistematik literatür tarama sonucunda seçilen çalışmalar üç araştırma sorusu üzerinden incelenmiştir:

- Seçilen çalışmalarda hangi görev türleri kullanılmaktadır?
- Seçilen çalışmalarda bilişsel yükü etkileyen başlıca etki faktörleri nelerdir ve bu faktörler kavramlar üzerinden değerlendirilmiştir?
- Seçilen çalışmalarda bilişsel yükün değerlendirilmesi için hangi ölçüm teknikleri kullanılmaktadır?

Bu araştırma kapsamında seçilecek çalışmalar, Tablo 2.5'de belirlenen dahil etme kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme sürecinde, incelenen çalışmaların bilişsel yükü bir bağımlı değişken, etkileyici faktör ya da değerlendirme ölçütü olarak kullanması beklenmiştir. Ayrıca, çalışmanın açık biçimde BYT'ye atıfta bulunması veya bu kuramsal çerçeveyi dayanak noktası olarak tanımlaması, dâhil edilme için ölçüt olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2.8: Dahil etme ve hariç tutma kriterleri

Kategori	Dahil Etme Kriterleri	Hariç Tutma Kriterleri
Disipliner Kapsam	Bilişsel yükün mimarlık, iç mimarlık veya peyzaj mimarlığı alanıyla doğrudan ilişkilendirilmiş olması	Bilişsel yükün bu disiplinlerle ilgisiz biçimde ele alınması
Yöntemsel Kapsam	Ampirik (deneysel veya yarı deneysel) yöntemlerle yürütülmüş çalışmalar	Yalnızca teorik çerçeve sunan, sistematik derleme veya meta-analiz çalışmaları
Katılımcı Bilgisi	Katılımcılarla yürütülen deneysel çalışma; örneklem özellikleri ve hedef grubun açıkça belirtilmiş olması.	Katılımcı bilgisi, örneklem özellikleri veya hedef grubun belirtilmediği çalışmalar

Tablo 2.9: Dahil etme ve hariç tutma kriterleri (devamı)

Dil ve Erişim	Tam metin biçiminde, İngilizce olarak erişilebilir yayınlar	İngilizce dışındaki veya tam metnine erişilemeyen yayınlar
Yinelenen İçerik	Tekil, özgün yayın versiyonu (tek kayıt)	Aynı içeriğin hem konferans hem dergi versiyonlarının bulunduğu veya veri tabanlarında yinelenen kayıtlar

Bu kapsamda, deneysel çalışmalar öncelikli olarak değerlendirilmiş; ancak yalnızca kuramsal açıklamalara dayanmayan, aynı zamanda en az bir ampirik bağlamda test edilmiş özgün ölçüm modeli, analiz yöntemi veya arayüz öneren araştırmalar da incelemeye dâhil edilmiştir. Vaka çalışması veya kontrollü deney ile test edilmemiş kuramsal çerçeve veya taksonomi sunan, sistematik derleme veya meta-analiz niteliğindeki çalışmalar kapsam dışı bırakılmıştır.

Taramanın kapsamını en üst düzeye çıkarabilmek için arama stratejisi iki ana kavram etrafında yapılandırılmıştır: "tasarım *(design)*" ve "bilişsel yük *(cognitive load)*". Bu iki kavram mimarlık bağlamında bilişsel süreçleri konu alan tüm deneysel çalışmaları kapsayabilmek için temel alınmıştır.

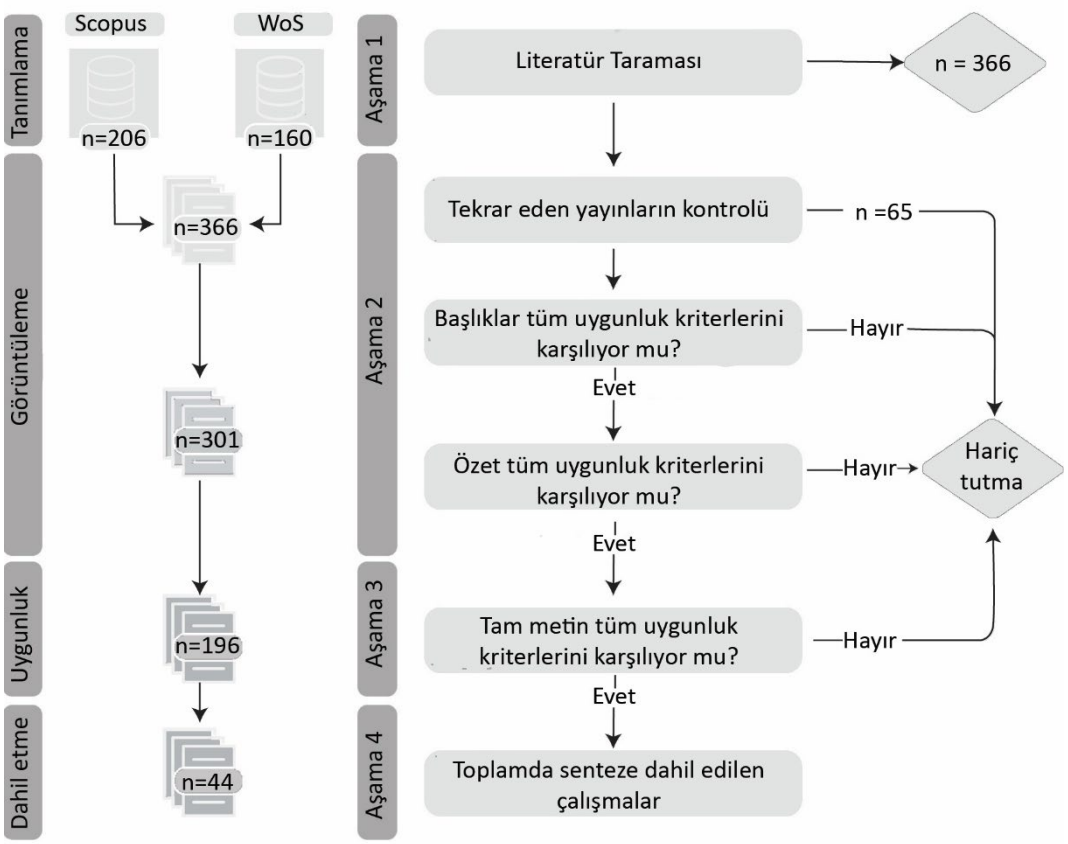
Tarama için kullanılan anahtar kelimeler, hem bilişsel yük kuramı üzerine yapılmış mevcut sistematik derlemelerden (Berssanette ve De Francisco, 2022; Gonnermann-Müller ve Krüger, 2024; Hernandez Sibo ve diğ., 2024; Yusoff ve diğ., 2024) hem de mimari tasarım eğitimi ve bilişsel süreçler alanında gerçekleştirilmiş sistematik literatür incelemelerinden (Er ve diğ., 2025; Tastan ve Tong, 2023) türetilmiştir.

Belirlenen anahtar kelimeler, SCOPUS ve Web of Science (WoS) veri tabanlarında uygulanmıştır. Kullanılan arama sorguları ve filtreleme ölçütleri Tablo 2.6'da ayrıntılı biçimde sunulmaktadır. Arama terimlerinde kullanılan yıldız işareti (*) farklı kelime varyasyonlarını kapsamak için kullanılmıştır.

Tablo 2.10: SCOPUS ve WoS veri tabanlarında kullanılan arama sorguları ve filtreler

	Arama Sorgusu ve Filtreler
SCOPUS	TITLE-ABS-KEY ("cognitive load" OR "mental effort" OR "cognitive effort" OR "mental load" OR "mental workload" OR "cognitive workload") AND TITLE-ABS-KEY ("architect*educat*" OR "architect* learn*" OR "architect* syllabus" OR "architect* pedagogy" OR aec OR "architect* design" OR "concept design" OR "architect* student*" OR "architect* study" OR "design studio" OR "architect* school" OR "design educat*" OR "architectural engineering" OR "building design" OR "built environment")
WoS	ALL=("cognitive load" OR "mental effort" OR "cognitive effort" OR "mental load" OR "mental workload" OR "cognitive workload") AND ALL=("architect* educat*" OR "architect* learn*" OR "architect* syllabus" OR "architect* pedagogy" OR "AEC" OR "architect* design" OR "concept design" OR "architect* student*" OR "architect* study" OR "design studio" OR "architect* school" OR "design educat*" OR "architectural engineering" OR "building design" OR "built environment")

İlk aşamada gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda toplam 366 kayıt elde edilmiştir. Tekrar eden kopya kayıtlar çıkarıldıktan sonra, kalan çalışmaların başlık ve özetleri iki bağımsız araştırmacı tarafından ayrı ayrı incelenmiştir. Görüş ayrılığı bulunan durumlarda, tartışma yoluyla uzlaşma sağlanmış; gerekli görülen durumlarda ise üçüncü bir araştırmacının değerlendirmesi alınmıştır. Bu ön eleme sürecinin ardından, 196 çalışmanın tam metni dâhil etme ve hariç tutma kriterleri çerçevesinde ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Nihai aşamada yalnızca tüm kriterleri karşılayan 44 çalışma incelemeye dâhil edilmiştir (EK A). Bu süreç Şekil 2.10'da görselleştirilmiştir.



Şekil 2.10: Sistematik tarama ve seçim süreci

2.4.2 Sistematik İnceleme Bulguları

Bu bölümde, tarama sonucunda seçilen 44 çalışmanın sistematik incelenmesi sonucunda elde edilen bulgular, çalışmanın üç temel araştırma sorusu bağlamında aşağıdaki sırayla aktarılmıştır.

İlk olarak, mimari görev türleri ve tasarım süreci odakları (Bölüm 2.4.2.1**)** başlığı altında, incelenen çalışmaların tasarım süreçlerindeki konumları ve kullanılan görev türleri analiz edilmektedir.

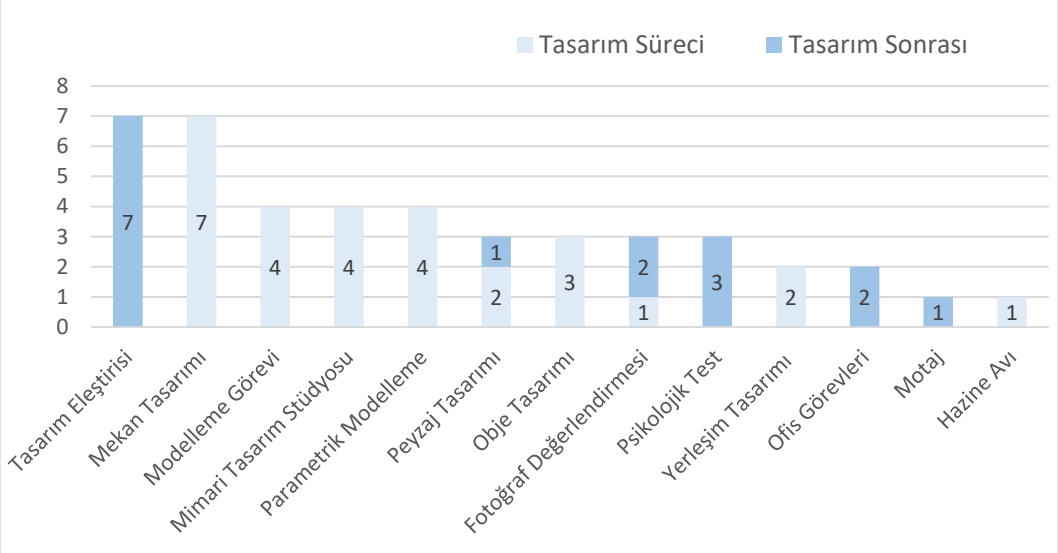
İkinci olarak, mimari tasarım süreçlerinde bilişsel yükü etkileyen etki faktörleri (Bölüm 2.4.2.2) başlığı altında seçilen çalışmalarda çalışılan etki faktörleri, 2.2.1 bölümünde açıklanan faktörlere göre sınıflandırılarak incelenmiştir. Ayrıca bu faktörlerin hangi araştırma yöntemi ile kaç kişi üzerinden çalışıldığı incelenmiştir.

Üçüncü olarak, mimari tasarım süreçlerinde bilişsel yükün değerlendirilmesi ve ölçüm teknikleri (Bölüm 2.4.2.3) başlığı altında, seçilen çalışmaların değerlendirme faktörleri 2.2.2 bölümünde, ölçüm teknikleri ise 2.3 bölümünde açıklanan başlıklara göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca seçilen çalışmalarda bilişsel yükün hangi

kavram üzerinden çalışıldığı ve bunun yapılan sınıflandırmaya göre dağılımı incelenmiştir.

2.4.2.1 Mimari Görev Türleri ve Tasarım Süreci Odakları

Bu bölümde, seçilen 44 çalışma ilk araştırma sorusuna göre (Bölüm 2.4.1) sistematik biçimde analiz edilmiştir. Çalışmalar, kullanılan görev türleri ve bu görevlerin tasarım süreci veya tasarım sonrası değerlendirme aşamalarına odaklanma biçimlerine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmanın sonucu Şekil 2.11'de görülmektedir.



Şekil 2.11: Mimari Görev Türleri ve Tasarım Süreci Odakları

Tasarım eleştirisi görevleri, en sık kullanılan görev türü olarak öne çıkmış ve yalnızca tasarım sonrası değerlendirme aşamalarında kullanılmıştır. Bu tür görevlerde genellikle tamamlanmış tasarımlar, VR veya masaüstü tabanlı etkileşimli ortamlar aracılığıyla değerlendirilmiştir.

Tasarım eleştirisi görevleri bazı çalışmalarda (Hu ve diğ., 2021; Kalantari ve diğ., 2023; Mejia-Puig ve diğ., 2022) etkileşimli VR ortamları için kullanılırken, Fiorentino ve diğ. (2020) ile Henstrom ve diğ., (2024) bu görevi VR ve masaüstü ortamlarının karşılaştırması için kullanmıştır. Cha vd. (2023), bu görevi etkileşimsiz fotoğraf temelli VR ortamı için kullanmıştır. Umair ve diğ., (2022) ise etkileşimli VR, masaüstü ve iki boyutlu çıktı ortamları arasındaki bilişsel yük farklarını incelemek için kullanmıştır.

Mekânsal tasarım görevlerinin tasarım eleştirisi görevleriyle benzer sıklıkta tercih edildiği görülmüştür. Ancak tasarım eleştirisi görevinden farklı olarak bu görev türünün yalnızca tasarım sürecine yönelik olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu görev türünü kullanan yedi çalışmada, katılımcılardan mekânsal problemleri çözerek yaratıcı tasarım fikirleri geliştirmeleri istenmiştir. Bu görev türünün kullanıldığı çalışmaların genel amacı, özellikle erken kavramsal tasarım aşamasında ortaya çıkan bilişsel talepleri değerlendirmektir.

Mekânsal tasarım görevi kullanılan çalışmaların büyük bir bölümü (Ahmed ve diğ., 2011; Figen Gül, 2014; Mohamed-Ahmed ve diğ., 2013; Pierre ve diğ., 2011), elle çizim ve dijital modelleme ortamları arasında bilişsel yük farklarını incelemiştir. Bundan farklı olarak Ashrafganjouei ve Gero (2021) mekânsal tasarım görevlerinde görsel sınırlamaların etkisini araştırmış; Mejia-Puig ve Chandrasekera (2023a, 2023b) VR ortamlarındaki sarmalayıcılık etkisinin bilişsel yük üzerindeki etkisini incelemiştir.

Modelleme görevlerinin kullanıldığı beş çalışmada da mekânsal tasarım görevlerindeki gibi tamamen tasarım sürecine odaklanılmıştır. Ancak bu görev türünün kullanıldığı çalışmalarda mekânsal tasarım görevlerinden farklı olarak katılımcılardan bir şey tasarlamaları değil tasarlanmış bir şeyi modellemeleri beklenmiştir. Bu modelleme işlemi mekân tasarımından farklı olarak açık uçlu problem çözümünden ziyade belirli işlem adımlarının doğru sırayla ve ölçüde yapılmasını gerektirmektedir.

Bu kapsamda Diliara vd. (2011) çalışmasında iki boyutlu eğri kontrolü üzerinde dururken, McMahan ve Bowman (2007) VR tabanlı komut arayüzlerinin bilişsel yük üzerindeki etkilerini test etmiştir. de Souza vd. (2023) mevcut yapıların BIM ortamında modellenmesi sürecinde ortaya çıkan bilişsel yükü incelemiş; Yang vd. (2023) ise pencere yerleşimi ve boyutlandırma görevlerini ele almıştır.

Mimari tasarım stüdyosu görevlerinin kullanıldığı dört çalışmada (Darwish ve diğ., 2023; Sopher ve diğ., 2022; Y. W. Wu ve diğ., 2016, 2017) da yalnızca tasarım sürecine odaklanılmıştır. Bu çalışmalar, mimarlık eğitimin temel dersleri olarak görülen tasarım stüdyosu derslerinde vaka çalışması olarak yürütülmüş olup, bu süreçlerin iyileştirilmesine odaklanmaktadır.

Benzer biçimde, parametrik modelleme görevlerinin kullanıldığı çalışmalar da yalnızca tasarım süreci bağlamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda (Dissaux ve Jancart, 2022; Yu ve diğ., 2014), görsel kodlama ortamlarında yürütülen görevlerdeki bilişsel talepler incelenmiştir. Erhan vd. (2022) ile Son vd. (2022) ise üretken tasarım süreçlerinde karar verme aşamalarında ortaya çıkan bilişsel yük dinamiklerini analiz etmiştir.

Buna ek olarak, obje tasarımı (Chandrasekera ve diğ., 2024; Daniel, 2014; Sun ve diğ., 2016), yerleşim tasarımı (Chandrasekera ve Yoon, 2015; M. J. Kim ve Maher, 2008) ve hazine avı oyunu (Wang ve diğ., 2024) da yalnızca tasarım süreci kapsamında yer almıştır. Bu görevlerde, küçük ölçekli nesne üretimi, mekânsal organizasyon ve oyun temelli bilişsel süreçlerin değerlendirilmesine odaklanılmıştır.

Tasarım sonrası aşamaları hedefleyen görevler arasında psikolojik testler (Li ve diğ., 2020; Nishihara ve diğ., 2022; Zhang ve diğ., 2017) ve ofis görevleri (Mahmoudzadeh ve diğ., 2021; Smith-Jackson ve diğ., 2016) yer almaktadır. Ofis görevleri kapsamında, okuma veya belge düzenleme gibi rutin işyeri aktiviteleri sırasında bilişsel yük değerlendirilmiştir. Psikolojik testlerde ise N-back ve aritmetik toplama gibi görevler kullanılarak, mevcut çevresel koşullar altında katılımcıların bilişsel tepkileri ölçülmüştür. Bu çalışmalar tasarlanmış mekanları yüksek ve düşük bilişsel yük durumlarındakini etkilerini incelemektedir. Diğer görev türlerinin kullanıldığı çalışmalardan farklı olarak bu görev türünün kullanıldığı çalışmalarda bilişsel yük bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.

Tasarım sonrasına odaklanan görevler sınıfındaki montaj görevinin yalnızca bir çalışmada (Hou ve diğ., 2015) kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada, artırılmış gerçeklik (AR, *Agumented Reality*) ve iki boyutlu kâğıt planlar aracılığıyla sunulan bilgi türlerinin, sıhhi tesisat döşeme sürecindeki bilişsel yük üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.

Peyzaj tasarımı görevleri iki çalışmada (Barrett, 2023; Lesage ve Dorta, 2011) tasarım süreci aşamasında, bir çalışmada (W. L. Wu ve diğ., 2021) ise tasarım sonrası aşamada uygulanmıştır. Tasarım sürecine odaklanıldığı çalışmada iş birlikçi tasarıma yönelik olarak hibrit sarmalayıcı ortam testi yapılmıştır. Tasarım sonrası süreçlere odaklanan çalışmalarda (Barrett, 2023; Lesage ve Dorta, 2011) ise eğitim etkisi çalışılmıştır.

Benzer biçimde, fotoğraf değerlendirme görevleri üç çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmalardan biri (Yu ve Gero, 2017) tasarım sürecine, ikisi ise tasarım sonrası aşamaya (Jam ve diğ., 2021; Valtchanov ve Ellard, 2015) odaklanmıştır. Bu görevlerde, statik görseller aracılığıyla çevresel ve tasarımsal özelliklerin kullanıcıların bilişsel yüklerine ve algılarına etkileri analiz edilmiş.

Bu bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, tasarım süreci ve tasarım sonrası aşamaları kapsayan görevlerin, mimarlık ve ilişkili alanlarda bilişsel yükün çok boyutlu doğasına paralel olarak çeşitlendiği görülmektedir. Görevlerin büyük bir bölümü mimari tasarım sürecine odaklanmakta, bununla birlikte tasarım sonrası değerlendirme çalışmalarının da literatürde önemli bir yer tuttuğu anlaşılmaktadır. Bu durum, mimarlık alanındaki bilişsel yük araştırmalarının, tasarım sürecinin kavramsal boyutu ile tamamlanmış ürünlerin kullanıcı üzerindeki etkilerini farklı yönlerden ele alan çalışmalarla giderek çeşitlendiğini ve kapsamını genişlettiğini göstermektedir.

2.4.2.2 Mimari Tasarım Süreçlerindeki Bilişsel Yükün Etki Faktörleri

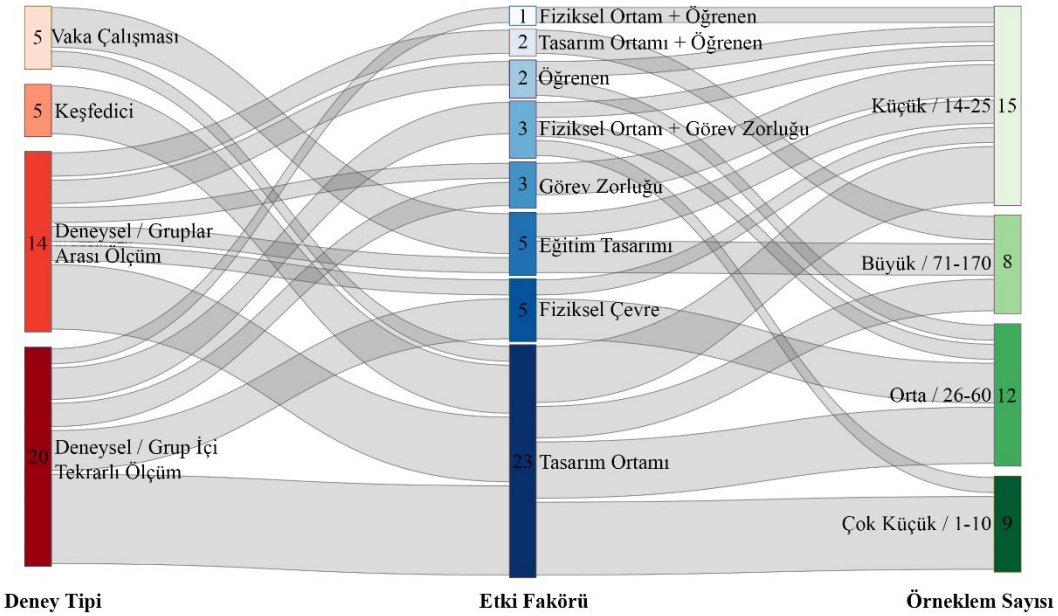
Bu bölümde, mimari tasarım ve ilişkili araştırma alanlarında bilişsel yükü etkileyen temel belirleyiciler sistematik biçimde incelenmiştir. Analiz, Şekil 2.3'te gösterilen model temel alınarak gerçekleştirilmiştir; çalışmalar öncelikle ele aldıkları etki faktörlerine, ardından deneysel tasarım türlerine ve son olarak örneklem büyüklüklerine göre sınıflandırılmıştır.

Örneklem büyüklüklerinin sınıflandırılmasında veri temelli bir yaklaşım benimsenmiş, K-means kümeleme analizi uygulanmıştır. K değeri 2 ile 6 aralığı için dirsek yöntemi (*inertia*) ve silüet skoru değerlendirilmiştir (Kodinariya ve Makwana, 2013). Dirsek grafiğinde K = 4 noktasında belirgin bir kırılma gözlenmiş, aynı noktada silüet skoru da maksimum (~0.62) değere ulaşmıştır. Bu nedenle, analiz sonucunda dört örneklem grubu tanımlanmıştır: 1–10, 14–25, 26–60 ve 71–170 katılımcı.

Şekil 2.12, her bir çalışmada kullanılan deneysel tasarım türü, ele alınan etki faktörü ve örneklem büyüklüğü arasındaki ilişkileri görsel olarak özetlemektedir. Şeklin sol ekseninde çalışmalar; vaka çalışmaları (çoğunlukla dönem boyunca yürütülen tasarım stüdyosu araştırmaları), keşfedici çalışmalar (tek gruplu, kontrolsüz, erken

aşama araştırmalar) ve kontrollü deneyler olarak üç gruba ayrılmaktadır. Kontrollü deneyler de kendi içinde grup-içi ve gruplar-arası tasarımlara ayrılmıştır.

Orta eksen, incelenen başlıca etki faktörlerini göstermektedir: tasarım ortamı, öğretim tasarımı, fiziksel ortam, öğrenen özellikleri, görev zorluğu ve bu faktörlerin çeşitli iki faktörlü kombinasyonlarından oluşmaktadır. Sağ eksen ise örneklem büyüklüklerini yukarıda belirtilen dört veri temelli gruba ayırmaktadır.



Şekil 2.12: Deneysel tasarım türü, etki faktörü ve örneklem büyüklüğü arasındaki ilişkiler

Şekil 2.12'de yer alan dağılımlar, mimarlık alanındaki bilişsel yük araştırmalarında birkaç önemli eğilime işaret etmektedir. Bunlardan en belirgini, tasarım ortamı faktörünün, bu alanın odak noktası hâline gelmesidir. Çalışmaların büyük çoğunluğu, farklı tasarım ortamlarının bilişsel yük üzerindeki etkilerini incelemektedir.

Tasarım ortamı etkisini araştıran, çalışmalar dört ana teknoloji grubunda alt sınıflara ayrılmaktadır: VR, AR, karma gerçeklik (XR, Extendet Reality), geleneksel ekran tabanlı ve fiziksel ortamlar (masaüstü, fiziksel maket veya elle çizim).

Bununla birlikte, öğretim tasarımı (Barrett, 2023; de Souza ve diğ., 2023; W. L. Wu ve diğ., 2021; Y. W. Wu ve diğ., 2016, 2017) ve fiziksel ortam (Hu ve diğ., 2021; Kalantari ve diğ., 2023; Mahmoudzadeh ve diğ., 2021; Mejia-Puig ve diğ., 2022;

Valtchanov ve Ellard, 2015) faktörleri de grafiğin ortasında yer almakla birlikte literatürde daha az sıklıkla ele alınmıştır. Ayrıca, öğrenen özelliklerine odaklanan yalnızca iki çalışma görülmüştür (Jam ve diğ., 2021; Sun ve diğ., 2016). Benzer şekilde, görev zorluğu veya görev taleplerini etki faktörü olarak inceleyen çalışmaların da az olduğu görülmüştür (McMahan ve Bowman, 2007; Yang ve diğ., 2023).

Çoklu faktörlerin etkileşimini araştıran çalışmalar da aynı şekilde sınırlıdır. Yalnızca birkaç araştırma fiziksel ortam ve öğrenen özellikleri (Smith-Jackson ve diğ., 2016), fiziksel ortam ve görev talepleri (Li ve diğ., 2020; Nishihara ve diğ., 2022; Zhang ve diğ., 2017) veya tasarım ortamı ve öğrenen özellikleri (Mejia-Puig ve Chandrasekera, 2023a; Wang ve diğ., 2024) arasındaki etkileşimleri incelemiştir. Bu durum, literatürde çok faktörlü deneysel tasarımlara duyulan gereksinimi vurgulamakta ve tasarım araştırmalarında bilişsel yükü şekillendiren etmenlerin karmaşık etkileşimlerini inceleyecek araştırmalara duyulan ihtiyacı göstermektedir.

Yöntemsel açıdan bakıldığında, kontrollü deneylerin en yaygın kullanılan araştırma türü olduğu görülmektedir. Bu deneyler hem grup-içi hem de gruplar-arası tasarımları içermekte olup, alan genelinde karşılaştırmalı ve istatistiksel olarak güçlü yaklaşımlara olan eğilimi yansıtmaktadır. Vaka çalışmaları ise daha az sıklıkta görülmekle birlikte genellikle tasarım stüdyosu derslerine dayanmaktadır (Y. W. Wu ve diğ., 2016, 2017).

Keşfedici çalışmalar, daha çok protokol temelli araştırmalar (M. J. Kim ve Maher, 2008; Sopher ve diğ., 2022; Yu ve diğ., 2014) veya erken aşama çalışmalar (Erhan ve diğ., 2022) kapsamında yürütülmüş; bu tür araştırmalar genellikle tek gruplu ve kontrolsüz deneylere dayanmaktadır.

Örneklem büyüklüklerinin dağılımı da önemli yöntemsel eğilimler ortaya koymaktadır. Orta ölçekli örneklemler (26–60 katılımcı) en yaygın görülen gruptur. Grup-içi deneyler genellikle bu aralığın alt sınırında (26–40 katılımcı) yoğunlaşırken, gruplar-arası deneyler iki grup hâlinde ortalama 40–60 katılımcı içermektedir.

Keşfedici çalışmalar, doğaları gereği daha küçük örneklemlerle (1–10 veya 14–25 katılımcı) yürütülmüştür; bu durum, söz konusu araştırmaların pilot veya fizibilite niteliği taşımasıyla uyumludur.

Büyük örneklemli çalışmalar (71–170 katılımcı) oldukça nadirdir. Bu tür örneklemler genellikle dönem boyunca yürütülen eğitim müdahaleleri içeren vaka çalışmalarında (Y. W. Wu ve diğ., 2016, 2017) veya kısa süreli bilişsel yük ölçümlerinin yapıldığı tasarım değerlendirme görevlerinde (Cha ve diğ., 2023) görülmektedir.

Seçilen çalışmalarda ele alınan etki faktörlerine ilişkin bulguların özetini sunmak amacıyla Tablo 2.7'de kontrollü deneysel araştırmalardan elde edilen istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar listelenmiştir. Bulgular, araştırmalarda incelenen birincil etki faktörleri ve görev türleri temelinde düzenlenmiştir. Öğretim tasarımı faktörüne ilişkin çalışmalarda ise anlamlı bir istatistiksel sonuç bildirilmemiştir.

Tablo 2.11: Görev türlerine göre bilişsel yük üzerindeki etkiler (istatistiksel olarak anlamlı bulgular)

Faktör	**Bulgular**	**Görev Türü**	**Çalışmalar**
Tasarım Ortamı	VR, masaüstü ortamlara göre zihinsel çabayı azaltmaktadır.	Tasarım Değerlendirme	S. H. Cha ve diğ. (2023); Henstrom ve diğ. (2024)
	VR, masaüstü ortamlara göre öznel iş yükünü artırmaktadır.	Tasarım Değerlendirme	Umair ve diğ. (2022)
	VR'da üçüncü kişi görünümü, birinci kişi görünümüne göre bilişsel yükü artırmaktadır.	Mekânsal Tasarım	Mejia-Puig ve Chandrasekera (2023a, 2023b)
	Stüdyo derslerinde XR kullanımı, geleneksel öğretime göre bilişsel yükü azaltmaktadır.	Mimari Tasarım Stüdyosu	Darwish ve diğ. (2023)

Tablo 2.12: Görev türlerine göre bilişsel yük üzerindeki etkiler (istatistiksel olarak anlamlı bulgular) (devamı)

	AR, masaüstü ortamlara göre bilişsel yükü azaltmaktadır.	Yerleşim Tasarımı	Chandrasekera ve Yoon (2015)
	AR, kâğıt tabanlı bilgi aktarımına göre bilişsel yükü azaltmaktadır.	Montaj	Hou ve diğ. (2015)
	Kavramsal tasarım sürecinde yapay zekâ kullanımı, kullanılmamasına göre bilişsel yükü azaltmaktadır.	Nesne Tasarımı	Chandrasekera ve diğ. (2024)
	Fiziksel maket üretimi, elle çizim ve dijital modelleme ortamlarına göre bilişsel yükü azaltmaktadır.	Mekânsal Tasarım	Pierre ve diğ. (2011)
Katılımcı	VR deneyimi arttıkça zihinsel çaba azalmaktadır.	Hazine Avı Oyunu	Wang ve diğ. (2024)
	Estetik değerlendirme deneyimi arttıkça bilişsel yük artmaktadır.	Fotoğraf Değerlendirme	Jam ve diğ. (2021)
	Tasarım deneyimi arttıkça zihinsel çaba azalmaktadır.	Nesne Tasarımı	Sun ve diğ. (2016)

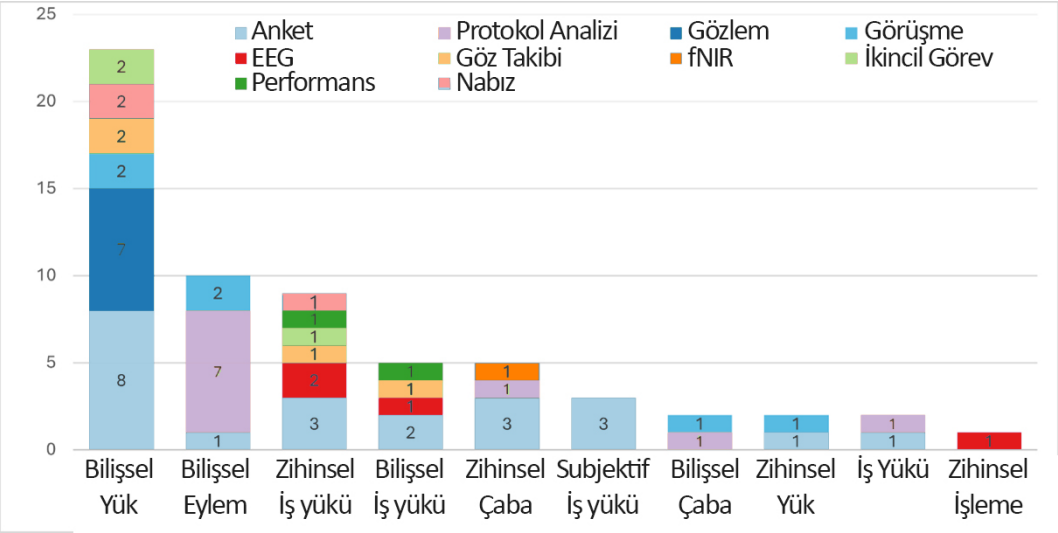
Tablo 2.13: Görev türlerine göre bilişsel yük üzerindeki etkiler (istatistiksel olarak anlamlı bulgular) (devamı)

Fiziksel Çevre	Ortam sıcaklığının yüksek olması zihinsel iş yükünü artırmaktadır.	Psikolojik Testler	F. Zhang ve diğ. (2017)
	Ortam sıcaklığının düşük olması bilişsel yükü artırmaktadır.	Psikolojik Testler	Li ve diğ. (2020)
Görev	Görsel kısıtlamalar bilişsel çabayı azaltmaktadır.	Mekânsal Tasarım	Ashrafganjouei ve Gero (2021)

2.4.2.3 Mimari Tasarım Süreçlerinde Bilişsel Yükün Değerlendirilmesi ve Ölçüm Teknikleri

Bu bölümde, sistematik incelemeye dâhil edilen 44 deneysel çalışmada kullanılan değerlendirme faktörleri ve ölçüm teknikleri, Bölüm 2.2.2 ve 2.3'de açıklanan kuramsal çerçeveye paralel olarak analiz edilmiştir.

Başlangıçta ilk sınıflandırma, bilişsel yük kuramının temel değerlendirme faktörleri olan bilişsel yük, zihinsel yük ve zihinsel çaba kavramlarıyla uyumlu biçimde oluşturulmuştur. Ancak etiketleme sürecinde birçok çalışmanın bu kuramsal modele doğrudan uymayan, alternatif veya hibrit terimler kullandığı görülmüştür. Bu nedenle, her çalışman kendi terminolojisi üzerinden sınıflandırılmış ve elde edilen sınıflandırma dağılımı Şekil 2.13'te görselleştirilmiştir.



Şekil 2.13: Çalışmaların kullandıkları değerlendirme terimleri ve ölçüm yöntemlerine göre sınıflandırılması

Birçok çalışmanın birden fazla kavram veya ölçüm tekniğini aynı araştırma tasarımı içinde birlikte kullandığı gözlenmiştir. Bu nedenle, her bir benzersiz kavram–ölçüm tekniği kombinasyonu Şekil 2.13'te ayrı bir veri olarak sayılmıştır. Dolayısıyla, görselleştirilen toplam veri sayısı incelenen çalışma sayısından (44) fazladır.

Terminoloji dağılımına bakıldığında, çalışmaların büyük bir çoğunluğunun bilişsel yük kuramının genel kavramı olan "bilişsel yük" terimini temel değerlendirme faktörü olarak benimsediği görülmektedir. Buna karşılık, BYT'nin asıl değerlendirme faktörleri olan "zihinsel yük" (Son ve diğ., 2022) ve "zihinsel çaba" (Mejia-Puig ve Chandrasekera, 2023b; Sun ve diğ., 2016; W. L. Wu ve diğ., 2021) terimleri oldukça sınırlı sayıda çalışmada kullanılmıştır. Bu eğilim, bilişsel yük kuramının mimarlık alanında çoğunlukla genel düzeyde ele alındığını, kavramsal alt boyutlara ilişkin ayrımların ise sınırlı biçimde dikkate alındığını göstermektedir.

Bununla birlikte, literatürde "bilişsel eylem" *(cognitive action)* (Dissaux ve Jancart, 2022; Erhan ve diğ., 2022; Sopher ve diğ., 2022) kavramı ile birlikte, "iş yükü" *(workload)* kavramının farklı biçimlerinin de yaygın biçimde kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışmalar, bilişsel yükü sırasıyla zihinsel iş yükü *(mental workload)* (Li ve diğ., 2020; Pierre ve diğ., 2011), bilişsel iş yükü *(cognitive workload)* (Kalantari ve diğ., 2023; Yu ve Gero, 2017) veya öznel iş yükü *(subjective workload)* (Umair ve diğ., 2022; Yang ve diğ., 2023) terimleri üzerinden ele almıştır. Söz konusu kavramlar, BYT alt boyutlarından daha sık tercih edilmekte

ve genellikle zihinsel yük veya zihinsel çaba değişkenlerinin dolaylı göstergesi olarak kullanılmaktadır.

Bu kavramlar doğrudan BYT'den türememekle birlikte, çoğu çalışmada zihinsel yük veya zihinsel çaba gibi temel BYT faktörlerinin dolaylı göstergesi olarak kullanılmıştır. Başka bir ifadeyle, birçok araştırma BYT terminolojisi yerine bu kavramları eşdeğer ölçütler olarak değerlendirmiştir.

Bu eğilim özellikle iş yükü temelli kavramlarda belirginleşmektedir. "İş yükü" terimi, BYT araştırmalarında sıklıkla kullanılan NASA-TLX ölçeği sonuçlarının değerlendirme faktörü olarak ele alınmasından kaynaklanmaktadır. Bu anket ölçeği, doğrudan bilişsel yükü ölçmemekle birlikte, bilişsel etkinlikle yüksek düzeyde ilişkili olduğu çeşitli araştırmalarda gösterilmiştir (Devos ve diğ., 2020; Y. ; Wu ve diğ., 2024). Bu nedenle, söz konusu ölçek bilişsel yük ölçümünde sıklıkla kullanılmaktadır.

Ayrıca, mevcut incelemede yer alan hiçbir çalışmada içsel veya dışsal bilişsel yük bileşenlerinin değerlendirme faktörü olarak doğrudan kullanılmadığı görülmüştür. Çoğu çalışmada yük dağılımına dair değerlendirme, genel bilişsel yük ya da kapsayıcı terimler üzerinden yapılmış; klasik BYT modellerinde (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2) önerilen alt bileşenler arasında ayrım yapılmamıştır.

Ölçüm tekniklerinin dağılımına bakıldığında, öz bildirime dayalı anketlerin açık ara en yaygın yöntem olarak kullanıldığı görülmüştür. Anket teknikleri neredeyse tüm kavramsal terimlerle birlikte kullanılmıştır; bu durum, anketlerin bilişsel yük araştırmalarında hem pratik hem de kontrol edilebilir bir ölçüm aracı olarak görüldüğünü göstermektedir.

Davranışsal ölçüm sınıfında yer alan protokol analizi yöntemi ise en sık kullanılan ikinci yöntemdir. Bu yöntem, özellikle "bilişsel aksiyon *(cognitive action)*" kavramı ile birlikte kullanılmış ve kullanıcıların eylemlerini süreç izleme yoluyla bilişsel taleplerle ilişkilendirmeyi hedeflemiştir.

Performansa dayalı ölçümler (Li ve diğ., 2020; Mohamed-Ahmed ve diğ., 2013) ile çeşitli fizyolojik yöntemler ise sınırlı sayıda çalışmada yer almıştır. Fizyolojik ölçümlerin yapıldığı çalışmalarda; EEG (Hu ve diğ., 2021; Kalantari ve diğ., 2023), HR (Zhang ve diğ., 2017), fNIRS (Mejia-Puig ve diğ., 2022; Mejia-Puig ve Chandrasekera, 2023a) ve göz izleme (Pierre ve diğ., 2011; Yu ve Gero, 2017)

teknikleri kullanılmıştır. Bu yöntemler çoğunlukla iş yükü temelli değerlendirme faktörleriyle birlikte kullanılmıştır. Ancak, genel eğilim açısından değerlendirildiğinde, bu tür nesnel ölçüm tekniklerinin hâlâ sınırlı düzeyde kullanıldığı görülmektedir.

Araştırmaların büyük bir bölümü ağırlıklı olarak öz bildirim temelli anketler (Chandrasekera ve Yoon, 2015; Hou ve diğ., 2015), görüşmeler (Barrett, 2023; Diliara ve diğ., 2011) ve gözlem temelli değerlendirmeler (Darwish ve diğ., 2023; de Souza ve diğ., 2023) gibi öznel tekniklerine dayanmaktadır; nesnel ölçümler çoğu zaman ikincil destekleyici araç olarak kullanılmıştır.

Genel olarak, bu bulgular mimari tasarım alanındaki bilişsel yük araştırmalarının hâlen büyük ölçüde genel değerlendirme faktörlerine ve öznel ölçüm tekniklerine dayandığını göstermektedir. Alandaki çalışmalarda performans ve fizyolojik ölçümlere dayalı nesnel yaklaşımlarının kullanımının sınırlı kaldığı görülmektedir.

2.4.3 Sistematik İnceleme Bulgularının Değerlendirmesi

Bu bölümde sunulan sistematik inceleme bulguları, mimari tasarım bağlamında yürütülen bilişsel yük araştırmalarının genel eğilimlerini ortaya koymaktadır.

İlk olarak, çalışmaların büyük bölümü bilişsel yükü tasarım sürecinin erken ve kavramsal aşamalarında incelemektedir. Araştırmalar, özellikle farklı tasarım ortamlarının (sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve geleneksel araçlar) öğrenen üzerindeki bilişsel etkilerini karşılaştırmaya odaklanmaktadır.

İkinci olarak, incelenen çalışmaların çoğunda bilişsel yük genel bir kavram olarak ele alınmıştır. Bölüm 2.2.2'de açıklanan değerlendirme faktörleri ve bölüm 2.1'de açıklanan BYT'nin alt bileşenleri arasındaki ayrımların dikkate alınmadığı; değerlendirmelerin çoğunlukla genel "bilişsel yük" ifadesiyle yapıldığı görülmektedir. Ayrıca, ölçümlerde öz bildirim temelli yöntemler (anket, görüşme, gözlem) baskın olup, nesnel ve fizyolojik ölçüm teknikleri (EEG, EDA, HR, fNIRS vb.) sınırlı düzeyde kullanılmaktadır.

Üçüncü olarak, mevcut araştırmaların büyük kısmı tek değişkenli, küçük örneklemli ve kısa süreli deneysel tasarımlara dayanmaktadır. Bu durum, bilişsel yükü etkileyen çoklu faktörlerin (Bölüm 2.2.1) etkileşimlerini bütüncül biçimde ortaya koymayı zorlaştırmaktadır.

Bu bulgular doğrultusunda, bir sonraki bölümde elde edilen sonuçlar mimarlık eğitimi ve tasarım pedagojisi açısından tartışılmıştır (Bölüm 2.4.3.1). Ayrıca, mevcut çalışmaların yöntemsel sınırlılıkları temel alınarak gelecekteki araştırmalara yönelik öneriler geliştirilmiştir (Bölüm 2.4.3.2).

2.4.3.1 Mimarlık Eğitimine Yönelik Uygulamalı Öneriler

İncelenen çalışmaların tamamında öne çıkan temalardan biri, VR, AR ve XR gibi sarmalayıcı teknolojilerin bilişsel yük üzerindeki etkisidir. VR ortamlarının, özellikle tasarım değerlendirme görevlerinde, geleneksel masaüstü tabanlı ortamlara kıyasla zihinsel çabayı önemli ölçüde azalttığı görülmüştür (Cha ve diğ., 2023; Henstrom ve diğ., 2024). Ancak bu etki tüm durumlar için geçerli değildir. Örneğin Fiorentino ve diğ., (2020) çalışmasında VR ve masaüstünün bilişsel yüke etkisi için anlamlı bir etki bulunmamış; Umair ve diğ., (2022) ise araştırmasında VR ortamlarının, özellikle arayüze aşinalığı düşük katılımcılarda veya karmaşık görevlerde, hissedilen iş yükünü artırdığı belirtilmiştir.

Bazı durumlarda, VR ortamındaki üçüncü kişi bakış açısının, birinci kişi (egosantrik) görünüme kıyasla bilişsel yükü artırdığı da gözlemlenmiştir (Mejia-Puig ve Chandrasekera, 2023b, 2023a). Bu bulgunun, üçüncü kişi bakış açısında kullanıcıların mekânsal bilgiyi zihinsel olarak birinci kişi perspektifine çevirmek için ekstradan zihinsel çaba harcamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Buna karşın, birinci kişi görünümleri, egosantrik yönelim ve mekânsal kodlamayla daha doğrudan uyum sağladığından zihinsel çabayı azaltıcı bir etki yaratmaktadır.

Bu bulgular bağlamında, mimarlık eğitiminde kullanılacak VR uygulamalarının tek başına "yenilikçi" bir araç olarak değil, öğrencilerin bilişsel hazırlık düzeyine göre uyarlanması gereken bir öğrenme aracı olarak ele alınması gerekmektedir. Özellikle deneyimsiz öğrenciler, karmaşık VR arayüzleriyle karşılaştıklarında aşırı bilişsel yüklenme yaşayabilmekte ve bu durum öğrenme performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, VR tabanlı öğrenme deneyimleri tasarlanırken aşamalı bir tanıtım ve alıştırma süreci uygulanmalı, öğrencilerin sisteme geçmeden önce arayüzün temel prensiplerini öğrenmeleri sağlanmalıdır.

Ayrıca, bakış açısına dayalı bilişsel farklılıklar da tasarım eğitiminde dikkate alınmalıdır. Birinci kişi bakış açısı, mekânsal yönelim ve hacimsel algı açısından daha sezgisel bir öğrenme sağlarken; üçüncü kişi bakış açısı, kavramsal soyutlama

ve dış gözlem becerilerinin gelişimini destekleyebilir. Dolayısıyla, VR tabanlı stüdyo ortamlarında her iki bakış açısının görev özelinde özelleştirilerek sunulması, öğrencilerin bilişsel kapasiteleriyle uyumlu bir öğretim tasarımı sağlayacaktır.

AR uygulamaları ise özellikle şematik bilgi aktarımı ve karmaşık mekânsal ilişkilerin kavranması gereken görevlerde bilişsel yükü azalttığı yönünde tutarlı sonuçlar vermiştir (Chandrasekera ve Yoon, 2015; Hou ve diğ., 2015). AR ortamları, soyut diyagramları fiziksel mekâna yerleştirerek uzamsal düşünme sürecini desteklemektedir. Bu sayede AR uygulamaları kullanıcıların soyut uzamsal ilişkileri gerçek bağlamlara entegre biçimde algılamasına olanak tanımaktadır. Bu bulgu, AR teknolojilerinin özellikle tasarım eğitiminin erken aşamalarında kullanılmasının, karmaşık uzamsal görevlerde zihinsel çabayı azaltarak öğrenme verimini artırabileceğini göstermektedir. Benzer biçimde, XR teknolojilerinin stüdyo ortamlarında kullanımının, geleneksel öğretim yöntemlerine kıyasla bilişsel yükü önemli ölçüde azalttığı görülmüştür (Darwish ve diğ., 2023).

Yapay zekâ (AI) tabanlı araçların kavramsal tasarım aşamasında kullanımının da bilişsel talepleri azaltarak tasarım sürecinin verimliliğini ve yaratıcılığın çeşitliliğini arttırdığı görülmüştür (Chandrasekera ve diğ., 2024). Ancak, bazı araştırmalarda (Aru, 2025; Budiyono ve diğ., 2025; Solteo, 2025) ise AI entegrasyonunun yaratıcılığı sınırlayabileceği ve eleştirel düşünme süreçlerini standartlaştırabileceği yönünde bulgular sunmaktadır. Bu sebeple, mimari tasarım eğitimi süreçlerinde AI araçlarının kullanımının bilişsel yük üzerindeki etkilerini tam olarak anlayabilmek için görev özelinde kurgulanmış daha fazla deneysel çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Fiziksel modelleme yöntemleri, dijital modelleme ve elle çizim tekniklerine kıyasla genellikle daha düşük bilişsel yük düzeyleriyle ilişkilendirilmiştir (Pierre ve diğ., 2011). Bu bulgu, özellikle mimarlık eğitimin başlangıç seviyelerinde tasarım görevlerinin gerektirdiği bilişsel taleplerin dengelenmesi açısından fiziksel modelleme yöntemlerinin kullanılmasının yararlı olabileceğini göstermektedir. Ancak söz konusu sonuçlar tüm araştırmalarda tutarlı değildir (Ahmed ve diğ., 2011; Mohamed-Ahmed ve diğ., 2013). Hem dijital hem de fiziksel modelleme yöntemleri mimari tasarım süreçlerinde dışsal yükü azaltarak görselleştirme süreçlerini kolaylaştırabilmektedir, ancak fiziksel modellemenin sezgisel niteliği

nedeniyle mimarlık eğitiminin başlangıç seviyelinde daha etkili olabileceği düşünülmektedir.

Fiziksel modelleme, kullanıcıların doğrudan malzeme ile etkileşime girmesini sağlayarak arayüz kaynaklı bilişsel talepleri azaltmaktadır. Buna karşın, arayüz tasarımı yetersiz olduğunda dijital ortamlar, özellikle sanal gerçeklik uygulamaları, karmaşıklık ve dikkat dağıtıcı unsurlar nedeniyle dışsal bilişsel yükü artırabilmektedir. (Makransky ve diğ., 2019; Makransky ve Petersen, 2021; Parong ve Mayer, 2018). Bu nedenle, dijital araçların tasarım eğitimine entegrasyonunda arayüzlerinin kullanıcıların dışsal bilişsel yüklerini arttırmayacak şekilde kurgulanmalıdır.

Bilişsel yükün oluşumunda yalnızca tasarım ortamın özellikleri değil, tasarım görevlerinin karmaşıklık düzeyi de belirleyici bir rol oynamaktadır. Ashrafganjouei ve Gero (2021), görsel sınırlamaların dikkat dağıtıcı öğeleri azaltarak bilişsel çabayı düşürdüğünü göstermiştir. Bu bulgu, öğretim tasarımı açısından görevlerin öğrencilerin uzmanlık düzeyine ve bilişsel gelişimine uygun biçimde yapılandırılması gerektiğini savını desteklemektedir.

Bunlara ek olarak, bireysel farklılıkların bilişsel yük üzerindeki etkisi de göz ardı edilmemelidir. Özellikle deneyim düzeyi yüksek katılımcıların VR tabanlı görevlerde daha düşük zihinsel çaba bildirdikleri görülmektedir (Sun ve diğ., 2016; Wang ve diğ., 2024). Bu durum, sanal gerçeklik uygulamalarında kullanıma bağlı artan deneyim seviyesinin bilişsel verimliliği artırdığını göstermektedir.

Buna karşılık, estetik yargı içeren görevlerde deneyimli bireylerin daha yüksek bilişsel yük hissettikleri rapor edilmiştir (Jam ve diğ., 2021). Bu bulgu, bilişsel–duygusal öğrenme modeli *(cognitive-affective model of ımmersive learning)* ile uyumluluk göstermektedir. Söz konusu modele göre, içeriğe daha derinlemesine katılım bilişsel yükü artırabilmekte, özellikle dikkat çekici detaylar içeren ortamlarda bu etki güçlenmektedir (Makransky ve Petersen, 2021). Bu sebeple, mimarlık eğitiminde bireysel farklılıkların dikkate alındığı uyarlanabilir öğretim stratejilerinin geliştirilmesi önem taşımaktadır.

Fiziksel öğrenme ortamlarının optimizasyonu da bilişsel yükün yönetimi açısından önemli bir değişken olduğu görülmüştür. Aşırı sıcak veya soğuk koşullar, öğrencilerin dikkatini ve bilişsel performansını olumsuz etkileyerek zihinsel yük

seviyelerini artırmaktadır (Li ve diğ., 2020; Zhang ve diğ., 2017). Bu nedenle, eğitim mekânlarının tasarımında ısı, aydınlatma, akustik konfor ve mekânsal düzen gibi fiziksel faktörlerin bilişsel yükle ilişkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

2.4.3.2 Literatür Sınırlılıkları ve Gelecek Araştırmalar için Öneriler

İncelenen çalışmalarda öne çıkan temel kısıtlılıklardan biri, terminoloji ve ölçüm yöntemlerindeki tutarsızlıklardır. BYT kapsamında "zihinsel yük" ve "zihinsel çaba" kavramları birbirinden farklı biçimde tanımlanmaktadır (Bölüm 2.2.2). Zihinsel yük, görevin birey tarafından algılanan bilişsel talep düzeyini ifade etmekle birlikte kuramsal olarak görevin yapısal zorluk düzeyi ve çevresel taleplerle ilişkilidir. Zihinsel çaba ise öğrenenin bu görevi yerine getirirken harcadığı bilişsel kaynakları yansıtır ve uzmanlık, ön bilgi, motivasyon ya da strateji kullanımına göre değişiklik gösterebilir (Choi ve diğ., 2014). Ancak incelenen çalışmaların önemli bir kısmında bu kavramların açık biçimde ayrılmadığı ve zaman zaman birbirinin yerine kullanıldığı görülmüştür.

Benzer biçimde, bilişsel yükle ilişkili olmakla birlikte doğrudan BYT temelli olmayan NASA-TLX ölçeğinin alandaki çalışmalarda yaygın biçimde kullanılması terminolojik belirsizliği artırmaktadır. NASA-TLX, başlangıçta görev zorluk düzeyinin öznel algısını ölçmek amacıyla geliştirilmiş bir araçtır (Hart, 2006). Bu ölçekteki "zihinsel yük" boyutu sıklıkla BYT'deki zihinsel yük kavramıyla eşdeğer biçimde yorumlanmaktadır. Her ne kadar bu benzerlik kavramsal olarak anlaşılabilir olsa da, kuramsal bir temele dayandırılmadığında ölçüm sonuçlarının yorumlanmasını güçleştirmektedir. Ayrıca bazı çalışmalar, NASA-TLX'in sadeleştirilmiş versiyonu olan NASA-RTLX'i kullanmalarına rağmen bunu açık biçimde belirtmemiştir. Ölçek faktörlerinin katılımcı için önem sırasına göre ağırlıklandırılması sürecinin atlandığı bu tür uygulamalar, bilişsel yük göstergelerinin yorumlanmasında belirsizlik yaratabilmektedir. Benzer bir durum SWAT ölçeğinin kullanıldığı çalışmalar için de geçerlidir.

Bir diğer yaygın kısıtlılık, bilişsel yük değerlendirmesinde öz-bildirim temelli ölçüm tekniklerinin baskın biçimde kullanılmasıdır. Anketler, görüşmeler ve gözlemsel değerlendirmeler uygulama kolaylığı açısından avantajlı olsa da geri çağırma yanlılığı, öznel yorum farkları ve duygusal etkiler gibi kısıtlılıklar taşımaktadır. Bu durum, ölçüm güvenirliğini ve geçerliliğini azaltabilmektedir. Buna karşılık fizyolojik ölçümler (Bölüm 2.3.2) ve performansa dayalı ölçüm

teknikleri (Bölüm 2.3.4) hâlen sınırlı düzeyde kullanılmaktadır. Bu nedenle gelecekteki çalışmaların, öznel ve nesnel ölçüm tekniklerini bütünleştiren karma yaklaşımları benimsemesi önem taşımaktadır. Bu tür yaklaşımlar, bilişsel yükün dinamik ve çok boyutlu yapısının daha güvenilir biçimde incelenmesine katkı sağlayabilir.

Alandaki çalışmaların deneysel tasarımlarına ilişkin kısıtlılıklar da bulunmaktadır. Çalışmaların çoğunda küçük ve homojen örneklemler kullanılmıştır. Bu durum, bulguların genellenebilirliğini azaltmakta ve bireysel farklılıkların etkisinin değerlendirilmesini sınırlamaktadır. Gelecekteki araştırmalarda farklı deneyim düzeylerine, eğitim geçmişlerine ve demografik özelliklere sahip daha geniş örneklem gruplarının dahil edilmesi gerekmektedir.

Bunlara ek olarak, birçok araştırma kontrollü laboratuvar ortamlarında yürütülmüştür. Bu durum, gerçek tasarım süreçlerinin bilişsel karmaşıklığının tam olarak yansıtılamamasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, işbirlikçi tasarım süreçlerinde bilişsel yükün nasıl değiştiğine odaklanan araştırmalar da oldukça sınırlıdır. Yalnızca (Lesage & Dorta, 2011) çalışması bu konuda doğrudan veri sunmaktadır. Mobil ölçüm teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, gelecekte eşzamanlı ve çok katılımcılı veri toplama yöntemleri kullanılarak işbirlikçi tasarım süreçlerinin bilişsel yönleri daha kapsamlı biçimde incelenebilir.

Bir diğer eksiklik, ön bilgi ve öğrenme etkilerinin yeterince kontrol edilmemesidir. Bu değişkenler bilişsel yük düzeyini etkileyebildiğinden, ön testlerin yapılmaması veya kontrol gruplarının açık biçimde tanımlanmaması çalışmaların iç geçerliliğini sınırlamaktadır. Gelecekteki araştırmalarda katılımcıların ön bilgi düzeyini ölçen ön testlere yer verilmesi ve gruplar arasında bilişsel dengeyi sağlayacak deneysel düzenlemelerin yapılması önerilmektedir.

Ayrıca, özellikle eğitim odaklı vaka çalışmalarında istatistiksel analizlerin sınırlı olduğu gözlenmiştir. Birçok çalışmada yalnızca tanımlayıcı istatistikler veya ortalama karşılaştırmaları kullanılmış, çıkarımsal testler ve etki büyüklükleri yeterince raporlanmamıştır. Bu durum, bulguların kuramsal olarak genellenmesini ve çalışmalar arası karşılaştırılabilirliğini güçleştirmektedir. Bu nedenle etki büyüklüğü, korelasyon analizleri ve çıkarımsal istatistikler içeren daha güçlü analiz yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalara ihtiyaç vardır. Buna ek olarak, bazı çalışmalarda bilişsel yük dolaylı biçimde, örneğin eğitmen değerlendirmeleri

üzerinden ölçülmüştür. Bu tür yaklaşımlar, ölçüm güvenirliğini azaltmakta ve bilişsel yükün doğrudan değerlendirilmesini sınırlamaktadır.

Bu kısıtlılıkların giderilmesi, mimarlık eğitiminde yürütülecek bilişsel yük araştırmalarının kuramsal tutarlılığını ve yöntemsel geçerliliğini güçlendirecektir. Ayrıca öznel, fizyolojik ve performans temelli göstergelerin birlikte kullanıldığı daha bütüncül araştırma tasarımları, bilişsel yük yönetimine dayalı öğretim stratejilerinin daha sağlam bilimsel kanıtlarla desteklenmesine katkı sağlayacaktır.

2.4.4 Sistematik İnceleme Sonucu

Bu sistematik literatür incelemesinde, mimarlık eğitimi ve tasarım uygulamalarında BYT kullanımını araştıran 44 çalışma, üç temel araştırma sorusu üzerinden analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları üç temel bulguya işaret etmektedir.

Öncelikle, çalışmaların büyük çoğunluğu bilişsel yükü tasarım sürecinin erken ve kavramsal aşamalarında incelemekte; özellikle farklı tasarım ortamlarının (örneğin sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve geleneksel araçlar) öğrenen üzerindeki etkilerini karşılaştırmaya odaklanmaktadır. Bu çalışmalar VR ve AR gibi teknolojilerin, açık biçimde tanımlanmış eğitim hedefleriyle birlikte kullanıldığında zihinsel çabayı azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ancak bu teknolojilerin yararlılığı, görevin nasıl kurgulandığına, kullanıcıların araçlara olan aşinalık düzeyine ve sistem arayüzlerinin kullanım kolaylığına bağlı olarak değişmektedir. Bazı durumlarda, aşırı karmaşık arayüzler veya yetersiz ön bilgilendirme durumlarında bu araçlar bilişsel yükü azaltmak yerine artırabilmektedir. Bu durum, sarmalayıcı teknolojilerin öğrenme ortamlarında kullanımının öğrencilerin bilişsel kapasiteleri göz önünde bulundurularak planlanması gerektiğini göstermektedir.

İkinci olarak, araştırmaların önemli bir kısmında bilişsel yük genel bir kavram olarak ele alınmaktadır. BYT'nin alt bileşenleri (Bölüm 2.1) ve değerlendirme faktörleri (Bölüm 2.2.2) arasındaki ayrımların çoğu zaman göz ardı edildiği görülmektedir. Bilişsel yük kavramının tanımlanmasında ve ölçülmesinde gözlemlenen terminolojik tutarsızlıklar, özellikle NASA-TLX gibi ölçme araçlarının farklı biçimlerde kullanılmasından ve yorumlanmasından kaynaklanmaktadır. Kullanılan ölçüm tekniklerinde ise öz bildirim temelli

yöntemlerin baskın olduğu, performans (bölüm 2.3.4) ve fizyolojik (bölüm 2.3.2) ölçüm tekniklerinin sınırlı biçimde kullanıldığı dikkat çekmektedir.

Son olarak, incelenen araştırmaların büyük bölümü küçük örneklemli, kısa süreli ve tek değişkenli deneysel tasarımlara dayanmaktadır. Bu durum, tasarım süreçlerinde bilişsel yükü etkileyen farklı faktörlerin (Bölüm 2.2.1) birlikte incelenmesini ve etkileşimsel yapısının anlaşılmasını güçleştirmektedir. Bunun yanı sıra, birçok çalışmada kullanılan öz bildirim temelli ölçümler ile küçük ve homojen örneklemler, bulguların genellenebilirliğini ve güvenilirliğini kısıtlamaktadır. Deneysel tasarımlar çoğunlukla ön bilgi değişkeninin yetersiz kontrolüyle ve izole laboratuvar koşullarında yürütülmüştür. Bu durum, elde edilen sonuçların gerçek öğrenme ve tasarım ortamlarına aktarılabilirliğini sınırlandırmaktadır.

Gelecekteki araştırmalarda, mevcut sınırlılıkların giderilmesinin mimarlık ve benzeri tasarım alanlarındaki bilişsel yük araştırmalarının daha bütüncül ve kuramsal olarak tutarlı biçimde ilerlemesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmaların, bilişsel yükün alt bileşenlerini birlikte ele alarak kapsamlı biçimde yorumlaması; öznel ve nesnel ölçüm araçlarını eş zamanlı biçimde kullanması ve daha geniş, çeşitli örneklemlere sahip deneysel tasarımlar uygulaması önerilmektedir.

Bu sistematik inceleme sonucunda ortaya konan bulgular doğrultusunda, mevcut literatürde belirlenen kavramsal ve metodolojik boşlukları ele almak amacıyla Tablo 1.2'de sıralanan tezin araştırma soruları ve hipotezleri geliştirilmiştir. Bu kapsamda, bilişsel yükün tasarım ortamı ve görev zorluğu gibi temel değişkenlerle ilişkisini çok boyutlu olarak incelemeyi hedefleyen deneysel bir metodoloji kurgulanmış ve uygulanmıştır. Geliştirilen metodolojinin oluşturulma süreci Bölüm 3'te ayrıntılı olarak sunulmakta, deneysel uygulama sürecine ilişkin bulgular ve değerlendirmeler ise Bölüm 4'te ele alınmaktadır.

3
DENEYSEL METODOLOJİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Bu bölüm, tezin 4. Bölümünde bulguları açıklanan deneysel çalışmada kullanılacak araştırma metodolojisinin geliştirilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen dört alt çalışmadan oluşmaktadır. Bu çalışmalar, deneysel tasarımın güvenilirliğini, geçerliliğini ve uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla kurgulanmıştır.

İlk çalışma (Bölüm 3.1), tekrarlı ölçümlerde öğrenme etkisini minimize etmek amacıyla eş zorluk düzeyine sahip alternatif tasarım görevlerinin belirlenmesine odaklanmaktadır. Bu kapsamda, görevlerin farklılaştırılması durumunda zorluk değişkeninin sabit kalmasını sağlayacak tasarım problemleri tanımlanmıştır.

İkinci çalışma (Bölüm 3.3), bilişsel yükün fizyolojik ölçümünde kullanılacak EDA sisteminin, hazır bir cihaz yerine araştırma kapsamında kurulan ölçüm düzeni üzerinden test edilmesini kapsamaktadır. Bu aşamada sistemin veri toplama kapasitesi ve deneysel koşullara uygunluğu değerlendirilmiştir.

Üçüncü çalışma (Bölüm 3.3), deneysel sürecin bütününü kapsayan protokolün pilot uygulama ile test edilmesini içermektedir. Bu aşamada görev akışı, süre yönetimi ve ölçüm senkronizasyonu gibi kritik unsurlar değerlendirilmiştir.

Dördüncü aşamada (Bölüm 3.5) ise önceki aşamalardan elde edilen bulgular doğrultusunda ana deneyde kullanılacak nihai deney protokolü oluşturulmuş ve detaylandırılmıştır.

3.1 Benzer Zorluktaki Mimari Tasarım Görevlerinin Belirlenmesi

Mimari tasarım eğitimindeki deneysel çalışmalarda; farklı tasarım ortamlarının tasarım süreçleri (Mejia-Puig ve Chandrasekera, 2023b), bilişsel talepler (Yang ve

diğ., 2023) ve öğrenme çıktıları (Mohamed-Ahmed ve diğ., 2013) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu tür çalışmalar genellikle; temsil ortamlarındaki (Yu ve Gero, 2017), çalışma koşullarındaki (Lesage ve Dorta, 2011) veya tasarım araçlarındaki (Ahmed ve diğ., 2011) farklılıkların tasarımcıların performansı ve deneyimi üzerindeki etkilerini incelemektedir. Ancak, bu incelemelerde yürütülen kontrollü deneyler; tasarım görevlerinin doğası gereği açık uçlu olması ve katılımcıların önceki deneyimlerine, bireysel yorumlarına ve öğrenme etkilerine duyarlı olması nedeniyle kendine özgü metodolojik zorluklar barındırmaktadır.

Karşılaştırmalı tasarım deneylerindeki temel metodolojik sorunlardan biri, katılımcıların birden fazla koşul altında aynı tasarım görevine maruz kaldıklarında ortaya çıkan öğrenme etkisidir. Özdeş bir görevin tekrarlanması; soruna, çözüm stratejilerine veya dayatılan kısıtlamalara olan aşinalığın artmasına yol açarak sonuçların kapsayıcılığını ve genellenebilirliğini zayıflatabilmektedir. Bu sorunu gidermek için yaygın olarak kullanılan bir strateji, tasarım görevini deneysel koşullar arasında farklılaştırmaktır (Ahmed ve diğ., 2011; Cote ve diğ., 2011; Mohamed-Ahmed ve diğ., 2013). Fakat bu yaklaşım ikinci bir kritik zorluğu beraberinde getirmektedir: Alternatif görevlerin zorluk açısından eşdeğer olmasını sağlamak. Eğer görev zorluğu yeterince kontrol edilmezse, gözlemlenen farklılıklar deneysel koşulun etkisinden ziyade görev taleplerindeki varyasyonları yansıtabilir.

Bu sorun, tasarım problemlerinin iyi tanımlanmamış ve süreç içinde gelişen doğasını (Dorst ve Cross, 2001) ve problem ile çözüm alanlarının birlikte evrimini (Dorst ve Cross, 2001) vurgulayan çalışmalarla tasarım araştırmalarında yaygın biçimde kabul edilmiştir. Buna karşın, mimari tasarım alanındaki deneysel araştırmalar, bu belirsiz ve dinamik yapı içinde benzer zorluk düzeylerine sahip tasarım görevlerinin nasıl tanımlandığına veya kurgulandığına sınırlı ölçüde odaklanmıştır.

Pek çok çalışmada, görev eşdeğerliği ampirik olarak test edilmek yerine varsayılmakta veya hedef katılımcı grubundan doğrulama alınmaksızın uzman görüşüyle gerekçelendirilmektedir. Bu durum, deneysel mimari tasarım araştırmalarındaki bulguların metodolojik güvenilirliğini ve karşılaştırılabilirliğini sınırlamaktadır.

Bu sebeple tezin bu bölümü, deneysel çalışmada (Bölüm 4) kullanılmak üzere eşdeğer zorluktaki tasarım görevlerini belirlemeye yönelik yapılandırılmış bir

yaklaşım önererek bu metodolojik kaygıya odaklanmaktadır. Bu yaklaşım, genel tasarım görevi yapısını tutarlı tutarken işlevsel programı değiştirmeye ve algılanan görev zorluğunu öz bildirim temelli değerlendirme (anket) yoluyla ampirik olarak ölçmeye dayanmaktadır. Çalışma, nesnel performans çıktılarından ziyade algılanan zorluğa odaklanarak, tasarım görevlerinin eğitim bağlamında öğrenciler tarafından nasıl deneyimlendiğini yakalamayı amaçlamaktadır.

Bu doğrultuda, bu bölümdeki araştırmanın temel amacı, deneysel araştırmalarda birbirinin yerine kullanılabilecek, algılanan zorluk seviyeleri benzer mimari tasarım görevi varyasyonlarını belirlemektir. Çalışma şu araştırma sorusu çerçevesinde şekillenmiştir: Kontrollü bir mimari tasarım görevi içindeki farklı işlevsel programlar algılanan zorluk açısından nasıl farklılaşmaktadır ve hangi görev varyasyonları deneysel kullanım için eşdeğer kabul edilebilir? Bu soruyu yanıtlamak için, birden fazla işlevsel varyasyona sahip eskiz temelli bir tasarım görevi uygulanmış ve algılanan zorluk, yapılandırılmış bir ikili karşılaştırma yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir.

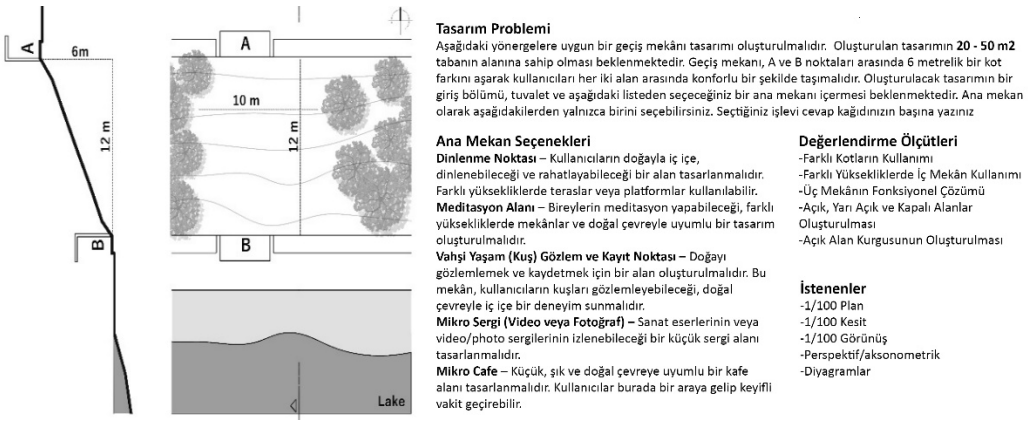
3.1.1 Mimari Tasarım Görevlerini Belirleme Yöntemi

Bu araştırmada, yöntemsel olarak birbirine eşdeğer zorluk düzeyine sahip mimari tasarım görevlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, tüm varyasyonlarda ortak olan temel gereksinimleri içeren tek bir ana tasarım problemi tanımlanmıştır. Görev, katılımcılardan aralarında 6 m kot farkı bulunan iki noktayı birbirine bağlayan bir mimari mekân tasarlamalarını istemektedir.

Tüm görev varyasyonlarında, iki kot arasındaki bağlantının kurulması, açık, yarı açık ve kapalı mekânların birlikte kurgulanması, iç mekân organizasyonu, galeri boşluğu oluşturulması ve tuvalet çözümü ortak zorunluluklar olarak sabit tutulmuştur. Böylece tasarımın mekânsal ve yapısal gereksinimleri tüm katılımcılar için aynı kalmıştır.

Görevi çeşitlendirmek ve kontrollü bir farklılık oluşturmak amacıyla, yalnızca ana işlev programı değiştirilmiştir. Bu kapsamda dinlenme alanı, meditasyon alanı, yaban hayatı (kuş) gözlem noktası, küçük ölçekli sergi alanı (video ve fotoğraf) ve küçük bir kafe olmak üzere beş farklı işlev tanımlanmıştır. İşlev programındaki bu farklılaşma, iç mekân kurgusu ve tefriş çözümlerinin değişmesine yol açmış; buna karşın temel tasarım problemi ve mekânsal gereksinimler korunmuştur. Bu

yaklaşımla, aynı temel gereksinimlere sahip ancak işlev programı üzerinden çeşitlenen beş farklı tasarım görevi oluşturulmuştur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Araştırmada kullanılan tasarım problemi

Söz konusu tasarım görevi, tek bir akademik dönem boyunca aynı mimari tasarım stüdyosuna kayıtlı 270 ikinci sınıf mimarlık öğrencisine eskiz sınavı kapsamında sorulmuştur. Tüm katılımcılar, ders kapsamında yapılan sınıf içi eskiz sınavı sırasında aynı tasarım görevini (Şekil 3.1) ve aynı koşullar altında tamamlamıştır. Sınavın ardından, katılımcılardan beş farklı işlevsel varyasyonun göreli zorluk düzeylerini değerlendirmeleri istenmiştir. Algılanan görev zorluğunu ölçmek amacıyla, Analitik Hiyerarşi Süreci'ne (AHP) dayalı yapılandırılmış bir ikili karşılaştırma anketi (Tablo 3.1) çevrim içi ortamda uygulanmıştır. Sınav sonrası uygulanan bu anket gönüllülük esasına dayanmış, katılımcılar çalışmanın amacı ve toplanan verilerin kullanımına ilişkin sözlü olarak bilgilendirilmiştir. Çalışma kapsamında herhangi bir kişisel ya da tanımlayıcı veri toplanmamıştır.

Toplamda 110 katılımcı anketi tamamlamış ve AHP tabanlı zorluk değerlendirmesi ile tutarlılık analizleri bu yanıtlar üzerinden gerçekleştirilmiştir. AHP yaklaşımı, sınav sonrası anketlerde ortaya çıkabilecek rastlantısal veya dikkatsiz yanıt verme olasılığını azaltmak amacıyla tercih edilmiştir; çünkü bu yöntem, katılımcıların tekil zorluk puanları vermesi yerine göreli ve tutarlı yargılar oluşturmasını gerektirmektedir. Ayrıca, AHP'nin içerdiği tutarlılık analizi sayesinde, kabul edilebilir uyum düzeylerini karşılamayan yanıtların belirlenmesi ve analiz dışı bırakılması mümkün olmuştur. Bu yaklaşım, işlevsel varyasyonların mutlak puanlar yerine göreli zorluk karşılaştırmaları üzerinden sistematik biçimde değerlendirilmesini sağlamıştır.

Tablo 3.1: Yapılandırılmış AHP anketi

İşlev	Zorluk									İşlev
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Dinlenme Alanı										Meditasyon Alanı
Dinlenme Alanı										Gözlem Noktası
Dinlenme Alanı										Sergi
Dinlenme Alanı										Kafe
Meditasyon Alanı										Gözlem Noktası
Meditasyon Alanı										Sergi
Meditasyon Alanı										Cafe
Gözlem Noktası										Sergi
Gözlem Noktası										Kafe
Sergi										Kafe

Rastlantısal veya dikkatsiz yanıtların etkisini azaltmak amacıyla her bir anket için tutarlılık oranları hesaplanmış ve 0.20 kabul edilebilir eşik değerini aşan yanıtlar analiz dışı bırakılmıştır. 0.20 tutarlılık eşiği, katılımcı grubunun uzman olmayan öğrencilerden oluşması ve verilerin sınav sonrası bir bağlamda toplanması dikkate alınarak benimsenmiştir (Saaty, 1994). Bu eleme sürecinin ardından 50 katılımcının yanıtı dışlanmış, kalan 60 katılımcının verileri üzerinden zorluk ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen bu ağırlıklar, algılanan zorluk düzeyi bakımından birbirine yakın olan işlevsel varyasyonların belirlenmesini mümkün kılmıştır. Sonuçta elde edilen zorluk sıralamaları, deneysel çalışmalarda kullanılabilecek eşdeğer tasarım görevi varyasyonlarının belirlenmesinde temel alınmıştır.

3.1.2 Mimari Tasarım Görevlerine Dair Zorluk Düzeyi Analizi

Araştırma kapsamında, sınav sırasında üretilen eskiz temelli tasarım çıktıları tüm işlevsel varyasyonlar için toplanmıştır. Bu tasarım çıktılarından temsil edici örnekler Şekil 3.2'de sunulmaktadır. Ancak, bu çalışmanın temel odağı tasarım kalitesinin ya da performans çıktılarının değerlendirilmesi veya karşılaştırılması değildir. Bu sebeple elde edilen tasarım çıktıları, esas olarak tasarım görevinin

uygulanışını belgelemek ve tüm işlevsel varyasyonların karşılaştırılabilir koşullar altında ele alındığını göstermek amacıyla kullanılmıştır. Tasarım çıktılarının ayrıntılı analizi bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılarak raporlanmamıştır.



Şekil 3.2: Her bir işlevsel varyasyon için tasarım çıktısı örnekleri

Kabul edilebilir tutarlılık eşiği olan 0.20'nin uygulanmasının ardından kalan 60 katılımcının yanıtları kullanılarak hesaplanan AHP tabanlı algılanan tasarım görevi zorluk düzeyi sonuçları Tablo 3.2'de sunulmaktadır. Bulgular, beş farklı işlevsel varyasyon arasında algılanan görev zorluğu açısından ayırt edilebilir farklar olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, işlevsel programların doğrusal ve sürekli bir zorluk ölçeği oluşturmadığını; bunun yerine göreli zorluk düzeylerine bağlı olarak farklı zorluk bantları içinde dağıldığını ortaya koymaktadır.

Tablo 3.2: AHP tabanlı algılanan tasarım görevi zorluk sıralaması (1 = en zor, 5 = en kolay)

İşlev	**Ağırlık (w_i)**	**Zorluk**
Dinlenme Alanı	0.4315	1
Meditasyon Alanı	0.2615	2
Gözlem Noktası	0.1462	3
Sergi	0.1024	4
Kafe	0.0584	5

Dinlenme alanı işlevi, en zor görev varyasyonu olarak algılanmıştır. Bunu meditasyon alanı izlemiştir. Her iki işlev de zorluk spektrumunun üst ucunda yer almakla birlikte, dinlenme alanı meditasyon alanına kıyasla daha zor olarak değerlendirilmiştir. Yaban hayatı gözlem noktası işlevi ise zorluk dağılımında orta düzey bir konumda yer almıştır. Bu işlevin zorluk ağırlığı, dinlenme ve meditasyon

alanlarına kıyasla daha düşük; mikro ölçekli sergi ve kafe işlevlerine kıyasla ise daha yüksek bulunmuştur. Zorluk spektrumunun alt ucunda ise mikro ölçekli sergi ve mikro ölçekli kafe işlevleri yer almıştır. Bu iki işlev farklı zorluk ağırlıklarına sahip olmakla birlikte, diğer işlevlerle karşılaştırıldığında aynı düşük zorluk bandı içinde konumlanmıştır.

Bu bulgular, mimari tasarım deneylerinde görevlerin birebir eşdeğer kabul edilmesinin güç olduğunu göstermektedir. Mimari tasarım görevlerinin açık uçlu ve yoruma dayalı doğası nedeniyle, tasarım problemleri sabit ya da durağan yapılar olarak değerlendirilemez. Tasarım süreci boyunca problem ve çözüm alanları birlikte gelişmekte; aynı tasarım görevi farklı katılımcılar tarafından farklı biçimlerde daraltılabilmekte, genişletilebilmekte ya da yeniden yorumlanabilmektedir (Dorst ve Cross, 2001). Bu nedenle, mekânsal kısıtlar ve temsil gereklilikleri biçimsel olarak kontrol altında tutulsa bile, görevlerin bilişsel ve deneyimsel talepleri katılımcılar açısından farklılaşabilmektedir.

Algılanan zorluk düzeylerinin dağılımı, mimarlık eğitiminde işlev programlarının tanımlılık düzeyi ve aşinalığı üzerinden yorumlanabilir. Mikro ölçekli kafe ve sergi gibi işlevler, mimari tasarım stüdyosu müfredatlarında daha sık karşılaşılan ve görece daha tanımlı işlevsel gereksinimlere sahip programlardır. Bu aşinalık ve tanımlılık düzeyinin, katılımcıların problem alanını daha kolay yapılandırmasına ve daha düşük algılanan zorluk düzeylerine yol açmasına neden olduğu düşünülebilir. Buna karşılık dinlenme ve meditasyon alanı gibi daha açık uçlu işlevler, daha yüksek düzeyde kavramsal yorum, deneyimsel muhakeme ve atmosferik karar verme süreçleri gerektirmektedir. Bu nedenle söz konusu görevlerin algılanan zorluk düzeylerinin daha yüksek olması beklenen bir durumdur.

Bu örüntü, tasarım görevindeki kısıt düzeyi ve tanımlılık derecesinin öğrencilerin bilişsel çabalarını problem çerçeveleme ve problem çözme arasında nasıl dağıttığını etkilediğini gösteren tasarım bilişi araştırmalarıyla da örtüşmektedir. Ashrafganjouei ve Gero (2021), dışsal bir kısıtın devreye sokulmasının bilişsel yükü azaltabildiğini ve problem çerçeveleme ile çözüm üretme süreçlerini destekleyebildiğini göstermektedir. Bu açıdan, kafe ve sergi gibi daha tanımlı programların problem ve çözüm alanlarının yapılandırılmasına ilişkin daha açık ipuçları sunarak algılanan zorluğu düşürdüğü; dinlenme ve meditasyon gibi daha

açık uçlu programların ise sınırlı zaman koşulları altında daha fazla yorumlayıcı çaba gerektirdiği değerlendirilebilir.

Genel olarak bulgular, farklı işlev programlarına sahip mimari tasarım görevlerinin doğrusal bir zorluk ölçeği oluşturmadığını; bunun yerine belirli zorluk bantları içinde kümelendiğini göstermektedir. Elde edilen zorluk ağırlıklarına dayanarak, kafe ve sergi işlevleri düşük zorluk düzeyine sahip karşılaştırılabilir görevler; meditasyon ve dinlenme alanı işlevleri yüksek zorluk düzeyine sahip karşılaştırılabilir görevler; yaban hayatı gözlem noktası ise orta zorluk düzeyine sahip görev olarak tanımlanmıştır. Bu sınıflandırma, sonraki deneysel aşamalarda katı bir görev eşdeğerliği varsayımı yerine, algılanan zorluk düzeyi bakımından karşılaştırılabilir tasarım görevlerinin seçilmesine yönelik ampirik bir temel sunmaktadır.

Bununla birlikte, bu değerlendirmenin bazı kısıtlılıkları bulunmaktadır. Algılanan görev zorluğu tek bir kurumsal ve müfredatsal bağlam içinde değerlendirilmiştir. Bu nedenle elde edilen bulgular, katılımcıların eğitimsel arka planına ve daha önce karşılaştıkları tasarım problemlerine özgü özellikler taşıyabilir. Ayrıca algılanan görev zorluğu, tasarım görevinin tamamlanmasının ardından ve sınav bağlamında ölçülmüştür. Sınav yorgunluğu, zaman baskısı ve duygusal durumlar katılımcıların geriye dönük değerlendirmelerini etkilemiş olabilir. Bu nedenle elde edilen zorluk bantları, görevlerin mutlak zorluk düzeylerinden çok, bu araştırma bağlamında algılanan göreli zorluk düzeyleri olarak değerlendirilmelidir.

3.1.3 Mimari Tasarım Görevlerini Belirlemenin Deney Tasarımına Yansımaları

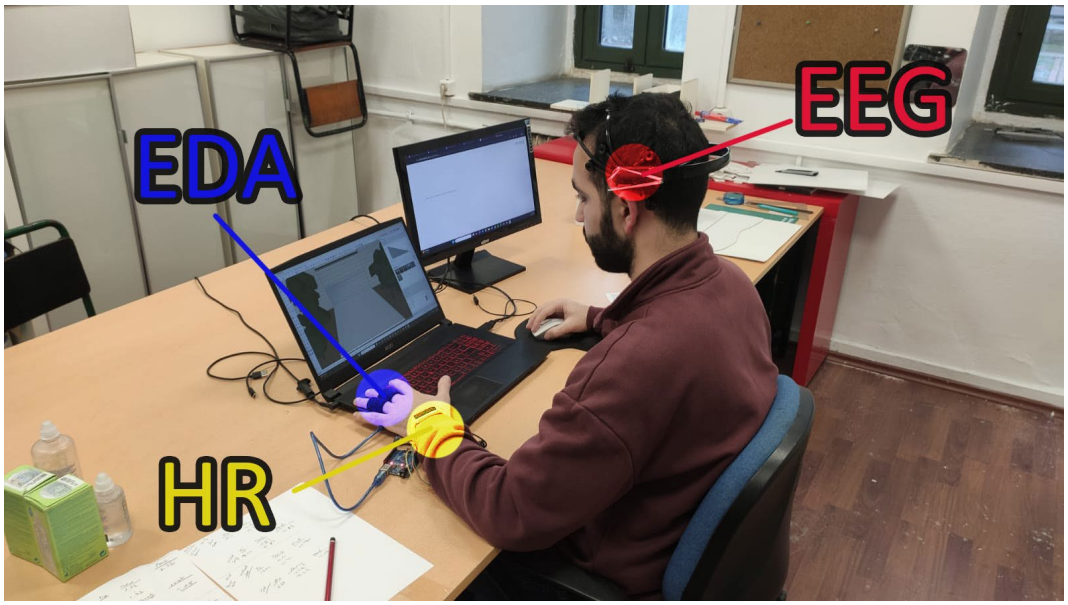
Bu bölümde sunulan analiz, mimari tasarım eğitimi bağlamındaki deneysel çalışmalarda karşılaşılan önemli bir yöntemsel soruna odaklanmaktadır. Deneysel koşullar arasında öğrenme etkilerini azaltmak amacıyla farklı tasarım görevlerinin kullanılması yaygın bir yaklaşım olmakla birlikte, bu durumda görevlerin algılanan zorluk düzeylerinin karşılaştırılabilirliğinin korunması kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu doğrultuda, alternatif tasarım problemleri arasında doğrudan eşdeğerlik varsaymak yerine, görev zorluğunun katılımcı temelli değerlendirmeler aracılığıyla ampirik olarak incelenmesi tercih edilmiştir.

AHP anketi aracılığıyla elde edilen bulgular, farklı işlev programlarına sahip tasarım görevlerinin birebir eşdeğer zorluk düzeyleri sergilemediğini, bunun yerine belirli zorluk bantları içinde kümelendiğini göstermektedir. Özellikle, programatik gereksinimleri daha açık tanımlanmış ve mimarlık eğitiminde daha aşina olan işlevlerin daha düşük algılanan zorluk düzeyleriyle ilişkili olduğu; buna karşılık daha açık uçlu ve deneyimsel yorum gerektiren işlevlerin daha yüksek algılanan zorluk düzeyleriyle ilişkilendirildiği görülmüştür. Bu durum, deneysel tasarım kurgulanırken işlevsel aşinalık ve yorumlama serbestliğinin bilişsel yük üzerinde belirleyici olabileceğine işaret etmektedir.

Elde edilen bu bulgular, deneysel görevlerin seçimi ve yapılandırılması sürecine doğrudan girdi sağlamıştır. Bu kapsamda, tezin devamında tasarım ortamı etkisini incelemek için, benzer zorluk düzeyinde olduğu belirlenen sergi ve kafe tasarımı görevleri kullanılmıştır. Buna karşılık, görev zorluğu etkisinin incelmek için, kolay görev koşulu için yine sergi ve kafe işlevleri tercih edilirken, zor görev koşulu için daha yüksek algılanan zorluk düzeyine sahip olan dinlenme ve meditasyon alanı tasarımı görevleri kullanılmıştır.

3.2 Ölçüm Teknikleri ve Veri Ön İşleme Süreci

Bu bölümde, tez kapsamında geliştirilen deneysel metodolojide kullanılan ölçüm araçları ve fizyolojik veri ön işleme yaklaşımı açıklanmaktadır. Çalışmada bilişsel yükün çok boyutlu olarak değerlendirilebilmesi amacıyla öz-bildirim, fizyolojik ve performans temelli göstergeler birlikte kullanılmıştır. Öz-bildirim verileri NASA-RTLX, CLS ve MCLSVE ölçekleri aracılığıyla elde edilmiştir. Fizyolojik ölçümler kapsamında EEG, EDA ve HR verileri kaydedilmiş; performans ise tasarım başarısı ve zihinsel verimlilik göstergeleri üzerinden değerlendirilmiştir. Deney sürecinde kullanılan cihazlar ve ölçüm biçimi Şekil 3.3'ta gösterilmiştir. Her görev oturumunda üç ayrı döneme (görev öncesi dinlenme, görev süresi, görev sonrası toparlanma) ait EEG, EDA ve kalp atım hızı verileri toplanmıştır. Bireyler arası farklılıkları kontrol altına almak amacıyla tüm fizyolojik veriler, görev öncesi ortalama referans alınarak log-ratio ile normalize edilmiştir.



Şekil 3.3: Deney sürecinde kullanılan ekipmanlar

EEG ve HR ölçümlerinde hazır veri toplama sistemleri kullanılmıştır. EDA ölçümü ise Arduino tabanlı Grove GSR sensörüyle gerçekleştirildiği için, deneysel çalışma öncesinde ayrıca geçerlik ve kullanılabilirlik açısından sınanmıştır. Bu nedenle EDA ölçüm sistemi bu bölümde kullanılan ölçüm aracı olarak tanıtılmış; ayrıntılı deneysel kurgu, analiz ve değerlendirme ise bağımsız bir çalışma olarak Bölüm 3.3'te sunulmuştur.

Tablo 3.3: Fizyolojik verilerin ön işleme adımları ve dayanak kaynakları

Veri türü	Ön işleme adımı	Amaç	Dayanak kaynaklar
EEG	Ham EEG verisinin kanallara ayrılması ve analiz için düzenlenmesi	EEG sinyalinin kanal temelli analiz edilebilir hale getirilmesi	(Kalantari et al., 2023)
EEG	Frekans bantlarının hesaplanması	Theta, alpha ve beta bant güçlerinin bilişsel yük göstergeleri olarak incelenmesi	(Chae et al., 2021; Kalantari et al., 2023; Li et al., 2020)

Tablo 3.4: Fizyolojik verilerin ön işleme adımları ve dayanak kaynakları (devamı)

EEG	Başlangıç ölçümüne göre normalizasyon	Katılımcılar arası başlangıç düzeyi farklılıklarının azaltılması	(Chae et al., 2021; Hu et al., 2021)
EDA	Gürültü ve ani sinyal dalgalanmalarının kontrolü	Hareket, temas ve sensör kaynaklı artefaktların etkisinin azaltılması	(Benedek & Kaernbach, 2010; Boucsein, 2012)
EDA	Tonik ve fazik bileşenlerin ayrıştırılması	SCL ve SCR göstergelerinin ayrı ayrı analiz edilmesi	(Geršak, 2020)
EDA	Başlangıç ölçümüne göre normalizasyon	Katılımcılar arası deri iletkenliği başlangıç düzeyi farklılıklarının azaltılması	(Chae et al., 2021; Er, Heyik, Tastan, et al., 2026)
HR	Başlangıç ölçümüne göre normalizasyon	Katılımcılar arası başlangıç kalp atım hızı farklılıklarının azaltılması	(Du ve diğ. 2020)

Fizyolojik verilerin analizinden önce, her veri türünün sinyal özelliklerine uygun ön işleme adımları uygulanmıştır. Bu adımlar; ham verideki gürültü ve artefaktların azaltılması, katılımcılar arası başlangıç düzeyi farklılıklarının kontrol edilmesi ve EEG, EDA ve HR göstergelerinin ortak bir değişim metriği üzerinden karşılaştırılabilir hale getirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ön işleme sürecinde kullanılan temel adımlar ve dayanak kaynaklar Tablo 3.3'te sunulmaktadır.

3.2.1 Öz-Bildirim Ölçekleri

Her tasarım oturumu sonrasında katılımcılardan, bilişsel yük ve iş yükünü değerlendirmeye yönelik Ek B'de listelenen üç farklı öz-bildirim ölçeğini doldurmaları istenmiştir.

- **MCLSVE ölçeği:** Bilişsel yükün bileşenlerini (içsel, dışsal, şemaya yönelik) ölçmek amacıyla Andersen ve Makransky 2021b) tarafından geliştirilen ölçeğin, Yıldız ve Özkök (2025) tarafından Türkçeye uyarlanmış versiyonu kullanılmıştır.
- **CLS ölçeği:** Zihinsel yük ve çaba düzeyleri, (Hwang ve diğ., 2013) tarafından geliştirilen ve Demir ve diğ. (2024) tarafından Türkçeye uyarlanan ölçüm formu ile değerlendirilmiştir.
- **NASA-RTLX:** Genel iş yükü değerlendirmesi için yaygın olarak kullanılan (Naismith ve diğ., 2015; Suryani ve diğ., 2024) NASA-RTLX ölçeğinin Türkçeleştirilmiş versiyonu uygulanmıştır.

Kullanılan öz-bildirim ölçeklerinden NASA-RTLX her ne kadar iş yükü ölçeği olarak geliştirilmiş olsa da, bilişsel yük araştırmalarında yaygın olarak kullanılması (Bölüm 2.4.2.3) ve bilişsel yük ile güçlü ilişkilerinin olması (Devos ve diğ., 2020) nedeniyle bu çalışmaya dâhil edilmiştir.

3.2.2 EEG Ölçüm Sistemi

EEG ölçümleri, Emotiv EPOC X cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. EEG verileri EmotivPRO yazılımı aracılığıyla kaydedilmiş ve dışa aktarılmıştır. Dışa aktarılan ham EEG verileri daha sonra MATLAB ortamında işlenmiştir. Ön işleme aşamasında öncelikle sinyaller 1–40 Hz frekans aralığında filtrelenmiş, böylece çok düşük frekanslı sürüklenmeler ile yüksek frekanslı gürültü bileşenlerinin etkisi azaltılmıştır. Ardından geçici ve yüksek genlikli artefaktların etkisini azaltmak amacıyla ASR algoritması uygulanmıştır. Göz kırpması, göz hareketi ve kas aktivitesinden kaynaklanabilecek artefaktların ayrıştırılması için ise ICA uygulanmış ve bileşenlerin sınıflandırılmasında ICLabel kullanılmıştır. Bu süreç sonunda, EEG sinyalleri bilişsel yük göstergelerinin hesaplanmasına uygun hale getirilmiştir.

Pilot çalışma aşamasında EEG temelli bilişsel yük değerlendirmesi, literatürde yaygın biçimde kullanılan oran temelli göstergeler üzerinden yapılmıştır. Bu

kapsamda frontal theta / frontal alpha, frontal theta / parietal alpha ve global theta / global alpha olmak üzere üç farklı theta/alpha oranı hesaplanmıştır. Bölgesel oranların hesaplanmasında frontal bölgeyi temsil etmek üzere F7, F3, F4 ve F8 kanalları; parietal bölgeyi temsil etmek üzere ise P7 ve P8 kanalları kullanılmıştır. Global oranların hesaplanmasında ise tüm EEG kanallarından elde edilen bant gücü değerleri birlikte değerlendirilmiştir. Her bir EEG göstergesi, görev öncesi başlangıç ölçümü referans alınarak log-ratio dönüşümü ile normalize edilmiştir. Böylece katılımcılar arası başlangıç düzeyi farklılıklarının azaltılması ve görev süresindeki değişimin göreli olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Pilot çalışma bulgularında, yalnızca theta/alpha oranlarına dayalı EEG göstergelerinin tasarım ortamları arasındaki farklılıkları açıklamada yeterince ayırt edici sonuçlar üretmediği görülmüştür. Bu nedenle deneysel çalışma için EEG analiz çerçevesi genişletilmiştir. Deneysel çalışmada oran temelli göstergelerin yanı sıra theta, alpha ve beta bant güçleri tekil göstergeler olarak da analiz kapsamına alınmıştır. Ayrıca global theta/alpha, global beta/alpha, frontal theta/alpha, frontal beta/alpha ve frontal theta/parietal alpha oranları hesaplanmıştır. Bu genişletilmiş gösterge setiyle EEG verisinin bilişsel yük, dikkat, çalışma belleği ve bilişsel odaklanma süreçleriyle ilişkili farklı örüntüleri daha kapsamlı biçimde yansıtıp yansıtmadığının incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu doğrultuda pilot çalışma, EEG ölçüm sürecinin uygulanabilirliğini test etmenin yanı sıra, deneysel çalışmada kullanılacak EEG analiz kapsamının yeniden yapılandırılmasına da katkı sağlamıştır. Başlangıçta yalnızca theta/alpha oranları üzerinden yürütülen analiz yaklaşımı, pilot bulgular doğrultusunda tekil bant gücü değerlerini ve beta temelli oran göstergelerini de içerecek şekilde genişletilmiştir.

3.2.3 EDA Ölçüm Sistemi

EDA ölçümleri, Arduino tabanlı Grove GSR sensörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sensörden elde edilen veriler ham GSR birimi olarak kaydedilmiştir. Ham GSR sinyali, analiz öncesinde psikofizyolojik veri işleme yaklaşımlarına uygun olarak öncelikle görsel incelemeye tabi tutulmuştur (Geršak, 2020). Bu aşamada ölçüm kaynaklı olası artefaktlar, ani sıçramalar, sensör-temas kaynaklı bozulmalar ve yavaş zaman trendleri değerlendirilmiştir. Gerekli görülen kayıtlarda, zaman içinde ortaya çıkan yavaş sürüklenme etkilerini azaltmak amacıyla sağlam eğilim giderme (robust detrending) uygulanmıştır. Ardından

yüksek frekanslı gürültünün etkisini azaltmak için sinyal 1 saniyelik hareketli ortalama yöntemiyle yumuşatılmıştır.

EDA verileri tonik ve fazik bileşenler üzerinden değerlendirilmiştir. Tonik bileşen, deri iletkenliği düzeyi (SCL) göstergesi olarak ele alınmıştır. SCL değerleri, temizlenmiş GSR sinyali üzerinden her deneysel dönem için %5 kırpılmış ortalama alınarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, dönem içindeki uç değerlerin ortalama üzerindeki etkisini azaltmak ve ilgili dönemi daha kararlı bir merkezi eğilim değeriyle temsil etmek amacıyla kullanılmıştır.

Katılımcılar arası fizyolojik başlangıç düzeyi farklılıklarını azaltmak ve görev süresindeki değişimi göreli olarak değerlendirmek amacıyla SCL değerleri, görev öncesi dinlenme dönemi referans alınarak log-ratio dönüşümü ile normalize edilmiştir. Bu kapsamda her katılımcı için görev, görev sonrası toparlanma ve ilgili karşılaştırma dönemlerine ait SCL değerleri, aynı katılımcının görev öncesi dinlenme dönemindeki SCL değeriyle oranlanmış ve bu oranın logaritması alınmıştır. Ham GSR sinyali ile deri iletkenliği düzeyi ters yönlü ilişki gösterdiğinden, log-ratio dönüşümü sonrasında elde edilen değerlerin işareti yorum kolaylığı sağlamak amacıyla ters çevrilmiştir. Böylece raporlanan yüksek SCL değerleri daha yüksek fizyolojik uyarılma düzeyini temsil edecek şekilde düzenlenmiştir.

Fazik bileşen ise deri iletkenliği tepkileri (SCR) üzerinden değerlendirilmiştir. SCR tespiti için temizlenmiş EDA sinyaline 0.05 Hz yüksek geçiren filtre uygulanmış ve fazik değişimler bu filtrelenmiş sinyal üzerinden belirlenmiştir. SCR olayları, adaptif eşikleme yöntemi kullanılarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda eşik değeri, sinyalin medyan değeri ile medyan mutlak sapmanın üç katının toplamı olarak belirlenmiştir (median + 3 × MAD). Birbirine çok yakın dalgalanmaların ayrı SCR olayları olarak sınıflandırılmasını önlemek amacıyla minimum 9 saniyelik zaman penceresi kullanılmıştır.

SCR göstergeleri, deneysel dönemler için dakika başına SCR sayısı ve ortalama SCR genliği olarak hesaplanmıştır. Dakika başına SCR sayısı, ilgili dönemde gözlenen fazik tepkilerin frekansını; ortalama SCR genliği ise bu tepkilerin büyüklüğünü temsil etmektedir. SCR genliği, sinyal yönünden bağımsız olacak biçimde her bir tepkinin mutlak tepe-başlangıç farkı olarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, ham GSR sinyalinin yönsel özelliklerinden kaynaklanabilecek yorum

farklılıklarını azaltmak ve SCR büyüklüğünü fizyolojik tepki şiddeti olarak değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.

3.2.4 HR Ölçüm Sistemi

HR verileri, katılımcıların bileğine takılan Huawei KIM-B19 Band 9 aracılığıyla kaydedilmiştir. Ölçümler, Pulsoid uygulaması üzerinden bilgisayara aktarılmış; her görev dönemine ait dakikadaki ortalama kalp atış sayısı değerleri elde edilmiştir. HR verileri, katılımcılar arası başlangıç düzeyi farklılıklarını azaltmak amacıyla görev öncesi dinlenme dönemi ortalaması referans alınarak log-ratio dönüşümü ile normalize edilmiştir. Bu kapsamda her bir görev dakikasına ait HR değeri, aynı katılımcının görev öncesi dinlenme dönemindeki ortalama HR değeriyle oranlanmış ve bu oranın logaritması alınmıştır. Analizlerde bu normalize edilmiş HR değerleri kullanılmıştır.

3.2.5 Performans Ölçümü

Tasarım performansı, tasarım başarısı puanı ve zihinsel verimlilik skoru olmak üzere iki gösterge üzerinden değerlendirilmiştir. Tasarım başarısının değerlendirilmesinde, görev tanımı sırasında katılımcılara sunulan ve mekânsal organizasyon ile işlevsel bütünlüğe odaklanan sekiz değerlendirme kriteri esas alınmıştır (Tablo 3.4). Her bir kriter için ikili (var/yok) puanlama yapılmış; karşılanan her kriter için 1 puan verilmiştir. Bu doğrultuda katılımcıların her görevden alabileceği toplam tasarım başarı puanı 8 üzerinden hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, değerlendirme sürecinde öznel derecelendirmeyi azaltmayı ve görevler arası karşılaştırılabilirliği artırmayı amaçlamaktadır.

Tablo 3.5: Tasarım çıktılarının değerlendirme kriterleri

NO	DEĞERLENDİRME KRİTERİ
1	Galeri boşluğunun tanımlanmış olması
2	Açık alan kurgusunun oluşturulmuş olması
3	Yarı açık alan kurgusunun oluşturulmuş olması
4	Kapalı alan kurgusunun oluşturulmuş olması
5	Zorunlu tefriş elemanlarının tamamının işlevsel biçimde kullanılmış olması

Tablo 3.6: Tasarım çıktılarının değerlendirme kriterleri (deavmı)

6	A–B noktaları arasında süreklilik sağlayan bir dolaşımın kurulmuş olması
7	Plan çözümünün işlevsel olarak çalışıyor olması
8	Tasarımın verilen süre içerisinde tamamlanmış olması

Performans temelli değerlendirme kapsamında, tasarım başarısı puanına ek olarak Paas ve diğ. (2003) tarafından önerilen zihinsel verimlilik göstergesi hesaplanmıştır. Şekil 2.6'da görselleştirilen bu gösterge, performans ve algılanan çaba arasındaki ilişkiyi birlikte değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. Zihinsel verimlilik skoru aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$E = \frac{z_{\text{performans}} - z_{\text{çaba}}}{\sqrt{2}}$$

Bu hesaplamada performans değişkeni olarak tasarım başarısı puanı, çaba değişkeni olarak ise NASA-RTLX ölçeğinin "çaba" alt boyutuna verilen yanıtlar kullanılmıştır. Performans puanları ve çaba puanları z-skorlarına dönüştürüldükten sonra zihinsel verimlilik skoru hesaplanmıştır. Buna göre daha yüksek zihinsel verimlilik değeri, daha yüksek performansın daha düşük algılanan çabayla birlikte gerçekleştiği durumları ifade etmektedir.

3.3 EDA Ölçüm Sisteminin Geçerlik Testi

BYT (Sweller ve diğ., 2019; Sweller ve Levine, 1982), çalışma belleğinin sınırlı kapasitesi nedeniyle bireyin aynı anda işleyebileceği bilgi miktarının kısıtlı olduğunu öne sürmektedir. Bu kurama göre görev talepleri arttığında ve bireyin bilişsel kaynakları bu talepleri karşılamakta zorlandığında performans düşüşü ortaya çıkabilmektedir. Özellikle yüksek çevresel talep, zaman baskısı ve değerlendirme stresi gibi faktörler, görevle doğrudan ilişkili olmayan ek talepler oluşturarak zihinsel kaynak kullanımını etkileyebilmektedir. Bu tür baskılar, bilişsel yükün özellikle dışsal yük bileşenini artırma potansiyeline sahiptir.

Yüksek talep düzeyi yalnızca bilişsel düzeyde değil, fizyolojik düzeyde de karşılık bulmaktadır. Performans baskısı altında birey, çevresel talepleri karşılayamayacağına ilişkin bir değerlendirme geliştirdiğinde stres yanıtı ortaya çıkmaktadır (Gümüşburun Ayalp ve Çivici, 2021; Lazarus ve Folkman, 1984;

Parker ve diğ., 2015). Eğitim ortamlarında bu durum; değerlendirme süreçleri, zaman kısıtı ve artan iş yükü gibi faktörlerle tetiklenebilmektedir (Banks ve Smyth, 2015; Macaskill, 2013; Struthers ve diğ., 2000). Uzun süreli ve yoğun stresin akademik performansı olumsuz etkilediği (Akgun ve Ciarrochi, 2003; Banks ve Smyth, 2015) ve öğrencilerin psikolojik iyi oluşunu zayıflattığı bilinmektedir (Bayram ve Bilgel, 2008).

Literatürdeki stres araştırmalarında hem öznel hem de nesnel teknikler kullanılmaktadır. Öznel ölçümler genellikle anket ve görüşmelere dayanmaktadır (Djebarni, 1996; Leung ve diğ., 2009; Love ve diğ., 2010; Mercer, 2023). Nesnel ölçümler ise EDA, EEG, göz hareketleri ve kalp atım ölçümleri gibi fizyolojik temelli teknikleri içermektedir (Blechert ve diğ., 2006; Fox ve diğ., 2007; Khosrowabadi ve diğ., 2011; Lackner ve diğ., 2011). Bu yöntemler arasında EDA, sempatik sinir sistemi aktivasyonuna doğrudan bağlı olması nedeniyle fizyolojik uyarılmışlığın duyarlı bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Barreto ve diğ., 2007b; Boucsein, 2012; Lin ve diğ., 2011; Setz ve diğ., 2009). Cilt iletkenlik düzeyindeki (SCL) ve kısa süreli cilt iletkenlik tepkilerindeki (SCR) artışlar, stres ve duygusal uyarılmışlık durumlarında anlamlı değişimler göstermektedir (Chae ve diğ., 2021; Civitello ve diğ., 2014b).

Stres, yalnızca duygusal bir deneyim değil, aynı zamanda sempatik sinir sistemi aktivasyonu ile karakterize edilen fizyolojik bir uyarılmışlık durumudur. Literatürde yüksek stres düzeylerinin zihinsel talepleri artırabileceği ve görev performansını azaltabileceği belirtilmektedir (Sweller ve diğ., 2019). Dolayısıyla fizyolojik uyarılmışlık ile bilişsel yük arasında potansiyel bir etkileşim bulunmaktadır. Bu etkileşimin sağlıklı biçimde incelenebilmesi için, bilişsel yük araştırmalarında kullanılacak fizyolojik ölçüm araçlarının yüksek uyarılmışlık koşullarında güvenilir biçimde çalıştığının gösterilmesi metodolojik açıdan kritik öneme sahiptir.

Mimarlık eğitimi, uzun çalışma süreleri, karmaşık tasarım problemleri ve sürekli eleştiri–revizyon döngüsü nedeniyle yüksek talep düzeyine sahip bir eğitim ortamıdır. Özellikle mimari tasarım jüri oturumları, öğrencilerin projelerini diğer öğrencilere açık biçimde savundukları, farklı uzmanlık alanlarından gelen jüri üyeleri tarafından değerlendirildikleri ve performanslarının doğrudan değerlendirildiği süreçlerdir. Jüri ortamında çelişkili geri bildirimler, öznel

değerlendirme yapısı ve kamusal sunum baskısı öğrencilerin stres düzeyini artırabilmektedir (Mills ve Fullagar, 2008; Olweny, 2020; Ostwald ve Williams, 2008). Bu nedenle jüri süreci, fizyolojik uyarılmışlığın artmasının beklendiği doğal bir performans bağlamı sunmaktadır.

Bu tez çalışmasında bilişsel yük ölçümlerinde kullanılacak fizyolojik veri toplama altyapısının güvenilirliğini sınamak amacıyla deneyler öncesinde bir EDA ön deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın doğrudan amacı jüri sürecindeki pedagojik dinamikleri analiz etmek değil; fizyolojik ölçüm sisteminin yüksek uyarılmışlık koşullarında sinyal üretme kapasitesini ve saha koşullarında uygulanabilirliğini test etmektir. Mimari tasarım jürileri, yüksek performans baskısı nedeniyle fizyolojik aktivasyonun artmasının beklendiği bir bağlam olduğundan, EDA sinyalinin duyarlılığını değerlendirmek için uygun bir ortam olarak seçilmiştir.

Bu kapsamda hem nesnel (EDA) hem de öznel veriler toplanmıştır. Jüri oturumlarına ait ses kayıtları üzerinden yürütülen içerik analizi ve AHP temelli anket verileri ile stresin olası kaynakları incelenmiştir. Ancak tez bağlamında bu bölümün odağı, stresin pedagojik yorumundan ziyade, EDA verisinin ölçülebilirliği ve ayırt ediciliğidir. Araştırma soruları jüri sürecinde deneyim düzeyi, performans ve iletişim örüntüleri ile stres arasındaki ilişkileri sorgulamakla birlikte, ön deneyin temel değerlendirme ölçütü EDA'nın kullanılabilirliğidir. Bu sorular Tablo 3.5'te listelenmiştir.

Tablo 3.7: Kullanılabilirlik bölümünün araştırma soruları

AS0	Mimari tasarım jüri sürecinde EDA ölçümü, fizyolojik uyarılmışlığı güvenilir ve ayırt edici biçimde tespit edebilir mi?
AS1	Jüri sürecinde deneyimli ve deneyimsiz öğrencilerin fizyolojik uyarılmışlık düzeyleri arasında anlamlı farklılıklar gözlenmekte midir?
AS2	Öğrencilerin deneyim düzeyi ve jüri performansı ile fizyolojik uyarılmışlık düzeyleri arasında nasıl bir ilişki bulunmaktadır?
AS3	Jüri sırasında gerçekleşen farklı iletişim örüntüleri (tek yönlü eleştiri, karşılıklı diyalog, sunum anları) fizyolojik uyarılmışlık düzeyinde farklılaşmaya yol açmakta mıdır?

Tablo 3.8: Kullanılabilirlik bölümünün araştırma soruları (devamı)

AS4	Öğrenciler tarafından öznel olarak bildirilen stres faktörleri (AHP sonuçları) ile ölçülen fizyolojik uyarılmışlık arasında nasıl bir örtüşme bulunmaktadır?

Bu ön hazırlık çalışması, ilerleyen bölümlerde gerçekleştirilecek deneylerde kullanılacak fizyolojik ölçüm sisteminin metodolojik olarak doğrulanmasını amaçlamaktadır. Böylece yüksek uyarılmışlık durumlarında elde edilen EDA verisinin güvenilirliği test edilmiş, saha koşullarında veri toplama sürecine ilişkin teknik ve analitik sınırlılıklar belirlenmiştir.

3.3.1 Ölçüm Sistemi ve Deneysel Kurgu

3.3.1.1 Katılımcılar

Çalışmanın ilk aşamasına 26 mimarlık öğrencisi gönüllü olarak katılmıştır. Kayıt sürecinde yaşanan teknik sorunlar nedeniyle 8 öğrencinin verisi analiz dışı bırakılmış ve toplam 18 öğrencinin verisi değerlendirilmiştir. Bu öğrencilerin 11'i (10 kadın, 1 erkek) birinci sınıf, 7'si (5 kadın, 2 erkek) son sınıf öğrencisidir.

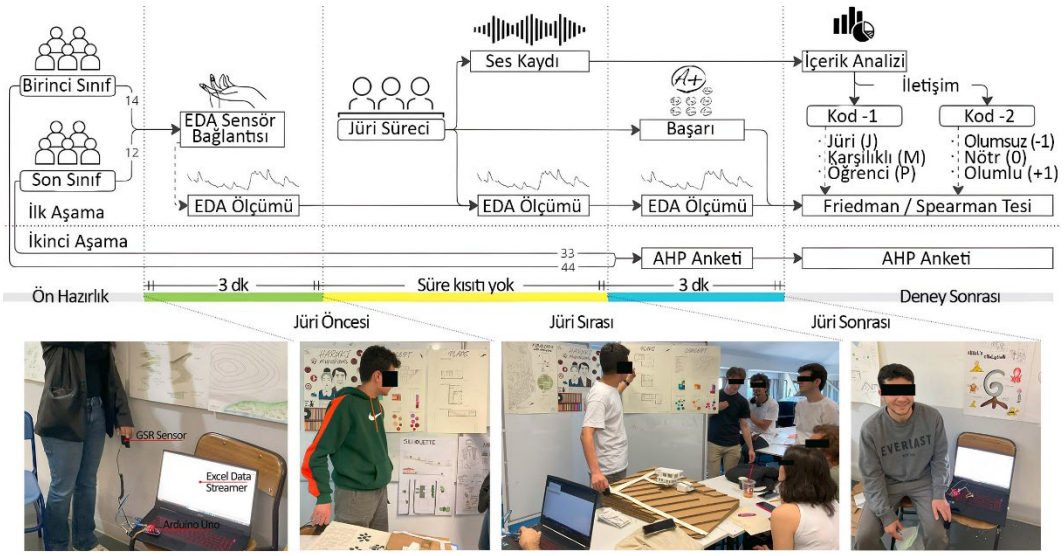
Çalışmanın ikinci aşamasında gerçekleştirilen AHP anketine 44 son sınıf ve 33 birinci sınıf öğrencisi katılmıştır. Katılımcıların ikili karşılaştırmalarının tutarlılığı değerlendirilmiş ve tutarlılık oranı (CR) eşik değerin üzerinde olan yanıtlar analiz dışı bırakılmıştır. Bu kontrol sonrasında 12 son sınıf (8 kadın, 4 erkek) ve 12 birinci sınıf (9 kadın, 3 erkek) öğrencinin verisi nihai analizde kullanılmıştır.

3.3.1.2 Deney Protokolü

Bu çalışmada tüm katılımcılardan bilgilendirilmiş onam alınmış ve jüri oturumları sırasında ortaya çıkan stres faktörlerini incelemek amacıyla iki aşamalı bir araştırma tasarımı (Şekil 3.4) uygulanmıştır. İlk aşamada, birinci sınıf *(novice)* ve son sınıf *(senior)* mimarlık öğrencilerinin mimari tasarım jüri süreci ve performansları karşılaştırılmıştır. Bu aşamada üç tür veri toplanmıştır: EDA verileri, jüri oturumlarının ses kayıtları ve katılımcıların jüri notları.

Deney süreci üç bölümden oluşmaktadır: EDA temel düzeyinin belirlenmesi amacıyla 3 dakikalık jüri öncesi ölçüm, ortalama 15 dakika süren jüri süreci ve 3 dakikalık jüri sonrası ölçüm. EDA sensörleri öğrencilerin fizyolojik tepkilerini

sürekli olarak kaydederken, jüri diyalogları doğal akışın korunması amacıyla zaman sınırlaması olmaksızın ses kaydına alınmıştır.



Şekil 3.4: Arduino tabanlı EDA ölçüm düzeneği ve kayıt koşulları.

İkinci aşamada, jüri sürecinin hemen ardından öğrencilere AHP temelli bir anket uygulanmıştır. Bu ankette öğrencilerden, jüri sırasında stres düzeylerini etkilediğini düşündükleri beş olası faktörü önem derecesine göre sıralamaları istenmiştir. Birinci sınıf öğrencileri küçük ölçekli karma kullanımlı bir yapı tasarlarken, son sınıf öğrencileri tarihsel bağlamda daha büyük ölçekli kamusal yapı projeleri üzerinde çalışmıştır. Her iki grup, üç öğretim elemanından oluşan ve üyelerinden biri öğrencinin tasarım sürecine aşina olan bir jüri önünde sunum gerçekleştirmiştir.

3.3.1.3 Ölçüm Teknikleri

- ***EDA ölçümü*** için düşük maliyetli, Arduino tabanlı Grove GSR Sensor V1.2 (nikel elektrotlu) kullanılmıştır. Elektrodermal sinyal 20 Hz örnekleme frekansı ve 5V giriş gerilimi ile kaydedilmiştir. Galvanik Deri Tepkisi (GSR – *Galvanic Skin Response*) amplifikatörü Arduino kartı aracılığıyla kontrol edilmiştir.

EDA verileri hem dışsal hem de içsel artefaktlar içermektedir. Dışsal artefaktlar; güç hattı paraziti, kas kasılmaları (hareket), kalp aktivitesi gibi sinyalde sürüklenmelere neden olan gürültü kaynaklarını içermektedir. Bu tür gürültülerin analiz öncesinde sinyalden uzaklaştırılması gerekmektedir. Dışsal artefaktların frekans aralığı EDA sinyalinden farklı olduğu için yüksek ve düşük geçiren filtreler

aracılığıyla bu gürültüler giderilebilmektedir (Chae ve diğ., 2021; Nourbakhsh ve diğ., 2012).

Bu çalışmada katılımcıların büyük ölçüde sabit oturmaları ve hareketin sınırlı olması nedeniyle ham EDA sinyaline MATLAB ortamında 0.0167 Hz kesim frekanslı düşük geçiren filtre uygulanmıştır. Böylece dışsal gürültünün büyük kısmı giderilmiştir.

GSR değerleri bireyler arasında önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle elde edilen iletkenlik değerleri kişi bazında standartlaştırılmış (z-dönüşümü uygulanmış)tır. Pozitif z-skoru değerin bireysel ortalamanın üzerinde olduğunu, negatif z-skoru ise ortalamanın altında olduğunu göstermektedir. Bu standardizasyon işlemi, bireyler arası temel düzey farklılıklarını normalize ederek karşılaştırmalı analizlerin daha sağlıklı yapılmasını sağlamaktadır.

- ***İçerik analizi*** için öğrenci ile jüri üyeleri arasındaki iletişimi sınıflandırmak amacıyla iki boyutlu bir kodlama şeması kullanılmıştır (Tablo 3.6). İlk sınıflandırma, diyaloğun yönünü belirlemeyi amaçlamaktadır. "P" kodu yalnızca öğrencinin konuştuğu bölümleri, "J" kodu yalnızca jüri üyelerinin konuştuğu ve tek yönlü eleştiri veya yorum içeren bölümleri, "M" kodu ise soru-cevap biçiminde karşılıklı ilerleyen iletişim anlarını ifade etmektedir.

Tablo 3.9: İçerik analizi için kullanılan kodlama şeması ve örnekleri

Kod	**Örnek Diyaloglar**		
***(M)* Karşılıklı İletişim**	– Bu müzisyenin piyanosu yok mu? * Evet, var hocam. – Peki nerede? * Muhtemelen buraya yerleştirilecek. – Böyle küçük, mezar gibi bir odaya piyano sığar mı? ***(ID 16, 0.50-1.10)***	– Buradan çıkış yapabiliyor muyuz? * Evet, alt katta bir avlu var. Binaya avludan da girilebiliyor. – Avluda ne var? ***(ID6, 2.00-2.20)***	– Burada bir kafe yok mu? * Kafe bu tarafta. – Burası çok güzel, bir vaha gibi. Keşfetmek isterdim. – Zemin katta ne var? * O alanı spa olarak ayırdım. – Aslında burası güzel bir kafe de olabilir. ***(ID 21, 2.45-3.15)***
***(J)* Yalnız Jüri**	– Ölçek hatası nedeniyle iç mekân çözümlerinin önemi kaybolmuş. – Ayrıca kesit olmadığı için yorum yapmamız uygun değil. ***(ID 4, 7.40-8.00)***	– Çatı sisteminin kabloları nerede? – Eğer varsa, yeterince sık mı? – Nasıl çalışıyorlar? – Bunların kesiti nerede? ***(ID 17, 6.20-7.00)***	– Buradaki lineerlik oldukça güzel. – Tepeleri temsil etmek için kullandığınız çizgisel anlatım başarılı. – Bu kadar detaylı paftalar görmekten memnunuz; teşekkür ederiz. ***(ID 9, 7,50-8.00)***

Tablo 3.10: İçerik analizi için kullanılan kodlama şeması ve örnekleri (devamı)

***(P)* Yalnız Öğrenci**	* İç mekânı düzenlemek son derece zordu. * Çok fazla ölü alan oluştu ve planları çözmekte zorlandım. ***(ID 8, 8.15-8.25)***	* Manzaradan yararlanmak için salonu bu tarafa yerleştirdim. * Kadın için küçük, karanlık bir oda tasarladım; burası bir stüdyo olarak kullanılacak. ***(ID 12, 2.12-2.30)***	- -
Kod1 . Kod2	***(-1)* Olumsuz Etki**	***(0)* Nötr Etki**	***(1) Olumlu Etki***

İkinci sınıflandırma, iletişimin etkisini açıklamaktadır. "-1" kodu jüri eleştirilerinin olumsuz içerikli olduğu veya öğrencinin zorluk ifade ettiği durumları, "0" kodu nötr açıklama ve bilgi alışverişi içeren bölümleri, "1" kodu ise jüri üyelerinin takdir veya olumlu geri bildirim içeren ifadelerini temsil etmektedir. Öğrencilerin tasarım sürecine ilişkin olumlu öznel ifadeleri için de "1" kodu öngörülmüş olmakla birlikte, kodlama sürecinde bu tür ifadelere rastlanmamıştır.

AHP anketinde kullanılan stres faktörleri, öğrenciler ve jüri üyeleri ile gerçekleştirilen ön görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Görüşmelerde mimari tasarım jüri sürecinde öne çıkan stres kaynakları tespit edilmiş ve beş temel faktör seçilmiştir. Bu faktörler içsel (kişisel) ve dışsal (çevresel) olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 3.7).

Tablo 3.11: AHP anketinde kullanılan stres faktörleri

	Stres Faktörleri	**İçsel /Dışsal**
1	Seyirci önünde sunum yapma Dışsal	Dışsal
2	Jüride farklı öğretim üyelerinin bulunması	Dışsal
3	Uykusuzluk ve yorgunluk	İçsel
4	Projeyi jüriye açıklayamama	İçsel
5	Düşük not alma ve başarısızlık korkusu	İçsel

Katılımcıların ikili karşılaştırmaları, (Cheng ve Li, 2002; Saaty, 1994) tarafından önerilen 0.10 CR eşiğine göre değerlendirilmiştir. CR değeri bu eşik değerin altında olduğunda sonuçlar tutarlı kabul edilmiş; üzerinde olduğunda ilgili matris analiz dışı bırakılmıştır.

3.3.1.4 Veri Analizi

EDA verileri filtreleme ve kişi bazlı z-dönüşümü sonrasında jüri öncesi, jüri süreci ve jüri sonrası dönemleri arasında karşılaştırılmıştır. Aynı katılımcıların üç zaman noktasındaki ölçümleri karşılaştırıldığı ve örneklem büyüklüğü sınırlı olduğu için parametrik olmayan Friedman testi kullanılmıştır. Anlamlı sonuç elde edilen durumlarda farklılığın hangi dönemler arasında gerçekleştiğini belirlemek amacıyla Nemenyi post-hoc karşılaştırmaları yapılmıştır.

Deneyim düzeyine göre (birinci sınıf ve son sınıf) analizler ayrı ayrı yürütülmüş; her iki grup için jüri öncesi, süreci ve sonrası fazları arasındaki stres farklılıkları değerlendirilmiştir. Ayrıca aykırı değer analizi sonucunda IQR eşiğinin altında kalan bir katılımcı (ID-6) analiz dışı bırakılmıştır.

İçerik analizi ile elde edilen iletişim kodları (jüri konuşması, karşılıklı konuşma, katılımcı konuşması) zaman damgaları aracılığıyla EDA verileriyle eşleştirilmiştir. Farklı iletişim yönlerine karşılık gelen ortalama z-skorları karşılaştırılmış ve yine tekrarlı ölçüm yapısı nedeniyle Friedman testi uygulanmıştır. Anlamlılık durumunda Nemenyi post-hoc analizleri gerçekleştirilmiştir. İletişimin etki yönü için de aynı prosedür izlenmiştir.

Jüri başarı notları ile fizyolojik stres düzeyleri arasındaki ilişki ise parametrik olmayan Spearman sıra korelasyon analizi ile incelenmiştir. Analizler jüri öncesi, süreci ve sonrası fazları için ayrı ayrı yürütülmüştür.

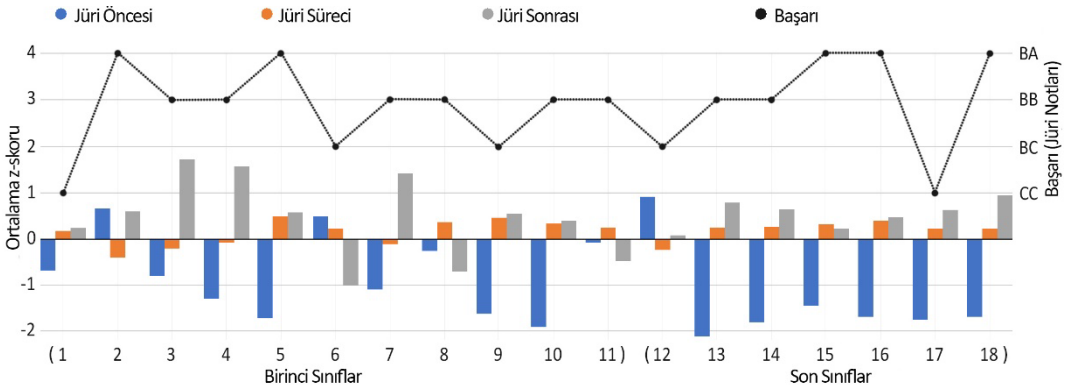
AHP anket sonuçları tutarlılık oranı ($CR \leq 0.10$) kontrolü sonrasında analiz edilmiş ve her bir stres faktörünün göreli ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu öznel stres faktörleri, deneyim düzeyine göre karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

3.3.2 EDA Tepkilerinin Analizi

Bu araştırmanın bulguları, araştırma sorularına (Tablo 3.5) paralel olarak üç ana başlık altında sunulmuştur. AS1 ve AS2'ye ilişkin bulgular 3.3.2.1 başlığında, AS3'e ilişkin bulgular 3.3.2.2 başlığı altında, AS4'e ilişkin bulgular ise 3.3.2.3 başlığında raporlanmıştır. Rapor sonuçları 3.3.3 bölümünde yorumlanmıştır. EDA ölçümünün kullanılabilirliğine yönelik AS0 kapsamındaki değerlendirmeler 3.3.4 bölümünde sunulmuştur.

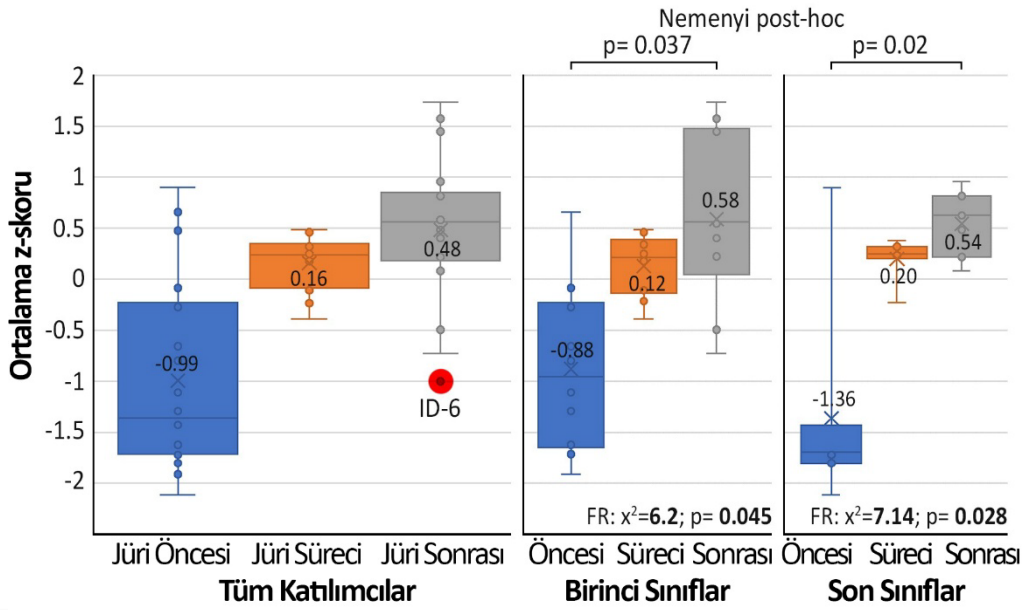
3.3.2.1 Jüri Sürecinde Deneyim ve Performansın Strese Etkisi

Katılımcıların jüri öncesi, jüri süreci ve jüri sonrası ortalama standartlaştırılmış EDA değerleri ile performans düzeyleri Şekil 3.5'de sunulmuştur. On sekiz katılımcının on ikisinde EDA değerlerinin en düşük düzeyde jüri öncesinde, en yüksek düzeyde ise jüri sonrasında olduğu görülmektedir. Beklentinin aksine, jüri sonrasında belirgin bir rahatlama gözlenmemiş; aksine fizyolojik uyarılmışlığın arttığı bir örüntü ortaya çıkmıştır.



Şekil 3.5: Tüm katılımcılar için standartlaştırılmış EDA değerleri. Katılımcıların 12/18'inde en yüksek fizyolojik uyarılmışlık jüri sonrası fazda gözlenmiştir.

Tüm katılımcılar ile deneyim düzeyine göre ortalama EDA değerleri Şekil 3.6'te gösterilmiştir. Aykırı değer analizi sonucunda ID-6'nın alt IQR sınırının altında kaldığı belirlenmiş ve bu katılımcının verisi analiz dışı bırakılmıştır. Genel örüntü her iki grup için de jüri öncesi < jüri sırası < jüri sonrası biçimindedir. Son sınıf öğrencilerinin jüri öncesi stres düzeylerinin birinci sınıf öğrencilerine kıyasla daha düşük olduğu; ayrıca stres dağılımının daha homojen olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3.6: Jüri öncesi, süreci ve sonrası fazlara ait ortalama standartlaştırılmış EDA değerlerinin deneyim düzeyine (birinci sınıf–son sınıf) göre karşılaştırılması.

Jüri süreçlerindeki EDA değerlerinin karşılaştırmaları için uygulanan Friedman testi hem birinci sınıf hem de son sınıf öğrencilerinde dönemler arasında anlamlı farklılık olduğunu göstermiştir ($p < .05$). Nemenyi post-hoc sonuçları **(**Tablo 3.8**)**, anlamlı farkın her iki grup için de jüri öncesi ve sonrası fazları arasında olduğunu ortaya koymuştur. Jüri sırası ve sonrası karşılaştırmaları ise anlamlı sonuçlar üretmemiştir.

Tablo 3.12: Birinci sınıf ve son sınıf öğrenciler için jüri öncesi, süreci ve sonrası fazlara ilişkin Nemenyi çoklu karşılaştırma sonuçları

Nemenyi Test				
Birinci Sınıflar	p	Jüri Öncesi	Jüri Sırası	Jüri Sonrası
	Jüri Öncesi		*0.26080*	***0.03702***
	Jüri Sırası	*0.26080*		*0.64382*
	Jüri Sonrası	***0.03702***	*0.64382*	
Son Sınıflar	p	Jüri Öncesi	Jüri Sırası	Jüri Sonrası
	Jüri Öncesi		*0.375*	***0.02***
	Jüri Sırası	*0.375*		*0.375*
	Jüri Sonrası	***0.02***	*0.375*	

Performans ile stres düzeyleri arasındaki ilişki Spearman korelasyon analizi ile incelenmiş ve hiçbir faz için anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (Tablo 3.9). Bulgular,

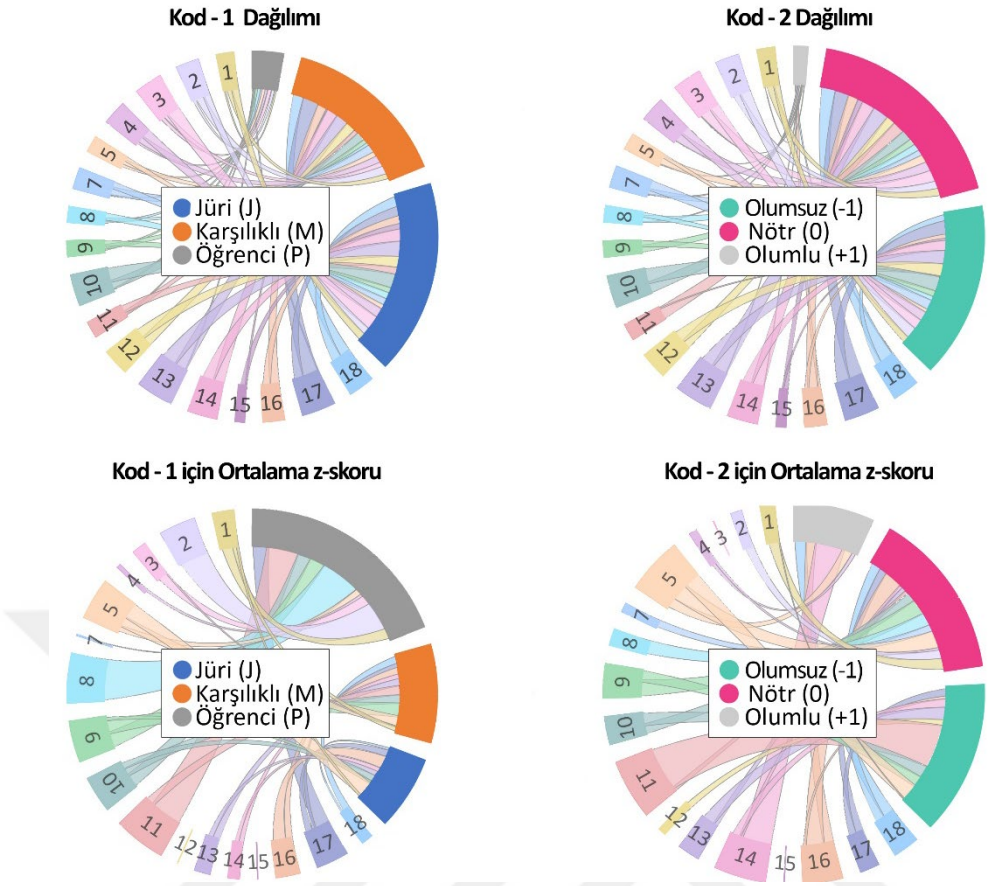
performans ve fizyolojik stres arasında güçlü veya tutarlı bir ilişki olmadığını göstermektedir.

Tablo 3.13: Deneyim düzeyine göre jüri fazlarında performans–stres ilişkisine ait Spearman korelasyon sonuçları

	Performans ve Stres	**Spearman Korelasyon (r_s)**	**P-değeri**
Birinci Sınıflar	Jüri Öncesi	0.082	0.821
	Jüri Sırası	-0.137	0.706
	Jüri Sonrası	0.288	0.412
Son Sınıflar	Jüri Öncesi	0.205	0.658
	Jüri Sırası	0.542	0.208
	Jüri Sonrası	0.168	0.718

3.3.2.2 İletişim Yönü ve Etkisinin Strese Etkisi

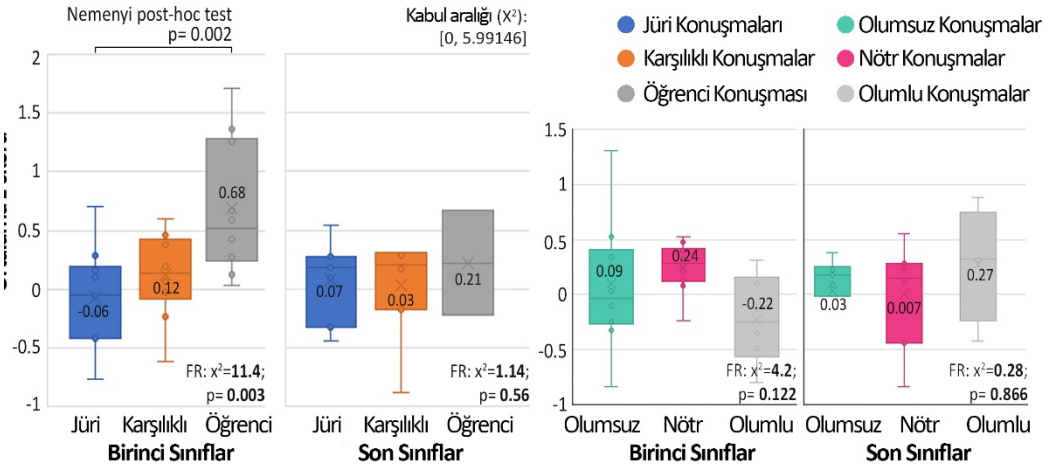
İçerik analizi kapsamında iletişim yönü (Kod-1) ve iletişim etkisi (Kod-2) kodlanmıştır. Kodların frekans dağılımları ve ilgili frekansa ait ortalama EDA z-skorları Şekil 3.7'da sunulmaktadır.



Şekil 3.7: İletişim yönü (Kod-1) ve iletişim etkisi (Kod-2) kategorilerine göre frekans dağılımları ve ortalama standartlaştırılmış EDA (z-skor) değerleri

İletişim yönü açısından jüri süreci ağırlıklı olarak jüri konuşmalarından (J), ardından karşılıklı konuşmalardan (M) ve en az düzeyde katılımcı konuşmalarından (P) oluşmaktadır. Ortalama EDA z-skorları incelendiğinde, en yüksek fizyolojik uyarılmışlık katılımcı konuşmaları sırasında, en düşük ise jüri konuşmaları sırasında gözlenmiştir.

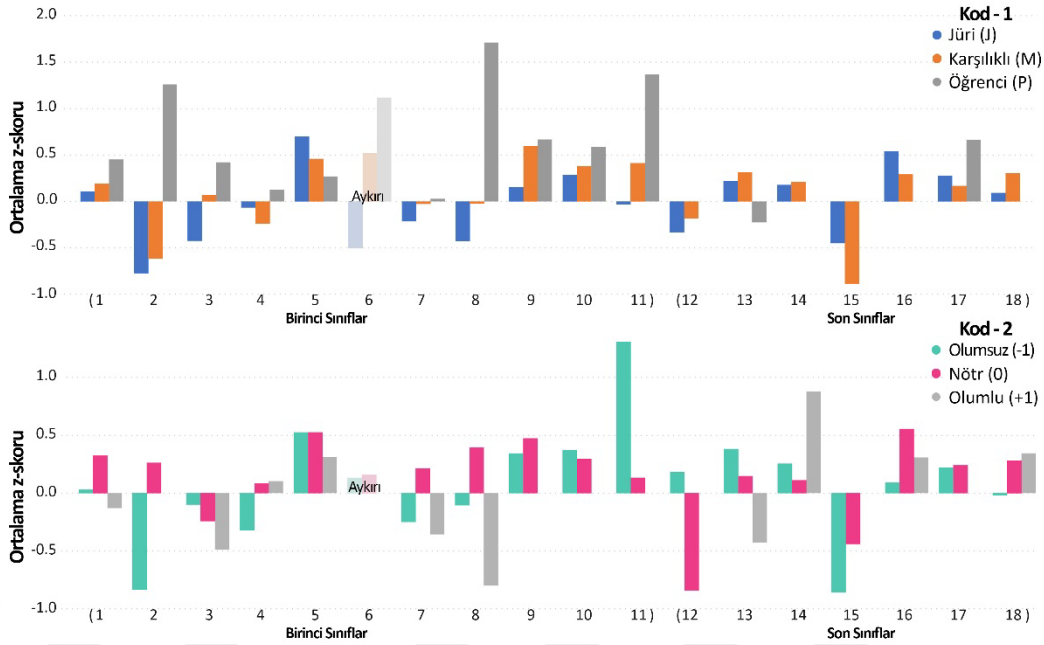
Birinci sınıf öğrencileri için yapılan Friedman testi ($X^2 = 11.4$, $p = 0.003$) iletişim yönleri arasında anlamlı fark olduğunu göstermiştir. Nemenyi post-hoc analizleri, ise bu farkın jüri konuşması ile katılımcı konuşması arasında olduğunu ortaya koymuştur ($p = 0.002$). Son sınıf öğrencilerinde ise iletişim yönleri arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ($p > .05$) (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Deneyim düzeyine göre (birinci sınıf–son sınıf) içerik analizi kodlarına ait ortalama standartlaştırılmış EDA (z-skor) değerleri

İletişimin etki yönü (-1, 0, +1) açısından yapılan Friedman testlerinde ise hem birinci sınıf hem de son sınıf öğrencileri için anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu sonuç, iletişimin olumlu ya da olumsuz niteliğinin fizyolojik uyarılmışlık üzerinde istatistiksel olarak belirgin bir etkisi olmadığını göstermektedir.

Katılımcı bazında ortalama z-skorlarının dağılımı Şekil 3.9'de sunulmuştur. Katılımcı konuşmalarında bazı bireylerde yüksek z-skorları (örn. ID-8 ve ID-11) gözlenirken, jüri konuşmaları sırasında değerlerin daha dengeli dağıldığı görülmektedir. Bu durum, fizyolojik yanıtın bireysel farklılıklara duyarlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.9: Tüm katılımcılar için iletişim yönü ve iletişim etkisi kategorilerine göre ortalama standartlaştırılmış EDA (z-skor) değerleri

3.3.2.3 AHP Sonuçları: Stres Faktörlerinin Karşılaştırmalı Analizi

AHP sonuçları, jüri sürecinde algılanan stres kaynaklarının deneyim düzeyine göre farklılaştığını göstermektedir (Tablo 3.10).

Tablo 3.14: Deneyim düzeyine göre stres faktörlerinin ağırlıkları (w_i)

Stres Faktörleri	Birinci Sınıf	Son Sınıf
Seyirci önünde sunum yapma	0.17	0.22
Jüride farklı öğretim üyelerinin bulunması	0.08	0.09
Uykusuzluk ve yorgunluk	0.24	0.20
Projeyi jüriye açıklayamama	0.23	0.33
Düşük not alma ve başarısızlık korkusu	0.27	0.15

Birinci sınıf öğrencilerinde en yüksek ağırlık *"Düşük not alma ve başarısızlık korkusu"* (0.27) faktörüne aittir. Bunu *"Uykusuzluk ve yorgunluk"* (0.24) ve *"Projeyi jüriye açıklayamama"* (0.23) izlemektedir. *"Seyirci önünde sunum yapma"* (0.17) orta düzeyde bir ağırlığa sahipken, *"Jüride farklı öğretim üyelerinin bulunması"* (0.08) en düşük ağırlık değerini almıştır.

Son sınıf öğrencilerinde ise en yüksek ağırlık açık biçimde *"Projeyi jüriye açıklayamama"* (0.33) faktöründedir. Bu faktörü *"Seyirci önünde sunum yapma"* (0.22) ve *"Uykusuzluk ve yorgunluk"* (0.20) takip etmektedir. *"Düşük not alma ve başarısızlık korkusu"* (0.15) son sınıfta belirgin biçimde daha düşük bir ağırlığa

sahiptir. En düşük değer yine *"Jüride farklı öğretim üyelerinin bulunması"* (0.09) faktöründe görülmektedir.

Bu dağılım, stres kaynaklarının akademik deneyimle birlikte nitelik değiştirdiğini göstermektedir. Birinci sınıfta performansın değerlendirilmesine ilişkin genel kaygılar ve fizyolojik yorgunluk öne çıkarken, son sınıfta projeyi ifade edebilme ve sunum bağlamındaki performans kaygısı belirgin biçimde artmaktadır. Her iki grupta da jüri kompozisyonunun görece düşük ağırlık alması, stresin daha çok bireysel performans ve öz-yeterlik algısıyla ilişkili olduğunu düşündürmektedir.

3.3.3 EDA Ölçümlerinin Yorumlanması

Bu çalışma, mimari tasarım jüri sürecinde fizyolojik uyarılmışlığın (EDA) dönemsel değişimini, deneyim ve performansla ilişkisini ve iletişim örüntüleriyle etkileşimini incelemiştir. Bulgular jüri sürecinin yapısal olarak stres üretici bir bağlam olduğunu ve bu etkinin jüri sonrasında da devam edebildiğini göstermektedir.

Öncelikle jüri öncesi, süreci ve sonrası fazları arasındaki anlamlı farklılıklar, jüri sürecinin yalnızca anlık bir performans değerlendirmesi değil, fizyolojik düzeyde iz bırakan bir deneyim olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle her iki deneyim grubunda da jüri öncesi ve sonrası fazları arasındaki anlamlı fark, jüri sonrasında gecikmeli bir toparlanma sürecine işaret etmektedir. Bu bulgu, stres düzeylerinin görev sonrasında da yüksek kalabildiğini gösteren Nguyen ve Zeng (2017) çalışması ile paralellik göstermektedir. Mimari eğitim bağlamında jüri süreci, çoğu akademik görevden farklı olarak tasarımın sonu değil, revizyonun başlangıcıdır. Öğrencilerin jüri sonrasında projeleri üzerinde çalışmaya devam etmeleri ve alınan eleştirileri işlemeleri, fizyolojik uyarılmışlığın sürme nedeni olabilir.

Deneyim ve performans boyutunda ise literatürde uzmanlık düzeyinin stres ve öğrenme performansı üzerinde etkili olduğu belirtilmektedir (Gümüşburun Ayalp ve Çivici, 2021; Sweller ve diğ., 2019). Horvers ve diğ. (2021) performans ile EDA arasında ilişki saptamış; S. Y. Kim ve diğ. (2022) ise yüksek stresin bilişsel aşırı yüklenmeye yol açarak performansı düşürdüğünü göstermiştir. Ancak bu çalışmada performans ile fizyolojik stres düzeyleri arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamıştır. Bu durum, stresin jüri sürecinde performansı doğrudan belirleyen bir değişken olmadığını; bireysel hazırlık, yetkinlik ve bağlamsal değişkenlerin

daha belirleyici olabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca mimari tasarım jürilerinin yapısal olarak standartlaştırılamamış olması, jüri üyelerinin ve proje konularının farklılığı, net bir neden-sonuç ilişkisi kurulmasını güçleştirmektedir. Horvers ve diğ.'nin (2021) de belirttiği gibi, performans ile EDA arasındaki değişken ilişkiler metodolojik farklılıklardan da kaynaklanıyor olabilir.

İletişim dinamikleri incelendiğinde, jüri sürecinin ağırlıklı olarak tek yönlü jüri konuşmalarından oluştuğu, katılımcı konuşmalarının ise daha sınırlı olduğu görülmüştür. Birinci sınıf öğrencilerinde iletişim yönüne göre anlamlı stres farklılıkları saptanmış; özellikle katılımcı konuşmalarında fizyolojik uyarılmışlığın arttığı gözlenmiştir. Bu durum, aktif sunum ve savunma anlarının daha yüksek zihinsel ve duygusal yük oluşturduğunu düşündürmektedir. Son sınıf öğrencilerinde ise benzer bir anlamlılık gözlenmemiştir; bu durum deneyim arttıkça stres düzenleme becerilerinin gelişmesiyle ilişkili olabilir.

Buna karşılık iletişimin olumlu ya da olumsuz niteliği (kod-2) stres düzeylerinde anlamlı farklılık yaratmamıştır. Bu bulgu, jüri sürecinin tonundan bağımsız olarak yapısal bir performans baskısı içerdiğini düşündürmektedir. AHP sonuçlarında "projeyi jüriye açıklayamama" faktörünün önemli bir stres kaynağı olarak öne çıkması, içerik analizi bulgularıyla paralellik göstermektedir. Özellikle katılımcı konuşmaları sırasında gözlenen yüksek EDA değerleri, sunum ve kendini ifade etme anlarının fizyolojik uyarılmışlıkla ilişkili olduğunu desteklemektedir. Bu durum, öznel önceliklendirmeler ile nesnel fizyolojik ölçümlerin belirli bağlamlarda örtüşebileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte literatürde öznel ve fizyolojik ölçümlerin her zaman tutarlı sonuçlar üretmediği belirtilmektedir (Bruun ve diğ., 2016; Pfeffel ve diğ., 2020). McDonald (2008), bu ayrışmanın öz-değerlendirme hatalarından veya yanıt eğilimlerinden kaynaklanabileceğini vurgulamaktadır. Minkley (2021) ise öznel stres ile fizyolojik göstergeler arasında tutarsızlıklar bulunabileceğini göstermiştir. Campbell ve Ehlert (2012)'ye göre zihinsel ve fizyolojik stres tepkileri farklı dinamiklere sahip olabilir.

Bu çalışma özelinde ise, öznel ve fizyolojik bulguların özellikle iletişim bağlamında büyük ölçüde paralellik gösterdiği görülmüştür. EDA ölçümünün jüri sürecinde dönemsel ve bağlamsal değişime duyarlı olduğu; ancak performansla doğrudan ve tutarlı bir ilişki üretmediği görülmektedir. EDA, jüri sürecindeki yüksek

uyarılmışlık anlarını ayırt edebilmekte, özellikle aktif performans anlarında artış göstermektedir.

3.3.4 Ölçüm Sisteminin Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi

Bu çalışma, mimari tasarım jüri sürecinde öğrencilerin stres düzeylerini EDA ölçümleri, içerik analizi ve AHP bulguları aracılığıyla incelemiştir. EDA ve içerik analizi yirmi altı katılımcı üzerinden yürütülmüş; AHP değerlendirmesine ise yetmiş yedi öğrenci katılmıştır. Bulgular, birinci sınıf öğrencilerinin jüri öncesinde daha yüksek stres düzeylerine sahip olduğunu, her iki grubun da jüri sonrasında artmış fizyolojik uyarılmışlık gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu durum, jüri sürecinin yalnızca anlık bir değerlendirme değil, etkisi devam eden bir performans bağlamı olduğunu göstermektedir.

Çalışma çoklu yöntem yaklaşımıyla yürütülmüştür. EDA ölçümleri nesnel fizyolojik yanıtları kaydederken, içerik analizi nitel iletişim dinamiklerini ortaya koymuş, AHP ise öğrencilerin öznel stres kaynaklarını nicel olarak öncelik sırasına koymuştur. Bu çoklu ölçüm yöntemi, jüri sürecindeki stres dinamiklerinin daha bütüncül biçimde anlaşılmasına olanak sağlamıştır.

EDA'nın kullanılabilirliği açısından değerlendirildiğinde, ölçümün jüri sürecindeki dönemsel değişimi istatistiksel olarak ayırt edebildiği ve özellikle aktif performans anlarına duyarlı olduğu görülmüştür. Ancak performans notları ile fizyolojik stres düzeyleri arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Bu durum, EDA'nın performansı doğrudan etkileyen bir değişken olmadığını; daha çok süreç içi fizyolojik uyarılmışlığı yansıtan bir araç olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla EDA, mimari tasarım jürilerinde fizyolojik uyarılmışlığı güvenilir biçimde tespit edebilen bir ölçüm aracı olmakla birlikte, bilişsel yükün tekil ve doğrudan göstergesi olarak yorumlanmamalıdır. Bunun yerine, yüksek uyarılmışlık durumlarının belirlenmesinde destekleyici bir fizyolojik gösterge olarak değerlendirilmelidir.

Bu deneysel çalışma sonucunda, kullanılan GSR sisteminin fizyolojik stres düzeylerindeki anlamlı değişimleri tespit edebildiği görülmüştür. Bu doğrultuda, tezin devamındaki deneysel çalışmalarda EDA verilerinin fizyolojik uyarılmışlığın ölçülmesinde güvenilir bir araç olarak kullanılmasına karar verilmiştir.

Ancak EDA'nın bilişsel yükün tekil ve doğrudan bir göstergesi olarak yorumlanmasının uygun olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle, bilişsel yükün daha kapsamlı ve çok boyutlu biçimde değerlendirilmesi amacıyla EDA ölçümleri EEG ve HR verileri ile desteklenmiş; ayrıca öz bildirim temelli ölçümlerle birlikte kullanılması planlanmıştır.

3.4 Deneysel Çalışma Öncesi Pilot Deney

Bu tez çalışması, mimari tasarım sürecinde tasarım ortamı ve görev zorluğunun bilişsel yük üzerindeki etkisini öz-bildirim değerlendirmeleri, fizyolojik veriler ve performans göstergeleri üzerinden incelemeyi amaçlamaktadır. Bu bölümde sunulan çalışma ise, geliştirilen deneysel metodolojinin uygulanmadan önce sadece tasarım ortamı etkisi özelinde pilot deney ile sınanmasına odaklanmaktadır.

Pilot çalışmanın temel amacı, fiziksel (maket) ve dijital (SketchUp) tasarım ortamlarında bilişsel yükün çok boyutlu olarak değerlendirilmesine yönelik oluşturulan deneysel metodolojinin işlerliğini test etmektir. Bu kapsamda, kullanılan ölçüm tekniklerinin tasarım ortamları arasındaki farkları yakalama kapasitesi, ölçümler arası örüntülerin tutarlılığı ve veri toplama sürecine ilişkin yöntemsel sınırlılıklar betimleyici analizler ve etki büyüklükleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Bu doğrultuda pilot çalışma, istatistiksel genelleme amacı taşımaktan ziyade, ana deneyin tasarımına yön veren yöntemsel bir ön adım olarak kurgulanmıştır. Elde edilen bulguların, ilerleyen aşamalarda yürütülecek daha geniş örneklemli deneyler için ölçüm setinin, analiz yaklaşımının ve deneysel tasarımın iyileştirilmesine katkı sağlaması hedeflenmektedir.

3.4.1 Pilot Çalışmanın Deneysel Kurgusu ve Veri Toplama Süreci

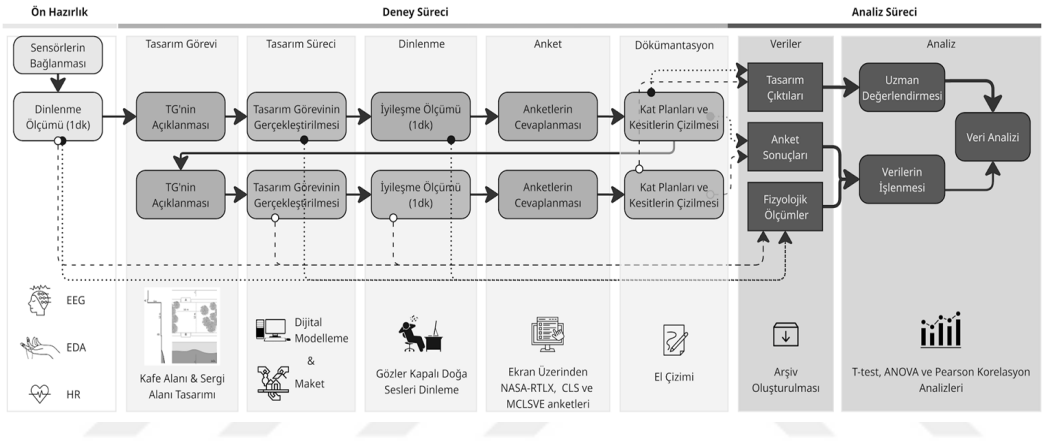
3.4.1.1 Pilot Çalışmanın Katılımcıları

Çalışmaya mimarlık alanında yüksek lisans eğitimini tamamlamış dört gönüllü katılımcı katılmıştır. Katılımcıların yaşları 27–34 aralığındadır. Katılımcıların tümü mezuniyet sonrası en az üç yıllık mimari tasarım deneyimine sahiptir. İki katılımcı yalnızca tasarım ofisi deneyimine sahipken, iki katılımcı hem tasarım ofisi pratiği hem de akademik çalışma deneyimine sahiptir. Katılımcıların biri kadın, üçü erkektir. Tüm katılımcılar, Fiziksel (maket) ve dijital (SketchUp) modelleme

ortamlarında üç yıldan fazla tasarım deneyimine sahip olup mesleki pratiklerinde aktif olarak tasarım sürecine dahil olmaktadır. Çalışma için etik kurul onayı alınmış, tüm katılımcılardan uygulama öncesinde bilgilendirilmiş onam alınmıştır.

3.4.1.2 Pilot Çalışma Protokolü

Çalışma, Şekil 3.10'de sunulan deney akış şemasına uygun olarak ön hazırlık**,** deney süreci ve analiz süreci olmak üzere üç ana aşamada kurgulanmıştır. Tüm katılımcılar, aynı deneysel protokolü takip ederek tasarım görevlerini iki farklı tasarım ortamında gerçekleştirmiştir. Sıra etkisini azaltmak amacıyla ortamların uygulanma sırası, karılarak uygulanmıştır.



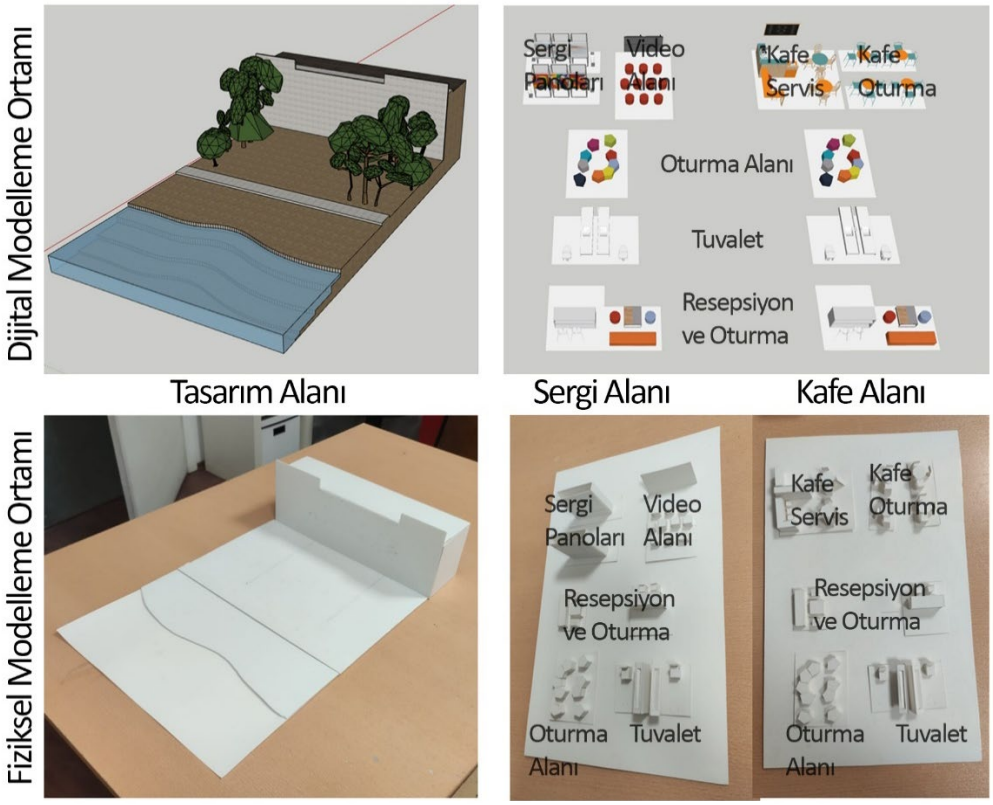
Şekil 3.10: Deneyin akış şeması

Ön Hazırlık: sürecinde katılımcıların fizyolojik verilerinin sağlıklı biçimde kaydedilebilmesi amacıyla EEG, EDA ve HR sensörleri katılımcılara bağlanmıştır. Sensörlerin yerleştirilmesinin ardından, katılımcılardan 1 dakikalık dinlenme süresi boyunca hareketsiz kalmaları istenmiş ve bu süre zarfında görev öncesi referans ölçümleri alınmıştır.

Deney Süreci: her biri aynı yapıyı izleyen tasarım oturumlarından oluşmaktadır. Her oturumda katılımcılara ilgili tasarım görevi kısa bir açıklama ile sunulmuş, ardından katılımcıların tasarım görevini gerçekleştirmeleri istenmiştir. Tasarım problemi olarak Şekil 3.1'de gösterilen problemin kafe alanı ve sergi alanı seçenekleri karılarak verilmiştir. Ancak tasarım sürecinin çok uzamaması için alanın eğimi düzlenmiş ve kullanılması beklenen tefriş elemanları Şekil 3.11'de gösterildiği gibi hazır olarak verilmiştir.

Tasarım süreci her ortam için 20 dakika ile sınırlandırılmıştır. Her tasarım oturumunun ardından, katılımcılara 1 dakikalık toparlanma süresi tanımlanmış ve

bu süre boyunca katılımcıların sabit bir şekilde dinlenmeleri sağlanmıştır. Bu aşamada fizyolojik ölçümler sürdürülmüş, görev süresine kıyasla toparlanma örüntülerinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.11: Tasarım problemi için verilen tasarım alanı ve tefrişler

Toparlanma sürecinin hemen ardından katılımcılardan, tasarım sürecine ilişkin algılanan bilişsel yük ve iş yükünü değerlendirmeye yönelik Ek B'de gösterilen öz-bildirim anketlerini (NASA-RTLX, CLS ve MCLSVE) doldurmaları istenmiştir. Anketlerin tamamlanmasının ardından, katılımcılardan ürettikleri tasarım çıktılarının dokümantasyonu alınmıştır. Bu kapsamda, tasarımlara ait kat planları ve kesitler katılımcılar tarafından çizilmiş ve arşivlenmiştir. Dokümantasyon süreci, tasarım sürecinde zaman kısıtı nedeniyle doğrudan yansıtılamayan mekânsal kararların açık hâle getirilmesini amaçlamaktadır. Bu nedenle tasarım çıktılarının değerlendirilmesi, süreç içinde üretilen modeller yerine bu dokümantasyonlar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Anket uygulamaları ve dokümantasyon çizimleri sırasında fizyolojik veri kaydı yapılmamıştır.

***Analiz Sürecinde**;* deney süreci sonunda elde edilen veriler üç ana grupta toplanmıştır: (i) tasarım çıktıları, (ii) öz-bildirim anket sonuçları ve (iii) fizyolojik ölçümler. Tasarım çıktıları, uzman değerlendirmesi ile başarı ölçümü için

kullanılmıştır. Anket verileri ve fizyolojik ölçümler ise betimleyici istatistikleri ve ölçüm türlerine göre etki büyüklüğü hesaplamaları için kullanılmıştır. Çalışmanın ön deney niteliği gereği, istatistiksel anlamlılık testleri uygulanmamış; ölçümlerin tasarım ortamları arasındaki değişimlere karşı duyarlılığı etki büyüklüğü ve yeniden örnekleme (bootstrap) güven aralıkları üzerinden değerlendirilmiştir.

3.4.1.3 Pilot Çalışmanın Ölçüm Teknikleri

Pilot çalışmada, bilişsel yükün farklı göstergeler üzerinden değerlendirilebilmesi amacıyla öz-bildirim, fizyolojik ve performans temelli ölçüm teknikleri birlikte kullanılmıştır. Kullanılan ölçüm araçları ve fizyolojik veri toplama sistemleri genel olarak Bölüm 3.2'de açıklanan ölçüm çerçevesine dayanmaktadır. Bununla birlikte pilot çalışma, deneysel çalışma öncesinde ölçüm tekniklerinin uygulanabilirliğini sınamaya yönelik bir ara aşama olarak kurgulandığından, bu aşamada kullanılan bazı metrikler deneysel çalışmadaki nihai ölçüm setinden farklılık göstermiştir.

EEG verilerinde pilot çalışma aşamasında öncelikle bilişsel yük literatüründe yaygın olarak kullanılan oran temelli göstergelere odaklanılmıştır. Bu kapsamda theta/alpha oranı global, frontal ve frontal/parietal olmak üzere üç farklı hesaplama biçimiyle değerlendirilmiştir.

Performans değerlendirmesi kapsamında tasarım başarı puanları kullanılmıştır. Ancak pilot çalışmada performans değerlendirmesi, deneysel çalışmadan farklı olarak doğrudan fiziksel veya dijital modeller üzerinden değil, tasarım sürecinin ardından katılımcılar tarafından hazırlanan dokümantasyon çizimleri üzerinden yapılmıştır. Değerlendirmeler, tasarım sürecinin ardından katılımcılar tarafından hazırlanan Şekil 3.12'de gösterilen dokümantasyon çizimleri (kat planları ve kesitler) üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, tasarım sürecinde zaman kısıtı nedeniyle doğrudan temsil edilemeyen mekânsal kararların daha açık ve karşılaştırılabilir biçimde değerlendirilmesini amaçlamaktadır.



Şekil 3.12: Dijital (üstte) ve fiziksel (altta) modelleme ortamında üretilen modeller ve dökümantasyonları

3.4.1.4 Pilot Çalışmanın Veri Analizi

Bu pilot çalışmada, öncelikle tüm ölçüm türleri için tanımlayıcı istatistikler (ortalama ve bireysel değerlerin grafikleri) hesaplanmış ve verilerin genel dağılım eğilimleri betimlenmiştir. Örneklem büyüklüğünün sınırlı olması nedeniyle istatistiksel anlamlılık testleri uygulanmamıştır. Bunun yerine, iki farklı tasarım ortamı arasında gözlemlenen farkların büyüklüğünü betimlemek amacıyla eşleştirilmiş ölçümlere dayalı etki büyüklüğü analizleri gerçekleştirilmiştir.

Her bir ölçüm türü (EEG, EDA, HR, öz-bildirim ölçekleri ve tasarım başarısı) için, katılımcıların iki tasarım ortamı arasında gözlemlenen farkların büyüklüğünü değerlendirmek amacıyla eşleştirilmiş Cohen'in d etki büyüklüğü (d_z)

hesaplanmıştır. Bu kapsamda, her katılımcı için ortamlar arasındaki fark değerleri belirlenmiş; bu farkların ortalamasının, farkların örneklem standart sapmasına oranlanmasıyla d_z değeri elde edilmiştir. Bu yaklaşım, ölçüm türlerinin tasarım ortamları arasındaki değişimlere karşı göreli duyarlılığını değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır.

Etki büyüklüklerine ilişkin belirsizliği ortaya koymak amacıyla, dağılım varsayımı gerektirmeyen bootstrap yöntemi kullanılarak %95 güven aralıkları hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, her ölçüm için fark değerleri üzerinden 1000 tekrar ile yeniden örnekleme yapılmış; elde edilen etki büyüklüğü dağılımlarının %2.5 ve %97.5 yüzdelikleri güven aralığı sınırları olarak raporlanmıştır. Elde edilen bu ön bulguların, daha geniş örneklemli ana deneylerde yapılacak güç analizleri için veri temelli bir başlangıç noktası oluşturması hedeflenmiştir.

3.4.2 Pilot Çalışmanın Bulguları

Bu bölümde elde edilen bulgular, öz-bildirim (anket) ölçümleri, fizyolojik ölçümler (EEG, EDA ve HR), tasarım başarısı ve etki büyüklükleri olmak üzere dört başlık altında sunulmuştur. Öncelikle 3.4.2.1 başlığında NASA-RTLX, CLS ve MCLSVE ölçekleri aracılığıyla fiziksel ve dijital tasarım ortamlarında algılanan bilişsel yük bileşenleri karşılaştırılmış; içsel, dışsal ve etkin yük dağılımları, iş yükü etkileri ile zihinsel yük ve zihinsel çaba düzeyleri analiz edilmiştir. Ardından 3.4.2.3 başlığı altında sırasıyla EEG (frontal, fronto-parietal ve global log-ratio değerleri), EDA (z-SCL, SCR/dk ve SCR genlik ortalaması) ve kalp atım hızı değişimleri üzerinden fizyolojik tepkiler değerlendirilmiş ve ortamlar arası örüntüler incelenmiştir. Üçüncü olarak 3.4.2.3 başlığında her iki ortam için üretilen tasarım çıktılarının başarısı 8'li ölçek üzerinden karşılaştırılarak bilişsel yük ile performans arasındaki ilişki yorumlanmıştır. Son olarak 3.4.2.4 başlığında, tüm değişkenler için etki büyüklükleri (d_z) ve bootstrap %95 güven aralıkları sunulmuştur.

3.4.2.1 Öz-Bildirim Ölçümlerine Dayalı Bulgular

Bu bölümde, fiziksel ve dijital ortamlarında elde edilen öz-bildirim temelli bilişsel yük sonuçları sunulmaktadır. Bulgular; NASA-RTLX toplam iş yükü puanları, CLS ölçeğinin zihinsel yük ve zihinsel çaba alt boyutları ile MCLSVE ölçeğinin içsel, dışsal ve etkin yük bileşenleri üzerinden karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 3.15: NASA-RTLX sonuçları

	FİZİKSEL MODELLEME	DİJİTAL MODELLEME
ID1	21	22
ID2	21	24
ID3	16	10
ID4	23	19

NASA-RTLX toplam iş yükü puanları (Tablo 3.11) incelendiğinde, katılımcıların yarısında dijital modelleme ortamı daha yüksek iş yükü gösterirken (ID1, ID2), diğer yarısında fiziksel modelleme ortamı daha yüksek iş yükü göstermiştir (ID3, ID4). Bu durum, toplam algılanan iş yükünün ortama bağlı olarak tek yönlü bir artış ya da azalış göstermediğini, ortam etkisinin katılımcıya göre değiştiğini göstermiştir.

Tablo 3.16: CLS (zihinsel yük / çaba) sonuçları

	FİZİKSEL MODELLEME		DİJİTAL MODELLEME	
	Zihinsel Yük	*Zihinsel Çaba*	*Zihinsel Yük*	*Zihinsel Çaba*
ID1	5	5	5	6
ID2	11	9	3	8
ID3	8	7	2	4
ID4	2	2	3	7

Tablo 3.12'te zihinsel yük alt boyutu incelendiğinde, bazı katılımcılarda fiziksel modelleme ortamının daha yüksek zihinsel yük oluşturduğu (özellikle ID2 ve ID3), diğer katılımcılarda ise ortamlar arasında sınırlı fark bulunduğu görülmektedir.

Zihinsel çaba alt boyutunda ise katılımcılar arasında farklı yönlerde değişimler gözlenmiştir. Bazı katılımcılarda dijital modelleme ortamında daha yüksek çaba bildirilirken, bazı katılımcılarda fiziksel modelleme ortamı daha yüksek çaba ile

ilişkilendirilmiştir. Ama bu gösterge için ortam etkisi zihinsel yük kadar yüksek değildir.

Tablo 3.17: MCLSVE (içsel–dışsal–etkin yük) sonuçları

	FİZİKSEL MODELLEME					**DİJİTAL MODELLEME**				
ID	*İçsel Yük*	*Dışsal Yük - Yönerge*	*Dışsal Yük - Etkileşim*	*Dışsal Yük - Ortam*	*Etkin Yük*	*İçsel Yük*	*Dışsal Yük - Yönerge*	*Dışsal Yük - Etkileşim*	*Dışsal Yük - Ortam*	*Etkin Yük*
1	4	5	9	14	10	5	4	14	8	11
2	9	8	18	13	14	6	8	7	8	16
3	7	4	7	4	15	4	3	4	4	13
4	14	3	4	4	13	8	3	4	4	12

Tablo 3.13'ya göre MCLSVE alt boyutları incelendiğinde, içsel yük bileşeninde iki kişinin (ID 2 ve 4) fiziksel modelleme ortamında daha yüksek puan bildirdiği, diğer katılımcıların ise dijital modelleme ortamında daha yüksek içsel yük bildirdiği görülmektedir.

Dışsal yük alt boyutlarında (yönerge, etkileşim, ortam) ortamlar arasında alt bileşen bazında farklılaşmalar mevcuttur. Özellikle dışsal yük – etkileşim ve dışsal yük – ortam boyutlarında katılımcıya bağlı yön değişimleri görülmüştür. En fazla değişim de bu faktörlerde gözlemlenmiştir.

Etkin yük boyutunda ise bazı katılımcılarda dijital modelleme ortamı daha yüksek değer alırken, bazı katılımcılarda fiziksel modelleme ortamı öne çıkmıştır ancak bu değişimlerin düşük seviyede olduğu görülmüştür.

Genel olarak MCLSVE sonuçları, içsel, dışsal ve etkin yük bileşenlerinin ortam türüne bağlı olarak homojen bir örüntü sergilemediğini; ortam etkisinin alt boyutlara ve katılımcı özelliklerine göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

3.4.2.2 Fizyolojik Ölçümlere Dayalı Bulgular

Bu bölümde fiziksel ve dijital modelleme ortamlarında elde edilen fizyolojik ölçüm sonuçları sunulmaktadır. Bulgular EEG göstergeleri için normalize edilmiş logaritmik oran değerleri, EDA (SCL ve SCR) göstergeleri ve HR değişimleri üzerinden karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Sayısal değerler ilgili tabloda verilmiş olup, aşağıda temel örüntüler özetlenmektedir.

Tablo 3.18: EEG sonuçları

	FİZİKSEL MODELLEME			**DİJİTAL MODELLEME**		
ID	*logr_ratio_F*	*logr_ratio_FP*	*logr_ratio_G*	*logr_ratio_F*	*logr_ratio_FP*	*logr_ratio_G*
1	-0.94	-1.07	-0.15	0.28	-0.17	0.50
2	-0.02	-0.06	-0.06	-0.07	-0.37	-0.16
3	-0.16	-0.16	-0.16	0.19	0.47	-0.29
4	-0.13	-	-0.30	-0.25	-0.40	-0.46

EEG analizinde bilişsel yük göstergesi olarak theta/alpha oranının frontal, frontal/parietal ve global bölgeler üzerinden hesaplamaları kullanılmıştır. Tablo 3.14 incelendiğinde, EEG göstergelerinin ortamlar arasında katılımcıya bağlı olarak farklılaştığı; bazı katılımcılarda dijital modelleme ortamında pozitif yönlü değişim görülürken, bazı katılımcılarda fiziksel modelleme ortamına kıyasla negatif yönlü değişimlerin ortaya çıktığı görülmektedir. Frontal-parietal hesabı ID 4 için gürültü temizliği sonrası parietal bölgeden gelen sinyal kalmadığı için hesaplanamamıştır.

Tablo 3.19: EDA sonuçları

ID	**FİZİKSEL MODELLEME**			**DİJİTAL MODELLEME**		
	SCL	*SCR sayısı*	*SCR genliği*	*SCL*	*SCR sayısı*	*SCR genliği*
1	3,963054	3,026079	2,834653	0,822903	2,843575	1,339281
2	-0,03494	3,760619	0,443684	-0,00829	2,978876	0,739625

Tablo 3.20: EDA sonuçları (devamı)

3	5,625584	2,830101	3,251177	5,316584	2,581846	2,944237
4	3,426945	3,073362	2,525513	0,58138	2,798439	0,91849

EDA analizinde tonik bileşen SCL üzerinden fazik bileşen ise dakikadaki SCR sayısı ve ortalama SCR genliği üzerinden incelenmiştir (Tablo 3.15). SCL değerleri incelendiğinde, bazı katılımcılarda maket ortamında daha yüksek tonik aktivite görülürken (örneğin ID1 ve ID4), diğer katılımcılarda ortamlar arası farkın sınırlı olduğu gözlenmiştir. ID3'te her iki ortamda da yüksek SCL değerleri dikkat çekmektedir.

SCR sayısı değerlerinin tüm katılımcılar için fiziksel modelleme ortamında daha yüksek olduğu görülmüştür ancak bazı katılımcılarda bu farkın azaldığı görülmektedir. SCR genliği açısından da katılımcı bazında değişkenlik söz konusudur; bazı katılımcılarda (ID1, 3 ve4) fiziksel modelleme ortamında daha yüksek genlik değerleri, bir katılımcıda (ID 2) ise dijital modelleme ortamında göreli artış gözlenmiştir.

Tablo 3.21: HR sonuçları

	FİZİKSEL MODELLEME	**DİJİTAL MODELLEME**
ID1	7,65	1,4
ID2	11,4	2,4
ID3	5,05	-8,25
ID4	10,35	-2

Tablo 3.16 incelendiğinde, fiziksel modelleme ortamında tüm katılımcılarda pozitif yönde artış gözlenmiştir. Dijital modelleme ortamında ise ID 1 ve 2'de düşük artış, ID 3 ve 4 de ise tasarım öncesi başlangıç ölçümüne göre negatif yönde değişim (azalış) görülmüştür.

3.4.2.3 Tasarım Başarısına İlişkin Bulgular

Bu bölümde, tasarım çıktılarının ortama göre başarı puanları karşılaştırılmıştır. Başarı değerlendirmesi 8'li ölçek üzerinden yapılmış olup, ayrıntılı puanlar Tablo 3.17 sunulmaktadır. Bu tablo incelendiğinde, ID1'in her iki ortamda da aynı başarı puanını aldığı görülmektedir. Diğer katılımcıların tamamında ise dijital modelleme ortamında elde edilen başarı puanının fiziksel modelleme ortamına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Tablo 3.22: Tasarım çıktılarının ortama göre başarı değişimi

	FİZİKSEL MODELLEME	**DİJİTAL MODELLEME**
ID1	7	7
ID2	7	8
ID3	6	7
ID4	7	8

3.4.2.4 Etki Büyüklükleri

Bu bölümde fiziksel ve dijital modelleme ortamları arasındaki farklar için hesaplanan etki büyüklükleri ve bootstrap yöntemiyle elde edilen %95 güven aralıkları Tablo 3.18' de sunulmuştur.

Tablo 3.23: Ölçüm türlerine göre etki büyüklüleri ve güven aralıkları

ÖLÇÜM TEKNİĞİ	ÖLÇEK / DEĞİŞKEN	DZ	%95 GA (BOOTSTRAP)	YÖN / YORUM
EEG	Frontal Theta/Alpha	0.55	[-0.47, 1.44]	Orta, SKP ↑
	Frontal Theta/Perietal Alpha	0.48	[-0.52, 1.39]	Küçük–orta
	Genel Theta/Alpha	0.55	[-0.47, 1.44]	Orta
EDA	SCL	-0.81	**[-1.92, 0.21]**	**Büyük, Maket ↑**
	SCR / dk	-0.44	[-1.31, 0.55]	Küçük–orta
	SCR	-0.97	**[-2.10, -0.05]**	**Büyük**
HR	ΔHR	-0.88	**[-1.85, 0.14]**	**Büyük**
NASA-RTLX	Toplam iş yükü	-0.29	[-1.05, 0.61]	Küçük, yön kararsız
CLS	Zihinsel Yük	-0.71	**[-1.58, 0.12]**	**Orta–büyük, Maket ↕**
	Zihinsel Çaba	0.62	[-0.18, 1.49]	Orta, SKP ↑
MCLSVE	İçsel Yük	-1.05	**[-2.31, -0.09]**	**Büyük, Maket ↑**
	Dışsal – Yönerge	-0.29	[-0.97, 0.54]	Küçük
	Dışsal – Etkileşim	0.88	**[0.05, 2.01]**	**Büyük, SKP ↑**
	Dışsal – Ortam	0.74	[-0.11, 1.89]	Orta–büyük
	Etkin Yük	0.93	**[0.12, 2.14]**	**Büyük, SKP ↑**
BAŞARI	8'li ölçek puanı	0.50	[0.00, 1.20]	Küçük–orta, SKP ↑

Etki büyüklükleri incelendiğinde, bilişsel yük göstergesi olma potansiyeli taşıyan değişkenler öz bildirim göstergeleri içinde özellikle MCLSVE içsel yük (büyük, fiziksel modelleme lehine), MCLSVE dışsal yük–etkileşim (büyük, dijital

modelleme lehine) ve MCLSVE etkin yük (büyük, dijital modelleme lehine) değişkenleri dikkat çekmektedir. CLS zihinsel yük (orta–büyük, fiziksel modelleme lehine) ve CLS zihinsel çaba (orta, dijital modelleme lehine) değişkenleri de görece yüksek etki büyüklükleri göstermiştir. NASA-RTLX toplam iş yükü ise küçük düzeyde ve yönü kararsız bir etki sunmuştur.

Fizyolojik göstergeler açısından EDA ölçümlerinde tonik aktivitede (SCL) fazik aktivitede ise SCR genliği büyük düzeyde etki büyüklüğü sergilemiş ve fiziksel modelleme lehine yön göstermiştir. Kalp atım hızı değişimi (ΔHR) de büyük düzeyde etki büyüklüğü ile fiziksel modelleme lehine farklılaşmıştır. EEG değişkenlerinde ise frontal ve global ölçümlerde orta düzeyde, frontal-parietal ölçümde küçük–orta düzeyde etki büyüklükleri elde edilmiştir. Tasarım başarısı ise anlamlı bir bilişsel yük göstergesi olma potansiyeli göstermemiştir.

3.4.3 Pilot Çalışmanın Değerlendirmesi ve Deneysel Protokole Yönelik Düzenlemeler

Bu bölümde bulguların klasik anlamda sonuç yorumu yapılmamış, ön deneyin temel amacı doğrultusunda etki büyüklükleri ve ölçüm hassasiyeti üzerinden metodolojik değerlendirme yapılmıştır. Katılımcı sayısının (4) sınırlı olması nedeniyle istatistiksel anlamlılık yerine etki büyüklüğü değerleri ve bootstrap güven aralıkları temel alınmıştır. Bu yaklaşım, ana deney için hangi değişkenlerin bilişsel yük göstergesi olarak daha yüksek ayrıştırma gücüne sahip olduğunu belirlemeye yöneliktir.

Tablo 3.18'deki etki büyüklükleri incelendiğinde, öz bildirim ölçeklerinden özellikle MCLSVE alt boyutları ile CLS'nin bazı bileşenlerinin görece yüksek ve yönlü etkiler ürettiği görülmüştür. Buna karşılık Bölüm 2.4.2'de açıklanan literatür taramasına göre bilişsel yük göstergesi olarak en çok tercih edilen NASA-RTLX toplam puanı düşük ve kararsız etki göstermiştir. Bu sebeple tezin devamındaki deneylerde güncel mimarlık literatürden farklı olarak öz bildirim göstergesi olarak MCLSVE ve CLS ölçeklerinin de mimari tasarım sürecine uyarlanarak NASA-RTLX ölçeği ile birlikte kullanılmasına karar verilmiştir.

Fizyolojik göstergeler açısından, literatürde (Bölüm 2.4.2.3) bilişsel yükün EEG temelli göstergesi olarak sıklıkla kullanılan bölgesel theta/alpha oranlarının etki büyüklüklerinin bu ön deneyde, orta düzeyi aşmadığı görülmüştür. Bu bulgu

doğrultusunda, sonraki çalışmalarda yalnızca oran temelli göstergelerle sınırlı kalınmayarak tekil theta, alpha ve beta bant güçlerinin yanı sıra bölgesel beta/alpha oranlarının da analiz kapsamına alınmasına karar verilmiştir. Böylece EEG analizinin daha geniş bir bant gücü çerçevesinde ele alınması planlanmıştır.

EDA göstergelerinde ise daha sık kullanılan (Er ve diğ., 2026) tonik SCL ölçümüne ek olarak fazik SCR genlik değerlerinin de büyük düzeyde etki büyüklüğü ürettiği görülmüştür. Bu nedenle sonraki deneylerde hem tonik (SCL) hem de fazik (SCR frekans ve genlik) bileşenlerin birlikte değerlendirilmesine karar verilmiştir.

HR ölçümü, Ayres ve diğ. (2021)'e göre diğer fizyolojik göstergelere kıyasla bilişsel yük ile daha zayıf ilişkili olarak rapor edilmesine rağmen, bu ön deneyde büyük düzeyde etki büyüklüğü göstermiştir. Bu nedenle kalp atım hızı değişimi de ana deney tasarımında korunmuş ve fizyolojik ölçüm seti içerisinde yer almaya devam etmesine karar verilmiştir. Ancak bu etkidin ortamlar arası hareket farkından kaynaklandığı düşünülerek öz bildirim verileri ile korelasyonunun incelenmesine karar verilmiştir.

Fizyolojik göstergelerin varyans yapılarının birbirinden farklı olması nedeniyle literatürde farklı standardizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada da farklı normalizasyon yaklaşımları uygulanmıştır. Ancak bu durum, bulguların raporlanmasında çapraz karşılaştırmalarda birim ve ölçek karışıklığına yol açmıştır. Bu nedenle tezin devamındaki çalışmalarda tüm fizyolojik göstergeler için ortak bir standardizasyon yöntemi olarak başlangıç ölçümüne göre logaritmik ortanlama yaklaşımının kullanılmasına karar verilmiştir. Böylece hem EEG hem EDA hem de HR verilerinin aynı matematiksel çerçevede karşılaştırılabilir hale getirilmesi hedeflenmiştir.

Tasarım başarısının küçük düzeyde etki büyüklüğü göstermesi nedeniyle, sonraki bölümlerde yalnızca ham başarı puanları yerine Paas ve Van Merriienboer'in (1994) önerdiği zihinsel verimlilik göstergesinin de kullanılmasına karar verilmiştir. Böylece performans ve öznel çaba birlikte değerlendirilerek daha bütüncül bir bilişsel yük yorumu yapılması amaçlanmıştır.

Bunlara ek olarak deney sürecine ilişkin gözlemler, tasarım sonrasında gerçekleştirilen eskiz çizimi adımının deney süresini uzatarak katılımcılarda yorgunluk oluşturduğunu göstermiştir. Bu durum, özellikle tekrarlayan görev

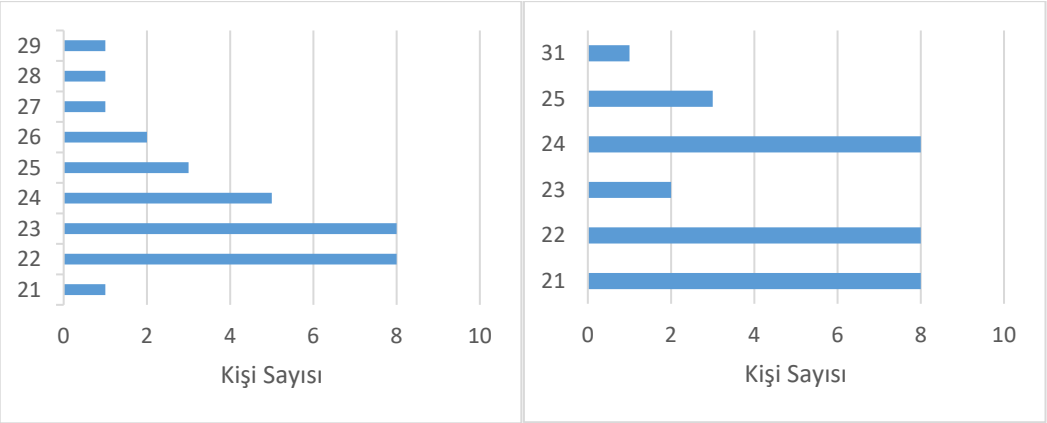
tasarımının kullanılacağı ana deneyde yorgunluk ve öğrenme etkilerinin birbirine karışmasına yol açabilecek potansiyel bir risk olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca başarının ortam çıktısı yerine çizim üzerinden değerlendirilmesi, araya farklı bir temsil ortamı sokarak kontrolsüz bir değişken yaratma riski bulundurmaktadır. Bunun yanı sıra bu ek adımın anket uygulamasını geciktirerek katılımcıların ortam deneyimini hatırlama doğruluğunu etkilemiş olabileceği değerlendirilmiştir. Bu nedenle söz konusu eskiz adımının kaldırılmasına ve tasarım başarısının doğrudan ilgili ortam çıktısı üzerinden değerlendirilmesine karar verilmiştir.

3.5 Deneysel Çalışmanın Yöntemi

3.5.1 Katılımcılar

Çalışmanın örneklem büyüklüğü G*Power 3.1.9.7 yazılımı ile değerlendirilmiştir. Tasarım ortamı faktörü için yapılan güç analizinde $\alpha = .05$ ve $1-\beta = .80$ varsayımları kullanılmıştır. Analizde kullanılan $dz = 0.55$ değeri, ön deneyde tasarım ortamı karşılaştırması için hesaplanan öz-bildirim, fizyolojik ve performans temelli etki büyüklüklerinden türetilmiş; farklı ölçüm grupları arasında değişkenlik gösteren bu değerleri temsil eden temkinli bir orta düzey etki büyüklüğü olarak belirlenmiştir. Bu varsayımlar altında gerekli toplam örneklem büyüklüğü 27 olarak hesaplanmıştır. Görev zorluğu faktörü için ise aynı varsayımlar altında gerekli toplam örneklem büyüklüğü 56 olarak hesaplanmıştır.

Bu doğrultuda çalışmaya toplam 60 katılımcı dahil edilmiştir. Katılımcılar iki ayrı oturumda veri toplamaya katılmış olup, her bir oturumda 15 kadın ve 15 erkek olmak üzere toplam 30 katılımcı yer almıştır. Katılımcıların yaş dağılımları Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Çalışmaya katılan katılımcıların yaş dağılımları (İlk oturum sağda ikinci oturum solda)

Tüm katılımcıların mimarlık eğitiminin en az yarısını tamamlamış olmaları, aktif öğrenci statüsünde bulunmaları ve dijital modelleme programı olan SketchUp konusunda eğitim almış olmaları ön koşul olarak belirlenmiştir. Ayrıca tüm katılımcıların fiziksel maket ile tasarım yapma deneyimine sahip olmaları sağlanmıştır.

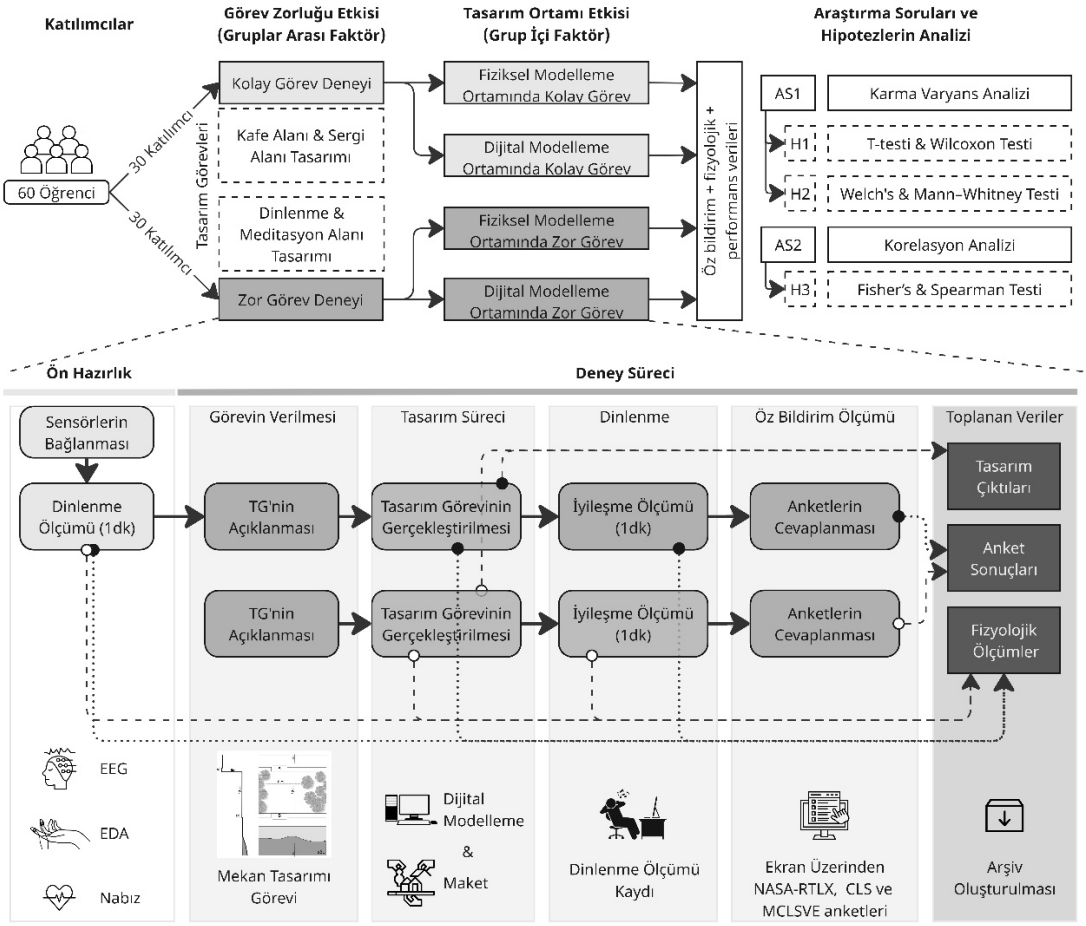
Deney öncesinde, katılımcıların fiziksel ve dijital modelleme ortamlarına yönelik aşinalık düzeyleri 1 (çok düşük) ile 7 (çok yüksek) arasında derecelendirilmiştir. İki oturumdaki katılımcı gruplarının aşinalık düzeyleri arasında fark olup olmadığını belirlemek amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, fiziksel modelleme için ($p = .72$) ve dijital modelleme için ($p = .31$) istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu bulgular doğrultusunda, her iki oturumdaki katılımcıların tasarım ortamlarına yönelik deneyim düzeylerinin benzer olduğu kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında gerekli etik kurul onayı alınmış olup, tüm katılımcılardan deney öncesinde bilgilendirilmiş onam formu temin edilmiştir.

3.5.2 Deney Protokolü

Deney akış şeması Şekil 3.14'da sunulan bu çalışma, bilişsel yükün tasarım ortamı ve görev zorluğu değişkenlerine bağlı olarak nasıl değiştiğini incelemek amacıyla iki faktörlü karma deneysel tasarım çerçevesinde kurgulanmıştır. Bu kapsamda,

görev zorluğu gruplar-arası faktör; tasarım ortamı ise grup-içi faktör olarak ele alınmıştır.



Şekil 3.14: Deneysel çalışmanın akış şeması

Tasarım ortamının grup-içi değişken olarak ele alınmasının temel nedeni, bireyler arası bilişsel farklılıkların kontrol altına alınarak aynı katılıcının farklı ortam koşullarındaki performansının doğrudan karşılaştırılabilmesini sağlamaktır. Bu yaklaşım, tasarım ortamının bilişsel yük üzerindeki etkisini daha hassas bir şekilde ortaya koymayı mümkün kılmaktadır.

Buna karşılık, görev zorluğu değişkeni gruplar-arası faktör olarak tanımlanmıştır. Bunun temel nedeni, aynı katılıcının farklı zorluk seviyelerine sahip görevleri ardışık olarak gerçekleştirmesi durumunda ortaya çıkabilecek öğrenme etkisi, strateji geliştirme ve yorgunluk gibi faktörlerin bilişsel yük ölçümlerini etkileme potansiyelidir. Görev zorluğunun gruplar arası olarak kurgulanması, bu tür sıralama

etkilerinin önüne geçerek elde edilen verilerin daha güvenilir biçimde yorumlanmasını sağlamaktadır.

Deney iki ayrı oturumda gerçekleştirilmiştir. İlk oturumda yer alan 30 katılımcı yalnızca kolay görev koşuluna, ikinci oturumda yer alan farklı 30 katılımcı ise yalnızca zor görev koşuluna maruz bırakılmıştır. Her iki oturumda da katılımcılar, tasarım görevlerini iki farklı ortamda (fiziksel ve dijital modelleme) gerçekleştirmiştir. Bu yapı sayesinde tasarım ortamının etkisi grup-içi karşılaştırmalarla, görev zorluğunun etkisi ise gruplar arası karşılaştırmalarla analiz edilebilir hale getirilmiştir.

Deney süreci üç ana aşamadan oluşmaktadır: ön hazırlık, deney süreci ve veri toplama. Ön hazırlık aşamasında katılımcılara EEG, EDA ve HR sensörleri bağlanmış ve başlangıç düzeyini belirlemek amacıyla 1 dakikalık dinlenme ölçümü alınmıştır.

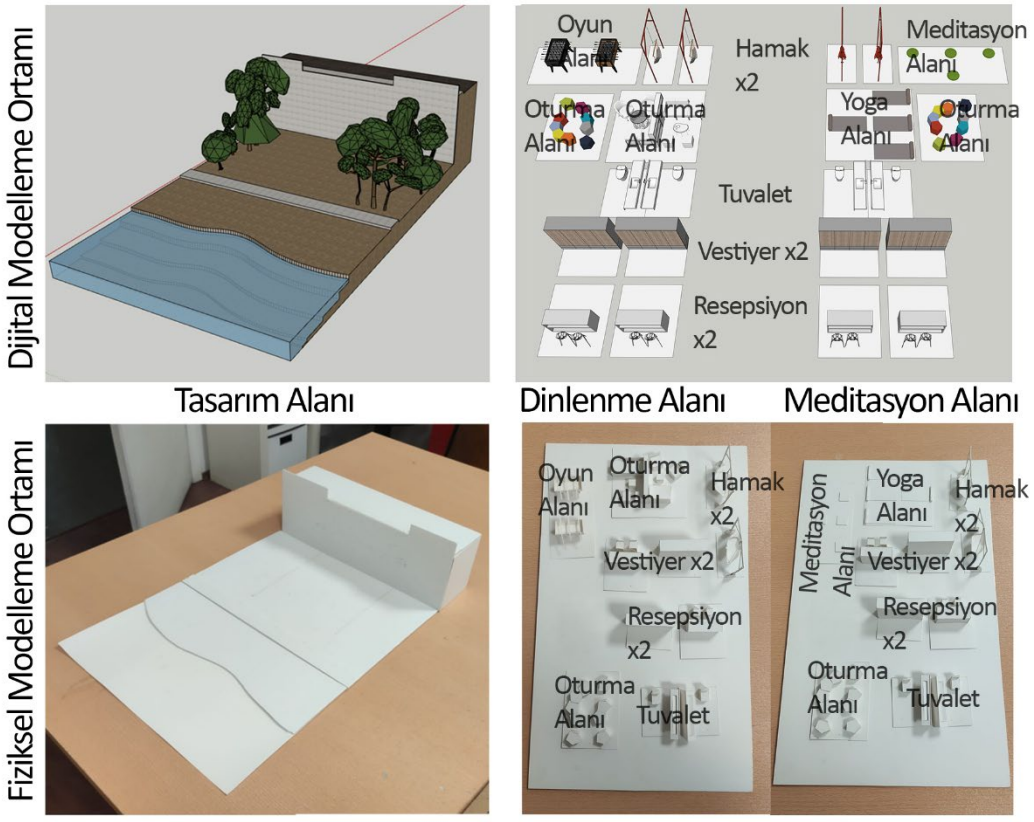
Deney sürecinde katılımcılara ilk olarak tasarım görevi açıklanmış ve ardından belirlenen tasarım ortamında (fiziksel ve dijital modelleme) tasarım süreci başlatılmıştır. Tasarım sürecinin tamamlanmasının ardından, fizyolojik ölçümlerin dengeye dönmesini izlemek amacıyla 1 dakikalık iyileşme ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu aşamayı takiben katılımcılardan, deneyimledikleri bilişsel yükü değerlendirmeye yönelik öz bildirim anketleri (NASA-RTLX, CLS ve MCLSVE) doldurmaları istenmiştir. Aynı süreç, ikinci tasarım ortamı için de tekrar edilmiştir.

Bölüm 3.1'de görev zorluğu temel olarak problem tanımlılığı üzerinden belirlenmiştir. Ancak ana deneyde fizyolojik ölçümlerin eş zamanlı olarak alınması ve tasarım süresinin 20 dakika ile sınırlandırılması nedeniyle, katılımcıların tefriş elemanı arama, seçme ve hazırlama süreçlerinden kaynaklanabilecek süre farklılıklarını azaltmak amacıyla tefriş elemanları katılımcılara hazır olarak verilmiştir. Bu düzenleme, deney süresinin kontrol edilmesi ve ölçüm koşullarının standartlaştırılması açısından gerekli görülmüştür.

Bununla birlikte, tefriş elemanlarının hazır verilmesi, görevlerin tanımlılık düzeyini kısmen artırarak Bölüm 3.1'de oluşturulan görev zorluğu ayrımını zayıflatabilecek bir etki yaratmıştır. Bu nedenle zor görev koşulunda, kolay görev koşuluna kıyasla dört adet daha fazla tefriş elemanının kullanılması beklenmiştir. Bu ekleme, görev

zorluğunu yeni bir değişken üzerinden yeniden tanımlamak amacıyla değil, hazır tefriş kullanımının zor görevde azaltabileceği karar yoğunluğunu ve mekânsal yerleşim gerekliliklerini kısmen dengelemek amacıyla yapılmıştır. Kolay görev oturumunda kullanılan tasarım alanı ve tefriş elemanları Şekil 3.11'da, zor görev oturumunda kullanılanlar ise Şekil 3.15'te gösterildiği biçimde katılımcılara sunulmuştur.

Bu düzenlemenin, görev zorluğu manipülasyonuna problem tanımlılığı dışında ek bir unsur dahil ettiği kabul edilmektedir. Dolayısıyla zor görev koşulunda gözlenen farklılıkların yalnızca problem tanımlılığına değil, aynı zamanda kullanılan tefriş elemanı sayısındaki artışa da bağlı olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 3.15: Zor görev için kullanılması beklenen tefriş elemanları ve tasarım alanı

Deneysel süreçte öğrenme etkilerinin kontrol altına alınması amacıyla hem tasarım ortamlarının sırası hem de görevlerin sunulma sırası Tablo 3.19'de gösterilen karşı dengeleme (*counterbalancing*) yöntemiyle katılımcılar arasında karıştırılarak

uygulanmıştır. Bu sayede sıralama etkilerinin deney sonuçları üzerindeki olası etkisi minimize edilmiştir.

Tablo 3.24: Deney sürecinde kullanılan karşı dengeleme yöntemi

	İLK OTURUM		**İLK OTURUM**		**2. OTURUM**		**2. OTURUM DEVAM**	
	Ortam	**Görev**	**Ortam**	**Görev**	**Ortam**	**Görev**	**Ortam**	**Görev**
Katılımcı 1	Fiziksel	Kafe	Dijital	Sergi	Fiziksel	Meditas.	Dijital	Dinlenme
Katılımcı 2	Dijital	Kafe	Fiziksel	Sergi	Dijital	Meditas.	Fiziksel	Dinlenme
Katılımcı 3	Fiziksel	Sergi	Dijital	Kafe	Fiziksel	Dinlenme	Dijital	Meditas.
Katılımcı 4	Dijital	Sergi	Fiziksel	Kafe	Dijital	Dinlenme	Fiziksel	Meditas.
...								
Katılımcı	Fiziksel	Kafe	Dijital	Sergi	Fiziksel	Meditas.	Dijital	Dinlenme

3.5.3 Ölçüm Teknikleri

Deneysel çalışmada bilişsel yük, öz-bildirim, fizyolojik ve performans temelli ölçüm teknikleri birlikte kullanılarak değerlendirilmiştir. Öz-bildirim verileri NASA-RTLX, CLS ve MCLSVE ölçekleriyle; fizyolojik veriler EEG, EDA ve HR ölçümleriyle; performans verileri ise tasarım başarısı ve zihinsel verimlilik göstergeleriyle elde edilmiştir. Bu ölçüm tekniklerinin seçilmesinde, bilişsel yükün yalnızca katılımcıların öznel değerlendirmeleriyle değil, fizyolojik tepkiler ve tasarım çıktılarıyla birlikte çok boyutlu olarak ele alınması amaçlanmıştır. Kullanılan ölçekler, cihazlar ve fizyolojik veri ön işleme çerçevesi Bölüm 3.2'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.5.4 Veri Analizi

Bu çalışmada veri analizi, araştırma soruları doğrultusunda iki aşamalı bir yaklaşım ile gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, tasarım ortamı ve görev zorluğu değişkenlerinin bilişsel yük üzerindeki ana ve etkileşim etkileri incelenmiş; ikinci aşamada ise öz bildirim, fizyolojik ve performans göstergeler arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Bu kapsamda, bilişsel yük farklı ölçüm türleri (öz bildirimler, fizyolojik göstergeler ve performans ölçütleri) üzerinden çok boyutlu olarak değerlendirilmiş ve değişkenler arası karşılaştırmalar bu çerçevede gerçekleştirilmiştir. Araştırma soruları doğrultusunda gerçekleştirilen analizler,

kullanılan istatistiksel testler, incelenen etki faktörleri ve veri türleri Tablo 3.20'de özetlenmiştir.

Tablo 3.25: Araştırma soruları ve bu sorular için yapılan analizler

Araştırma Sorusu	İlgili Analiz	Test Türü	Etki Faktörü	Veri Türü
Mimari tasarım ortamı ve görev zorluğu, tasarım sürecindeki bilişsel yükün öz bildirim, fizyolojik ve performans göstergelerini nasıl etkilemektedir?	Tasarım ortamı, görev zorluğu ve etkileşim etkisinin incelenmesi	Mixed ANOVA	Tasarım Ortamı x Görev Zorluğu	Öz Bildirimler (NASA-RTLX, CLS, MCLSVE)
				Fizyolojik Ölçümler (HR, EDA, EEG)
				Performans (Tasarım Başarısı, Zihinsel Verimlilik)
	Anlamlı veya yorumlanması gereken bulgular için ortam karşılaştırmaları	Paired t-test ve Wilcoxon test	Tasarım Ortamı	Öz Bildirimler (NASA-RTLX, CLS, MCLSVE)
				Fizyolojik Ölçümler (HR, EDA, EEG)
				Performans (Tasarım Başarısı, Zihinsel Verimlilik)
	Anlamlı veya yorumlanması gereken bulgular için görev zorluğu karşılaştırmaları	Welch's t-test ve Mann Whitney U	Görev Zorluğu	Öz Bildirimler (NASA-RTLX, CLS, MCLSVE)
				Fizyolojik Ölçümler (HR, EDA, EEG)
				Performans (Tasarım Başarısı, Zihinsel Verimlilik)
Bilişsel yükün öz bildirim ve fizyolojik göstergeleri arasında nasıl bir ilişki vardır?	Öz bildirim ve fizyolojik değişkenler arasındaki ilişkilerin incelenmesi	Spearman ve Fisher's Exact	Tasarım Ortamı	Öz Bildirimler (NASA-RTLX, CLS, MCLSVE)
				Fizyolojik Ölçümler (HR, EDA, EEG)

İlk araştırma sorusu kapsamında, mimari tasarım ortamı ve görev zorluğunun bilişsel yük üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla iki faktörlü karma varyans analizi (*mixed ANOVA*) uygulanmıştır. Bu analizde tasarım ortamı grup-içi, görev zorluğu ise gruplar-arası faktör olarak ele alınmıştır.

Bu aşamada üç temel etki incelenmiştir:

- Tasarım ortamının etkisi (fiziksel vs. dijital modelleme)
- Görev zorluğunun etkisi (kolay vs. zor görev)
- Tasarım Ortamı × Görev zorluğu etkileşim etkisi

Etkileşim etkisi, tasarım ortamının bilişsel yük üzerindeki etkisinin görev zorluğuna bağlı olarak değişip değişmediğini ifade etmektedir. Başka bir deyişle, ortam etkisinin kolay ve zor görev koşullarında benzer olup olmadığı bu analiz ile değerlendirilmiştir. Karma varyans analizi sonuçlarında anlamlı veya yorumlanması gerekli bulunan etkiler için ek karşılaştırma analizlerine geçilmiştir.

Görev zorluğu sabit tutulduğunda, tasarım ortamının etkisini incelemek amacıyla tekrarlı ölçümler için uygun testler uygulanmıştır. Normal dağılım varsayımının sağlandığı durumlarda eşleştirilmiş örneklemler t-testi (*paired t-test*), sağlanmadığı durumlarda ise Wilcoxon işaretli sıralar testi kullanılmıştır.

Tasarım ortamı sabit tutulduğunda görev zorluğunun etkisini incelemek amacıyla gruplar arası karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu kapsamda, normal dağılım varsayımının sağlandığı durumlarda Welch t-testi, sağlanmadığı durumlarda ise Mann–Whitney U testi kullanılmıştır.

Tüm bu analizler, öz bildirimler (NASA-RTLX, CLS, MCLSVE), fizyolojik ölçümler (HR, EDA, EEG) ve performans göstergeleri (tasarım başarısı ve zihinsel verimlilik) için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

İkinci araştırma sorusu kapsamında, bilişsel yükün anlamlı farklılık gösteren öz bildirim ve fizyolojik göstergeleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. İlişki analizlerinde, ilgili etki faktörüne karşılık gelen ölçümler için fark skorları hesaplanmış (örneğin tasarım ortamı için fiziksel ortam – dijital ortam, görev zorluğu için zor görev – kolay görev farkları) ve bu hesaplar üzerinden ilişkisellik analizleri gerçekleştirilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla Spearman sıra korelasyon analizi kullanılmıştır. Buna ek olarak, öz bildirim ve fizyolojik göstergelerin değişim yönlerinin tutarlılığını incelemek amacıyla Fisher'ın Kesin testi kullanılmıştır.

3.5.5 Yöntemin Kısıtlılıkları

Bu tez kapsamında geliştirilen deneysel metodolojinin çeşitli sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle, deneysel tasarımın grup içi ve gruplar arası

karşılaştırmaları birlikte içermesi yönteme ilişkin temel kısıtlılıklardan biridir. Tasarım ortamı değişkeni grup içi faktör olarak ele alınmış ve aynı katılımcıların fiziksel modelleme ile dijital modelleme ortamlarındaki ölçümleri karşılaştırılmıştır. Bu yapı, tasarım ortamına ilişkin karşılaştırmalarda bireysel farklılıkların daha kontrollü ele alınmasını sağlasa da, aynı katılımcıların iki farklı oturumda tasarım görevi gerçekleştirmesi nedeniyle öğrenme, alışma, strateji geliştirme ve yorgunluk etkilerinin tamamen ortadan kaldırılması mümkün değildir. Deney sırası dengelenmiş olsa da, ilk oturumda edinilen deneyimin ikinci oturumdaki performans, ortam kullanımı ve bilişsel yük ölçümleri üzerinde etkili olmuş olabileceği dikkate alınmalıdır. Buna karşılık görev zorluğu değişkeni gruplar arası faktör olarak kurgulanmış ve kolay ile zor görev koşulları farklı katılımcı grupları üzerinden değerlendirilmiştir. Bu yapı, öğrenme etkisini görev zorluğu karşılaştırmasından uzaklaştırsa da, bireyler arası farklılıkların görev etkisiyle karışma olasılığını tamamen ortadan kaldırmamaktadır. Her ne kadar grupların benzer özellikler göstermesi sağlanmaya çalışılmış olsa da, katılımcıların bilişsel kapasite, motivasyon, tasarım becerisi ve deneyim düzeylerindeki küçük farklılıklar görev zorluğu etkisinin yorumlanmasını sınırlamış olabilir. Bu nedenle tasarım ortamı ve görev zorluğuna ilişkin bulgular, aynı tür deneysel kısıtlılıklara sahip sonuçlar olarak değil, farklı karşılaştırma yapılarından üretilen tamamlayıcı bulgular olarak değerlendirilmelidir.

Görev zorluğu manipülasyonunun öz bildirim ölçümleri üzerinden yeterince ayırt edici olmaması, görev tasarımının doğasına ilişkin bir sınırlılık olarak değerlendirilebilir. Mimari tasarım görevlerinin açık uçlu ve çok katmanlı yapısı, basitleştirme çabalarına rağmen belirli bir bilişsel karmaşıklığın korunmasına neden olmaktadır. Bu durum, katılımcıların farklı zorluk seviyeleri arasındaki ince bilişsel yük farklarını algılamasını zorlaştırmış olabilir. Ayrıca katılımcıların gönüllülük esasına dayalı olarak çalışmaya dahil edilmiş olmaları ve performansa bağlı bir değerlendirme ya da ödül mekanizmasının bulunmaması, görev zorluğuna ilişkin algıların sınırlı kalmasına ve motivasyon düzeylerinin farklılaşmasına yol açmış olabilir.

Görev zorluğu manipülasyonuna ilişkin bir diğer kısıtlılık, zor görev koşulunda kullanılan tefriş elemanı sayısının kolay görev koşuluna göre artırılmış olmasıdır. Görev zorluğu temel olarak problem tanımlılığı üzerinden kurgulanmış olmakla

birlikte, ana deneyde fizyolojik ölçümlerin eş zamanlı olarak alınması ve tasarım süresinin 20 dakika ile sınırlandırılması nedeniyle tefriş elemanları katılımcılara hazır olarak verilmiştir. Bu düzenleme, tefriş elemanı arama, seçme ve hazırlama süreçlerinden kaynaklanabilecek süre farklılıklarını azaltmak ve deney koşullarını standartlaştırmak amacıyla yapılmıştır. Ancak tefriş elemanlarının hazır verilmesi, görevlerin tanımlılık düzeyini kısmen artırarak kolay ve zor görevler arasındaki ayrımı azaltabilecek bir etki yaratmıştır. Bu nedenle zor görev koşulunda, karar yoğunluğunu ve mekânsal yerleşim gerekliliklerini kısmen dengelemek amacıyla daha fazla tefriş elemanının kullanılması beklenmiştir. Bununla birlikte, bu düzenlemenin görev zorluğu manipülasyonuna problem tanımlılığı dışında ikinci bir unsur dahil ettiği kabul edilmektedir. Dolayısıyla zor görev koşulunda gözlenen farklılıkların yalnızca problem tanımlılığına değil, tefriş elemanı sayısındaki artışa da bağlı olabileceği dikkate alınmalıdır.

Fizyolojik ölçümler açısından değerlendirildiğinde, kullanılan sensörlerin teknik sınırlılıkları da bulgular üzerinde etkili olmuş olabilir. Özellikle maket üretimi sırasında artan fiziksel hareket ile dijital modelleme sürecindeki daha sabit çalışma biçimi, iki ortam arasında farklı veri kalitesi ve artefakt düzeyleri oluşturmuştur. Her ne kadar sinyal işleme ve filtreleme yöntemleri ile bu etkiler azaltılmaya çalışılmış olsa da, veri kaybı oranlarının ortamlar arasında farklılık göstermesi sonuçların karşılaştırılabilirliğini sınırlamış olabilir.

Bununla birlikte, veri indirgeme sürecine ilişkin sınırlılıklar da dikkate alınmalıdır. Öz bildirim verileri tekil değerlendirmeler üzerinden elde edilirken, fizyolojik veriler süreç boyunca sürekli ölçülmüş, ön dinlenme değerlerine göre normalize edilerek ortalama değerler üzerinden temsil edilmiştir. Bu yaklaşım, tasarım süreci boyunca ortaya çıkan anlık bilişsel yük dalgalanmalarının ortalamalar içinde kaybolmasına ve bazı etkilerin görünür olmamasına neden olmuş olabilir.

Bu çalışmada, fizyolojik ölçümlerin güvenilirliğini korumak amacıyla katılımcılardan tasarım süreci boyunca sessiz çalışmaları istenmiştir. Bu tercih, konuşma eyleminin EEG, EDA ve HR verileri üzerinde oluşturabileceği hareket, solunum ve kas aktivitesi kaynaklı artefaktları azaltmak amacıyla yapılmıştır. Ancak bu durum, özellikle tasarım sürecinde düşüncelerini sesli ifade ederek, kendi kendine konuşarak ya da sözel akıl yürütme yoluyla çalışan katılımcıların doğal tasarım stratejilerini sınırlandırmış olabilir. Dolayısıyla deney koşulları, fizyolojik

veri kalitesini artırmak açısından kontrollü bir ortam sağlamış olsa da, tasarım sürecinin doğal akışını ve bireysel çalışma alışkanlıklarını kısmen sınırlamış olabilir. Bu nedenle çalışmada bilişsel yük, süreç içi sözel ifade ve akıl yürütme verileri yerine öz bildirim, fizyolojik ölçüm ve performans göstergeleri üzerinden değerlendirilmiştir.

4
BİLİŞSEL YÜKÜN TASARIM ORTAMI VE GÖREV ZORLUĞUNA BAĞLI DEĞİŞİMİ

Bu bölümde, 3.5 bölümünde açıklanan deneysel metodolojinin uygulanması sonucunda elde edilen bulgular, araştırma soruları doğrultusunda yapılandırılarak sunulmakta ve ilgili literatür bağlamında değerlendirilmektedir. Analizler, tasarım ortamı ve görev zorluğunun bilişsel yük üzerindeki etkilerini ve bu etkilerin farklı ölçüm teknikleri aracılığıyla nasıl ortaya çıktığını incelemeye odaklanmaktadır.

Bu kapsamda bulgular, Tablo 3.20'da listelenen araştırma soruları doğrultusunda sunulmuştur. Öncelikle, tasarım ortamı ve görev zorluğu değişkenlerinin bilişsel yük üzerindeki ana ve etkileşim etkileri iki faktörlü karma varyans analizi ile incelenmiş ve bu sonuçlar 4.1 başlığı altında raporlanmıştır. Anlamlı veya yorumlanması gerekli bulunan bulgular için, tasarım ortamının etkisi eşleştirilmiş testler kullanılarak analiz edilmiş ve 4.2 başlığı altında sunulmuştur. Benzer şekilde, görev zorluğunun etkisi gruplar arası karşılaştırma testleri ile analiz edilerek 4.3 başlığı altında sunulmuştur. İstatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlemlenen öz bildirim temelli bilişsel yük değerlendirmeleri ile fizyolojik göstergeler arasındaki ilişkiler fark skorları üzerinden korelasyon analizi ve Fisher'ın kesin olasılık testi kullanılarak incelenmiş ve 4.4 başlığı altında raporlanmıştır. Elde edilen tüm bulgular, 4.5 başlığı altında ilgili literatür (Bölüm 2.4) ile karşılaştırılarak tartışılmış ve araştırma soruları bağlamında değerlendirilmiştir.

4.1 Faktör Etkileri ve Etkileşim Analizi

Bu bölümde, mimari tasarım ortamı ve görev zorluğu değişkenlerinin bilişsel yük üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular, araştırma sorusu doğrultusunda sistematik bir şekilde sunulmaktadır. Bu kapsamda, tasarım ortamı, görev zorluğu ve bu iki

faktörün etkileşim etkileri iki faktörlü karma varyans analizi ile incelenmiş; elde edilen bulgular öz bildirimler (Bölüm 4.1.1), fizyolojik ölçümler (Bölüm 4.1.2) ve performans göstergeleri (Bölüm 4.1.3) olmak üzere üç temel veri türü üzerinden değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarının genel çerçevesi ve özet bulgular Tablo 4.1'de sunulmaktadır. Bu tabloda özetlenen bulgulara ilişkin ayrıntılı istatistiksel analizler ve değerlendirmeler, izleyen alt başlıklarda ilgili veri türleri temelinde ayrı ayrı raporlanmıştır.

Tablo 4.1: Faktör etkileri ve etkileşim analizleri için özet bulgu tablosu

Araştırma Sorusu	**Analiz Yöntemi**	**Veri Türü**	**Bulgular**
Mimari tasarım ortamı ve görev zorluğu, tasarım sürecindeki bilişsel yükün öz bildirim, fizyolojik ve performans göstergelerini nasıl etkilemektedir?	Mixed ANOVA	Öz Bildirimler (NASA-RTLX, CLS, MCLSVE)	• *Tasarım ortamına bağlı olarak algılanan bilişsel yükte anlamlı farklık oluşmaktadır.* • *Görev zorluğu, algılanan bilişsel yükte anlamlı bir fark oluşturmamaktadır.* • *Ortam etkisine bağlı bilişsel yük artışı, görev zorluğundan bağımsızdır.* • *Her üç ölçekte ortam etkisine bağlı bilişsel yük ölçümünde etkilidir; ancak NASA-RTLX ve CLS, MCLSVE'ye göre daha etkilidir.*
		Fizyolojik Ölçümler (EDA, EEG, HR)	• *EDA, ortam etkisinde anlamlı bir fark göstermemiştir; SCR genliği ise görev zorluğunda anlamlı fark göstermiştir.* • *EEG'nin global beta, ile frontal beta/alpha ve frontal theta/alpha metrikleri hem tasarım ortamı hem de görev zorluğu için anlamlı farklar göstermektedir; ancak bu değişimler birbirinden bağımsızdır.* • *HR, ortam etkisinde anlamlı fark göstermiştir.*

Tablo 4.2: Faktör etkileri ve etkileşim analizleri için özet bulgu tablosu (devamı)

		Performans (Tasarım Başarısı, Zihinsel Verimlilik)	• *Tasarım başarısı, görev zorluğuna göre anlamlı farklılık göstermektedir.* • *Zihinsel verimlilik, tasarım ortamına göre anlamlı farklılık göstermektedir.*

4.1.1 Öz Bildirim Ölçümlerine Dayalı Bulgular

Tasarım ortamının ve görev zorluğunun öz bildirim sonuçlarına göre bilişsel yük üzerindeki etkisini incelemek amacıyla her üç geri bildirim ölçümü için ayrı ayrı karma varyans analizi sonuçları Tablo 4.2'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Öz bildirim ölçümleri için gerçekleştirilen karma varyans analizi sonuçları

	ETKİ	DF	F	P	PARTİAL	ETKİ
NASA-RTLX	Tasarım Ortamı	1, 58	22.36	**< .001**	**.278**	**büyük**
	Görev zorluğu	1, 58	0.19	.663	.003	ihmal edilebilir
	Ortam × Görev	1, 58	1.77	.188	.030	küçük
CLS	Tasarım Ortamı	1, 58	11.85	**.001**	**.170**	**büyük**
	Görev zorluğu	1, 58	0.05	.829	.001	çok küçük
	Ortam × Görev	1, 58	0.13	.719	.002	çok küçük
MCLSVE	Tasarım Ortamı	1, 58	7.74	**.007**	**.118**	**orta**
	Görev zorluğu	1, 58	0.59	.448	.010	çok küçük
	Ortam × Görev	1, 58	0.70	.406	.012	küçük

Sonuçlar, tasarım ortamının tüm öz bildirim temelli bilişsel yük ölçümlerinde anlamlı bir etkisi olduğunu göstermektedir. NASA-RTLX sonuçlarına göre tasarım ortamının bilişsel yük üzerinde güçlü bir etkisi bulunmuştur. Benzer şekilde CLS ölçeğinde de ortam etkisi güçlü ve anlamlıdır. MCLSVE ölçeğinde de ortam etkisi anlamlı bulunmuş, ancak etki büyüklüğü diğer iki ölçeğe kıyasla daha düşük düzeyde kalmıştır. Bu bulgular, fiziksel modelleme ortamında gerçekleştirilen tasarım görevlerinin, dijital modelleme ortamına kıyasla algılanan bilişsel yük düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar yarattığını göstermektedir.

Buna karşılık görev zorluğunun bilişsel yük üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Üç ölçekte de görev zorluğu için elde edilen p değerleri istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ayrıca görev zorluğu ile tasarım ortamı arasındaki etkileşim etkisi de hiçbir ölçekte anlamlı değildir. Bu durum, tasarım ortamının algılanan bilişsel yük üzerindeki etkisinin görev zorluğundan bağımsız olduğunu göstermektedir.

Etki büyüklükleri incelendiğinde, tasarım ortamının bilişsel yük üzerindeki etkisinin özellikle NASA-RTLX ölçeğinde oldukça güçlü olduğu görülmektedir. CLS ölçeğinde bu etkinin büyük düzeyde olduğu, MCLSVE ölçeğinde ise orta düzeyde kaldığı görülmektedir. Buna karşın görev zorluğu ve etkileşim etkileri tüm ölçeklerde ihmal edilebilir veya çok küçük düzeyde etki büyüklüklerine sahiptir.

Genel olarak bu bulgular, mimari tasarım sürecinde kullanılan tasarım ortamının algılanan bilişsel yük üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu, buna karşın görev zorluğunun aynı ölçüde belirgin bir etki yaratmadığını göstermektedir.

4.1.2 Fizyolojik Ölçümlere Dayalı Bulgular

Tasarım ortamının ve görev zorluğunun öz bildirim temelli bilişsel yük ölçekleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla fizyolojik gösterge olarak EDA, EEG ve HR olmak üzere üç ayrı ölçüm gerçekleştirilmiş ve her birinin göstergeleri için ayrı ayrı karma varyans analizi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.4: EDA göstergeleri için karma varyans analizi sonuçları

	ETKİ	DF	F	P	PARTİAL	ETKİ
SCL	Tasarım ortamı	1, 58	0.24	.625	.004	ihmal edilebilir
	Görev zorluğu	1, 58	0.01	.916	.000	ihmal edilebilir
	Ortam × Görev	1, 58	0.10	.751	.002	ihmal edilebilir
SCR Sayısı	Tasarım ortamı	1, 58	2.42	.126	.040	küçük
	Görev zorluğu	1, 58	0.57	.454	.010	çok küçük
	Ortam × Görev	1, 58	0.04	.836	.001	ihmal edilebilir
SCR Genliği	Tasarım ortamı	1, 58	0.05	.822	.001	İhmal edilebilir
	Görev zorluğu	1, 58	3.76	**.057**	.061	küçük
	Ortam × Görev	1, 58	0.07	.791	.001	ihmal edilebilir

EDA ölçümleri için karma varyans analizi sonuçları Tablo 4.3'de gösterilmiştir. SCL açısından ne tasarım ortamının ne de görev zorluğunun anlamlı bir etkisi olduğunu göstermiştir. Tasarım ortamının SCL üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı değildir. Benzer şekilde görev zorluğunun etkisi de anlamlı bulunmamıştır. Ortam ve görev zorluğu arasındaki etkileşim etkisi de anlamlı değildir.

Fazik elektrodermal tepki sayısını temsil eden SCR sayısı değişkeni açısından da benzer bir tablo ortaya çıkmıştır. Tasarım ortamının etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır, Görev zorluğunun etkisi de anlamlı değildir. Ortam ve görev zorluğu arasındaki etkileşim etkisi ise ihmal edilebilir düzeydedir.

SCR genliği değerleri incelendiğinde ise tasarım ortamının etkisinin yine anlamlı olmadığı görülmüştür. Görev zorluğu için elde edilen sonuç ise anlamlılık sınırına çok yakındır. Ortam ve görev zorluğu arasındaki etkileşim etkisi de anlamlı değildir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, EDA ölçümlerinden elde edilen sonuçlar tasarım ortamı ve görev zorluğunun elektrodermal aktivite göstergeleri üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını ortaya koymaktadır.

Tablo 4.5: EEG göstergeleri için karma varyans analizi sonuçları

	ETKİ	**DF**	**F**	**P**	**PARTİAL**	**ETKİ**
Genel Theta	Tasarım ortamı	1, 58	0.68	.413	.012	çok küçük
	Görev zorluğu	1, 58	5.22	**.026**	.083	orta
	Ortam × Görev	1, 58	2.57	.115	.042	küçük
Genel Alpha	Tasarım ortamı	1, 58	0.17	.680	.003	ihmal edilebilir
	Görev zorluğu	1, 58	0.06	.804	.001	ihmal edilebilir
	Ortam × Görev	1, 58	4.66	**.035**	.074	orta
Genel Beta	Tasarım ortamı	1, 58	4.95	**.030**	.079	orta
	Görev zorluğu	1, 58	6.33	**.015**	.098	orta
	Ortam × Görev	1, 58	1.65	.204	.028	küçük
Genel Theta / Genel Alpha	Tasarım ortamı	1, 58	1.90	.173	.032	küçük
	Görev zorluğu	1, 58	4.66	**.035**	.074	orta
	Ortam × Görev	1, 58	0.19	.667	.003	ihmal edilebilir

Tablo 4.6: EEG göstergeleri için karma varyans analizi sonuçları (devamı)

Genel Beta / Genel Alpha	TASARIM	1, 58	3.04	.086	.050	KÜÇÜK
	Görev zorluğu	1, 58	3.44	.069	.056	küçük
	Ortam × Görev	1, 58	1.30	.259	.022	küçük
Frontal Theta / Frontal Alpha	Tasarım ortamı	1, 58	5.03	**.029**	.080	orta
	Görev zorluğu	1, 58	5.84	**.019**	.091	orta
	Ortam × Görev	1, 58	0.33	.571	.006	ihmal edilebilir
Frontal Theta / Perinatal Alpha	Tasarım ortamı	1, 54	7.39	**.009**	.120	orta
	Görev zorluğu	1, 54	1.29	.262	.023	küçük
	Ortam × Görev	1, 54	0.02	.897	.000	ihmal edilebilir
Frontal Beta / Frontal Alpha	Tasarım ortamı	1, 58	8.20	**.006**	.124	orta
	Görev zorluğu	1, 58	6.48	**.014**	.100	orta
	Ortam × Görev	1, 58	0.57	.452	.010	küçük

EEG ölçümleri için karma varyans analizi sonuçları Tablo 4.4'de gösterilmiştir. Tekil bant güçleri incelendiğinde, global theta için görev zorluğunun istatistiksel olarak anlamlı bir ana etkisi olduğu görülmektedir. Buna karşılık tasarım ortamının ana etkisi ve ortam × görev zorluğu etkileşim etkisi anlamlı bulunmamıştır. Genel alpha için yalnızca etkileşim etkisinin anlamlı olduğu, ana etkilerin ise anlamlı olmadığı görülmektedir. Genel beta için ise hem tasarım ortamının hem de görev zorluğunun anlamlı ana etkileri bulunmuş, etkileşim etkisi anlamlı bulunmamıştır.

Genel oransal göstergeler incelendiğinde, global theta / genel alpha oranı için görev zorluğunun anlamlı bir ana etkisi olduğu, diğer etkilerin anlamlı olmadığı görülmektedir. Genel beta / genel alpha oranı için ise ne ana etkiler ne de etkileşim etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Bölgesel oransal göstergeler incelendiğinde, frontal theta / frontal alpha oranı için hem tasarım ortamının hem de görev zorluğunun anlamlı ana etkileri bulunmuş, etkileşim etkisi anlamlı değildir. Frontal theta / parietal alpha oranı için yalnızca tasarım ortamının anlamlı bir ana etkisi olduğu görülmektedir. Frontal beta / frontal alpha oranı için ise hem tasarım ortamının hem de görev zorluğunun anlamlı ana etkileri bulunmuş, etkileşim etkisi anlamlı değildir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, EEG göstergelerinde görev zorluğu ve tasarım ortamına bağlı anlamlı farklılıkların belirli metriklerde ortaya çıktığı, ancak etkileşim etkisinin sınırlı olduğu görülmektedir.

Tablo 4.7: HR göstergesi için karma varyans analizi sonuçları

	ETKİ	DF	F	P	PARTİAL	ETKİ
HR	Tasarım Ortamı	1, 58	14.33	**< .001**	.198	büyük
	Görev Zorluğu	1, 58	0.72	.400	.012	çok küçük
	Ortam × Görev	1, 58	3.13	.082	.051	orta

HR ölçümleri için karma varyans analizi sonuçları Tablo 4.5'da gösterilmiştir. Analiz sonuçları, tasarım ortamının HR üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir ana etkisi olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, farklı tasarım ortamlarında gerçekleştirilen görevler sırasında ölçülen fizyolojik tepkilerin birbirinden anlamlı biçimde farklılaştığını göstermektedir.

Buna karşılık, görev zorluğunun HR üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Ayrıca, tasarım ortamı ile görev zorluğu arasındaki etkileşim etkisi de istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu bulgu, tasarım ortamının HR üzerindeki etkisinin görev zorluğuna bağlı olarak değişmediğini göstermektedir.

4.1.3 Performans Ölçümlerine Dayalı Bulgular

Tasarım ortamının ve görev zorluğunun öz bildirim temelli bilişsel yük ölçekleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla her iki performans ölçümü için ayrı ayrı karma varyans analizi sonuçları Tablo 4.6'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8: Performans göstergeleri için karma varyans analizi sonuçları

	ETKİ	DF	F	P	PARTİAL	ETKİ
Tasarım Başarısı	Tasarım ortamı	1, 58	3.94	.052	.064	orta-sınırda
	Görev zorluğu	1, 58	26.52	**< .001**	.314	büyük
	Ortam × Görev	1, 58	0.72	.399	.012	küçük
Zihinsel Verimlilik	Tasarım ortamı	1, 58	17.63	**< .001**	.233	büyük
	Görev zorluğu	1, 58	0.30	.586	.005	ihmal edilebilir
	Ortam × Görev	1, 58	0.05	.830	.001	ihmal edilebilir

Tasarım başarısı açısından elde edilen bulgular, görev zorluğunun istatistiksel olarak anlamlı bir ana etkisi olduğunu göstermektedir. Buna karşılık tasarım ortamının ana etkisi anlamlılık sınırına yakın olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış, ortam ile görev zorluğu arasındaki etkileşim etkisi de anlamlı değildir.

Zihinsel verimlilik açısından elde edilen bulgular incelendiğinde, tasarım ortamının istatistiksel olarak anlamlı bir ana etkisi olduğu görülmektedir. Buna karşılık görev zorluğunun ana etkisi ve ortam × görev zorluğu etkileşim etkisi anlamlı bulunmamıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, performans göstergeleri açısından görev zorluğunun tasarım başarısı üzerinde belirleyici bir etkisi olduğu, buna karşılık zihinsel verimlilik göstergesinin tasarım ortamına duyarlı olduğu görülmektedir.

4.2 Tasarım Ortamı Karşılaştırmaları

Bu bölümde, karma varyans analizi sonucunda anlamlı farklılık gösteren tasarım ortamı değişkeninin bilişsel yük üzerindeki etkilerine ilişkin ikili karşılaştırma sonuçları sunulmaktadır. Bu kapsamda, tasarım ortamının etkisi tekrarlı ölçümlere uygun ikili testler aracılığıyla incelenmiş; elde edilen bulgular öz bildirim temelli ölçekler (Bölüm 4.2.1), fizyolojik ölçümler (Bölüm 4.2.2) ve performans göstergeleri (Bölüm 4.2.3) olmak üzere üç temel veri türü üzerinden değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarının genel çerçevesi ve özet bulgular Tablo 4.7'da sunulmaktadır. Bu tabloda özetlenen bulgulara ilişkin ayrıntılı istatistiksel analizler ve değerlendirmeler, izleyen alt başlıklarda ilgili veri türleri temelinde ayrı ayrı raporlanmıştır.

Tablo 4.9: Tasarım ortamı etkisine ilişkin özet bulgu tablosu

Araştırma Sorusu	**Analiz Yöntemi**	**Veri Türü**	**Bulgular**
Tasarım ortamı, mimari tasarım sürecindeki bilişsel yükün öz bildirim, fizyolojik ve performans göstergelerini nasıl etkilemektedir?	Paired t-test ve Wilcoxon test	Öz Bildirimler (NASA-RTLX, CLS, MCLSVE)	• *NASA-RTLX sonuçlarına göre fiziksel modelleme ortamının oluşturduğu bilişsel yük ve çaba, fiziksel yükten kaynaklanmaktadır.* • *CLS sonuçlarına göre fiziksel ortam bilişsel yükü arttırmaktadır. Bu artış kolay görev koşulunda zihinsel yükten, zor görev koşulunda zihinsel çabadan kaynaklanmaktadır.* • *MCLSVE, kolay görevde ayırt edicidir ve fiziksel modelleme ortamı dışsal yükü artırmaktadır.*
		Fizyolojik Ölçümler (EDA, EEG, HR)	• *EDA, ortam etkisi için anlamlı fark göstermemektedir.* • *Kolay görevde fiziksel modelleme sürecinde beta daha yüksektir; zor görevde de oransal beta değerleri fiziksel modelleme ortamında daha yüksektir. Theta değerleri ise her iki zorluk düzeyinde de dijital ortamda daha yüksektir.* • *Kolay görevde fiziksel modelleme ortamı daha yüksek HR oluşturmuştur; zor görevde ise anlamlı fark yoktur.*
		Performans (Tasarım Başarısı, Zihinsel Verimlilik)	• *Her iki görev zorluğunda da ortama bağlı tasarım başarısında fark yoktur.* • *Her iki görev zorluğunda da dijital modelleme, fiziksel modelleme ortamına göre daha verimlidir.*

4.2.1 Öz Bildirim Ölçümleri Üzerinden Tasarım Ortamı Karşılaştırmaları

Tasarım ortamının öz bildirim temelli bilişsel yük ölçümleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen ikili karşılaştırma sonuçları bu bölümde sunulmaktadır. Bu kapsamda, fiziksel ve dijital modelleme ortamlarında elde edilen öz bildirim sonuçları karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarının tamamı Ek C'de sunulmuştur.

- ***NASA-RTLX*** ölçeğine ilişkin bulgular incelendiğinde, fiziksel modelleme ortamında özellikle fiziksel talep, zaman baskısı ve çaba boyutlarında anlamlı artışlar gözlenmektedir. Bu durum, fiziksel modelleme ortamında gerçekleştirilen tasarım sürecinin katılımcılar üzerinde daha yüksek fiziksel gereksinim oluşturduğunu ve buna bağlı olarak genel bilişsel yük algısını artırdığını göstermektedir. Toplam yük puanındaki artışın da benzer şekilde fiziksel talep ve çaba bileşenlerinden beslendiği anlaşılmaktadır. Bu bulgular doğrultusunda, NASA-RTLX sonuçlarına göre fiziksel modelleme ortamının oluşturduğu bilişsel yük ve çabanın büyük ölçüde fiziksel yükten kaynaklandığı görülmektedir.
- ***CLS*** ölçeğine ilişkin bulgular, görev zorluğuna bağlı olarak bilişsel yük bileşenlerinin farklı biçimde ayrıştığını göstermektedir. Kolay görev koşulunda zihinsel yük boyutunun daha belirgin biçimde farklılaştığı, zor görev koşulunda ise zihinsel çaba boyutunun daha duyarlı olduğu görülmektedir. Toplam yük puanları her iki görev düzeyinde fiziksel ortamda dijital ortama göre daha fazladır. Bu bulgular doğrultusunda, CLS sonuçlarına göre kolay görev zihinsel yükü artırırken, zor görev çabayı artırmaktadır.
- ***MCLSVE*** ölçeğine ilişkin bulgular incelendiğinde, özellikle kolay görev koşulunda dışsal yük bileşenlerinin tasarım ortamına duyarlı olduğu görülmektedir. Fiziksel modelleme ortamında dışsal yük bileşenlerinde gözlenen artış, bu ortamın kullanıcıya ek bilişsel işlem gereksinimi yüklediğini düşündürmektedir. Buna karşılık zor görev koşulunda ölçeğin ayırt ediciliğinin azaldığı ve anlamlı farklılıkların oluşmadığı görülmektedir. Bu bulgular doğrultusunda, MCLSVE ölçeğinin özellikle kolay görev koşullarında daha ayırt edici olduğu ve fiziksel modelleme ortamının dışsal bilişsel yükü artırdığı görülmüştür.

4.2.2 Fizyolojik Ölçümler Üzerinden Tasarım Ortamı Karşılaştırmaları

Tasarım ortamının fizyolojik göstergeler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen ikili karşılaştırma sonuçları bu bölümde sunulmaktadır. Bu

kapsamda, fiziksel ve dijital modelleme ortamlarında elde edilen EDA, EEG ve HR ölçümleri karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarının tamamı Ek D'de sunulmuştur.

- ***EDA*** ölçümlerine ilişkin bulgular incelendiğinde, tasarım ortamına bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Hem tonik bileşen (SCL) hem de fazik göstergeler (SCR sayısı ve genliği) açısından ortam etkisinin sınırlı kaldığı görülmektedir. Yalnızca zor görev koşulunda SCR genliği açısından anlamlı bir farklılık tespit edilmiş olmakla birlikte, genel eğilim EDA ölçümlerinin tasarım ortamına duyarlılığının düşük olduğunu göstermektedir.
- ***EEG*** ölçümlerine ilişkin bulgular, tasarım ortamına bağlı olarak belirli metriklerde farklılaşmalar olduğunu göstermektedir. Kolay görev koşulunda genel beta bandı açısından anlamlı farklılık gözlenirken, zor görev koşulunda özellikle oran temelli metriklerde (genel beta/alpha ve frontal theta/alpha ile frontal beta/alpha oranları) anlamlı farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu bulgular, fiziksel modelleme ortamında beta bandı ve beta temelli oranların daha belirgin olduğunu, buna karşılık theta bandının dijital ortamda daha yüksek değerler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, farklı tasarım ortamlarının bilişsel süreçlerin farklı bileşenlerini öne çıkardığına işaret etmektedir.
- ***HR*** ölçümlerine ilişkin bulgular incelendiğinde, kolay görev koşulunda tasarım ortamına bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenirken, zor görev koşulunda bu farkın ortadan kalktığı görülmektedir. Bu bulgu, tasarım ortamının fizyolojik uyarılma üzerindeki etkisinin görev zorluğuna bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.

4.2.3 Performans Ölçümleri Üzerinden Tasarım Ortamı Karşılaştırmaları

Tasarım ortamının performans göstergeleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen ikili karşılaştırma sonuçları bu bölümde sunulmaktadır. Bu kapsamda, fiziksel ve dijital modelleme ortamlarında elde edilen tasarım başarısı ve zihinsel verimlilik değerleri karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarının tamamı Ek E'de sunulmuştur.

- ***Tasarım başarısına*** ilişkin bulgular incelendiğinde hem kolay hem de zor görev koşullarında tasarım ortamına bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemektedir.

- ***Zihinsel verimlilik*** göstergesi açısından elde edilen bulgular ise farklı bir örüntü ortaya koymaktadır. Hem kolay hem de zor görev koşullarında tasarım ortamına bağlı olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiş ve bu farklılıkların dijital modelleme ortamı lehine olduğu görülmüştür. Bu durum, dijital ortamda gerçekleştirilen tasarım süreçlerinin, benzer performans düzeyleriyle daha düşük algılanan çaba kombinasyonu üreterek daha yüksek zihinsel verimlilik sağladığını göstermektedir.

4.3 Görev Zorluğu Karşılaştırmaları

Bu bölümde, karma varyans analizi sonucunda anlamlı farklılık gösteren görev zorluğu değişkeninin bilişsel yük üzerindeki etkilerine ilişkin ikili karşılaştırma sonuçları sunulmaktadır. Bu kapsamda, görev zorluğunun etkisi gruplar arası karşılaştırmalara uygun ikili testler aracılığıyla incelenmiş; elde edilen bulgular öz bildirimler (Bölüm 4.3.1), fizyolojik ölçümler (Bölüm 4.3.2) ve performans göstergeleri (Bölüm 4.3.3) olmak üzere üç temel veri türü üzerinden değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarının genel çerçevesi ve özet bulgular Tablo 4.8'da sunulmaktadır. Bu tabloda özetlenen bulgulara ilişkin ayrıntılı istatistiksel analizler ve değerlendirmeler, izleyen alt başlıklarda ilgili veri türleri temelinde ayrı ayrı raporlanmıştır.

Tablo 4.10: Görev zorluğu etkisine ilişkin özet bulgu tablosu

Araştırma Sorusu	**Analiz Yöntemi**	**Veri Türü**	**Bulgular**
Görev zorluğu, mimari tasarım sürecindeki bilişsel yükün öz bildirim, fizyolojik ve performans göstergelerini nasıl etkilemektedir?	Welch's t-test ve Mann Whitney U	Öz Bildirimler	• *Her üç ölçekte de görev zorluğu anlamlı fark göstermemiştir.*
		Fizyolojik Ölçümler (EDA, EEG, HR)	• *SCR genliği, her iki ortamda da zor görevde daha yüksektir.* • *Her iki modelleme ortamında da kolay görevde, zor göreve kıyasla tekil ve oransal theta ve beta daha yüksektir.*

Tablo 4.11: Görev zorluğu etkisine ilişkin özet bulgu tablosu (devamı)

			• *Görev etkisi, HR üzerinde anlamlı bir fark yaratmamaktadır.*
		Performans (Tasarım Başarısı, Zihinsel Verimlilik)	• *Her iki ortamda da kolay görevde tasarım başarısı, zor göreve göre daha yüksektir.* • *Her iki ortamda da görev zorluğunun verimliliğe anlamlı bir etkisi yoktur.*

4.3.1 Öz Bildirim Ölçümleri Üzerinden Görev Zorluğu Karşılaştırmaları

Görev zorluğunun öz bildirim temelli bilişsel yük ölçümleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen ikili karşılaştırma sonuçları bu bölümde sunulmaktadır. Bu kapsamda, kolay ve zor görev koşullarında elde edilen öz bildirim sonuçları, tasarım ortamı sabit tutularak karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarının tamamı Ek F'de sunulmuştur.

- ***NASA-RTLX*** ölçeğine ilişkin bulgular incelendiğinde hem fiziksel hem de dijital modelleme ortamlarında görev zorluğuna bağlı olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemektedir. Ölçeğin alt boyutları ve toplam yük puanı birlikte değerlendirildiğinde, görev zorluğunun algılanan bilişsel yük üzerinde belirleyici bir etkisinin olmadığı görülmektedir.
- ***CLS*** ölçeğine ilişkin bulgular da benzer bir örüntü göstermektedir. Hem zihinsel yük hem de zihinsel çaba boyutlarında, ayrıca toplam yük puanında görev zorluğuna bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir.
- ***MCLSVE*** ölçeğine ilişkin bulgular incelendiğinde ise, içsel, dışsal ve etkin yük bileşenlerinin tamamında görev zorluğuna bağlı olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemektedir.

4.3.2 Fizyolojik Ölçümler Üzerinden Görev Zorluğu Karşılaştırmaları

Görev zorluğunun fizyolojik göstergeler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen ikili karşılaştırma sonuçları bu bölümde sunulmaktadır. Bu kapsamda, kolay ve zor görev koşullarında elde edilen EDA, EEG ve HR ölçümleri,

tasarım ortamı sabit tutularak karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarının tamamı Ek G'de sunulmuştur.

- ***EDA*** ölçümlerine ilişkin bulgular incelendiğinde, tonik bileşen (SCL) ve SCR sayısı açısından görev zorluğuna bağlı olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemektedir. Buna karşılık, SCR genliği her iki tasarım ortamında da görev zorluğuna duyarlı bir örüntü sergilemekte ve zor görev koşulunda daha yüksek değerler göstermektedir.
- ***EEG*** ölçümlerine ilişkin bulgular, görev zorluğuna bağlı olarak belirli metriklerde farklılaşmalar olduğunu göstermektedir. Fiziksel modelleme ortamında, kolay görev koşulunda tekil ve bölgesel oran temelli theta ve beta göstergelerinde anlamlı farklılıklar gözlenmektedir. Benzer şekilde, dijital modelleme ortamında da görev zorluğuna bağlı olarak özellikle oran temelli metriklerde farklılaşmalar ortaya çıkmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, her iki ortamda da kolay görev koşulunda theta ve beta temelli göstergelerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, görev zorluğunun EEG göstergeleri üzerindeki etkisinin metrik türüne bağlı olarak farklı biçimlerde ortaya çıktığını göstermektedir.
- ***HR*** ölçümlerine ilişkin bulgular incelendiğinde, hem fiziksel hem de dijital modelleme ortamlarında görev zorluğuna bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemektedir.

4.3.3 Performans Ölçümleri Üzerinden Görev Zorluğu Karşılaştırmaları

Görev zorluğunun performans göstergeleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilen ikili karşılaştırma sonuçları bu bölümde sunulmaktadır. Bu kapsamda, kolay ve zor görev koşullarında elde edilen tasarım başarısı ve zihinsel verimlilik değerleri, tasarım ortamı sabit tutularak karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarının tamamı Ek E'de sunulmuştur.

- ***Tasarım başarısına*** ilişkin bulgular incelendiğinde, hem fiziksel hem de dijital modelleme ortamlarında görev zorluğuna bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmektedir. Bu farklılıkların her iki ortamda da kolay görev koşulu lehine olduğu görülmektedir. Bu bulgu, görev zorluğunun tasarım çıktısının kalitesi üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu göstermektedir.

- ***Zihinsel verimlilik*** göstergesi açısından elde edilen bulgular incelendiğinde ise, her iki tasarım ortamında da görev zorluğuna bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemektedir.

4.4 Öz Bildirim ve Fizyolojik Göstergeler Arasındaki İlişkiler

Öz bildirim temelli bilişsel yük ölçümleri ile fizyolojik göstergeler arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla, her bir etki faktörü için hesaplanan fark skorları üzerinden korelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, öz bildirim ve fizyolojik ölçümler arasındaki ilişkiler Spearman sıra korelasyon katsayısı kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, değişkenler arasındaki yönsel tutarlılığı incelemek amacıyla Fisher's Exact testi uygulanmıştır.

Spearman korelasyon analizleri sonucunda, fizyolojik ölçümler ile öz bildirim temelli bilişsel yük ölçümleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir. Bu bulgu, farklı ölçüm türlerinin bilişsel yükteki değişimleri eş zamanlı ve doğrusal bir biçimde yansıtmadığını göstermektedir. Yönsel tutarlılık analizlerine ilişkin bulgular Tablo 4.9'de sunulmuştur.

Tablo 4.12: Öz bildirim ve fizyolojik göstergeler arasındaki yönsel uyum analizi sonuçları

	Fizyolojik ve Anket	**Uyum (%)**	**p (Fisher)**	**Yorum**
Kolay Görev	HR – NASA-RTLX	69%	0.18	Eğilim anlamsız
	HR – CLS	60%	0.41	Anlamsız
	HR – MCLSVE	57%	0.59	Anlamsız
	Genel Beta – NASA-RTLX	53%	0.79	Rastgeleye yakın
	Genel Beta – CLS	50%	1.00	Tam rastgele
	Genel Beta – MCLSVE	56%	0.62	Anlamsız
	Fizyolojik ve Anket	**Uyum (%)**	**p (Fisher)**	**Yorum**
Zor Görev	G Beta/Alpha – NASA-RTLX	%63	0.31	Anlamsız
	G Beta/Alpha – CLS	%60	0.42	Anlamsız
	G Beta/Alpha – MCLSVE	%57	0.58	Anlamsız
	F Theta/Alpha – NASA-RTLX	%53	0.79	Rastgeleye yakın
	F Theta/Alpha – CLS	%50	1.00	Rastgele
	F Theta/Alpha – MCLSVE	%52	0.85	Anlamsız
	F Theta/P Alpha – NASA-RTLX	%50	1.00	Rastgele
	F Theta/P Alpha – CLS	%47	0.83	Anlamsız

Tablo 4.13: Öz bildirim ve fizyolojik göstergeler arasındaki yönsel uyum analizi sonuçları (devamı)

F Theta/P Alpha – MCLSVE	%50	1.00	Rastgele
F Beta/Alpha – NASA-RTLX	%67	0.22	Eğilim anlamsız
F Beta/Alpha – CLS	%63	0.30	Anlamsız
F Beta/Alpha – MCLSVE	%60	0.41	Anlamsız

Hem kolay hem de zor görev koşuluna ilişkin bulgular incelendiğinde, fizyolojik ve öz bildirim ölçümleri arasında yönsel uyum oranlarının genel olarak orta düzeyde olduğu, ancak bu uyumun istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir.

4.5 Deneysel Çalışmanın Değerlendirmesi

Bu bölümde, deneysel çalışmadan elde edilen bulgular araştırma soruları temelinde tartışılmıştır. İlk araştırma sorusu kapsamında, tasarım ortamı ve görev zorluğunun bilişsel yük göstergeleri üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular ele alınmış; bu doğrultuda tasarım ortamı etkileri 4.5.1 başlığı altında, görev zorluğu etkileri ise 4.5.2 başlığı altında tartışılmıştır. İkinci araştırma sorusu kapsamında, öz bildirim ve fizyolojik göstergeler arasındaki ilişkilere dair bulgular 4.5.3 başlığı altında değerlendirilmiştir. Son olarak, 4.5.4 başlığı altında çalışmanın metodolojik çerçevesi ve bulguların hem gelecekteki deneysel çalışmalar hem de mimarlık eğitimi bağlamındaki olası katkıları ele alınmıştır.

4.5.1 Tasarım Ortamının Bilişsel Yük Üzerindeki Etkisi

Bu bölümde, Bölüm 4.2'de sunulan bulgular, Bölüm 2.4'de sunulan sistematik literatür incelemesi kapsamında belirlenen çalışmaların sonuçları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve güncel literatür bağlamında yorumlanmıştır. Bu kapsamda ele alınan bulgular Tablo 4.10'de özetlenmiştir.

Tablo 4.14: Tasarım ortamı etkisine dair bulgular ve değerlendirmeleri

Hipotez	Veri	Bulgu	Değerlendirme
H1	Öz Bildirimler	*NASA-RTLX sonuçlarına göre fiziksel modelleme ortamının oluşturduğu bilişsel yük ve çaba, fiziksel yükten kaynaklanmaktadır.*	Fiziksel üretim süreçleri (kesme, birleştirme, malzeme kontrolü) doğrudan dışsal yük oluşturmuş olabilir.
		CLS sonuçlarına göre fiziksel ortam bilişsel yükü arttırmaktadır. Bu artış kolay görev koşulunda zihinsel yükten, zor görev koşulunda zihinsel çabadan kaynaklanmaktadır.	Kolay görev problem çözmeyi tetiklerken zor görev çözüm üretme stratejilerini tetiklemiş olabilir.
		MCLSVE, kolay görevde ayırt edicidir ve fiziksel modelleme ortamı dışsal yükü artırmaktadır.	Ölçek karmaşıklığı zor görevde algısal hataya yol açmış olabilir.
	Fizyolojik Ölçümler	*EDA, ortam etkisi için zor görev koşulunda SCR genliği haricinde anlamlı fark göstermemektedir.*	EDA daha çok anlık değişim ölçümünde etkiliyken uzun süreli bilişsel yük farklarını algılayamamış olabilir.
		Kolay görevde fiziksel modelleme sürecinde beta daha yüksektir; zor görevde de oransal beta değerleri fiziksel modelleme ortamında daha yüksektir. Theta değerleri ise her iki zorluk düzeyinde de dijital ortamda daha yüksektir.	Fiziksel ortam odaklanmayı arttırırken dijital ortam planlamayı ve problem çözmeye ayrılan süreyi arttırdığı düşünülmektedir.
		Kolay görevde fiziksel modelleme ortamı daha yüksek HR oluşturmuştur; zor görevde ise anlamlı fark yoktur.	Basit görevde fiziksel yük değişimi daha belirginken zor görevde tüm koşullar yüksek yük seviyesine ulaşmış olabilir.

Tablo 4.15: Tasarım ortamı etkisine dair bulgular ve değerlendirmeleri (devamı)

Performans Ölçümleri	*Her iki görev zorluğunda da ortama bağlı tasarım başarısında fark yoktur.*	Kompanzasyon mekanizması ile yük artarken çaba ve odak ile dengelenmiş olabilir.
	Her iki görev zorluğunda da dijital modelleme, fiziksel modelleme ortamına göre daha verimlidir.	Dijital modelleme ortamı, daha düşük dışsal bilişsel yük sayesinde daha yüksek zihinsel verimlilik sağlamaktadır. Dijital araçlara aşinalık etkisi olabilir.

Öz bildirim ölçümlerine ilişkin tasarım ortamı etkisine dair ilk bulgu, fiziksel ortamın dijital modelleme ortamına kıyasla bilişsel yükü artırması ve bu artışın NASA-RTLX sonuçlarına göre fiziksel talepten kaynaklanmasıdır. Bu bulgu, Figen Gül (2014)'ün çalışmasında eskiz ortamında dijital modellemeye kıyasla daha yüksek fiziksel aktivite gözlenmesi ile örtüşmektedir. Her ne kadar eskiz ortamı maket üretimindeki kesme ve birleştirme gibi işlemleri içermese de fiziksel etkileşimin bilişsel sürece ek yük getirdiği düşünülmektedir. Buna karşılık, Mohamed-Ahmed ve diğ. (2013) ile Ahmed ve diğ. (2011)'in çalışmalarında, tasarım ortamları arasında bilişsel yük açısından anlamlı bir fark bulunmaması ve (Pierre ve diğ., 2011)'in fiziksel modelleme ortamını dijital ortamlara kıyasla daha düşük bilişsel yük ile ilişkilendirilmesi bu çalışmanın bulguları ile çelişmektedir. Fakat bu farklılığın, söz konusu çalışmalarda bilişsel yükün ikincil görev yöntemi ile ölçülmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. İkincil görev yaklaşımında, birincil tasarım görevinin zihinsel kapasiteyi büyük ölçüde doldurması durumunda, ortamlar arası farkların ölçülebilir düzeyde ortaya çıkmaması olasıdır (Young ve diğ., 2014). Bu durum, özellikle yüksek bilişsel talep içeren tasarım görevlerinde ölçüm yönteminin duyarlılığına ilişkin sınırlılıklara işaret etmektedir.

Öz bildirimlere ilişkin ikinci bulgu ise, CLS sonuçlarına göre kolay görev koşulunda zihinsel yük bileşeninin, zor görev koşulunda ise çaba bileşeninin farklılaşmasıdır. Sistematik literatür incelemesinde bu bulgu ile doğrudan örtüşen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte, W. L. Wu ve diğ. (2021) ile Mejia-Puig ve Chandrasekera (2023a)'nın çalışmalarında toplam bilişsel yükte ortama bağlı farklılıklar gözlenirken zihinsel çaba bileşeninde anlamlı bir değişim

bulunmaması, bu bulguyu dolaylı olarak desteklemektedir. Bu durum, görev kolay olduğunda toplam bilişsel yükteki değişimlerin zihinsel çaba algısına yansımayabileceğini ya da katılımcıların çaba bileşenindeki farklılıkları ancak daha yüksek yük seviyelerinde ayırt edebildiğini düşündürmektedir.

MCLSVE sonuçları incelendiğinde, kolay görev koşullarında fiziksel modelleme ortamının dışsal bilişsel yükü artırdığı görülürken, zor görev koşullarında aynı etkinin gözlenmediği dikkat çekmektedir. Bu durumun iki olası nedeni olduğu düşünülmektedir. İlk olarak, görev zorluğu arttıkça katılımcıların içsel ve dışsal bilişsel yük bileşenlerini ayrıştırmakta zorlanmaları ve bu ayrımı öznel değerlendirmelerine yansıtamamaları söz konusu olabilir. Bu yorum, Umair ve diğ. (2022) ile Fiorentino ve diğ. (2020)'nin çalışmalarında tasarım değerlendirmesi görevinde VR ve masaüstü ortamlar arasında bilişsel yük açısından anlamlı farklar bulunurken, benzer ortamların kullanıldığı ancak görev karmaşıklığının daha yüksek olduğu Henstrom ve diğ.'nin (2024) çalışmasında bu farkın ortadan kalkması ile paralellik göstermektedir. Üç çalışmada da aynı ölçüm aracı (NASA-RTLX) kullanılmasına rağmen, görev karmaşıklığının artmasıyla birlikte ortamlar arası farkın tespit edilememesi, görev zorluğunun artmasının öz bildirim ölçeklerinin ayırt ediciliğini azaltabileceğini düşündürmektedir.

İkinci olarak, MCLSVE ölçeğinin diğer ölçeklere kıyasla daha uzun ve çok bileşenli yapısı, özellikle yüksek bilişsel yük altında bulunan katılımcılarda anket yorgunluğu ve dikkat azalmasına yol açmış olabilir. Literatürde, uzun ve karmaşık öz bildirim ölçeklerinin katılımcıların dikkat düzeyini düşürebileceği ve ölçümlerin güvenilirliğini olumsuz etkileyebileceği belirtilmektedir (Krol, 2020). Bu bağlamda, katılımcıların zihinsel kapasitesinin tasarım görevi sırasında büyük ölçüde dolmuş olması, MCLSVE'ye verilen yanıtların duyarlılığını sınırlamış olabilir.

Fizyolojik ölçümler kapsamında, EDA verilerinin zor görev koşullundaki SCR genliği haricinde tasarım ortamı etkisine duyarlı olmadığı görülmüştür. Sistematik literatür incelemesinde mimari tasarım bağlamında EDA kullanılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte, içsel bilişsel yükün fizyolojik göstergelerle ölçümünü inceleyen Ayres ve diğ. (2021)'in derleme çalışmasında, EDA kullanılan 13 deneysel çalışmanın 11'inde anlamlı farklılıklar rapor edilmiştir. Ancak bu

çalışmaların hiçbirinde mimari tasarım görevleri kullanılmamıştır. Bu durum, elde edilen bulgunun mimari tasarım bağlamı açısından özgün olduğunu göstermektedir.

Bu bağlamda, EDA'nın tasarım ortamı etkisini yakalamada sınırlı kalmasının, mimari tasarım sürecinin doğasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Tasarım süreci, sürekli ve doğrusal olmayan, inişli çıkışlı bir bilişsel aktivite örüntüsü sergilemektedir. Bu nedenle, tüm süreci tek bir ortalama değer üzerinden temsil eden tonik bileşen (SCL), anlık değişimleri maskeleyerek ortamlar arası farkların görünürlüğünü azaltmış olabilir. Buna karşılık, fazik bileşen olan SCR genliği, anlık uyarılma değişimlerini yakalama potansiyeli nedeniyle daha duyarlı bir gösterge olarak öne çıkmaktadır.

EEG bulguları, tasarım ortamına bağlı olarak farklı bilişsel süreçlerin öne çıktığını göstermektedir. Kolay görev koşulunda fiziksel modelleme ortamında beta gücünün daha yüksek olduğu; zor görev koşulunda ise oransal beta göstergelerinin (beta/alpha) yine fiziksel modelleme ortamında daha belirgin olduğu görülmektedir. Buna karşılık, theta bandının dijital modelleme ortamında daha yüksek değerler göstermesi dikkat çekmektedir. Bu örüntü, fiziksel modelleme ortamının odaklanma ve dikkat yoğunlaşmasını artırırken, dijital ortamın daha çok problem çözme ve zihinsel işlem süreçlerini tetiklediği şeklinde yorumlanabilir.

Bu yorum, sistematik inceleme sonucunda belirlenen, doğrudan EEG kullanmayan ancak protokol analizi üzerinden bilişsel süreçleri inceleyen çalışmalarla dolaylı olarak örtüşmektedir. M. J. Kim ve Maher (2008) fiziksel ortamda tasarımcıların mekânsal ilişkiler üzerine daha fazla odaklandığı; buna karşılık dijital ortamda bu tür ilişkilerin daha sınırlı işlendiği göstermiştir. Benzer şekilde, Figen Gül, (2014) dijital ortamların fiziksel ortamlara kıyasla çözüm üretimine ayrılan zihinsel aktiviteyi artırdığını raporlamıştır.

HR bulguları incelendiğinde, kolay görev koşulunda fiziksel modelleme ortamının daha yüksek HR değerleri ürettiği, buna karşılık zor görev koşulunda tasarım ortamına bağlı olarak anlamlı bir farklılık gözlenmediği görülmektedir. Bu bulgu, Figen Gül (2014)'ün çalışmasındaki fiziksel ortamlarda fiziksel aktivite artışı ile dolaylı olarak örtüşmektedir. Fiziksel üretim süreçlerinin artması, fizyolojik uyarılmayı doğrudan etkileyerek HR değerlerinde artışa neden olmuş olabilir. Ayres ve diğ. (2021) HR ölçütünü, göz hareketlerinden sonra içsel bilişsel yükü yansıtmada en duyarlı fizyolojik gösterge olarak belirtmektedir. Ancak bu

değerlendirmelerin büyük ölçüde matematiksel işlem ve hafıza görevleri gibi görece daha düşük karmaşıklığa sahip deneysel görevler üzerinden elde edilmiştir. Bu nedenle, mimari tasarım gibi yüksek bilişsel talep içeren ve çok boyutlu süreçlerde HR'nin duyarlılığının bağlama bağlı olarak değişebileceği düşünülmektedir.

Tasarım başarısı açısından elde edilen bulgular, her iki görev zorluğunda da tasarım ortamına bağlı olarak anlamlı bir farklılık oluşmadığını göstermektedir. Bu sonuç, Mohamed-Ahmed ve diğ.'nin (2013) mekânsal tasarım görevlerinde farklı tasarım ortamlarının görev başarısı üzerinde belirleyici bir etkisi olmadığının raporlanması ile örtüşmektedir. Buna karşılık, Wang ve diğ. (2024) ile Umair ve diğ. (2022), yenilikçi VR ortamlarının masaüstü ortamlara kıyasla daha yüksek başarı sağladığı göstermiştir. Ancak bu çalışmaların bilgi oyunu ve tasarım değerlendirmesi gibi farklı görev türlerinde gerçekleştirilmiş olması, elde edilen sonuçların görev bağlamına duyarlı olabileceğini düşündürmektedir.

Bu bağlamda, tasarım görevlerinin açık uçlu ve çok boyutlu yapısı, farklı tasarım ortamlarının performans üzerindeki etkisini sınırlıyor olabilir. Alternatif olarak, artan bilişsel yükün katılımcılar tarafından daha yüksek çaba ve odaklanma ile dengelendiği bir kompanzasyon mekanizmasının devreye girmiş olması da mümkündür (Galy ve diğ., 2012). Bu durum, tasarım sürecinde performansın yalnızca bilişsel yük düzeyiyle değil, aynı zamanda bireyin bu yükle başa çıkma stratejileri ile de ilişkili olduğunu düşündürmektedir.

Zihinsel verimlilik skoruna ilişkin bulgular, fiziksel modelleme ortamının dijital modelleme ortamına kıyasla daha düşük zihinsel verimlilik değeri ürettiğini göstermektedir. Sistematik literatür incelemesinde bu göstergeyi doğrudan kullanan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak Figen Gül, (2014)'ün çalışmasında fiziksel ortamların beraberinde getirdiği ek dışsal yük vurgusu bu bulgunun dolaylı olarak yorumlanmasına olanak tanımaktadır. Fiziksel üretim süreçlerinin oluşturduğu dışsal bilişsel yük göz önünde bulundurulduğunda, dijital modelleme ortamının daha düşük dışsal yük sayesinde daha yüksek zihinsel verimlilik sağlamış olması olasıdır. Alternatif olarak, katılımcıların dijital araçlara daha fazla aşina olmaları, bilişsel kaynaklarını daha etkin kullanmalarına ve dolayısıyla daha yüksek verimlilik değeri üretmelerine katkı sağlamış olabilir.

Bu çalışmada kullanılan zihinsel verimlilik skoru, bilişsel yük ve performansın birlikte değerlendirilmesine imkân tanıyan bileşik bir gösterge olarak önem taşımaktadır. Her ne kadar bu gösterge erken dönem bilişsel yük çalışmalarına dayansa da, bilişsel yük ve performans ilişkisini analiz etmeyi amaçlayan deneysel araştırmalarda geçerliliğini korumaktadır. Nitekim Zhong (2024), özelleştirilmiş bir çevrimiçi öğrenme ortamında, liderlik eğitimi kapsamında geliştirilmiş rol yapma oyunu temelli bir öğrenme modülünde zihinsel verimlilik skorunu doğrudan kullanarak öğrenme verimliliğini incelemiştir. Seyderhelm ve Blackmore (2024) ise doğrudan aynı zihinsel verimlilik skorunu kullanmamakla birlikte, bu yaklaşımdan yola çıkarak bilişsel yük ve performans göstergelerini birlikte ele alan bir değerlendirme çerçevesi geliştirmiştir.

Bu güncel çalışmalar, zihinsel verimlilik göstergesinin literatürde kullanılmaya devam ettiği göstermektedir. Bu çalışma da zihinsel verimlilik metriğinin mimari tasarım bağlamında da uygulanabilir olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, farklı tasarım ortamlarının yalnızca bilişsel yük düzeyleri açısından değil, aynı zamanda bu yük altında üretilen performansın etkinliği üzerinden de karşılaştırılabileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte, bu çalışmada kullanılan zihinsel verimlilik skorunun genel bir tasarım verimliliği göstergesi olarak değerlendirilmemesi gerekmektedir. Bu skor, yalnızca belirli bir görev koşulunda elde edilen tasarım başarı puanı ile katılımcının bildirdiği çaba düzeyi arasındaki dengeyi ifade eden bileşik bir göstergedir. Dolayısıyla burada kullanılan verimlilik kavramı; yaratıcılık, keşif, deneme-yanılma, kendini zorlayarak öğrenme, hatalardan çıkarım yapma ya da stres altında üretim becerisi geliştirme gibi tasarım eğitiminin daha geniş pedagojik boyutlarını doğrudan kapsamaz. Bu nedenle zihinsel verimlilik değerleri, tasarım ortamlarının genel eğitsel üstünlüğünü gösteren mutlak bir ölçüt olarak değil, bilişsel çaba ve görev performansı arasındaki ilişkiyi belirli deneysel koşullar altında değerlendiren sınırlı bir gösterge olarak yorumlanmalıdır.

4.5.2 Görev Zorluğunun Bilişsel Yük Üzerindeki Sınırlı Etkisi

Bu bölümde, Bölüm 4.3'te sunulan bulgular, Bölüm 2.4'de sunulan sistematik literatür incelemesi kapsamında belirlenen çalışmaların sonuçları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ancak sistematik inceleme sonucunda belirlenen çalışmalar arasında görev zorluğuna doğrudan odaklanan araştırmaların sınırlı

olması nedeniyle, mimarlık alanı dışındaki ilgili çalışmalar da tartışmaya dahil edilmiştir. Bu kapsamda ele alınan bulgular Tablo 4.11'te özetlenmiştir.

Tablo 4.16: Görev zorluğu etkisine dair bulgular ve değerlendirmeleri

Hipotez	Veri	Bulgu	Değerlendirme
H2	Öz Bildirimler	*Her üç ölçekte de görev zorluğu anlamlı fark göstermemiştir.*	Tasarım görevlerinin doğası gereği yüksek bilişsel yük içermesi, görev zorluğuna bağlı farkların ortaya çıkmasını sınırlamış olabilir
	Fizyolojik Ölçümler	*SCR genliği, her iki ortamda da zor görevde daha yüksektir.*	Zor görevde daha fazla mikro stres ve karar noktası bulunmasının bu farklılığı tetiklediği düşünülmektedir.
		Her iki modelleme ortamında da kolay görevde, zor göreve kıyasla tekil ve oransal theta ve beta daha yüksektir.	EEG bulguları, kolay görevlerde katılımcıların daha aktif bilişsel işlem süreçlerine girmiş olabileceğini düşündürmektedir. Zor görevde ise katılımcılar çözüm üretmekte zorlanmış ve bu nedenle daha pasif bir işlemleme örüntüsü sergilemiş olabilir.
		Görev etkisi, HR üzerinde anlamlı bir fark yaratmamaktadır.	Görev zorluğu içsel yükü ve çabayı arttırırken bu artış fiziksel uyarılmayı tetiklememiş olabilir.
	Performans Ölçümleri	*Her iki ortamda da kolay görevde tasarım başarısı, zor göreve göre daha yüksektir.*	Daha düşük görev zorluğu, bilişsel kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlayarak performansı artırmış olabilir.
		Her iki ortamda da görev zorluğunun verimliliğe anlamlı bir etkisi yoktur.	Görev zorluğundaki artış, artan çaba düzeyiyle dengelenmiş olabilir; bu nedenle zihinsel verimlilik üzerinde anlamlı bir değişim gözlenmemiş olabilir.

Öz bildirim ölçümlerinin üçünde de görev zorluğunun bilişsel yük üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi görülmemiştir. Bu durum, görev karmaşıklığının artmasıyla birlikte bilişsel yükteki farklılıkların algısal düzeyde maskelenmesi ile açıklanabilir. Başka bir ifadeyle, katılımcıların her iki görev

koşulunda da yüksek düzeyde bilişsel yük deneyimlemeleri, görev zorluğuna bağlı ince farkları öznel değerlendirmelerine yansıtmalarını zorlaştırmış olabilir.

Özellikle bilişsel talebin çok yüksek olduğu durumlarda, bireylerin farklı yük düzeylerini ayırt etme kapasitelerinin sınırlandığı düşünülmektedir. Bu durum, mimari tasarımın doğası gereği açık uçlu, çok katmanlı ve sürekli yeniden çerçevelenen bir problem çözme süreci olmasıyla da ilişkili olabilir. Nitekim Dorst ve Cross'un (2001) iyi tanımlanmamış problemler üzerinden ilerleyen ve problem ile çözümün eş zamanlı olarak geliştiği bir süreç; Schön'ün (1987) ise yansıtıcı ve döngüsel bir düşünme pratiği olarak tanımladığı mimari tasarım görevleri, doğası gereği yüksek ve süreklilik gösteren bilişsel talepler içermektedir.

Bu sebeple kullanılan görev türü, görev zorluğuna bağlı farkların öz bildirim temelli ölçümlerle ayırt edilmesini zorlaştırmış olabilir. Benzer şekilde, Yang ve diğ.'nin (2023) beyin-bilgisayar arayüzü tabanlı yüksek bilişsel talep gerektiren bir modelleme görevinde, farklı zorluk seviyeleri arasında öz bildirim ölçümleri için anlamlı bir fark bulamamış olmaları da bu çıkarımı desteklemektedir.

Fizyolojik göstergelere dair bulgular incelendiğinde, SCR genliği göstergesinin zor görev koşulunda anlamlı şekilde yükseldiği görülmüştür. Sistematik incelemede mimarlık alanında EDA ile bilişsel yükü inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte, Benedek ve Kaernbach (2010), özellikle fazik bileşen olan SCR genliğinin anlık uyarılma ve bilişsel talepteki artışlara duyarlı bir gösterge olduğunu belirtmiştir. Aynı çalışma, bilişsel süreçlerdeki kısa süreli değişimlerin özellikle SCR üzerinden daha belirgin şekilde izlenebildiğini göstermektedir.

Bu bağlamda, zor görev koşulunda artan karar noktaları ve mikro stres tepkileri, SCR genliği üzerinden daha net biçimde yakalanmış olabilir. Öz bildiri ölçümlerinde gözlenmeyen bu farklılaşmanın fizyolojik düzeyde ortaya çıkması, bilişsel yükün farklı bileşenlerinin farklı ölçüm yöntemleri ile yakalanabileceğine işaret etmektedir.

EEG bulguları incelendiğinde, kolay görev koşulunda theta ve beta değerlerinin her iki tasarım ortamında da zor göreve göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Sistematik literatür incelemesinde mimarlık alanında EEG kullanılarak doğrudan görev zorluğunun etkisini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bununla birlikte, görev tanımlılığı üzerinden zorluk etkisinin incelendiği Ashrafganjouei ve

Gero'nun (2021) çalışması da bu sonucu dolaylı olarak desteklemektedir. Söz konusu çalışmada, tanımlılığı düşük ve daha zor görevlerde katılımcıların daha çok problem tanımlamaya odaklandıkları; buna karşılık tanımlılığı yüksek ve daha kolay görevlerde ise problem tanımlama ve çözüm üretme süreçlerine daha dengeli biçimde kaynak ayırdıkları belirtilmiştir.

Bu durum, kolay görevlerde daha aktif ve çok yönlü bilişsel işlem süreçlerinin devreye girdiğini, buna karşılık zor görevlerde bilişsel kaynakların daha sınırlı bir problem tanımlama sürecine yoğunlaştığını düşündürmektedir. Bu bağlamda, kolay görev koşulunda gözlenen daha yüksek theta ve beta aktivitesi, katılımcıların hem problem çözme hem de bilişsel işlem süreçlerine daha yoğun biçimde katıldığı şeklinde yorumlanabilir. Bu tez kapsamında kullanılan tasarım görevlerinin zorluk farklılıklarının büyük oranda tanımlılık ve aşinalık üzerinden kurgulandığı göz önünde bulundurulduğunda, farklı ölçüm teknikleri kullanılmasına rağmen benzer bilişsel örüntülerin ortaya çıkması, elde edilen bulguların tutarlılığını güçlendirmektedir.

HR bulguları incelendiğinde, görev zorluğuna bağlı olarak istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Benzer şekilde, Zhang ve diğ. (2017) de farklı görev zorlukları arasında HR açısından anlamlı bir fark bulamamıştır, bu durum bu çalışmanın bulgusu ile dolaylı olarak paralellik göstermektedir. Tao ve diğ. (2019), HR göstergesinin genel uyarılma düzeyini yansıtırken, iş yükündeki daha ince farklara karşı HRV (özellikle RMSSD veya LF/HF oranları) göstergelerinin çok daha duyarlı olduğunu söylemektedir. Bu sebeple görev koşulları arasındaki bilişsel yük farkının az olduğu durumlarda, HR bu farkı ayırt edemeyecek kadar "genel" bir gösterge olarak kalmış olabilir.

Her iki tasarım ortamında da kolay görev koşulunda tasarım başarısının zor göreve kıyasla daha yüksek olması, bu deney kapsamında görev zorluğu manipülasyonunun geçerli biçimde çalıştığını göstermektedir. Buna karşılık, zihinsel verimlilik skorunda görev zorluğuna bağlı olarak anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. Bu durum, zihinsel verimlilik ölçütünün literatürde sınırlı kullanımına rağmen, özellikle bilişsel yük ve performansın birlikte değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda tartışılan kompanzasyon mekanizması ile açıklanabilir (Galy ve diğ., 2012). Nitekim Paas ve diğ., (2003) tarafından önerilen zihinsel verimlilik yaklaşımı, performans ve harcanan zihinsel çaba arasındaki

dengeye dayanmaktadır. Bu çerçevede, görev zorluğunun artmasıyla birlikte performansta düşüş gözlenirken, katılımcıların daha fazla zihinsel çaba sarf ederek bu düşüşü dengelemeye çalıştıkları düşünülebilir. Bu durum, artan çabanın performans kaybını kısmen telafi etmesi nedeniyle, zihinsel verimlilik skorunda anlamlı bir farklılık oluşmamasına yol açmış olabilir.

Performans göstergelerinde görev zorluğuna bağlı belirgin bir farklılık gözlenmesine karşın, öz-bildirim temelli bilişsel yük göstergelerinde benzer bir farklılığın ortaya çıkmaması dikkat çekicidir. Bu durum, katılımcıların görev zorluğunun performans üzerindeki etkisini doğrudan öznel yük değerlendirmelerine aynı düzeyde yansıtmadığını göstermektedir. Bu bulgu, öz-bildirim ölçeklerinin her durumda görev performansındaki değişimleri doğrudan yakalamayabileceğini ve bilişsel yükün yalnızca algılanan zorlanma üzerinden değerlendirilemeyeceğini düşündürmektedir (Larmuseau et al., 2019).

Bu uyumsuzluğun birkaç nedeni olabilir. Öncelikle, mimari tasarım gibi açık uçlu görevlerde katılımcılar, görev sürecinde yaşadıkları zorlanmayı her zaman ölçekteki maddelere doğrudan karşılık gelen bir yük deneyimi olarak değerlendirmemiş olabilir. Zor görev koşulunda başarının düşmesi, katılımcıların daha yüksek bilişsel yük deneyimlediği anlamına gelebileceği gibi, göreve yönelik strateji geliştirmekte zorlanmaları, çözüm üretme sürecine yeterince dahil olamamaları veya görevin gerektirdiği karar yoğunluğunu tam olarak işlemleyememeleriyle de ilişkili olabilir. Bu durumda performans düşerken öznel yük puanlarının artmaması, katılımcıların yaşadıkları güçlüğün farkında olmamaları ya da bu güçlüğü bilişsel çaba olarak raporlamamalarıyla açıklanabilir (Skulmowski, 2022).

İkinci olarak, görev zorluğunun öz-bildirim ölçeklerine yansımaması motivasyon ve katılım düzeyiyle de ilişkili olabilir. Katılımcıların görevi akademik bir değerlendirme ya da ödül-ceza mekanizması içinde gerçekleştirmemiş olması, zor görev karşısında daha fazla çaba harcamak yerine göreve yönelik bağlılıklarının azalmasına yol açmış olabilir. Bu durumda zor görev, daha yüksek öznel yük olarak değil, daha düşük performans ya da sınırlı çözüm geliştirme olarak görünür hale gelmiş olabilir. Dolayısıyla bu bulgu, görev zorluğu manipülasyonunun performans düzeyinde işlediğini; ancak öznel bilişsel yük algısının motivasyon, görevle

özdeşleşme, farkındalık ve strateji kullanımı gibi ara değişkenlerden etkilenebileceğini düşündürmektedir.

4.5.3 Ölçüm Türlerine Göre Bilişsel Yükün Farklı Yansımalar

Öz bildirim ve fizyolojik göstergeler arasındaki ilişkilere yönelik analizlerde (Bölüm 4.4), Spearman korelasyon ve Fisher's Exact testleri sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir. Buna karşılık, farklı ölçüm türleri arasında yönsel düzeyde %50'nin üzerinde bir uyumun bulunduğu gözlenmiştir. Bu durumun, bilişsel yükün farklı bileşenlerinin farklı ölçüm yöntemleri aracılığıyla yakalanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim literatürde de öznel ve fizyolojik göstergeler arasında doğrudan ve güçlü korelasyonların her zaman elde edilemediği, ancak bu ölçümlerin birbirini tamamlayıcı nitelikte olduğu vurgulanmaktadır (Ayres ve diğ., 2021; Charles ve Nixon, 2019; Galy ve diğ., 2012; Tao ve diğ., 2019).

Bu durumun olası nedenlerinden biri örneklem büyüklüğü olabilir. Korelasyon temelli analizlerin güvenilir biçimde sonuç verebilmesi için görece yüksek örneklem büyüklüklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak fizyolojik ölçüm içeren deneysel çalışmalarda veri toplama sürecinin zorluğu nedeniyle bu sayılara ulaşmak çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu durum, literatürde de sıkça belirtilen bir metodolojik sınırlılıktır (Li ve diğ., 2020; Mejia-Puig ve diğ., 2022; Yu ve Gero, 2017).

Bunun yanı sıra, gerçekleştirilen analizlerin doğası gereği bireyler arası sıralama tutarlılığına odaklandığı unutulmamalıdır. Başka bir ifadeyle, bu analizler bir katılımcının farklı koşullar arasındaki değişim büyüklüğünün, farklı ölçüm türlerinde benzer sıralamalar üretip üretmediğini test etmektedir. Oysa bireysel düzeyde, bir katılımcının fizyolojik tepkisi sınırlı bir değişim gösterirken öznel değerlendirmesinde daha büyük bir fark hissetmesi ya da bunun tersinin gerçekleşmesi mümkündür. Bu nedenle korelasyonun düşük olması, her zaman ölçümler arasında gerçek bir uyumsuzluk olduğu anlamına gelmemektedir.

Bu bağlamda, ölçüm türleri arasında gözlenen %50'nin üzerindeki yönsel uyum, bu göstergelerin tamamen bağımsız olmadığını; ancak bilişsel yükün aynı boyutunu doğrudan ölçmekten ziyade, bu yapının farklı bileşenlerine duyarlı olabileceğini düşündürmektedir. Dolayısıyla, öz bildirim ve fizyolojik ölçümlerin birbirinin

yerine kullanılabilecek alternatifler değil, birlikte değerlendirilmesi gereken tamamlayıcı göstergeler olduğu söylenebilir. Bu yaklaşım, bilişsel yükün çok boyutlu bir yapı olduğu ve farklı ölçüm yöntemlerinin bu yapının farklı yönlerine duyarlı olduğu yönündeki literatür ile de uyumludur (Charles ve Nixon, 2019; Tao ve diğ., 2019).

Bu nedenle fizyolojik ölçümler, bilişsel yükün doğrudan ölçümleri olarak değil, bilişsel süreçlere eşlik eden fizyolojik uyarılma düzeyinin göstergeleri olarak değerlendirilmelidir. Özellikle EDA ve HR, otonom sinir sistemi aktivasyonu ile ilişkili değişimleri yansıtmakta; ancak bilişsel yükün alt bileşenlerini doğrudan ayrıştırma kapasitesi sınırlı kalmaktadır. Bu sınırlılık literatürde de açıkça vurgulanmaktadır:

Charles ve Nixon (2019), bilişsel yükü tek başına ve net bir şekilde ayırt edebilecek evrensel bir fizyolojik ölçümün bulunmadığını; mevcut ölçüm tekniklerinin bilişsel yükteki değişimlere karşı farklı hassasiyet düzeyleri sergilediğini belirtmektedir. Benzer şekilde Tao ve diğ. (2019), fizyolojik göstergelerin bilişsel yükteki değişimleri tespit edebilme potansiyelini kabul etmekle birlikte, bu geçerliliğin tüm görev senaryoları için genellenebilir olmadığını ifade etmektedir. Aynı çalışmada, fizyolojik ölçümlerin özellikle uyarılma süreçlerine duyarlı olduğu; ancak bu fizyolojik tepkilerin bilişsel yükün özgün bileşenleri ile doğrudan ve kesin bir şekilde eşleştirilemediği vurgulanmaktadır.

Bununla birlikte, fizyolojik verilerin yüksek zaman çözünürlüğüne sahip sürekli ölçümlerin ortalaması alınarak hesaplanırken, öz bildirim ölçümlerinin görev sonrası tek bir bütüncül yargıya dayanması, iki ölçüm türü arasındaki ilişkinin zayıf görünmesine neden olmuş olabilir. Başka bir ifadeyle, anlık fizyolojik değişimler ile öz bildirim ölçümleri farklı zaman ölçeklerinde gerçekleştiği için doğrudan korelasyon beklemek metodolojik olarak sınırlı olabilir.

Ayrıca, öz bildirim temelli ölçeklerin bireysel eğilimlerden daha fazla etkilenmesi, fizyolojik göstergelerin ise duruma özgü değişimleri yansıtması (Krol, 2020), ölçümler arasındaki ilişkiyi zayıflatan bir diğer faktör olabilir. Bazı kişiler her zaman yüksek hissederken bazı kişilerin fiziksel ölçümleri her ne kadar başlangıç ölçümlerine göre normalize edilse bile etki bazlı değişimlerde aykırılıklara sebep olmuş olabilir.

Bu çalışmada analizlerin fark skorları üzerinden gerçekleştirilmiş olması da ilişki düzeyini etkilemiş olabilir. Fark skorları bireysel varyansı artırabilmekte ve ölçüm hatalarını büyütebilmektedir (Cafri ve diğ., 2010). Bu durum, ölçümler arasında mevcut olabilecek ilişkilerin istatistiksel olarak ortaya çıkmasını zorlaştırmış olabilir.

4.5.4 Metodolojik Değerlendirme ve Öneriler

Bu çalışma, mimari tasarım sürecinde bilişsel yükün öz-bildirim, fizyolojik ve performans temelli göstergeler üzerinden çok boyutlu olarak değerlendirilmesine olanak tanıyan bütüncül bir deneysel metodoloji sunmaktadır. Elde edilen bulgular, tasarım ortamı ve görev zorluğu gibi farklı etki faktörlerinin, bilişsel yükün farklı bileşenlerine farklı ölçüm araçları aracılığıyla yansıyabildiğini göstermektedir. Bu bağlamda literatüre (Charles ve Nixon, 2019; Tao ve diğ., 2019) paralel olarak, bilişsel yükün tek bir ölçüm yöntemiyle değerlendirilmesinin sınırlı kalabileceği; farklı ölçüm türlerinin birlikte kullanılmasının ise daha kapsamlı ve çok boyutlu bir değerlendirme olanağı sağladığı anlaşılmaktadır.

Bu doğrultuda, elde edilen bulgular üzerinden bu çalışmada kullanılan mimari tasarım görevi özelinde hangi ölçütlerin hangi etki faktörlerine daha duyarlı olduğunu ortaya koyan özet bir değerlendirme Tablo 4.12'de sunulmaktadır. Tablo, ana ölçütler düzeyinde sentezlenmiş olup, ilgili göstergelere ilişkin alt faktör bazındaki ayrıntılı sonuçlar Ekler'de verilmiştir.

Tablo 4.17: Kullanılan mimari tasarım görevi özelinde hangi bilişsel yük ölçütlerinin hangi etki faktörlerine duyarlı olduğunun listesi

	Ortam Etkisi	**Görev Zorluğu**
Öz Değerlendirme	✓ NASA-RTLX	× NASA-RTLX
	✓ CLS	× CLS
	✓ MCLSVE	× MCLSVE
Fizyolojik	× EDA	✓ EDA (SCR genlik)
	✓ EEG (beta, f.theta/f.alpha)	✓ EEG (beta, f.theta/f.alpha)
	✓ HR	× HR

Tablo 4.18: Kullanılan mimari tasarım görevi özelinde hangi bilişsel yük ölçütlerinin hangi etki faktörlerine duyarlı olduğunun listesi (devamı)

Performans	×	Başarı	✓	Başarı
	✓	Zihinsel Verimlilik	×	Zihinsel Verimlilik

Tablo 4.12, bilişsel yük araştırmalarında ölçüm yöntemi seçiminin araştırma sorusuna ve incelenen etki faktörüne bağlı olarak farklılaşabileceğini göstermektedir. Özellikle mimari tasarım gibi dinamik ve çok katmanlı bilişsel süreçlerde, fizyolojik ve öz-bildirim ölçümlerinin birlikte kullanılması hem süreç içindeki anlık değişimlerin hem de katılımcıların algısal değerlendirmelerinin birlikte ele alınmasına olanak tanımaktadır.

Elde edilen bulgular doğrultusunda mimarlık eğitimine yönelik iki temel öneri geliştirilmiş ve önerilmektedir. İlk olarak, tasarım ortamının bilişsel süreçler üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulduğunda, gerekli düzeyde temel bilgi ve beceriyi kazanmış öğrenciler için proje derslerinde fiziksel maket üretiminin zorunlu tutulmasının her durumda gerekli olmadığı söylenebilir.

Dijital modelleme araçları, özellikle belirli bir araç kullanım deneyimine sahip öğrenciler için tasarım sürecinde dışsal bilişsel yükü azaltarak zihinsel verimliliği destekleyebilmektedir (Bölüm 4.2). Dijital ortamda yapılan işlemlerin geri alınabilir olması, alternatiflerin hızlı biçimde denenebilmesi ve model üzerinde kısa sürede değişiklik yapılabilmesi, öğrencinin daha az çabayla daha fazla tasarım seçeneği üretmesine olanak tanımış olabilir (Mejia-Puig ve Chandrasekera, 2023b). Bu durum, dijital modelleme ortamının özellikle araç bilgisi gelişmiş öğrenciler için bilişsel kaynakların araç kullanımından çok tasarım problemine yönlendirilmesini destekleyebileceğini düşündürmektedir.

Bununla birlikte, bu bulgu dijital modelleme ortamının fiziksel modelleme ortamından genel olarak daha üstün olduğu şeklinde yorumlanmamalıdır. Fiziksel maket üretimi, tasarımcının malzeme ile doğrudan temas kurmasını, ölçek, hacim, boşluk-doluluk ilişkisi ve mekânsal organizasyonu bedensel ve görsel-mekânsal deneyim yoluyla kavramasını sağlar (Tedjosaputro ve diğ., 2025). El ile üretim sürecinin gerektirdiği dikkat, motor katılım ve malzeme direnci, öğrencinin tasarım problemine daha yoğun biçimde odaklanmasına katkı sağlayabilir. Bu çalışmada fiziksel modelleme ortamında gözlenen daha yüksek beta değerleri de, maket

üretiminin belirli durumlarda daha yoğun odaklanma ve aktif işlemleme süreçleriyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Ayrıca fiziksel modelleme ortamının daha yavaş ve daha dirençli üretim yapısı, öğrencinin daha az sayıda alternatifi daha derinlemesine geliştirmesine olanak tanıyabilir. Dijital ortamda hızlı değişiklik yapabilme imkânı seçenek üretimini artırırken, fiziksel maket süreci tasarım kararlarının daha dikkatli değerlendirilmesini, hataların, çakışmaların ve problemli mekânsal ilişkilerin daha görünür hale gelmesini sağlayabilir (Shaghaghian ve diğ., 2024) Bu nedenle fiziksel modelleme, yalnızca bir temsil aracı değil, aynı zamanda öğrencinin mekânsal düşünme, karar verme ve tasarım problemini yeniden değerlendirme süreçlerini destekleyen pedagojik bir araç olarak ele alınmalıdır.

Bu bulgular, mimari tasarım eğitiminde tek bir temsil ortamının önerilmesinden çok, farklı tasarım ortamlarının farklı bilişsel ve pedagojik işlevler üstlenebileceğini göstermektedir. Dijital modelleme ortamı daha hızlı deneme, değiştirme ve çoğaltma olanağı sunarken; fiziksel modelleme ortamı odaklanma, somutlaştırma ve mekânsal ilişkileri bedensel olarak kavrama açısından katkı sağlayabilir. Bu nedenle tasarım eğitiminde öğrencilerin yalnızca tek bir ortama yönlendirilmesi yerine, fiziksel ve dijital modelleme ortamlarının birlikte ve tamamlayıcı biçimde kullanılmasına olanak tanıyan esnek bir pedagojik yaklaşım daha uygun görünmektedir**.**

İkinci olarak, görev zorluğuna ilişkin bulgular (Bölüm 4.3), yapılandırılmamış ve tanımsız tasarım problemlerinin bilişsel yükü artırdığını ve bu durumun özellikle öğrenme sürecinin erken aşamalarında sınırlayıcı olabileceğini göstermektedir. Mimarlık eğitiminde kullanılan tasarım görevleri de genellikle açık uçludur ve çözümün tek bir doğruya indirgenemeyeceği problemlerdir (Gibbs, 2024). Bu durum, tasarım stüdyolarında verilen görevlerin bilişsel olarak oldukça yüklü olmasına yol açmaktadır.

Özellikle başlangıç düzeyindeki öğrenciler, süre sınırlı çizim ya da maket üretimi gibi görevlerde hem görev karmaşıklığı hem de zaman baskısı altında yüksek düzeyde bilişsel yük yaşayabilmektedir (Y. W. Wu ve diğ., 2017). Buna karşın, daha deneyimli öğrenciler aynı görevleri daha otomatikleştirilmiş stratejilerle yöneterek daha düşük bilişsel yükle tamamlayabilmektedirler. Bu nedenle başlangıç stüdyolarında kolektif grup çalışmaları yoluyla toplam bilişsel

kapasitenin artırılması, tasarım görevlerinin oluşturduğu yüksek bilişsel yükün karşılanmasına katkı sağlayabilir.

Bununla birlikte, bilişsel yük teorisinin eğitim bağlamındaki önerisi, öğrenme sürecinde bilişsel yükün her durumda en düşük düzeye indirilmesi gerektiği anlamına gelmemektedir. Öğrenme açısından önemli olan, öğrencinin bilişsel kapasitesini aşan aşırı yüklenmenin önlenmesi; ancak anlamlı çaba, problem çözme ve şema geliştirme süreçlerini destekleyecek düzeyde bilişsel talebin korunmasıdır (Sweller, 2024; Sweller et al., 2011, 2019). Bu nedenle tasarım görevlerinin zorluğu, öğrencinin mevcut bilgi düzeyi, temsil becerisi ve tasarım deneyimi dikkate alınarak kademeli biçimde düzenlenmelidir. Başka bir ifadeyle amaç, bilişsel yükü en aza indirmek değil, öğrencinin aşırı yüklenme eşiğini aşmayacak ancak üretken bilişsel çabayı tetikleyecek bir görev zorluğu düzeyi oluşturmaktır.

Bu çerçevede, mimarlık eğitiminde başlangıç seviyesindeki proje stüdyolarında daha yapılandırılmış ve tanımlı tasarım görevlerinin kullanılması, öğrencilerin sınırlı bilişsel kapasitelerini daha etkili biçimde kullanmalarına olanak tanıyabilir. Öğrencilerden karmaşık tasarım problemlerini doğrudan çözmeleri beklenmek yerine, örnekli, yönlendirilmiş ve kısmen tamamlanmış görevlerle desteklenen; BYT'nin Bölüm 2.1'de açıklanan öğretim tasarımı ilkeleriyle uyumlu bir öğrenme yaklaşımı benimsenebilir. Bu sayede öğrenciler, gereksiz dışsal yüklenmeden kaçınarak temel kavramsal şemalarını daha verimli biçimde geliştirebilir ve ilerleyen aşamalarda daha karmaşık tasarım problemlerine geçiş için gerekli bilişsel

Ancak tasarım eğitiminin yalnızca bilişsel yükü azaltmaya odaklanan fazla yapılandırılmış bir modele indirgenmesi de uygun değildir. Tasarım eğitimi literatüründe, açık uçlu ve esnek tasarım problemlerinin öğrencilerin yaratıcılığını destekleyebileceği, onları daha özgün ve sınırları zorlayan çözümler üretmeye yönlendirebileceği vurgulanmaktadır (Cross, 2001; Dorst & Cross, 2001; Lawson, 2006; Schön, 1987) Bu nedenle, görevlerin tümüyle yapılandırılması öğrencilerin belirsizlikle baş etme, alternatif üretme ve yaratıcı risk alma becerilerini sınırlayabilir.

Bununla birlikte, yaratıcılığın gelişimi yalnızca serbest ve açık uçlu problem çözme ortamlarına bırakılmamalıdır. Tasarım öğrencileriyle yürütülen uzun süreli çalışmalar, metabilişsel beceriler ve yansıtıcı öğrenme süreçlerine dayalı yapılandırılmış öğretim müdahalelerinin yaratıcı düşünme becerisini artırabildiğini

ve bu etkinin eğitim süreci boyunca sürdürülebileceğini göstermektedir (Hargrove, 2013).

Bu nedenle tasarım eğitimi, tek bir bilinmeyenli doğrusal bir öğretim problemi olarak ele alınmamalıdır. Bir yandan öğrencinin bilişsel kapasitesini aşan karmaşıklık ve belirsizlik azaltılmalı; diğer yandan yaratıcılığı, keşfi, deneme-yanılmayı ve problemle aktif biçimde yüzleşmeyi destekleyen açık uçluluk korunmalıdır. Tamamen serbest bırakılmış yaratıcılık, işlevsel, uygulanabilir ve mekânsal olarak tutarlı tasarım üretimini öğretmede yetersiz kalabilir; buna karşılık aşırı yapılandırılmış görevler de yaratıcı düşünme ve özgün çözüm geliştirme kapasitesini sınırlayabilir. Bu nedenle mimari tasarım eğitiminde temel meselenin, yapılandırma ile açıklık, yönlendirme ile keşif ve bilişsel destek ile yaratıcı zorlanma arasında dengeli bir pedagojik kurgu oluşturmak olduğu savunulabilir.

Bu bağlamda, mimarlık eğitiminde uzun süredir benimsenen yapılandırmacı öğrenme anlayışının (Tuker ve Tong, 2024), "yaparak öğrenme" yaklaşımı yapılandırılarak bilişsel yük ilkeleriyle uyumlu biçimde yeniden düşünülmelidir. Başlangıç düzeyinde daha fazla yönlendirme ve kademeli görev zorluğu sağlanırken, öğrencinin deneyimi arttıkça belirsizlik, karmaşıklık ve açık uçluluk düzeyi artırılabilir. Böylece bilişsel yükün aşırı yüklenmeye dönüşmesi önlenirken, öğrencinin üretken bilişsel çaba göstermesi, yaratıcı problem çözme becerilerini geliştirmesi ve daha karmaşık tasarım problemlerine hazırlanması desteklenebilir.

5
SONUÇ

Bu çalışma, mimari tasarım sürecinde tasarım ortamı ve görev zorluğunun bilişsel yük üzerindeki etkilerini çok boyutlu bir çerçevede incelemeyi amaçlamıştır. Bu doğrultuda, iki faktörlü karma deneysel tasarıma sahip bir metodoloji geliştirilerek uygulanmıştır. Uygulanan deney aracılığıyla bilişsel yük; öz bildirim temelli ölçekler, fizyolojik ölçümler ve performans göstergeleri üzerinden ele alınmıştır.

Bu yaklaşım, bilişsel yükün yalnızca algısal düzeyde değil, aynı zamanda fizyolojik tepkiler ve çıktı performansı üzerinden de değerlendirilmesine olanak tanımış ve elde edilen bulguların çok katmanlı bir şekilde yorumlanmasını mümkün kılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, araştırma soruları ve hipotezler (Bölüm 1.3) doğrultusunda değerlendirilmiş ve bilişsel yükün mimari tasarım sürecindeki rolüne ilişkin önemli çıkarımlar sunulmuştur.

Birinci hipotez (H1) kapsamında tasarım ortamının bilişsel yük üzerindeki etkisi (Tablo 4.10) incelendiğinde, elde edilen bulgular tasarım ortamının bilişsel yük üzerinde farklı ölçüm göstergeleri aracılığıyla izlenebilen etkilere sebep olduğu görülmüştür. Öz bildirin ölçümlerinin tamamında, fiziksel modelleme ortamının dijital modellemeye kıyasla daha yüksek bilişsel yük oluşturduğu belirlenmiş ve bu farkın özellikle dışsal bilişsel yük bileşeni ve çaba ile ilişkili olduğu görülmüştür. Bu durum, fiziksel modelleme sürecinin araç kullanımı, malzeme yönetimi ve mekânsal manipülasyon gibi ek bilişsel gereksinimler barındırmasından kaynaklanıyor olabilir. Buna karşılık dijital modelleme ortamının daha yapılandırılmış ve geri bildirim açısından daha hızlı bir sistem sunması, bilişsel kaynakların daha etkin kullanılmasına olanak tanımış olabilir.

Fizyolojik ölçümler bu bulguları kısmen desteklemekte ve daha derin bir yorumlama imkânı sunmaktadır. EEG verilerinde fiziksel modelleme ortamında daha yüksek beta aktivitesinin gözlenmesi, bu ortamda dikkat ve odaklanma gereksiniminin artmış olabileceğini düşündürmektedir. Buna karşılık dijital modellemede daha yüksek theta aktivitesi, problem çözme süreçlerinin daha aktif olabileceğine işaret etmektedir. Bu ayrışma, iki ortamın bilişsel süreçleri farklı

biçimlerde tetikleyebileceğini düşündürmektedir. Fiziksel modelleme ortamı daha fazla dikkat ve kontrol gerektirirken, dijital modelleme daha akışkan ve çözüm odaklı bir bilişsel süreci destekliyor olabilir.

EDA ölçümlerinde zor görev koşulundaki SCR genliği göstergesi haricinde (fiziksel ortamda arttığı görülmüştür) anlamlı bir farklılık gözlenmemesi, bu ölçümün tasarım ortamı farklılıklarına duyarlılığının sınırlı olabileceğini düşündürmektedir. HR ölçümlerinde ise yalnızca kolay görev koşulunda fiziksel modelleme ortamının daha yüksek HR değerleri üretmiş olması, bu göstergenin bağlama duyarlı bir değişken olduğunu düşündürmektedir.

Performans ölçümleri, görev başarısı açısından ortamlar arasında anlamlı bir fark olmadığını, ancak zihinsel verimlilik açısından dijital modellemenin daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, bilişsel yük ile performans arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığını ve daha düşük bilişsel yük ile daha verimli çıktı üretimi arasında bir bağlantı olabileceğini düşündürmektedir.

Bununla birlikte, burada kullanılan zihinsel verimlilik skoru genel bir tasarım verimliliği göstergesi olarak değerlendirilmemelidir. Bu skor, yalnızca tasarım başarısı ile katılımcının bildirdiği çaba düzeyi arasındaki dengeyi ifade eden bileşik bir göstergedir. Dolayısıyla yaratıcılık, keşif, deneme-yanılma, hatalardan öğrenme, kendini zorlayarak gelişme veya stres altında üretim becerisi gibi tasarım eğitiminin daha geniş pedagojik boyutlarını doğrudan kapsamaz. Bu nedenle dijital modelleme ortamının daha yüksek zihinsel verimlilik değeri üretmesi, bu ortamın tüm tasarım eğitimi bağlamlarında fiziksel modellemeden üstün olduğu şeklinde yorumlanmamalıdır.

Tüm bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, H1 hipotezinin genel olarak desteklendiği, ancak bu etkinin ölçüm türüne göre farklı boyutlarda ortaya çıktığı sonucuna ulaşılmaktadır. Bu durum, tasarım ortamının bilişsel yük üzerindeki etkisinin tek boyutlu bir değişken olarak ele alınamayacağını ve farklı ölçüm yöntemleri ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

İkinci hipotez (H2) kapsamında görev zorluğunun bilişsel yük üzerindeki etkisi (Tablo 4.11) incelendiğinde, elde edilen bulgular daha karmaşık ve çok katmanlı bir yapı ortaya koymaktadır. Öz bildirim ölçümlerinde görev zorluğuna bağlı anlamlı bir farklılık gözlenmemesi, katılımcıların görevler arasındaki zorluk farkını

algısal düzeyde yeterince ayırt edememiş olabileceğini göstermektedir. Bu durum, mimari tasarım görevlerinin doğası gereği belirli bir bilişsel karmaşıklığı her koşulda barındırması ile açıklanabilir. Yani görev ne kadar basitleştirilirse basitleştirilsin, tasarım sürecinin açık uçlu ve yorum gerektiren yapısı nedeniyle belirli bir bilişsel yük düzeyi korunmaktadır.

Buna karşılık fizyolojik ölçümler görev zorluğuna duyarlı sonuçlar üretmiştir. EEG verilerinde kolay görevlerde hem theta hem de beta aktivitelerinin daha yüksek olması, bu görevlerin bilişsel işlemleme açısından daha etkin bir süreç sunduğunu düşündürmektedir. Bu durum ilk bakışta çelişkili görünse de, daha yapılandırılmış görevlerin bilişsel kaynakların daha odaklı ve verimli kullanılmasını sağladığı şeklinde yorumlanabilir. EDA ölçümlerinde özellikle fiziksel modelleme ortamında gözlemlenen yüksek SCR genlikleri, zor görevlerde daha fazla anlık stres tepkisi oluştuğunu düşündürmektedir. Bu durum, görev zorluğunun özellikle fizyolojik uyarılma düzeyi üzerinde etkili olabileceğine işaret etmektedir.

Performans ölçümleri, kolay görevlerde başarı düzeyinin daha yüksek olduğunu göstermiş; ancak zihinsel verimlilik açısından görev zorluğuna bağlı anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Performans göstergelerinde görev zorluğuna bağlı farklılık gözlenmesine karşın, öz bildirim temelli bilişsel yük göstergelerinde benzer bir farklılığın ortaya çıkmaması, bu çalışmanın önemli metodolojik bulgularından biridir. Bu durum, öz bildirim ölçeklerinin mimari tasarım gibi açık uçlu ve çok katmanlı görevlerde performans değişimlerini her zaman doğrudan yansıtmayabileceğini düşündürmektedir.

Katılımcılar zor görev koşulunda daha düşük başarı göstermiş olsa da, bu düşüşü daha yüksek bilişsel yük olarak raporlamamıştır. Bu ayrışma; katılımcıların yaşadıkları güçlüğü bilişsel çaba olarak fark etmemeleri, göreve yönelik strateji geliştirmekte zorlanmaları, motivasyon ve katılım düzeylerinin farklılaşması ya da zor görev karşısında belirli ölçüde bilişsel geri çekilme yaşamalarıyla ilişkili olabilir. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, görev zorluğunun bilişsel yük üzerindeki etkisinin ölçüm türüne bağlı olarak değiştiği ve öz bildirim ölçümleri ile fizyolojik ölçümler arasında farklılaşan bir yapı sergilediği görülmektedir. Bu doğrultuda H2 hipotezinin kısmen desteklendiği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu durum, bu deney özelindeki görev zorluğu etkisinin algısal bir değişkenden ziyade

bilişsel süreçlerin fizyolojik yansımalarına etki eden bir etki faktörü oluşturduğunu düşündürmektedir.

Üçüncü hipotez (H3) kapsamında öz bildirim ve fizyolojik ölçümler arasındaki ilişkiler (Tablo 4.9) incelendiğinde, bu iki ölçüm türü arasında anlamlı ve tutarlı bir ilişki bulunmadığı görülmüştür. Gerçekleştirilen korelasyon analizleri ve yönsel uyum testleri, ölçümler arasında sistematik bir eşleşme olmadığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu doğrultusunda H3 hipotezinin desteklenmediği sonucuna ulaşılmaktadır.

Ancak bu durum, kullanılan ölçüm tekniklerinden birinin geçersiz olduğu anlamına gelmemektedir. Aksine, bu sonuç bilişsel yükün çok boyutlu bir yapı olduğunu ve farklı ölçüm yöntemlerinin bu yapının farklı bileşenlerine duyarlı olduğunu göstermektedir. Öz bildirim ölçümleri daha çok algılanan bilişsel yükü yansıtırken, fizyolojik ölçümler anlık bilişsel ve duygusal tepkileri ortaya koymaktadır. Bu nedenle bu iki ölçüm türünün birlikte kullanılması, bilişsel yükün daha kapsamlı bir şekilde anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu çalışma mimari tasarım sürecinde bilişsel yükün hem tasarım ortamı hem de görev zorluğu gibi faktörlere bağlı olarak değiştiğini ve bu değişimin kullanılan ölçüm yöntemine göre farklı biçimlerde ortaya çıktığını göstermektedir. Özellikle dijital modellemenin belirli bir deneyim düzeyine sahip kullanıcılar için daha düşük bilişsel yük ve daha yüksek zihinsel verimlilik sağladığı bulgusu, mimarlık pratiğinde ve eğitiminde yaygın olarak kabul edilen bazı yaklaşımların yeniden değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Mimarlık eğitimi açısından değerlendirildiğinde, bu bulgular tasarım görevlerinin yapılandırılma biçiminin öğrenme süreçleri üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle başlangıç düzeyindeki öğrenciler için daha tanımlı ve yönlendirilmiş görevlerin tercih edilmesi, bilişsel yükün daha etkin yönetilmesini sağlayabilir. Ancak bu durum, bilişsel yükün her koşulda en düşük düzeye indirilmesi gerektiği anlamına gelmemektedir. Öğrenme açısından önemli olan, öğrencinin bilişsel kapasitesini aşan aşırı yüklenmenin önlenmesi; ancak anlamlı çaba, problem çözme, yaratıcı düşünme ve şema geliştirme süreçlerini destekleyecek düzeyde bilişsel talebin korunmasıdır. Bu nedenle tasarım görevlerinin zorluğu, öğrencinin mevcut bilgi düzeyi, temsil becerisi ve tasarım deneyimi dikkate alınarak kademeli biçimde düzenlenmelidir. Bunun yanı sıra,

öğrencilerin belirli bir deneyim düzeyine ulaştıktan sonra tasarım ortamı seçiminde daha özgür bırakılması, bireysel öğrenme stratejilerinin gelişimini destekleyebilir. Bu bağlamda, her tasarım sürecinde fiziksel model üretiminin zorunlu tutulması yerine, tasarım ortamının proje bağlamına ve öğrenci tercihine göre belirlenmesi daha rasyonel bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

Bununla birlikte, fiziksel ve dijital modelleme ortamları birbirinin doğrudan alternatifi olarak değil, farklı bilişsel ve pedagojik işlevlere sahip tamamlayıcı ortamlar olarak ele alınmalıdır. Dijital modelleme ortamı daha hızlı deneme, değiştirme ve çoğaltma olanağı sunarak belirli koşullarda zihinsel verimliliği destekleyebilir. Buna karşılık fiziksel modelleme ortamı, öğrencinin malzeme ile doğrudan ilişki kurmasını, ölçek, hacim, boşluk-doluluk ilişkisi ve mekânsal organizasyonu somut biçimde kavramasını sağlayabilir. Maket üretiminin daha yavaş ve dirençli yapısı, öğrencinin daha az sayıda alternatifi daha derinlemesine geliştirmesine, hataları ve problemli mekânsal ilişkileri daha görünür biçimde fark etmesine katkı sunabilir. Bu nedenle tasarım eğitiminde tek bir temsil ortamının zorunlu tutulması yerine, öğrencinin deneyim düzeyi, görev niteliği ve hedeflenen öğrenme çıktısına göre fiziksel ve dijital ortamların birlikte kullanılmasına olanak tanıyan esnek bir pedagojik yaklaşım daha uygun görünmektedir.

Benzer biçimde, tasarım eğitiminin yalnızca yapılandırılmış görevler üzerinden yürütülmesi de uygun değildir. Açık uçlu ve esnek tasarım problemleri, öğrencilerin yaratıcılığını, alternatif üretme kapasitesini ve belirsizlikle baş etme becerisini destekleyebilir. Buna karşılık tamamen serbest bırakılmış yaratıcılık, işlevsel, uygulanabilir ve mekânsal olarak tutarlı tasarım üretimini garanti etmez; aşırı yapılandırılmış görevler ise yaratıcı düşünme ve özgün çözüm geliştirme kapasitesini sınırlayabilir. Bu nedenle tasarım eğitiminde yapılandırma ile açıklık, yönlendirme ile keşif ve bilişsel destek ile yaratıcı zorlanma arasında dengeli bir pedagojik kurgu oluşturulmalıdır.

Bu çalışma, metodolojik açıdan da önemli bir katkı sunmaktadır. Öz bildirim, fizyolojik ve performans temelli ölçümlerin birlikte kullanıldığı çoklu ölçüm yaklaşımı, bilişsel yükün farklı boyutlarını eş zamanlı olarak inceleme imkânı sunmakta ve bu alandaki araştırmalar için uygulanabilir bir deneysel metodoloji ortaya koymaktadır. Ayrıca, farklı ölçüm tekniklerinin hangi durumlarda daha

duyarlı sonuçlar ürettiğine ilişkin bulgular, gelecekte yapılacak çalışmalar için önemli bir referans oluşturmaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalar da ise görev zorluğunun daha hassas ve kademeli biçimde manipüle edildiği deney tasarımlarının geliştirilmesi, fizyolojik ölçümlerde veri kalitesini artıracak teknik iyileştirmelerin yapılması ve bilişsel yükün zamansal değişimini inceleyen analiz yaklaşımlarının benimsenmesi önerilmektedir. Ayrıca farklı deneyim düzeylerine sahip katılımcı grupları ile benzer çalışmaların tekrarlanması, elde edilen bulguların genellenebilirliğini artıracak ve bilişsel yükün tasarım sürecindeki rolüne ilişkin daha kapsamlı bir anlayış geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Buna ek olarak, gelecek çalışmalarda fizyolojik ölçümlerle eş zamanlı ya da onları tamamlayıcı biçimde yapılandırılmış protokol çalışmalarının kullanılması önerilmektedir. Bu çalışmada öz bildirim ölçümleri görev sonrasında alınmış, fizyolojik veriler ise süreç boyunca sürekli olarak kaydedilmiştir. Bu durum, anlık öznel deneyim ile fizyolojik değişimler arasındaki ilişkinin doğrudan kurulmasını sınırlamaktadır. Görev sonrası hatırlama görüşmeleri, kısa duraklama temelli protokol analizleri veya zaman damgalı süreç günlükleri gibi yöntemler, tasarım süreci içindeki zorlanma, karar verme, strateji değiştirme ve farkındalık anlarının daha ayrıntılı biçimde incelenmesine olanak sağlayabilir. Böylece öz bildirim ölçümlerinin zamansal çözünürlüğü artırılabilir ve fizyolojik verilerle daha doğrudan ilişkilendirilebilir.

Sonuç olarak bu tez, mimari tasarım sürecinde bilişsel yükün tek boyutlu ve doğrudan gözlenebilir bir yapı olarak değerlendirilemeyeceğini; tasarım ortamı, görev zorluğu, algılanan çaba, fizyolojik uyarılma ve performans çıktıları arasındaki ilişkiler üzerinden çok boyutlu biçimde ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, mimari tasarım eğitiminde bilişsel yükün yalnızca azaltılması gereken bir sorun olarak değil, uygun düzeyde yapılandırıldığında öğrenme, odaklanma ve yaratıcı problem çözme süreçlerini destekleyebilecek bir tasarım eğitimi değişkeni olarak değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu bağlamda çalışma, mimari tasarımda bilişsel yükün değerlendirilmesine yönelik çoklu ölçüm temelli bir metodolojik çerçeve sunmakta ve tasarım eğitiminin bilişsel temelde yeniden düşünülmesine katkı sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

Ahmed, A. M., Bonnardel, N., & Côté, P. (2011). The impact of design media on cognitive load during architectural ideation process. *C and C 2011 - Proceedings of the 8th ACM Conference on Creativity and Cognition*, 375–376. https://doi.org/10.1145/2069618.2069703

Akgun, S., & Ciarrochi, J. (2003). Learned resourcefulness moderates the relationship between academic stress and academic performance. *Educational Psychology*, *23*(3), 287–294. https://doi.org/10.1080/0144341032000060129

Andersen, M. S., & Makransky, G. (2021). The validation and further development of a multidimensional cognitive load scale for virtual environments. *Journal of Computer Assisted Learning*, *37*(1), 183–196. https://doi.org/10.1111/JCAL.12478

Aru, J. (2025). Artificial Intelligence and the Internal Processes of Creativity. *Journal of Creative Behavior*, *59*(2), e1530. https://doi.org/10.1002/jocb.1530

Ashrafganjouei, M., & Gero, J. S. (2021). Exploring the effect of a visual constraint on students' design cognition. *AI EDAM*, *35*(1), 3–19. https://doi.org/10.1017/S0890060420000335

Ayres, P. (2006). Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems. *Learning and Instruction*, *16*(5), 389–400. https://doi.org/10.1016/J.LEARNINSTRUC.2006.09.001

Ayres, P. (2019). Subjective Measures of Cognitive Load. *Cognitive Load Measurement and Application*, 9–28. https://doi.org/10.4324/9781315296258-2

Ayres, P., Lee, J. Y., Paas, F., & van Merriënboer, J. J. G. (2021). The Validity of Physiological Measures to Identify Differences in Intrinsic Cognitive Load.

Frontiers in Psychology, *12*, 702538. https://doi.org/10.3389/FPSYG.2021.702538/BIBTEX

Ayres, P., & Sweller, J. (2021). The Split-Attention Principle in Multimedia Learning. *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, 199–211. https://doi.org/10.1017/9781108894333.020

Banks, J., & Smyth, E. (2015). 'Your whole life depends on it': Academic stress and high-stakes testing in Ireland. *Journal of Youth Studies*, *18*(5), 598–616. https://doi.org/10.1080/13676261.2014.992317

Bannert, M. (2002). Managing cognitive load—recent trends in cognitive load theory. *Learning and Instruction*, *12*(1), 139–146. https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00021-4

Barreto, A., Zhai, J., Adjouadi, M. (2007). Non-intrusive Physiological Monitoring for Automated Stress Detection in Human-Computer Interaction. In: Lew, M., Sebe, N., Huang, T.S., Bakker, E.M. (eds) Human–Computer Interaction. HCI 2007. Lecture Notes in Computer Science, vol 4796. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-75773-3_4

Barrett, K. (2023). Enhancing Technical Grading Education: Finding the Right Tools for the Job. *Journal of Digital Landscape Architecture*, *2023*(8), 608–617. https://doi.org/10.14627/537740064

Bayram, N., & Bilgel, N. (2008). The prevalence and socio-demographic correlations of depression, anxiety and stress among a group of university students. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, *43*, 667–672. https://doi.org/10.1007/s00127-008-0345-x

Benedek, M., & Kaernbach, C. (2010). A continuous measure of phasic electrodermal activity. *Journal of Neuroscience Methods*, *190*(1), 80–91. https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2010.04.028

Berssanette, J. H., & De Francisco, A. C. (2022). Cognitive Load Theory in the Context of Teaching and Learning Computer Programming: A Systematic Literature Review. *IEEE Transactions on Education*, *65*(3), 440–449. https://doi.org/10.1109/TE.2021.3127215

Berthold, A., & Jameson, A. (1999). Interpreting symptoms of cognitive load in speech input. *UM99 User Modeling: Proceedings of the Seventh International Conference*, https://doi.org/235–244. 10.1007/978-3-7091-2490-1_23

Blechert, J., Lajtman, M., Michael, T., Margraf, J., & Wilhelm, F. H. (2006). Identifying anxiety states using broad sampling and advanced processing of peripheral physiological information. *Biomedical Sciences Instrumentation*, *42*, 136–141. PMID: 16817598

Boucsein, W. (2012). *Electrodermal activity (2nd ed.).* Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1126-0

Bruun, A., Law, E. L.-C., Heintz, M., & Alkly, L. H. A. (2016). Understanding the relationship between frustration and the severity of usability problems: What can psychophysiological data (not) tell us? *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, *2016-January*, 3975–3987. https://doi.org/10.1145/2858036.2858511

Budiyono, H., Marzuki, Pudjaningsih, W., Prastio, B., & Maulidina, A. (2025). Exploring Long-Term Impact of AI Writing Tools on Independent Writing Skills: A Case Study of Indonesian Language Education Students. *International Journal of Information and Education Technology*, *15*(5), 1003–1013. https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.5.2306

Cafri, G., van den Berg, P., & Brannick, M. T. (2010). What have the difference scores not been telling us? a critique of the use of self-ideal discrepancy in the assessment of body image and evaluation of an alternative data-analytic framework. *Assessment*, *17*(3), 361–376. https://doi.org/10.1177/1073191109357028

Cagan, J., Dinar, M., Shah, J. J., Leifer, L., Linsey, J., Smith, S. M., & Vargas-Hernandez, N. (2013). Empirical studies of design thinking: Past, present, future. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, *5*. https://doi.org/10.1115/DETC2013-13302

Calpin, N., & Menold, J. (2023). The Cognitive Costs of Design Tasks: Examining Cognitive Load Through Verbal and Physical Indicators. *Journal of Mechanical Design*, *145*(10). https://doi.org/10.1115/1.4062976

Campbell, J., & Ehlert, U. (2012). Acute psychosocial stress: does the emotional stress response correspond with physiological responses? *Psychoneuroendocrinology*, *37*(8), 1111–1134. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2011.12.010

Caspersen, M. E., & Bennedsen, J. (2007). Instructional design of a programming course: A learning theoretic approach. *Third International Computing Education Research Workshop, ICER'07*, 111–122. https://doi.org/10.1145/1288580.1288595

Cha, S. H., Ma, J. H., Seo, J. O., Kim, J. I., & Han, S. U. (2023). Empirical comparison of spatial experience between photo-based IVE and real space. *Architectural Science Review*, *66*(1), 1–16. https://doi.org/10.1080/00038628.2022.2134089

Chae, J., Hwang, S., Seo, W., & Kang, Y. (2021). Relationship between rework of engineering drawing tasks and stress level measured from physiological signals. *Automation in Construction*, *124*, 103560. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103560

Chandrasekera, T., Hosseini, Z., & Perera, U. (2024). Can artificial intelligence support creativity in early design processes? *International Journal of Architectural Computing*. https://doi.org/10.1177/14780771241254637

Chandrasekera, T., & Yoon, S. Y. (2015). The Effect of Tangible User Interfaces on Cognitive Load in the Creative Design Process. *Proceedings of the 2015 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Media, Art, Social Science, Humanities and Design, ISMAR-MASH'D 2015*, 6–8. https://doi.org/10.1109/ISMAR-MASHD.2015.18

Charles, R. L., & Nixon, J. (2019). Measuring mental workload using physiological measures: A systematic review. *Applied Ergonomics*, *74*, 221–232. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.028

Chen, F., Zhou, J., Wang, Y., Yu, K., Arshad, S. Z., Khawaji, A., & Conway, D. (2016). The State-of-The-Art. In *Robust Multimodal Cognitive Load Measurement* (pp. 13–32). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31700-7

Chen, O., Castro-Alonso, J. C., Paas, F., & Sweller, J. (2018). Extending cognitive load theory to incorporate working memory resource depletion: Evidence from the spacing effect. *Educational Psychology Review*, *30*, 483–501. https://doi.org/10.1007/s10648-017-9426-2

Chen, O., Paas, F., & Sweller, J. (2023). A Cognitive Load Theory Approach to Defining and Measuring Task Complexity Through Element Interactivity. *Educational Psychology Review*, *35*(2), 1–18. https://doi.org/10.1007/S10648-023-09782-W

Cheng, E. W. L., & Li, H. (2002). Construction partnering process and associated critical success factors: quantitative investigation. *Journal of Management in Engineering*, *18*(4), 194–202. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2002)18:4(194)

Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems. *Cognitive Science*, *13*(2), 145–182. https://doi.org/10.1207/S15516709COG1302_1

Choi, H. H., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2014). Effects of the Physical Environment on Cognitive Load and Learning: Towards a New Model of Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, *26*(2), 225–244. https://doi.org/10.1007/S10648-014-9262-6

Civitello, D., Finn, D., Flood, M., Salievski, E., Schwarz, M., & Storck, Z. (2014). *How do physiological responses such as respiratory frequency, heart rate, and galvanic skin response (GSR) change under emotional stress?* Journal of Advanced Student Sciences (JASS). http://digital.library.wisc.edu/1793/80044

Cote, P., Mohamed-Ahmed, A., & Tremblay, S. (2011). A quantitative method to compare the impact of design media on the architectural ideation process. *Designing Together: CAADFutures 2011 - Proceedings of the 14th International Conference on Computer Aided Architectural Design*, 539–555.

Cowan, N. (2001). The Magical Number 4 in Short-Term Memory: A Reconsideration of Mental Storage Capacity. *The Behavioral and Brain*

Sciences, *24*, 87–114; discussion 114. https://doi.org/10.1017/S0140525X01003922

Cross, N. (2001). Design cognition: Results from protocol and other empirical studies of design activity. *Design Knowing and Learning: Cognition in Design Education*, 79–103. https://doi.org/10.1016/B978-008043868-9/50005-X

Daniel, J. (2014). 1 Shade of Grey:Simplify to Excel in Sketching for IndustrialDesign Engineers. *Ds 78 Proceedings of the E Pde 2014 16th International Conference on Engineering and Product Design University of Twente the Netherlands*. https://www.academia.edu/129427867/1_Shade_of_Grey_Simplify_to_Excel_in_Sketching_for_IndustrialDesign_Engineers

Darwish, M., Kamel, S., & Assem, A. (2023). Extended reality for enhancing spatial ability in architecture design education. *Ain Shams Engineering Journal*, *14*(6), 102104. https://doi.org/10.1016/J.ASEJ.2022.102104

de Souza, M. P., Fialho, B. C., Ferreira, R. C., Fabricio, M. M., & Codinhoto, R. (2023). Modelling and coordination of building design: an experience of BIM learning/upskilling. *Architectural Engineering and Design Management*, *19*(1), 74–91. https://doi.org/10.1080/17452007.2021.1970506

Demir, Ö., Ayvaz, Z., & Ii, T. (2024). Turkish Adaptation Study of the Cognitive Load Scale: Reliability and Validity of the Cognitive Load Scale in Turkish Culture. *International Journal of Progressive Education*, *20*(6), 33–50. https://doi.org/10.29329/IJPE.2024.1078.3

Devos, H., Gustafson, K., Ahmadnezhad, P., Liao, K., Mahnken, J. D., Brooks, W. M., & Burns, J. M. (2020). Psychometric properties of NASA-TLX and index of cognitive activity as measures of cognitive workload in older adults. *Brain Sciences*, *10*(12), 1–13. https://doi.org/10.3390/BRAINSCI10120994

Diliara, N., Halil, E., Huang, A., Robert, W., Bernhard, R., Nasirova, D., Erhan, H., Huang, A., Woodbury, R., & Riecke, B. (2011). *Change Detection in 3D Parametric Systems : Human-Centered Interfaces for Change Visualization*.

Dinar, M., Shah, J. J., Cagan, J., Leifer, L., Linsey, J., Woodruff, G. W., Smith, S. M., & Vargas Hernandez, N. (2015). *Empirical Studies of Designer Thinking: Past, Present, and Future*. https://doi.org/10.1115/1.4029025

Dissaux, T., & Jancart, S. (2022). Architecture Students' Search Behavior in Parametric Design. *Proceedings of the 40th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (ECAADe), 1(1)*, 171–181. https://doi.org/10.52842/CONF.ECAADE.2022.1.171

Djebarni, R. (1996). The impact of stress in site management effectiveness. *Construction Management & Economics*, *14*(4), 281–293. https://doi.org/10.1080/014461996373368

Dorst, K., & Cross, N. (2001). Creativity in the design process: co-evolution of problem–solution. *Design Studies*, *22*(5), 425–437. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00009-6

Du, N., Yang, X. J., & Zhou, F. (2020). Psychophysiological responses to takeover requests in conditionally automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, *148*, 105804. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105804

Er, I. E., Arabacıoğlu, F. P., & Tastan, H. (2025). Cognitive processes in parametric design: A systematic literature review of methods, models, and future directions. *MEGARON / YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY, FACULTY OF ARCHITECTURE E-JOURNAL*, *20*(1), 37–51. https://doi.org/10.14744/MEGARON.2025.52893

Er, I. E., Heyik, M. A., Tastan, H., & Arabacioğlu, F. P. (2026). Stress dynamics of architecture students during jury presentations: an exploratory EDA study. *International Journal of Technology and Design Education 2026*, 1–25. https://doi.org/10.1007/S10798-026-10087-6

Er, I. E., Heyik, M. A., & Yildirim, O. C. (2026). Exploring the emotional effects of urban street design through virtual reality and electrodermal activity. *International Planning Studies*, 1–26. https://doi.org/10.1080/13563475.2026.2621852

Erhan, H., Chan, J., Fung, G., Shireen, N., & Wang, I. (2022). Understanding Cognitive Overload in Generative Design - An Epistemic Action Analysis. *Proceedings of the 22nd Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)*, 127–136. https://doi.org/10.52842/CONF.CAADRIA.2017.127

Ericsson, K. A., & Charness, N. (1994). Expert performance: Its structure and acquisition. *American Psychologist*, *49*(8), 725. https://doi.org/10.1037/0003-066X.49.8.725

Evans, P., Vansteenkiste, M., Parker, P., Kingsford-Smith, A., & Zhou, S. (2024). Cognitive Load Theory and Its Relationships with Motivation: a Self-Determination Theory Perspective. *Educational Psychology Review*, *36*(1), 1–25. https://doi.org/10.1007/S10648-023-09841-2

Figen Gül, L. (2014). Studying the Impact of Immersion on Design Cognition. *Virtual Architecture ECAADe 27*, 615–622. https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2009.615

Fiorentino, M., Klose, E. M., Lucia V. Alemanno, M., Giordano, I., Bellis, A. De, Cavaliere, I., Costantino, D., Fallacara, G., Straeter, O., & Sorrento, G. (2020). User Study on Virtual Reality for Design Reviews in Architecture. *Adjunct Proceedings of the 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2020*, 283–288. https://doi.org/10.1109/ISMAR-ADJUNCT51615.2020.00079

Fisher, A. V., Godwin, K. E., & Seltman, H. (2014). Visual Environment, Attention Allocation, and Learning in Young Children: When Too Much of a Good Thing May Be Bad. *Psychological Science*, *25*(7), 1362–1370. https://doi.org/10.1177/0956797614533801

Fox, E., Mathews, A., Calder, A. J., & Yiend, J. (2007). Anxiety and sensitivity to gaze direction in emotionally expressive faces. *Emotion*, *7*(3), 478. https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.3.478

Fuentes-García, J. P., Villafaina, S., Collado-Mateo, D., de la Vega, R., Olivares, P. R., & Clemente-Suárez, V. J. (2019). Differences between high vs. low performance chess players in heart rate variability during chess problems. *Frontiers in Psychology*, *10*(FEB). https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00409

G Van Merrienboer, J. J., & M Krammer, H. P. (1987). Instructional strategies and tactics for the design of introductory computer programming courses in high school. *Instructional Science*, *16*, 251–285. https://doi.org/10.1007/BF00120253

Galasso, V., & Profeta, P. (2024). GENDER DIFFERENCES IN MATH TESTS: THE ROLE OF TIME PRESSURE. *Economic Journal*, *134*(664), 3461–3475. https://doi.org/10.1093/ej/ueae052

Galy, E., Cariou, M., & Mélan, C. (2012). What is the relationship between mental workload factors and cognitive load types? *International Journal of Psychophysiology*, *83*(3), 269–275. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.09.023

Geary, D. (2007). Educating the evolved mind. *Educating the Evolved Mind*, Information Age Publishing. 1–99.

Geary, D. (2008). An Evolutionarily Informed Education Science. *Educational Psychologist - EDUC PSYCHOL*, *43*. https://doi.org/10.1080/00461520802392133

Gerjets, P., Scheiter, K., & Cierniak, G. (2009). The Scientific Value of Cognitive Load Theory: A Research Agenda Based on the Structuralist View of Theories. *Educational Psychology Review*, *21*, 43–54. https://doi.org/10.1007/s10648-008-9096-1

Gero, J. S., & Mc Neill, T. (1998). An approach to the analysis of design protocols. *Design Studies*, *19*(1), 21–61. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(97)00015-X

Geršak, G. (2020). Electrodermal activity - a beginner's guide. *Elektrotehniski Vestnik/Electrotechnical Review*, *87(4)*, 175–182. https://ev.fe.uni-lj.si/4-2020/Gersak.pdf

Gevins, A., Smith, M. E., McEvoy, L., & Yu, D. (1997). High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cerebral Cortex*, *7*(4), 374–385. https://doi.org/10.1093/CERCOR/7.4.374

Ghaderyan, P., Abbasi, A., & Ebrahimi, A. (2018). Time-varying singular value decomposition analysis of electrodermal activity: A novel method of cognitive load estimation. *Measurement*, *126*, 102–109. https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2018.05.015

Gibbs, D. (2024). Through the forest of extraneous things: Exploring cognitive load theory and architectural design studio andragogy. *Proceedings of the 57th International Conference of the Architectural S*, 202–209.

Goldschmidt, G. (2014). Linkography: Unfolding the Design Process. In *Linkography*. The MIT Press. https://doi.org/10.7551/MITPRESS/9455.001.0001

Gonnermann-Müller, J., & Krüger, J. (2024). Unlocking Augmented Reality Learning Design Based on Evidence From Empirical Cognitive Load Studies—A Systematic Literature Review. *Journal of Computer Assisted Learning*, *41*. https://doi.org/10.1111/jcal.13095

Große, C. S., & Renkl, A. (2007). Finding and fixing errors in worked examples: Can this foster learning outcomes? *Learning and Instruction*, *17*(6), 612–634. https://doi.org/10.1016/J.LEARNINSTRUC.2007.09.008

Gümüşburun Ayalp, G., & Çivici, T. (2021). Critical stress factors influencing architecture students in Turkey: a structural equation modelling approach. *Open House International*, *46*(2), 281–303. https://doi.org/10.1108/OHI-10-2020-0150

Hargrove, R. A. (2013). Assessing the long-term impact of a metacognitive approach to creative skill development. *International Journal of Technology and Design Education*, *23*(3), 489–517. https://doi.org/10.1007/s10798-011-9200-6

Hart, S. G. (2006). Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 904–908. https://doi.org/10.1177/154193120605000909

Henstrom, J., De Amicis, R., Sanchez, C. A., & Turkan, Y. (2024). Immersive engineering instruction: Using Virtual Reality to enhance students' experience

in the classroom. *Computers and Graphics (Pergamon)*, *121*. https://doi.org/10.1016/j.cag.2024.103944

Hernandez Sibo, I. P., Gomez Celis, D. A., & Liou, S. (2024). Exploring the Landscape of Cognitive Load in Creative Thinking: a Systematic Literature Review. *Educational Psychology Review*, *36*(1). https://doi.org/10.1007/s10648-024-09866-1

Horvers, A., Tombeng, N., Bosse, T., Lazonder, A. W., & Molenaar, I. (2021). Detecting emotions through electrodermal activity in learning contexts: A systematic review. *Sensors*, *21*(23), 7869. https://doi.org/10.3390/s21237869

Hou, L., Wang, X., & Truijens, M. (2015). Using Augmented Reality to Facilitate Piping Assembly: An Experiment-Based Evaluation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *29*(1). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000344

Howard, J. L., Bureau, J., Guay, F., Chong, J. X. Y., & Ryan, R. M. (2021). Student Motivation and Associated Outcomes: A Meta-Analysis From Self-Determination Theory. *Perspectives on Psychological Science*, *16*(6), 1300–1323. https://doi.org/10.1177/1745691620966789

Hu, M., Simon, M., Fix, S., Vivino, A. A., & Bernat, E. (2021). Exploring a sustainable building's impact on occupant mental health and cognitive function in a virtual environment. *Scientific Reports*, *11*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-021-85210-9

Hwang, G. J., Yang, L. H., & Wang, S. Y. (2013). A concept map-embedded educational computer game for improving students' learning performance in natural science courses. *Computers & Education*, *69*, 121–130. https://doi.org/10.1016/J.COMPEDU.2013.07.008

Jam, F., Azemati, H. R., Ghanbaran, A., Esmaily, J., & Ebrahimpour, R. (2021). The Role of Expertise in Visual Exploration and Aesthetic Judgment of Residential Building Façades: An Eye-Tracking Study. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, *16*(1), 148–163. https://doi.org/10.1037/aca0000377

Kalantari, S., Cruz-Garza, J., Xu, T. B., Mostafavi, A., & Gao, E. (2023). Store layout design and consumer response: a behavioural and EEG study. *Building Research and Information*, *51*(8), 897–914. https://doi.org/10.1080/09613218.2023.2201415;SUBPAGE:STRING:ACCESS

Kalyuga, S. (2023). Evolutionary perspective on human cognitive architecture in cognitive load theory: A dynamic, emerging principle approach. *Educational Psychology Review*, *35*(3). https://doi.org/91. 10.1007/s10648-023-09812-7

Kan, J. W. T., & Gero, J. S. (2017). Ontologically-based studies of design protocols. In *Quantitative methods for studying design protocols* (pp. 55–92). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-024-0984-0

Kettebekov, S. (2004). Exploiting prosodic structuring of coverbal gesticulation. *Proceedings of the 6th International Conference on Multimodal Interfaces*, 105–112. https://doi.org/10.1145/1027933.1027953

Khosrowabadi, R., Quek, C., Ang, K. K., Tung, S. W., & Heijnen, M. (2011). A Brain-Computer Interface for classifying EEG correlates of chronic mental stress. *The 2011 International Joint Conference on Neural Networks*, 757–762. https://doi.org/10.1109/IJCNN.2011.6033297

Kim, M. J., & Maher, M. Lou. (2008). The impact of tangible user interfaces on designers' spatial cognition. *Human-Computer Interaction*, *23*(2), 101–137. https://doi.org/10.1080/07370020802016415

Kim, S. Y., Park, H., Kim, H., Kim, J., & Seo, K. (2022). Technostress causes cognitive overload in high-stress people: Eye tracking analysis in a virtual kiosk test. *Information Processing and Management*, *59*(6). https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.103093

Kirschner, F., Paas, F., & Kirschner, P. A. (2009). A cognitive load approach to collaborative learning: United brains for complex tasks. *Educational Psychology Review*, *21*(1), 31–42. https://doi.org/10.1007/S10648-008-9095-2

Kirschner, P. A. (2002). Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction*, *12*(1), 1–10. https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00014-7

Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, *8*(NOV), 294028. https://doi.org/10.3389/FPSYG.2017.01997

Kodinariya, T. M., & Makwana, P. R. (2013). Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies, 1(6), 90-9.*

Krell, M. (2017). Evaluating an instrument to measure mental load and mental effort considering different sources of validity evidence. *Cogent Education*, *4*(1). https://doi.org/10.1080/2331186X.2017.1280256

Krol, L. R. (2020). *Neuroadaptive Technology: Concepts, Tools, and Validations* [Doktora Tezi, Berlin Teknik Üniversitesi]. https://doi.org/10.14279/depositonce-10656

Lackner, H. K., Papousek, I., Batzel, J. J., Roessler, A., Scharfetter, H., & Hinghofer-Szalkay, H. (2011). Phase synchronization of hemodynamic variables and respiration during mental challenge. *International Journal of Psychophysiology*, *79*(3), 401–409. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.01.001

Larmuseau, C., Vanneste, P., Cornelis, J., Desmet, P., & Depaepe, F. (2019). Combining physiological data and subjective measurements to investigate cognitive load during complex learning. *Frontline Learning Research*, *7*(2), 57–74. https://doi.org/10.14786/FLR.V7I2.403

Lawson, B. (2006). How Designers Think – The Design Process Demystified. *University Press, Cambridge*.

Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. Springer publishing company. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1005-9_215

Keränen, H., Väyrynen, E., Pääkkönen, R., Leino, T., Kuronen, P., Toivanen, J., & Seppänen, T. (2004). Prosodic features of speech produced by military pilots

during demanding tasks. In Proceedings of the Fonetiikan Päivät Conference. https://www.researchgate.net/publication/237233124

Leppink, J., Paas, F., Van der Vleuten, C. P. M., Van Gog, T., & Van Merriënboer, J. J. G. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior Research Methods*, *45*(4), 1058–1072. https://doi.org/10.3758/S13428-013-0334-1/TABLES/14

Lesage, A., & Dorta, T. (2011). Two conceptual design too ls and an imersive experience: Beyond the pragmatic-pleasurable split in US. *Circuit Bending, Breaking and Mending - Proceedings of the 16th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2011*, 291–300. https://doi.org/10.52842/CONF.CAADRIA.2011.291

Leung, M., Chan, Y.-S., & Yu, J. (2009). Integrated model for the stressors and stresses of construction project managers in Hong Kong. *Journal of Construction Engineering and Management*, *135*(2), 126–134. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:2(126

Li, D., Wang, X., Menassa, C. C., & Kamat, V. R. (2020). Understanding the impact of building thermal environments on occupants' comfort and mental workload demand through human physiological sensing. *Start-Up Creation: The Smart Eco-Efficient Built Environment, Second Edition*, 291–341. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819946-6.00012-6

Lin, H., Lin, H., Lin, W., & Huang, A. C. (2011). Effects of stress, depression, and their interaction on heart rate, skin conductance, finger temperature, and respiratory rate: sympathetic-parasympathetic hypothesis of stress and depression. *Journal of Clinical Psychology*, *67*(10), 1080–1091. https://doi.org/10.1002/jclp.20833

Liu, J., Yan, X., & Gao, W. (2024). A Dualistic Perspective of Opportunity and Risk: The Impact of Head-Mounted Augmented Reality on Construction Onsite Hazard Identification of Workers. *Journal of Construction Engineering and Management*, *150*(11). https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-14684

Liu, Y., Ma, S., & Chen, Y. (2024). The impacts of learning motivation, emotional engagement and psychological capital on academic performance in a blended

learning university course. *Frontiers in Psychology*, *15*, 1357936. https://doi.org/10.3389/FPSYG.2024.1357936

Liu, Y., Yu, Y., Tao, H., Ye, Z., Wang, S., Li, H., Hu, D., Zhou, Z. Z., & Zeng, L. L. (2025). Cognitive Load Prediction From Multimodal Physiological Signals Using Multiview Learning. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, *29*(5), 3282–3292. https://doi.org/10.1109/JBHI.2023.3346205

Lively, S. E., Pisoni, D. B., Van Summers, W., & Bernacki, R. H. (1993). Effects of cognitive workload on speech production: Acoustic analyses and perceptual consequences. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *93*(5), 2962–2973. https://doi.org/10.1121/1.405815

Love, P. E. D., Edwards, D. J., & Irani, Z. (2010). Work stress, support, and mental health in construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, *136*(6), 650–658. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.000016

Macaskill, A. (2013). The mental health of university students in the United Kingdom. *British Journal of Guidance & Counselling*, *41*(4), 426–441.

Mach, S., Storozynski, P., Halama, J., & Krems, J. F. (2022). Assessing mental workload with wearable devices – Reliability and applicability of heart rate and motion measurements. *Applied Ergonomics*, *105*, 103855. https://doi.org/10.1016/J.APERGO.2022.103855

Mahmoudzadeh, P., Afacan, Y., & Adi, M. N. (2021). Analyzing occupants' control over lighting systems in office settings using immersive virtual environments. *Building and Environment*, *196*, 107823. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.107823

Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality. *Educational Psychology Review*, *33*(3), 937–958. https://doi.org/10.1007/S10648-020-09586-2/FIGURES/1

Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. (2019). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*, *60*, 225–236. https://doi.org/10.1016/J.LEARNINSTRUC.2017.12.007

Mayer, R. E. (2024). The past, present, and future of the cognitive theory of multimedia learning. *Educational Psychology Review*, *36*(8). https://doi.org/10.1007/s10648-023-09842-1

McDonald, J. D. (2008). Measuring personality constructs: The advantages and disadvantages of self-reports, informant reports and behavioural assessments. *Enquire*, *1*(1), 175-94.

McIsaac, T. L., Lamberg, E. M., & Muratori, L. M. (2015). Building a framework for a dual task taxonomy. *BioMed Research International*, *2015*. https://doi.org/10.1155/2015/591475

McMahan, R. P., & Bowman, D. A. (2007). An empirical comparison of task sequences for immersive virtual environments. *IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2007 - Proceedings, 3DUI 2007*, 25–32. https://doi.org/10.1109/3DUI.2007.340770

Mejia-Puig, L., & Chandrasekera, T. (2023a). The Presentation of Self in Virtual Reality: A Cognitive Load Study. *Journal of Interior Design*, *48*(1), 29–46. https://doi.org/10.1111/JOID.12234

Mejia-Puig, L., & Chandrasekera, T. (2023b). The virtual body in a design exercise: a conceptual framework for embodied cognition. *International Journal of Technology and Design Education*, *33*(5), 1861–1882. https://doi.org/10.1007/S10798-022-09793-8

Mejia-Puig, L., Korneva, E., & Chandrasekera, T. (2022). How Does a Retail Environment Affect Perceived Retail Crowding? A Study Using Virtual Reality. *International Journal of Architectonic, Spatial, and Environmental Design*, *17*(1), 151–165. https://doi.org/10.18848/2325-1662/CGP/V17I01/151-165

Menezes, A. M. de. (2005). *Sketching and visual perception in conceptual design : case studies of novice and expert architecture students.* [Doctoral dissertation, University of Sheffield]. White Rose eTheses Online. https://etheses.whiterose.ac.uk/id/eprint/15054/1/419574_vol1.pdf

Mercer, S. (2023). The wellbeing of language teachers in the private sector: An ecological perspective. *Language Teaching Research*, *27*(5), 1054–1077. https://doi.org/10.1177/1362168820973510

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, *63*(2), 81. https://doi.org/10.1037/h0043158

Mills, M. J., & Fullagar, C. J. (2008). Motivation and flow: Toward an understanding of the dynamics of the relation in architecture students. *The Journal of Psychology*, *142*(5), 533–556. https://doi.org/10.3200/JRLP.142.5.533-556

Minkley, N., Xu, K. M., & Krell, M. (2021). Analyzing relationships between causal and assessment factors of cognitive load: associations between objective and subjective measures of cognitive load, stress, interest, and self-concept. *Frontiers in Education*, *6*, https://doi.org/10.3389/feduc.2021.632907

Mohamed-Ahmed, A., Bonnardel, N., Côté, P., & Tremblay, S. (2013). Cognitive load management and architectural design outcomes. *International Journal of Design Creativity and Innovation*, *1*(3), 160–176. https://doi.org/10.1080/21650349.2013.797013

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Group*, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Annals of Internal Medicine*, *151*(4), 264–269. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097

Moore, D. A., & Tenney, E. R. (2012). Time Pressure, Performance, and Productivity. In *Research on Managing Groups and Teams* (Vol. 15, pp. 305–326). https://doi.org/10.1108/S1534-0856(2012)0000015015

Moreno, R. (2009). Cognitive load theory: more food for thought. *Instructional Science 2009 38:2*, *38*(2), 135–141. https://doi.org/10.1007/S11251-009-9122-9

Mousavi, S. Y., Low, R., & Sweller, J. (1995). Reducing cognitive load by mixing auditory and visual presentation modes. *Journal of Educational Psychology*, *87*(2), 319–334. https://doi.org/10.1037/0022-0663.87.2.319

Müller, C., Großmann-Hutter, B., Jameson, A., Rummer, R., & Wittig, F. (2001). Recognizing time pressure and cognitive load on the basis of speech: An experimental study. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, *2109*, 24–33. https://doi.org/10.1007/3-540-44566-8_3

Naismith, L. M., Cheung, J. J. H., Ringsted, C., & Cavalcanti, R. B. (2015). Limitations of subjective cognitive load measures in simulation-based procedural training. *Medical Education*, *49*(8), 805–814. https://doi.org/10.1111/MEDU.12732

Nguyen, T. A., & Zeng, Y. (2017). Effects of stress and effort on self-rated reports in experimental study of design activities. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *28*, 1609–1622. https://doi.org/10.1007/s10845-016-1196-z

Nishihara, N., Xiong, J., Kim, J., Zhu, H., & de Dear, R. (2022). Effect of adaptive opportunity on cognitive performance in warm environments. *Science of The Total Environment*, *823*, 153698. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.153698

Nourbakhsh, N., Wang, Y., Chen, F., & Calvo, R. A. (2012). Using galvanic skin response for cognitive load measurement in arithmetic and reading tasks. *Proceedings of the 24th Australian Computer-Human Interaction Conference, OzCHI 2012*, 420–423. https://doi.org/10.1145/2414536.2414602

O'Donnel, R. D. (1986). Workload assessment methodology. *Cognitive Processes and Performance*.

Oldham, G. R., & Cummings, A. (1996). Employee creativity: Personal and contextual factors at work. *Academy of Management Journal*, *39*(3), 607–634. https://doi.org/10.2307/256657

Olweny, M. R. O. (2020). Students' views of the architectural design review: The design crit in East Africa. *Arts and Humanities in Higher Education*, *19*(4), 377–396. https://doi.org/10.1177/1474022219833595

Ostwald, M. J., & Williams, A. (2008). *Understanding architectural education in Australasia*. Australian Learning and Teaching Council Sydney, Australia.

Oviatt, S. (2006). Human-centered design meets cognitive load theory: Designing interfaces that help people think. *Proceedings of the 14th Annual ACM International Conference on Multimedia, MM 2006*, 871–880. https://doi.org/10.1145/1180639.1180831

Oviatt, S. (2017). Designing Interfaces that Stimulate Ideational Super-fluency. *Scholarly and Research Communication*, *8*(2). https://src-online.ca/index.php/src/article/view/278/522

Paas, F. (1992). Training Strategies for Attaining Transfer of Problem-Solving Skill in Statistics: A Cognitive-Load Approach. *Journal of Educational Psychology*, *84*(4), 429–434. https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429

Paas, F., & Sweller, J. (2012). An Evolutionary Upgrade of Cognitive Load Theory: Using the Human Motor System and Collaboration to Support the Learning of Complex Cognitive Tasks. *Educational Psychology Review*, *24*(1), 27–45. https://doi.org/10.1007/s10648-011-9179-2

Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, *38*(1), 63–71. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_8

Paas, F., Tuovinen, J. E., Van Merriënboer, J. J. G., & Darabi, A. A. (2005). A motivational perspective on the relation between mental effort and performance: Optimizing learner involvement in instruction. *Educational Technology Research and Development*, *53*(3), 25–34. https://doi.org/10.1007/BF02504795

Paas, F., & Van Merrienboer, J. J. G. (2020). Cognitive-Load Theory: Methods to Manage Working Memory Load in the Learning of Complex Tasks. *Current Directions in Psychological Science*, *29*, 096372142092218. https://doi.org/10.1177/0963721420922183

Paas, F., & Van Merriienboer, J. (1994). Instructional Control of Cognitive Load in the Training of Complex Cognitive Tasks. *Educational Psychology Review*, *6*(4). https://doi.org/10.1007/BF02213420

Parker, G., Paterson, A., & Hadzi-Pavlovic, D. (2015). Emotional response patterns of depression, grief, sadness and stress to differing life events: a quantitative analysis. *Journal of Affective Disorders*, *175*, 229–232. https://doi.org/10.1016/j.jad.2015.01.015

Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, *110*(6), 785–797. https://doi.org/10.1037/EDU0000241

Peterson, L., & Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, *58*(3), 193. https://doi.org/10.1037/h0049234

Pfeffel, K., Elezi, M., Ulsamer, P., & Müller, N. H. (2020). Virtual reality as a stress reduction measure–chilling out on the beach in my living room. *Learning and Collaboration Technologies. Human and Technology Ecosystems: 7th International Conference, LCT 2020, Copenhagen, Danimarka, Haziran 19–24,* 176–189. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50506-6_13

Pierre, C., Ashraf, M., & Sébastien, T. (2011). A quantitative method to compare the impact of design media on the architectural ideation process. *CAAD Futures 2011: Designing together,* 539–555. https://papers.cumincad.org/data/works/att/cf2011_p051.content.pdf.

Qin, Y., & Bulbul, T. (2023). Electroencephalogram-based mental workload prediction for using Augmented Reality head mounted display in construction assembly: A deep learning approach. *Automation in Construction*, *152*, 104892. https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2023.104892

Reid, G. B., & Nygren, T. E. (1988). The Subjective Workload Assessment Technique: A Scaling Procedure for Measuring Mental Workload. *Advances in Psychology*, *52*(C), 185–218. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62387-0

Ritter, S., Nixon, T., Lomas, D., Stamper, J., & Ching, D. (2012). Using time pressure to promote mathematical fluency. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, *7315*, 669–670. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30950-2_113

Saaty, T. L. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. RWS publications, 6, 1-10

Samaratunga, M., Kamardeen, I., & Chathurangi, B. N. M. (2025). Work–Study Conflict Stressors and Impacts: A Cross-Disciplinary Analysis of Built Environment Undergraduates. *Buildings*, *15*(6), 973. https://doi.org/10.3390/buildings15060973

Santana-Monagas, E., Núñez-Regueiro, F., & Núñez, J. L. (2025). Does motivation lead to academic success, or conversely? Reciprocal relations between autonomous and controlled motivation, and mathematics achievement. *The British Journal of Educational Psychology*, *95*(2), 513. https://doi.org/10.1111/BJEP.12736

Schön, D. A. (1987). Educating the reflective practitioner: Toward a new design for teaching and learning in the professions. In *Educating the reflective practitioner: Toward a new design for teaching and learning in the professions.* Jossey-Bass.

Sehgal, DR. R., Tamrakar, DR. G., & Benerjee, S. (2025). Predıctıon of Desıgn Fatıgue Usıng Physıologıcal and Psychologıcal Indıcators. *TPM – Testing, Psychometrics, Methodology in Applied Psychology*, *32*(S1 (2025): Posted 12 May), 780–784. https://tpmap.org/submission/index.php/tpm/article/view/360

Setz, C., Arnrich, B., Schumm, J., La Marca, R., Tröster, G., & Ehlert, U. (2009). Discriminating stress from cognitive load using a wearable EDA device. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, *14*(2), 410–417. https://doi.org/10.1109/TITB.2009.2036164

Seufert, T., Jänen, I., & Brünken, R. (2007). The impact of intrinsic cognitive load on the effectiveness of graphical help for coherence formation. *Computers in Human Behavior*, *23*(3), 1055–1071. https://doi.org/10.1016/J.CHB.2006.10.002

Sexton, J. B., & Helmreich, R. L. (2000). Analyzing cockpit communications: the links between language, performance, error, and workload. *Human Performance in Extreme Environments: The Journal of the Society for Human Performance in Extreme Environments*, *5*(1), 63–68. https://doi.org/10.7771/2327-2937.1007

Seyderhelm, A. J. A., & Blackmore, K. L. (2024). Dynamic Adaptative Surveillance Training in a Virtual Environment Using Real-Time Cognitive Load and Performance. *International Journal of Serious Games*, *11*(3), 109–133. https://doi.org/10.17083/ijsg.v11i3.733

Shaghaghian, Z., Burte, H., Song, D., & Yan, W. (2024). An augmented reality application and experiment for understanding and learning spatial transformation matrices. *Virtual Reality 2024 28:1*, *28*(1), 12-. https://doi.org/10.1007/S10055-023-00904-X

Sharp, H., Rogers, Y., & Preece, J. (2007). *Interaction Design. Beyond Human-Computer Interaction*.

Skulmowski, A. (2022). Guidelines for Choosing Cognitive Load Measures in Perceptually Rich Environments. *Mind Brain and Education*. https://doi.org/10.1111/mbe.12342

Smith-Jackson, T., Middlebrooks, R., Francis, J., Gray, T., Nelson, K., Steele, B., Townsend, K., & Watlington, C. (2016). Open plan offices as sociotechnical systems: What matters and to whom? *Work*, *54*(4), 807–823. https://doi.org/10.3233/WOR-162362

Solteo, V. Q. (2025). The impact of AI on creativity in business conceptualization: Exploring social and psychological development in business education. *Environment and Social Psychology*, *10*(2), 3394. https://doi.org/10.59429/esp.v10i2.3394

Son, K., Lee, S. W., Yoon, W., & Hyun, K. H. (2022). CreativeSearch: Proactive design exploration system with Bayesian information gain and information entropy. *Automation in Construction*, *142*, 104502. https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2022.104502

Sopher, H., Casakin, H., & Gero, J. S. (2022). Effect of Immersive VR on Student-Tutor Interaction in Design Crits. *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, *1*, 123–132. https://doi.org/10.52842/CONF.ECAADE.2022.1.123

Struthers, C. W., Perry, R. P., & Menec, V. H. (2000). An examination of the relationship among academic stress, coping, motivation, and performance in

college. *Research in Higher Education*, *41*, 581–592. https://doi.org/10.1023/A:1007094931292

Sun, G., Yao, S., & Carretero, J. A. (2016). An experimental approach to understanding design problem structuring strategies. *Journal of Design Research*, *14*(1), 94–117. https://doi.org/10.1504/JDR.2016.074778

Suryani, M., Santoso, H. B., Schrepp, M., Aji, R. F., Hadi, S., Sensuse, D. I., Suryono, R. R., & Kautsarina. (2024). Role, Methodology, and Measurement of Cognitive Load in Computer Science and Information Systems Research. *IEEE Access*, *12*, 190007–190024. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3514355

Sweller, J. (2011). Cognitive Load Theory. *Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory*, *55*, 37–76. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387691-1.00002-8

Sweller, J. (2024). Cognitive load theory and individual differences. *Learning and Individual Differences*, *110*, 102423. https://doi.org/10.1016/J.LINDIF.2024.102423

Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4

Sweller, J., & Levine, M. (1982). Effects of goal specificity on means-ends analysis and learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *8*(5), 463–474. https://doi.org/10.1037/0278-7393.8.5.463

Sweller, J., & Sweller, S. (2006). Natural Information Processing Systems. *Evol Psychol*, *4*. https://doi.org/10.1177/147470490600400135

Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, *31*(2), 261–292. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5

Tao, D., Tan, H., Wang, H., Zhang, X., Qu, X., & Zhang, T. (2019). A Systematic Review of Physiological Measures of Mental Workload. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(15). https://doi.org/10.3390/IJERPH16152716

Tarmizi, R. A., & Sweller, J. (1988). Guidance during Mathematical Problem Solving. *Journal of Educational Psychology*, *80*(4), 424–436. https://doi.org/10.1037/0022-0663.80.4.424

Tastan, H., & Tong, T. (2023). Immersive virtual reality in AECO/FM to enhance education: Systematic literature review and future directions. *Computer Applications in Engineering Education*, *31*(5), 1465–1491. https://doi.org/10.1002/CAE.22631

Tedjosaputro, M., Csikvari, G., & Wilson, C. (2025). Embodied Creativity in Physical Model Making in the Age of Artificial Intelligence. *Proceedings of the International Conference of Architectural Science Association*. https://doi.org/10.65388/KHKJ7650

Titze, I. R., & Scherer, R. C. (1983). Vocal fold physiology: biomechanics, acoustics and phonatory control. *International Conference on Physiology and Biophysics of the Voice*. 96(5), https://doi.org/10.1177/000348948709600529

Tolkmitt, F. J., & Scherer, K. R. (1986). Effect of experimentally induced stress on vocal parameters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *12*(3), 302. https://doi.org/10.1037/0096-1523.12.3.302

Um, E. R., Plass, J. L., Hayward, E. O., & Homer, B. D. (2012). Emotional Design in Multimedia Learning. *Journal of Educational Psychology*, *104*(2), 485–498. https://doi.org/10.1037/A0026609

Umair, M., Sharafat, A., Lee, D. E., & Seo, J. (2022). Impact of Virtual Reality-Based Design Review System on User's Performance and Cognitive Behavior for Building Design Review Tasks. *Applied Sciences (Switzerland)*, *12*(14). https://doi.org/10.3390/APP12147249

Valtchanov, D., & Ellard, C. G. (2015). Cognitive and affective responses to natural scenes: Effects of low level visual properties on preference, cognitive load and eye-movements. *Journal of Environmental Psychology*, *43*, 184–195. https://doi.org/10.1016/J.JENVP.2015.07.001

Vanneste, P., Raes, A., Morton, J., Bombeke, K., Van Acker, B. B., Larmuseau, C., Depaepe, F., & Van den Noortgate, W. (2021). Towards measuring cognitive

load through multimodal physiological data. *Cognition, Technology and Work*, *23*(3), 567–585. https://doi.org/10.1007/S10111-020-00641-0

Vásquez, P. C., Klijn, T. P., Moreno, M. B., & Barriga, O. A. (2014). Validation of subjective mental workload scale in academics staffacademics staff. *Ciencia y Enfermería*, 20(2), 73–82. http://doi.org/10.4067/S0717-95532014000200008

Veltman, J. A., & Jansen, C. (2005). The role of operator state assessment in adaptive automation (TNO Report No. TNO-DV3 2005 A245). TNO Human Factors Research Institute. https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA455055.pdf

Verrel, J., Lövdén, M., Schellenbach, M., Schaefer, S., & Lindenberger, U. (2009). Interacting effects of cognitive load and adult age on the regularity of whole-body motion during treadmill walking. *Psychology and Aging*, *24*(1), 75. https://doi.org/10.1037/a0014272

Wang, X., Chou, M., Lai, X., Tang, J., Chen, J., Kong, W. K., Chi, H.-L., & Yam, M. C. H. (2024). Examining the Effects of an Immersive Learning Environment in Tertiary AEC Education: CAVE-VR System for Students' Perception and Technology Acceptance. *Journal of Civil Engineering Education*, *150*(2). https://doi.org/10.1061/JCEECD.EIENG-1995

Wigfield, A., Eccles, J. S., Fredricks, J. A., Simpkins, S., Roeser, R. W., & Schiefele, U. (2015). Development of Achievement Motivation and Engagement. *Handbook of Child Psychology and Developmental Science*, 1–44. https://doi.org/10.1002/9781118963418.CHILDPSY316

W Wood, C., Torkkola, K., & Kundalkar, S. (2004). Using driver's speech to detect cognitive workload. *In Proceedings of SPECOM'2004: 9th Conference Speech and Computer.* ISCA Archive. https://www.isca-archive.org/specom_2004/wood04_specom.pdf

Wu, W. L., Hsu, Y., Yang, Q. F., & Chen, J. J. (2021). A spherical video-based immersive virtual reality learning system to support landscape architecture students' learning performance during the COVID-19 era. *Land*, *10*(6). https://doi.org/10.3390/LAND10060561

Wu, Y. W., Liao, S., Wen, M. H., & Weng, K. H. (2017). A Knowledge Conversion Model Based on the Cognitive Load Theory for Architectural Design

Education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *13*(6), 2367–2385. https://doi.org/10.12973/EURASIA.2017.01230A

Wu, Y. W., Lin, Y. A., Wen, M. H., Perng, Y. H., & Hsu, I. T. (2016). Design, analysis and user acceptance of architectural design education in learning system based on knowledge management theory. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *12*(11), 2835–2849. https://doi.org/10.12973/EURASIA.2016.02307A

Wu, Y. ;, Zhang, Y. ;, Zheng, B., Wu, Y., Zhang, Y., & Zheng, B. (2024). Workload Assessment of Operators: Correlation Between NASA-TLX and Pupillary Responses. *Applied Sciences 2024, Vol. 14, Page 11975*, *14*(24), 11975. https://doi.org/10.3390/APP142411975

Yang, Q., Cruz-Garza, J. G., & Kalantari, S. (2023). Brain–computer interfaces as an architectural design tool: Feasibility and usability study. *Automation in Construction*, *154*, 105011. https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2023.105011

Yıldız, T., & Özkök, G. A. (2025). Reliability and Validity of Turkish Version of the Multidimensional Cognitive Load Scale for Virtual Environments. *Journal of Computer and Education Research*, *13*(25), 431–453. https://doi.org/10.18009/JCER.1601749

Young, M. S., Brookhuis, K. A., Wickens, C. D., & Hancock, P. A. (2014). *Ergonomics State of science: mental workload in ergonomics*. https://doi.org/10.1080/00140139.2014.956151

Yu, R., & Gero, J. (2017). Exploring Designers' Cognitive Load When Viewing Different Digital Representations of Spaces: A Pilot Study. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, *65*, 457–467. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3518-0_40

Yu, R., Gero, J., & Gu, N. (2014). Cognitive effects of using parametric modeling by practicing architects: A preliminary study. *Rethinking Comprehensive Design: Speculative Counterculture - Proceedings of the 19th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2014*, 677–686. https://doi.org/10.52842/CONF.CAADRIA.2014.677

Yusoff, M. D. M., Yusof, A. M., Anuar, A. A. M., Jamaludin, N. S. A., & Ruzzaman, M. S. K. (2024). Effects of Pedagogical Agent on Learner's Cognitive Load and Intrinsic Motivation: A Systematic Literature Review. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, *22*(2), 7316–7327. https://doi.org/10.57239/PJLSS-2024-22.2.00552

Zakeri, Z., Arif, A., Omurtag, A., Breedon, P., & Khalid, A. (2023). Multimodal Assessment of Cognitive Workload Using Neural, Subjective and Behavioural Measures in Smart Factory Settings. Sensors, 23(21), 8926. https://doi.org/10.3390/s23218926

Zeitlhofer, I., Zumbach, J., & Schweppe, J. (2024). Complexity affects performance, cognitive load, and awareness. *Learning and Instruction*, *94*. https://doi.org/10.1016/J.LEARNINSTRUC.2024.102001

Zhang, F., Haddad, S., Nakisa, B., Rastgoo, M. N., Candido, C., Tjondronegoro, D., & de Dear, R. (2017). The effects of higher temperature setpoints during summer on office workers' cognitive load and thermal comfort. *Building and Environment*, *123*, 176–188. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2017.06.048

Zhong, L. (2024). Investigating learning efficiency and mental efficiency in a personalized role-playing-game environment. *Interactive Learning Environments*, *32*(6), 2713–2724. https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2157840

Zijlstra, F. R. H., & van Doorn, L. (1985). Measuring mental effort: the construction of a scale. In *Efficiency in Work Behabiour* (pp. 47–66). https://www.researchgate.net/publication/266392097_The_Construction_of_a_Scale_to_Measure_Perceived_Effort

A
Sistematik İnceleme Sonucunda Belirlenen Çalışmalar

ID	Başlık	Amaç	Görev	Etki Faktörü	Değerlendirme Faktörü
(Henstrom ve diğ., 2024)	Immersive engineering instruction: Using Virtual Reality to enhance students' experience in the classroom	VR sistemlerinin geleneksel masaüstü inceleme teknikleriyle karşılaştırılması	Tasarım Değerlendirme	Tasarım Ortamı	Anket
(Wang ve diğ., 2024)	Examining the Effects of an Immersive Learning Environment in Tertiary AEC Education: CAVE-VR System for Students' Perception and Technology Acceptance	AEC eğitiminde CAVE-VR'ın potansiyelinin araştırılması	Hazine Avı Oyunu	Tasarım Ortamı + Öğrenen	Anket
(Chandrasekera ve diğ., 2024)	Can artificial intelligence support creativity in early design processes?	Yapay zekâ kullanımının tasarım sürecine etkisinin incelenmesi	Nesne Tasarımı	Tasarım Ortamı	Anket
(Mejia-Puig ve Chandrasekera, 2023b)	The virtual body in a design exercise: a conceptual framework for embodied cognition	Bedenlenmiş biliş için kavramsal bir çerçeve üzerinden tasarım egzersizlerinde sanal bedenin incelenmesi	Mekânsal Tasarım	Tasarım Ortamı + Öğrenen	Anket
(Yang ve diğ., 2023)	Brain–computer interfaces as an architectural design tool: Feasibility and usability study	Pencere yerleşimi ve boyutlandırmasının kullanılabilirliğinin BCI ile değerlendirilmesi	Modelleme Görevleri	Görev	Anket
(Barrett, 2023)	Enhancing Technical Grading Education: Finding the Right Tools for the Job	Peyzaj mimarlığı eğitiminde bilişsel yük teorisi çerçevesinde eğitim sürecinin incelenmesi ve öneriler geliştirilmesi	Peyzaj Tasarımı	Öğretim Tasarımı	Görüşme

(Kalantari ve diğ., 2023)	Store layout design and consumer response: a behavioural and EEG study	Perakende mağaza düzenlerinin tüketici tepkileri üzerindeki etkisinin EEG ve davranışsal verilerle değerlendirilmesi	Tasarım Değerlendirme	Fiziksel Ortam	EEG + Performans
(de Souza ve diğ., 2023)	Modelling and coordination of building design: an experience of BIM learning/upskilling	Mimarlıkta BIM eğitiminin mesleki deneyim perspektifiyle incelenmesi	Modelleme Görevleri	Öğretim Tasarımı	Gözlem
(Umair ve diğ., 2022)	Impact of Virtual Reality-Based Design Review System on User's Performance and Cognitive Behavior for Building Design Review Tasks	VR tabanlı tasarım değerlendirmeleri ile ekran tabanlı değerlendirmelerin başarı ve bilişsel yük açısından karşılaştırılması	Tasarım Değerlendirme	Tasarım Ortamı	Anket
(Dissaux ve Jancart, 2022)	Architecture Students' Search Behavior in Parametric Design: How tool knowledge retrieval can affect early stages of design	Parametrik tasarımda araç bilgisi hatırlamanın öğrencilerin arama davranışına etkisinin incelenmesi	Mimari Tasarım Stüdyosu	Tasarım Ortamı	Görüşme + Protokol Analizi
(Sopher ve diğ., 2022)	Effect of Immersive VR on Student-Tutor Interaction in Design Crits	VR ve masaüstü tabanlı uzaktan eğitimin stüdyo proje süreçlerine etkisinin incelenmesi	Tasarım Değerlendirme	Tasarım Ortamı	Görüşme + Protokol Analiz
(Hu ve diğ., 2021)	Exploring a sustainable building's impact on occupant mental health and cognitive function in a virtual environment	Sürdürülebilir konutların kullanıcıların zihinsel aktiviteleri ve sağlığı üzerindeki etkisinin incelenmesi	Parametrik Modelleme	Fiziksel Ortam	EEG
(Jam ve diğ., 2021)	The Role of Expertise in Visual Exploration and Aesthetic Judgment of Residential Building Façades: An Eye-Tracking Study	Uzmanlığın konut cephelerinin görsel keşfi ve estetik değerlendirmesine etkisinin göz izleme ile incelenmesi	Mimari Tasarım Stüdyosu	Öğrenen	Göz Takibi
(Ashrafganjouei ve Gero, 2021)	Exploring the effect of a visual constraint on students' design cognition	Görsel kısıtlamaların tasarım sürecine etkisinin incelenmesi	Psikolojik Testler	Görev	Görüşme + Protokol Analiz

(W. L. Wu ve diğ., 2021)	A spherical video-based immersive virtual reality learning system to support landscape architecture students' learning performance during the COVID-19 era	Pandemi sürecinde küresel video tabanlı sürükleyici VR'ın peyzaj mimarlığı eğitiminde model olarak test edilmesi	Parametrik Modelleme	Öğretim Tasarımı	Anket
(Fiorentino ve diğ., 2020)	User Study on Virtual Reality for Design Reviews in Architecture	VR ve masaüstü ortamlarda tasarım değerlendirme görevlerinde bilişsel iş yükünün karşılaştırılması	Tasarım Değerlendirme	Tasarım Ortamı	Anket
(Li ve diğ., 2020)	Understanding the impact of building thermal environments on occupants' comfort and mental workload demand through human physiological sensing	Ortam sıcaklığının zihinsel görevler üzerindeki etkisinin biyometrik verilerle incelenmesi	Fotoğraf Değerlendirme	Fiziksel Ortam + Görev	EEG + Performans
(Y. W. Wu ve diğ., 2017)	A knowledge conversion model based on the cognitive load theory for architectural design education	Mimari tasarım bilgi dönüşümü için bir model oluşturulması	Mekânsal Tasarım	Öğretim Tasarımı	Gözlem
(Erhan ve diğ., 2022)	Understanding cognitive overload in generative design	Üretken tasarım sonuçları seçiminde bilişsel aşırı yüklenmenin incelenmesi	Peyzaj Tasarımı	Tasarım Ortamı	Protokol Analiz
(Yu ve Gero, 2017)	Exploring designers' cognitive load when viewing different digital representations of spaces: A pilot study	Mekân temsillerinin bilişsel yük üzerindeki etkisinin karşılaştırılması	Ofis Görevleri	Tasarım Ortamı	Göz Takibi
(Y. W. Wu ve diğ., 2016)	Design, analysis and user acceptance of architectural design education in learning system based on knowledge management theory	Mimari tasarım için bilgi yönetimi öğrenme sistemi geliştirilmesi	Tasarım Değerlendirme	Öğretim Tasarımı	Gözlem
(Sun ve diğ., 2016)	An experimental approach to understanding design problem structuring strategies	Deneysel yaklaşımla tasarım problemi yapılandırma stratejilerinin incelenmesi	Psikolojik Testler	Öğrenen	Anket + Protokol Analiz

(Chandrasekera ve Yoon, 2015)	The Effect of Tangible User Interfaces on Cognitive Load in the Creative Design Process	GUI ve TUI'nin bilişsel yük üzerinden yaratıcı tasarım sürecine etkisinin incelenmesi	Mimari Tasarım Stüdyosu	Tasarım Ortamı	Anket
(Valtchanov ve Ellard, 2015)	Cognitive and affective responses to natural scenes: Effects of low level visual properties on preference, cognitive load and eye-movements	Doğa ve şehir görsellerinin ve bozulmuş versiyonlarının bilişsel yük ve tercih üzerindeki etkisinin incelenmesi	Parametrik Modelleme	Fiziksel Ortam	Göz Takibi
(Hou ve diğ., 2015)	Using augmented reality to facilitate piping assembly: An experiment-based evaluation	Boru döşeme planları için AR uygulaması geliştirilmesi	Fotoğraf Değerlendirme	Tasarım Ortamı	Anket
(Daniel, 2014)	1 shade of grey; simplify to excel in sketching for industrial design engineers	Eskiz derslerinde küçük müdahalelerin bilişsel yükü azaltma ve verimliliği artırma etkisinin incelenmesi	Psikolojik Testler	Tasarım Ortamı	Gözlem
(Yu ve diğ., 2014)	Cognitive effects of using parametric modeling by practicing architects: A preliminary study	Parametrik ortamda tasarım sürecinin keşifsel çalışmalarla incelenmesi	Mimari Tasarım Stüdyosu	Tasarım Ortamı	Protokol Analiz
(Mohamed-Ahmed ve diğ., 2013)	Cognitive load management and architectural design outcomes	Tasarım ortamlarının bilişsel yük ve yaratıcılık üzerindeki etkisinin incelenmesi	Nesne Tasarımı	Tasarım Ortamı	İkincil Görev
(Lesage ve Dorta, 2011)	Two conceptual design too ls and an imersive experience: Beyond the pragmatic-pleasurable split in US	İş birliğini destekleyen iki kavramsal tasarım aracının karşılaştırılması: ekran tabanlı ve hibrit sürükleyici sistemler	Yerleşim Tasarımı	Tasarım Ortamı	Anket + Protokol Analiz
(Ahmed ve diğ., 2011)	The impact of design media on cognitive load during architectural ideation process	Tasarım ortamının bilişsel yük üzerindeki etkisinin incelenmesi	Fotoğraf Değerlendirme	Tasarım Ortamı	İkincil Görev + Anket
(Diliara ve diğ., 2011)	Change detection in 3D parametric systems: Human-centered interfaces	Parametrik tasarım ortamında değişimlerin algılanamamasının performans	Montaj	Tasarım Ortamı	Görüşme

	for change visualization	üzerindeki etkisinin incelenmesi			
(Pierre ve diğ., 2011)	A quantitative method to compare the impact of design media on the architectural ideation process	Fiziksel modelleme, serbest el çizimi ve CAD'in zihinsel imgelem ve iş yüküne etkisinin incelenmesi	Nesne Tasarımı	Tasarım Ortamı	Göz Takibi + İkincil Görev
(Kim ve Maher, 2008)	The impact of tangible user interfaces on designers' spatial cognition	Somut kullanıcı arayüzlerinin tasarımcıların mekânsal bilişi üzerindeki etkisinin incelenmesi	Parametrik Modelleme	Tasarım Ortamı	Protokol Analiz
(McMahan ve Bowman, 2007)	An empirical comparison of task sequences for immersive virtual environments	VR'daki komut arayüzlerinin bilişsel yük üzerindeki etkisinin incelenmesi	Mekânsal Tasarım	Görev	Gözlem
(Mejia-Puig ve Chandrasekera, 2023a)	The Presentation of Self in Virtual Reality: A Cognitive Load Study	VR ortamlarında görsel perspektifin zihinsel yük üzerindeki etkisinin incelenmesi	Mekânsal Tasarım	Tasarım Ortamı	Anket + fNIRS
(Mejia-Puig ve diğ., 2022)	How Does a Retail Environment Affect Perceived Retail Crowding? A Study Using Virtual Reality	VR'da doğrusal ve eğrisel raf düzenlerinin bilişsel yük üzerindeki etkisinin karşılaştırılması	Peyzaj Tasarımı	Fiziksel Ortam	Anket + fNIRS
(Smith-Jackson ve diğ., 2016)	Open plan offices as sociotechnical systems: What matters and to whom?	Açık ofis ve bölmeli ofislerde akustik koşulların bilişsel yük üzerindeki etkisinin incelenmesi	Mekânsal Tasarım	Fiziksel Ortam+ Öğrenen	Anket
(Mahmoudzadeh ve diğ., 2021)	Analyzing occupants? control over lighting systems in office settings using immersive virtual environments	VR'da ışık kontrolünün okuma görevleri üzerindeki etkisinin incelenmesi	Modelleme Görevleri	Fiziksel Ortam	Anket
(S. H. Cha ve diğ., 2023)	Empirical comparison of spatial experience between photo-based IVE and real space	Fiziksel ve VR/fotoğrafik mekân temsillerinin karşılaştırılması	Mekânsal Tasarım	Tasarım Ortamı	Gözlem

(Darwish ve diğ., 2023)	Extended reality for enhancing spatial ability in architecture design education	XR uygulamaları ile mekânsal becerilerin geliştirilmesi	Yerleşim Tasarımı	Tasarım Ortamı	Gözlem
(F. Zhang ve diğ., 2017)	The effects of higher temperature setpoints during summer on office workers' cognitive load and thermal comfort	Yüksek sıcaklıkta çalışan ofis çalışanlarında termal konfor ve bilişsel yük ilişkisi	Modelleme Görevleri	Fiziksel Ortam + Görev	EEG + HR + Anket
(Nishihara ve diğ., 2022)	Effect of adaptive opportunity on cognitive performance in warm environments	Binalarda ısı kontrolünün bilişsel yük üzerindeki etkisinin incelenmesi	Mekânsal Tasarım	Fiziksel Ortam + Görev	Anket
(Son ve diğ., 2022)	CreativeSearch: Proactive design exploration system with Bayesian information gain and information entropy	Üretken tasarımda seçim sürecinin optimize edilmiş arayüz ile iyileştirilmesi	Tasarım Değerlendirme	Tasarım Ortamı	Görüşme
(Figen Gül, 2014)	Studying the Impact of Immersion on Design Cognition	Sürükleyiciliğin tasarım bilişi üzerindeki etkisinin incelenmesi	Ofis Görevleri	Tasarım Ortamı	Protokol Analiz

B
Öz Bildirim Anket Soruları

Tüm maddeler 1 (Kesinlikle Katılmıyorum) – 7 (Kesinlikle Katılıyorum) aralığında 7'li Likert ile uygulanmıştır.

NASA-RTLX Anketi	
Boyut	Madde
Zihinsel Talep	Bu tasarım görevi benim için zihinsel olarak ne kadar zorluydu?
Fiziksel Talep	Görev sırasında fiziksel olarak ne kadar efor harcadım?
Zaman Baskısı	Bu görevi tamamlarken zaman sıkışıklığı hissettim mi?
Performans Algısı	Görevi beklendiği gibi tamamladığımı düşünüyorum.
Çaba	Hedefe ulaşmak için ne kadar çaba sarf ettim?
Stres / Duygusal Baskı	Görevi yaparken ne kadar huzursuz veya sinirli hissettim?
CLS Anketi	
Boyut	Madde
Zihinsel Yük	Bu tasarım görevini yapmak benim için zahmetliydi.
	Bu tasarım görevini tamamlamak beni oldukça zorladı.
Zihinsel Çaba	Görev içeriği/yönlendirmesi çok fazla zihinsel çaba gerektirdi.
	Tasarım hedeflerine ulaşmak için yoğun zihinsel çaba gösterdim.
MCLSVE Anketi	
Boyut	Madde
İçsel Yük	Bu görevde aynı anda düşünmem gereken çok fazla unsur vardı.
	Bu görev, verimli bir şekilde tamamlanamayacak kadar karmaşıktı.
	Tasarım kararları ve kavramlar arasındaki ilişkileri anlamakta zorlandım.
Dışsal Yük - Yönerge	Görevle ilgili verilen talimatlar net değildi.
	Bilgilerin sunuluş biçimi süreci zorlaştırdı.
	Ne yapmam gerektiğini anlamaya çalışmakla zaman kaybettim.
Dışsal Yük - Etkileşim	Kullanılan tasarım araçları ile etkileşim dikkatimi dağıttı.
	Tasarım araçlarını kullanmak benim için zordu.
	Tasarım araçları ile tasarım yapmak çok çaba gerektirdi.
	Tasarım araçları odaklanmamı zorlaştırdı.
Dışsal Yük - Ortam	Ortamdaki dikkat dağıtıcı unsurlar odaklanmamı zorlaştırdı.
	Görsel/işitsel uyaranlar dikkatimi dağıttı.
	Ortam fazla kalabalık veya dağınıktı.
	Ortamda gereksiz fazla bilgi vardı.
Etkin Yük	Önceki bilgilerim, yeni kavramları ilişkilendirmemi sağladı.
	Görevin ilkelerini anlamak için ciddi zihinsel çaba gösterdim.
	Tasarım öğelerini zihnimde yapılandırmaya çalıştım.
	Tasarımı anlayabilmek için sürece derinlemesine odaklandım.

C
Öz Bildirim Ölçümleri için Tasarım Ortamı Etkisi Analizleri

		FİZİKSEL		DİJİTAL		TEST	
	Faktör	**Ortalama**	**SD**	**Ortalama**	**SD**	**P**	**d**
KOLAY GÖREV	Zihinsel Talep	3.3	1.3	3.1	1.5	0.50	0.12
	Fiziksel Talep	4.4	1.8	2	1.4	**< .001**	1.01
	Zaman Baskısı	4.4	1.5	3.2	1.5	**0.004**	0.56
	Performans Algısı	3.7	1.6	3.2	1.2	0.085	0.33
	Çaba	4.8	1.3	1.39	1.5	**0.004**	0.58
	Stres	4.1	1.3	3.2	1.8	**0.045**	0.38
	Toplam Yük (NASA-	4.10	0.9	3.10	1.0	**< .001**	0.8
ZOR GÖREV	Zihinsel Talep	3.5	1.5	3	1.2	0.11	0.3
	Fiziksel Talep	3.8	1.8	2.1	12	**< .001**	0.91
	Zaman Baskısı	3.7	2	3.4	1.7	0.59	0.09
	Performans Algısı	3.9	1.5	3.8	1.6	0.63	0.08
	Çaba	4.7	1.2	4	1.6	**0.01**	0.54
	Stres	3.3	1.6	3.3	1.5	0.93	0.01
	Toplam Yük (NASA-	3.8	1	3.3	0.9	**0.02**	0.43

	Faktör	**Ortalama**	**SD**	**Ortalama**	**SD**	**P**	**d**
KOLAY GÖREV	Zihinsel Yük	3.37	1.7	2.3	1.3	**0.002**	0.63
	Zihinsel Çaba	3.2	1.5	3	1.5	0.57	0.1
	Toplam Yük (CLS)	3.4	1.3	2.7	1.3	**0.009**	0.51
ZOR GÖREV	Zihinsel Yük	3.1	1.6	2.6	1.4	0.12	0.29
	Zihinsel Çaba	3.7	1.6	3	1.4	**0.02**	0.43
	Toplam Yük (CLS)	3.4	1.4	2.8	1.3	**0.04**	0.4

	Faktör	**Ortalama**	**SD**	**Ortalama**	**SD**	**P**	**d**
KOLAY GÖREV	İçsel Yük	2.9	0.8	2.6	1	0.068	0.43
	Dışsal Yük - Yönerge	1.6	0.6	1.3	0.4	**0.005**	0.74
	Dışsal Yük - Etkileşim	2.6	1.3	1.8	1.1	**0.006**	0.54
	Dışsal Yük –Fiziksel	1.4	0.5	1.4	0.6	1	0
	Etkin Yük	4.6	1	4.5	1	0.535	0.11
	Toplam Yük (MCLSVE)	2.1	0.6	1.7	0.6	**0.006**	0.54
ZOR GÖREV	İçsel Yük	3	1.2	2.5	0.9	0.08	0.33
	Dışsal Yük - Yönerge	1.7	0.8	1.7	1	0.84	0.03
	Dışsal Yük - Etkileşim	2.5	1.4	2.2	1.4	0.32	0.18
	Dışsal Yük –Fiziksel	1.5	0.7	1.4	0.7	0.44	0.14
	Etkin Yük	4.5	0.9	4.4	0.9	0.57	0.1
	Toplam Yük (MCLSVE)	2.1	0.8	1.9	0.8	0.22	0.22

D
Fizyolojik Ölçümleri için Tasarım Ortamı Etkisi Analizleri

		FİZİKSEL MODELLEME		DİJİTAL MODELLEME		TEST	
	Faktör	**Ortalama**	**SD**	**Ortalama**	**SD**	**P**	**d**
KOLAY GÖREV	SCL	-0.004	0.2	-0.04	0.1	0.14	0.27
	SCR_Sayısı	1.6	0.8	1.4	0.9	0.16	0.26
	SCP_Genliği	25.6	30	35	87	0.11	0.29
ZOR GÖREV	SCL	-0.02	0.4	-0.03	0.4	0.24	0.21
	SCR_Sayısı	1.8	1	1.5	1.1	0.40	0.16
	SCP_Genliği	71.5	69.6	70.7	194.2	**0.04**	0.37

		FİZİKSEL		DİJİTAL		TEST	
	Faktör	**Ortalama**	**SD**	**Ortalama**	**SD**	**P**	**d**
KOLAY GÖREV	Genel Theta	-0.005	0.5	-0.07	0.3	0.53	0.11
	Genel Alpha	0.08	0.5	-0.1	0.4	0.09	0.31
	Genel Beta	0.3	0.4	0.05	0.4	0.019	0.45
	Genel Theta / Alpha	-0.09	0.5	0.04	0.4	0.23	0.22
	Genel Beta / Alpha	0.2	0.4	0.2	0.4	0.67	0.07
	Frontal Theta / Alpha	-0.004	0.5	0.09	0.4	0.28	0.2
	Frontal Theta /	-0.2	0.5	0.02	0.4	0.08	0.35
	Frontal Beta / Alpha	0.3	0.4	0.2	0.5	0.20	0.24
ZOR GÖREV	Genel Theta	-0.3	0.5	-0.1	0.4	0.089	0.32
	Genel Alpha	-0.1	0.5	0.03	0.4	0.13	0.27
	Genel Beta	0.04	0.3	-0.03	0.3	0.43	0.14
	Genel Theta / Alpha	-0.3	0.5	-0.2	0.4	0.43	0.14
	Genel Beta / Alpha	0.1	0.4	-0.09	0.5	0.029	0.41
	Frontal Theta / Alpha	-0.3	0.3	-0.1	0.3	0.028	0.41
	Frontal Theta /	-0.3	0.5	-0.1	0.4	0.035	0.4
	Frontal Beta / Alpha	0.1	0.2	-0.07	0.3	< .001	0.58

		FİZİKSEL MODELLEME		DİJİTAL MODELLEME		TEST	
	Faktör	**Ortalama**	**SD**	**Ortalama**	**SD**	**P**	**d**
KOLAY	HR	0.04	0.07	-0.02	0.05	**< .001**	0.71
ZOR	HR	0.009	0.07	0.005	0.06	0.39	0.16

E
Performans Ölçümleri İçin Analiz Sonuçlar

Tasarım Ortamı Etkisi için İkili Karşılaştırma Test Sonuçları

		FİZİKSEL MODELLEME		DİJİTAL MODELLEME		TEST	
	Faktör	Ortalama	SD	Ortalama	SD	P	d
KOLAY GÖREV	Tasarım	8	0.95	8	0.73	0.43	0.1
	Zihinsel	-0.05	1.17	0.36	1.02	**0.02**	0.33
ZOR GÖREV	Tasarım	6	1.22	7	0.98	0.12	0.2
	Zihinsel	-0.53	1.10	0.54	1.24	**< .001**	0.34

Görev Zorluğu Etkisi için İkili Karşılaştırma Test Sonuçları

		KOLAY GÖREV		ZOR GÖREV		TEST	
	Faktör	Ortanca	SD	Ortanca	SD	P	d
FİZİKSEL MODELLEME	Tasarım	8	0.95	6	1.22	**< .001**	0.78
	Zihinsel	-0.05	1.17	-0.53	1.10	0.26	0.14
DİJİTAL MODELLEME	Tasarım	8	0.73	7	0.98	**< .001**	0.74
	Zihinsel	0.51	1.02	0.42	1.24	0.76	0.07

F

Öz Bildirim Ölçümleri için Görev Zorluğu Etkisi Analizleri

		KOLAY GÖREV		ZOR GÖREV		TEST	
	Faktör	**Ortalama**	**SD**	**Ortalama**	**SD**	**P**	**d**
FİZİKSEL MODELLEME	Zihinsel Talep	3	1.3	3	1.5	0.88	0.01
	Fiziksel Talep	4.5	1.7	4	1.7	0.19	0.17
	Zaman Baskısı	5	1.5	3	2.03	0.13	0.19
	Performans Algısı	4	1.5	4	1.4	0.61	0.06
	Çaba	5	1.2	5	1.2	0.84	0.02
	Stres	4	1.3	3	1.6	**0.04**	0.26
	Toplam Yük (NASA-	4.25	0.9	3.8	1.01	0.17	0.18
DİJİTAL MODELLEME	Zihinsel Talep	3	1.5	3	1.2	0.79	0.04
	Fiziksel Talep	2	1.4	2	1.2	0.88	0.03
	Zaman Baskısı	3	1.5	3	1.7	0.69	0.07
	Performans Algısı	3	1.2	5	1.6	0.18	0.25
	Çaba	4	1.5	4	1.6	0.69	0.07
	Stres	3	1.8	3	1.5	0.92	0.01
	Toplam Yük (NASA-	3	1	3	0.9	0.58	0.1
	Faktör	**Ortalama**	**SD**	**Ortalama**	**SD**	**P**	**d**
FİZİKSEL MODELL	Zihinsel Yük	3.5	1.6	2.75	1.5	0.26	0.14
	Zihinsel Çaba	3	1.4	4	1.5	0.21	0.32
	Toplam Yük (CLS)	3.4	1.3	3.4	1.4	0.96	< .001
SKETCH UP	Zihinsel Yük	2.3	1.3	2.6	1.4	0.37	0.16
	Zihinsel Çaba	3	1.5	3	1.4	0.87	0.02
	Toplam Yük (CLS)	2.7	1.3	2.8	1.3	0.71	0.06
	Faktör	**Ortalama**	**SD**	**Ortalama**	**SD**	**P**	**d**
FİZİKSEL MODELLEME	İçsel Yük	2.9	0.8	3	1.2	0.73	0.06
	Dışsal Yük - Yönerge	1.6	0.6	1.7	0.8	0.68	0.07
	Dışsal Yük - Etkileşim	2.6	1.3	2.5	1.4	0.75	0.05
	Dışsal Yük –Fiziksel	1.4	0.5	1.5	0.7	0.72	0.06
	Etkin Yük	4.6	1	4.5	0.9	0.70	0.07
	Toplam Yük (MCLSVE)	2.1	0.6	2.1	0.8	0.9	0.02
DİJİTAL MODELLEME	İçsel Yük	2.6	1	2.5	0.9	0.8	0.04
	Dışsal Yük - Yönerge	1	0.4	1.3	0.9	0.16	0.18
	Dışsal Yük - Etkileşim	1.8	1.1	2.2	1.4	0.17	0.25
	Dışsal Yük –Fiziksel	1.4	0.6	1.4	0.7	1	0
	Etkin Yük	4.5	1	4.4	0.9	0.72	0.06
	Toplam Yük (MCLSVE)	1.7	0.6	1.9	0.8	0.14	0.28

G
Fizyolojik Ölçümler için Görev Zorluğu Etkisi Analizleri

		KOLAY GÖREV		ZOR GÖREV		TEST	
	Faktör	**Ortanca**	**SD**	**Ortanca**	**SD**	**P**	**d**
FİZİKSEL MODELLEME	SCL	0.003	0.17	0.023	0.39	0.61	0.06
	SCR_Sayısı	1.35	0.83	1.53	1	0.53	0.08
	SCR_Genliği	14.42	30	55.61	69	**< .001**	0.41
DİJİTAL MODELLEME	SCL	-0.014	0.10	-0.0002	0.385	0.68	0.05
	SCR_Sayısı	1.1	0.89	1.28	1.09	0.67	0.47
	SCR_Genliği	4.85	87	22.28	194	**0.03**	0.34

		KOLAY GÖREV		ZOR GÖREV		TEST	
	Faktör	**Ortalama**	**SD**	**Ortalama**	**SD**	**P**	**d**
FİZİKSEL MODELLEME	Genel Theta	-0.005	0.5	-0.07	0.3	0.53	0.11
	Genel Alpha	0.08	0.5	-0.1	0.4	0.09	0.31
	Genel Beta	0.3	0.4	0.05	0.4	**0.019**	0.45
	Genel Theta / Alpha	-0.09	0.5	0.04	0.4	0.23	0.22
	Genel Beta / Alpha	0.2	0.4	0.2	0.4	0.67	0.07
	Frontal Theta / Alpha	-0.004	0.5	0.09	0.4	0.28	0.2
	Frontal Theta / P.Alpha	-0.2	0.5	0.02	0.4	0.08	0.35
	Frontal Beta / Alpha	0.3	0.4	0.2	0.5	0.20	0.24
DİJİTAL MODELLEME	Genel Theta	-0.3	0.5	-0.1	0.4	0.089	0.32
	Genel Alpha	-0.1	0.5	0.03	0.4	0.13	0.27
	Genel Beta	0.04	0.3	-0.03	0.3	0.43	0.14
	Genel Theta / Alpha	-0.3	0.5	-0.2	0.4	0.43	0.14
	Genel Beta / Alpha	0.1	0.4	-0.09	0.5	**0.029**	0.41
	Frontal Theta / Alpha	-0.3	0.3	-0.1	0.3	**0.028**	0.41
	Frontal Theta / P.Alpha	-0.3	0.5	-0.1	0.4	**0.035**	0.4
	Frontal Beta / Alpha	0.1	0.2	-0.07	0.3	**< .001**	**0.58**

		KOLAY GÖREV		ZOR GÖREV		TEST	
	Faktör	**Ortalama**	**SD**	**Ortalama**	**SD**	**P**	**d**
FİZİKSEL	HR	0.0478	0.069	0.00895	0.067	0.09	0.43
DİJİTAL	HR	-0.0233	0.05	0.0046	0.06	0.52	0.17

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Er, İ. E., Arabacıoğlu, F. P., ve Taştan, H. (2026). Determining equivalent difficulty design tasks for experimental studies in architectural design education. 1*2th International Conference on New Trends in Architecture and Interior Design (ICNTAD'26)*, Barcelona, Spain, 10–12 April.

Makaleler

1. Er, I. E., Heyik, M. A., Taştan, H., Arabacıoğlu, F. P., (2026). Stress dynamics of architecture students during jury presentations: an exploratory EDA study. International Journal of Technology and Design Education. https://doi.org/10.1007/s10798-026-10087-6

Projeler

1. Arabacıoğlu, F. P. (Yürütücü), Erdem Er, İ. (Araştırmacı) ve Taştan, H. (Araştırmacı). (2025–2027). *Mimari tasarım sürecinde biyofizyolojik veriler ve bilişsel yük ilişkisi* (Proje No: FDK-2025-6924). Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) kapsamında yürütülen doktora projesi.