



XI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu



*"Geleceğin Aydınlatma Sistemleri
ve Dijitalleşme"*

PENCERE CAMI VE LED AYDINLATMA ÖZELLİKLERİNİN OFİS KULLANICILARININ BİLİŞSEL/ÇALIŞMA PERFORMANSLARI, BEĞENİLERİ VE DUYGU DURUMLARI İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ

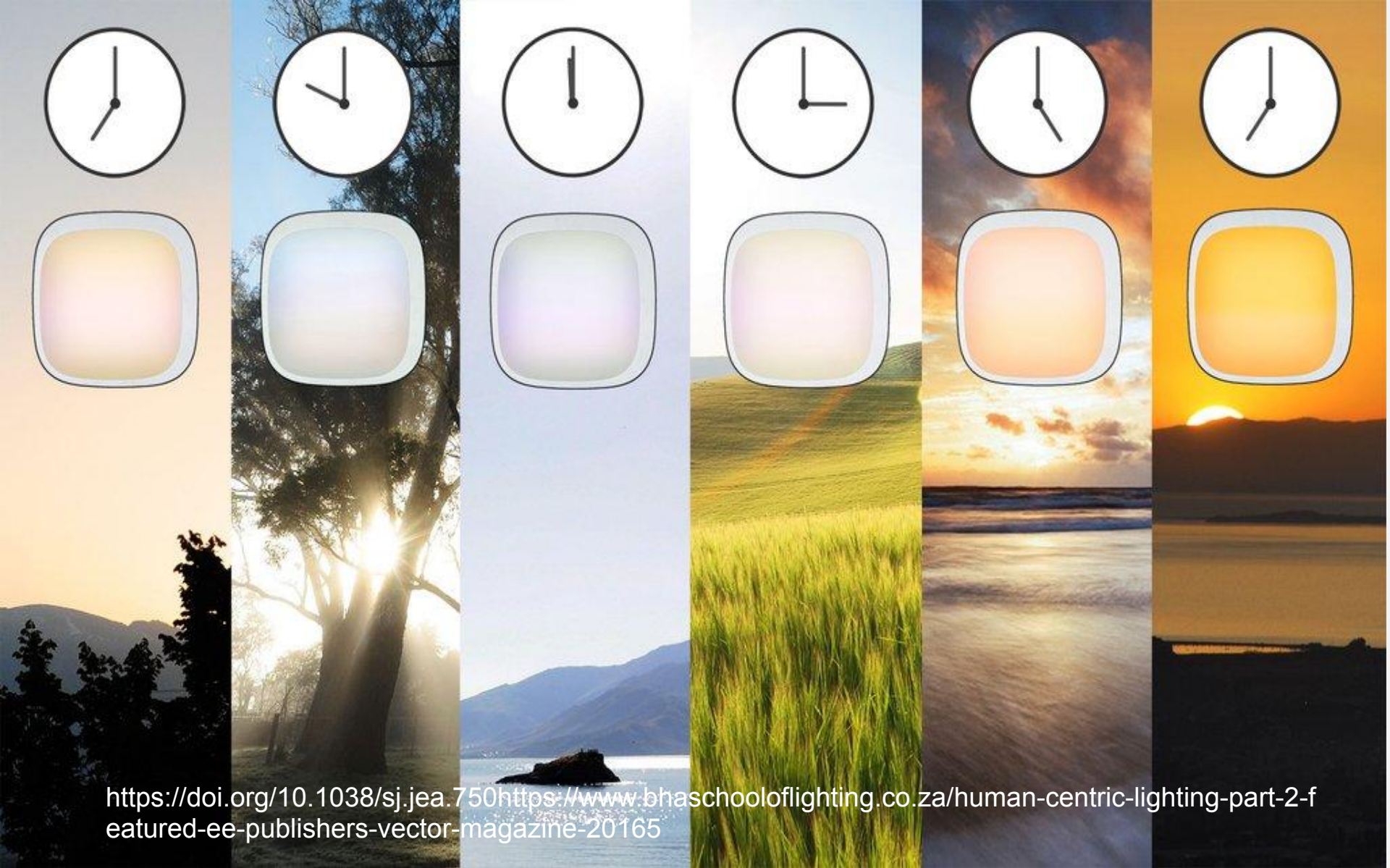
Prof. Dr. Z. Tuğçe Kazanasmaz

MSc. Büşra Köse

Prof. Dr. H. Engin Duran

Prof. Dr. Gökmen Tayfur

**İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Mimarlık Fakültesi, Mühendislik
Fakültesi**



"İnsan odaklı aydınlatma" kavramı başlangıçta güneş ışığının dinamik yapısını temsil etmeyi amaçlar.

İÇİNDEKİLER

○ Giriş

- Günişığı ve İnsan Odaklı Aydınlatma
- LED'ler ve İnsan Odaklı Aydınlatma
- Çalışmanın Amacı

○ Yöntem

- Deneysel Çalışma
- Anket ve Performans Testleri
- Katılımcı Profili
- İstatistik Analizler
- Yapay Zeka Modelleri

○ Sonuçlar

- Cam türlerine göre
- Performans testlerine göre



<https://www.usalighting.com/circadian-rhythm-lighting>

GİRİŞ

GÜNIŞIĞI VE İNSAN ODAKLI AYDINLATMA

- Günişığın faydaları;

- Enerji tüketimi

- Konfor koşulları

- İnsan sağığını (psikolojisi, göz sağığı, hormonların salınımı, uyku durumu, tavırları),

- çalışma öğrenme performansı,

- bina kullanıcılarının estetik beğeni ve mekan/iç fiziksel çevrenin algısını etkilemesi

- **Pencere camının optik özellikleri belirlenirken ve pencere tasarımı düşünülürken içeri alınan günişığın spektral yapısının değışip değışmediğı kontrol edilmelidir.**

insanların enerjik veya dinlenmiş hissetmeleri; uyanıklık durumlarının artırılması;

bilişsel performansları ve duygu durumlarının desteklenmesi;

uyku ve uyanma döngülerinin desteklenmesi,



Renkli PV cam uygulaması

GİRİŞ

LED'LER VE İNSAN ODAKLI AYDINLATMA

LED ışığın spektrumu incelendiğinde mavi dalga boyunda (450-490nm) enerji dağılımının daha yüksek çıktığı görülür.

Bunun da insanların sirkadyen ritmine etkisi araştırmalarda ele alınır.

Tasarımda;

Bir ışık kaynağının (örn. LED veya güneş ışığı) spektral yapısına

bağlı olarak ve bir çok saha ölçümleri ile geliştirilen bir dizi formül ile CL (circadian light) hesaplanabilir



GİRİŞ

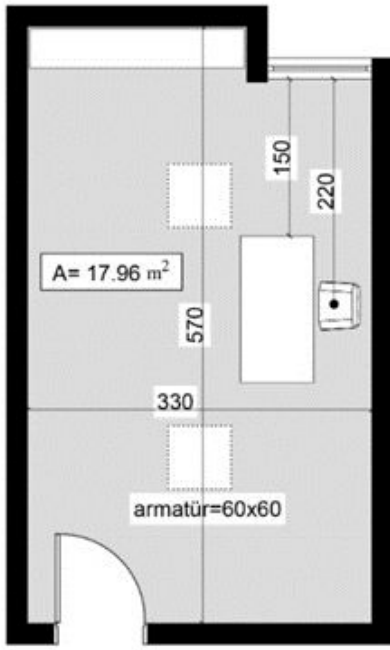
ÇALIŞMANIN AMACI

- LED' li aydınlatma ile cam seçimi bir arada ele alınarak kullanıcıların beğeni, dikkat, uyanıklık durumu ve iş performansları ilişkilendirilmiştir.
- En uygun aydınlatma koşulları tanımlanarak (aydınlık düzeyi, renk sıcaklığı, spektral dağılım, cam türü) kullanıcıların performansı ve beğenisi yapay zeka modelleri ile tahmin edilmiş ve sınıflandırılmıştır.

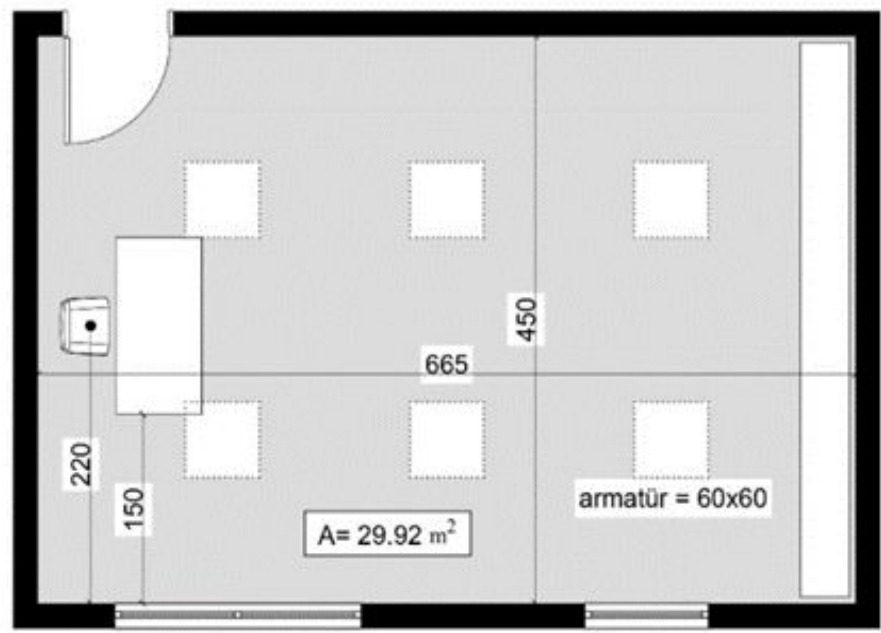


YÖNTEM

OFİSLERİN PLANI



1. Kat / Kuzeye bakan oda



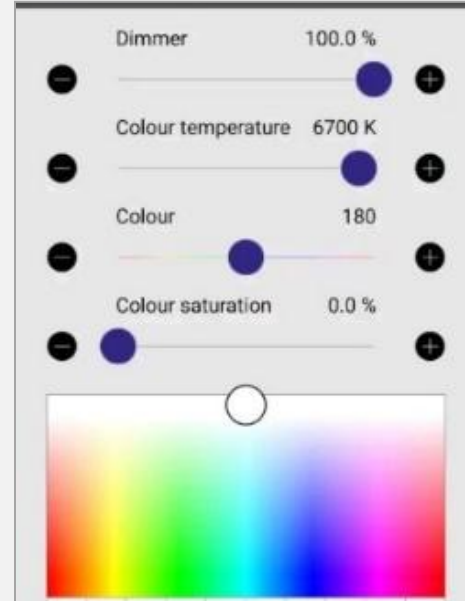
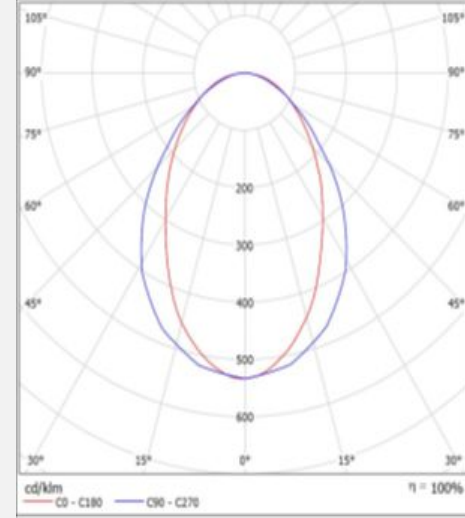
2. Kat / Güneye bakan oda

iç mekan aydınlık düzeyini etkileyen yüzey malzemelerin yansıtıcı özellikleri aydınlık ölçer ve parlaklık ölçer (luminance meter) kullanılarak yerinde ölçülmüştür.

YÖNTEM

LED AYDINLATMA VE CAMLAR

	Cam türü	Katmanlar	Geçirgenlik
1	ÇİFT KATMANLI BERRAK CAM (MEVCUT)	4 mm+9 mm air+4mm	%90
2	AKILLI CAM	4 mm +12 mm Hava + 8 mm	% 82 transparan 2% opak
3	ISI KONTROL	Temperlenebilir Low-E Cam 6mm 71/53 +9mm Hava+ Renksiz Düzcam 4mm Renksiz	%72
4	ISI + GÜNEŞ	Temperlenebilir Solar Low-E Cam 6mm Nötral 50/33+9mm Hava+Şişecam Renksiz Düzcam 4mm Renksiz	%50
5	GÜNEŞ KONTROL	Renkli Düzcam 6mm Mavi+9mm Hava+ Low-E Cam 4mm Nötral	%49
6	GÜNEŞ KONTROL	Renkli Düzcam 6mm Bronz+9mm Hava+ Low-E Cam 4mm Nötral	%44
7	GÜNEŞ KONTROL	Renkli Düzcam 6mm Füme+9mm Hava+ Low-E Cam 4mm Nötral	%39
8	AMORPHOUS SILICON (A-SI) PV CAM MAVI	4+4 dış PV cam + 6mm Hava +4mm iç cam (Blue 0363)	%30
9	AMORPHOUS SILICON (A-SI) PV CAM TURUNCU	4+4 dış PV cam + 6mm Hava +4mm iç cam (Orange 008E)	%30
10	REFLEKTİF CAM	Tentesol 6mm Mavi+9mm Hava + Low-E Cam 4mm Nötral	%21



- EAE A.ITR I 6.620 PUFIN 600mA CLEAR DİF.+MIKRO PRIZMATİK DİFLU TUNABLE WHITE”, ışık akısı 3271 lm, ışıklık gücü 30.7 W ‘dır.

YÖNTEM

DENEYSEL ÇALIŞMA



Spektrofotometre----aydınlık düzeyi (lux); renk sıcaklığı (K) ve spektral güç dağılımları (SPD)

Yatay düzlem ve göz hizasından--- masa kenarı ve pencere önü noktaları



Ölçümler Ekim 2021'de başlayıp 12 ay boyunca, sabah saat 9:00 ve 11:00'de, öğleden sonra da 13:00 ve 15:00'te

EML değeri, The International Well Building Institute (2022) tarafından önerilen "melanopik oran hesaplayıcı"sı ile, CS değeri, Lighting Research Center (2022) tarafından önerilen "Circadian Stimulus hesaplayıcısı" ile hesaplanmıştır.

YÖNTEM

ANKET VE PERFORMANS TESTLERİ

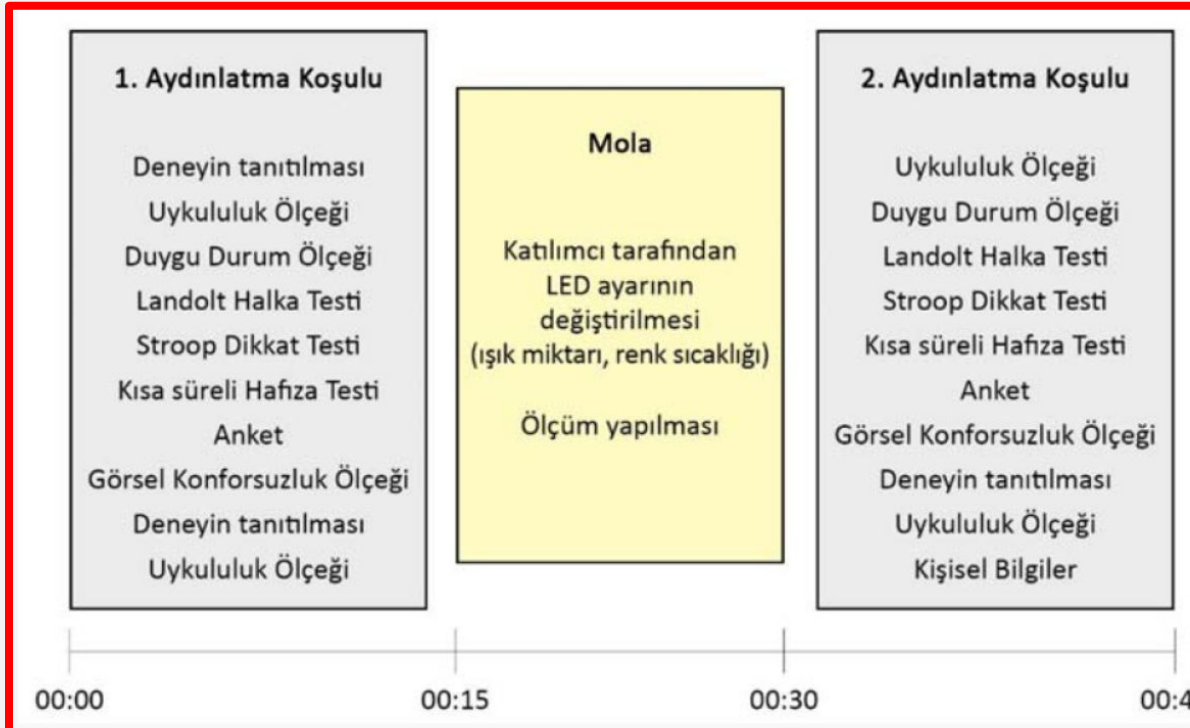
Performans testleri;

Kişilerin sağlık (uyanıklık ve duygu durumları)
(KSS ve PANAS),

dikkat, algı, hafıza (Stroop , Landolt , N-back)

Anket;

Kişilerin aydınlatma
koşulları hakkında beğeni
ve aydınlatma kalitesinin
değerlendirilmesi



YÖNTEM

İSTATİSTİK ANALİZLER

Performans göstergeleri

$E_{avg} < 300 \text{ lux};$
 $300\text{lux} < E_{avg} < 750 \text{ lux};$
 $E_{avg} > 750 \text{ lux}$

Günlüğü;
 $CCT > 5000\text{K};$
 $4000\text{K} < CCT < 5000\text{K};$
 $CCT < 4000 \text{ K}$

çalışma düzlemi/ekran parlaklığı oranı olan L1 (3/1);
duvar/ekran parlaklığı oranı olan L2 (10/1);
pencere/ekran olan L3 (10/1)

korelasyon

Aydınlatmanın fiziksel ölçülebilir parametreleri

Performans göstergeleri
Anket sonuçları
Duygu durum göstergeleri

ANOVA

GSV

regresyon

Fiziksel çevre ve aydınlatma koşullarının ----- ofis kullanıcılarının bilişsel performansı, memnuniyeti, uykululuk ve duygu durumu üzerindeki etkileri

YÖNTEM

YAPAY ZEKA MODELLERİ

Aydınlık düzeyi, CS değerleri, melatonin salgısı göstergesi, LED renk sıcaklığı, SPD değerleri, cam türü

ANN

Performans göstergeleri

Bulanık mantık

<i>Performans göstergeleri</i>					
Girdi	Çıktı	Girdi	Çıktı	Girdi	Çıktı
1. Cam	Landolt	1. Cam	Stroop testi	1. EML	N-back hafıza testi
2. CS		2. EV3			
3. CCT2		3. CCT2			

<i>Anket göstergeleri</i>									
Girdi	Çıktı	Girdi	Çıktı	Girdi	Çıktı	Girdi	Çıktı	Girdi	Çıktı
1. Cam	Konfor	1. Cam	Beğeni	1. CCT2	Doğallık	1. SPD2	Netlik	1. Lum 3	GSV
2. EV3		2. EML		2. Cam		2. EML		2. EV3	
3. CCT1		3. Cam		3. EH2		3. Cam		3. Cam	

<i>Duygu durum ve uykululuk göstergeleri</i>			
Girdi	Çıktı	Girdi	Çıktı
1. Cam	KSS2	1. Cam	PDD2
2. EML		2. Dim ayarı	
3. Dim ayarı			

SONUÇLAR

CAM TÜRLERİNE GÖRE

- Aydınlatma, çevresel ve demografik değişkenlere göre, iş performansındaki en gözle görülür değişiklik, kağıt bazlı Landolt testinde görülmüştür.
- Landolt sonuçları cam türü, göz hizası renk sıcaklığı-CCT ve baskın dalga boyu değerlerinde önemli farklılıklar göstermektedir.
- Yüksek değerlerdeki CCT'ler (daha soğuk ışık) kontrastı/dikkati olumlu etkiler.
- Cam türleri de katılımcıların CCT tercihlerini ve EML değerlerini etkiler.
- Çalışma düzlemi CCT ve baskın dalga boyu değerleri dışında, ölçüm sonuçları LED aydınlatma tercihlerini destekler.



YÖNTEM

CAM TÜRLERİNE GÖRE

- Cam türü ----ışığın homojen olarak dağılması
- Aydınlık düzeyi ---- parıltı ve görsel konfor değerlendirmeleri
- CCT ---- görsel ortamın çekici olup olmadığı
- Aydınlık düzeyi ve renk sıcaklığı değiştiğinde, yapay ışığın kalitesi ile nesnelerin dokularının ve formunun nasıl algılandığı arasında güçlü bir ilişki
- Camların geçirgenliğinin metnin okunabilirliği, kontrast dengeleri, doku izlenimleri üzerinde önemli etkileri
- Cam değiştikçe, iş verimliliğinin ve genel memnuniyetin öznel değerlendirmesinde ve özellikle ortam ışığının doğal veya yapay olarak algılanmasında önemli farklılıklar

Cam türleri
C1-mevcut çift cam
C2-akıllı cam
C3-nötral solar low-e 50/33
C4 – nötral ısı kontrol low-e 71/53
C5 - Renkli düz cam mavi
C6 - Renkli düz cam bronz
C7 - Renkli düz cam füme
C8 - fotovoltaik mavi
C9 – fotovoltaik turuncu
C10 –tentsol mavi reflektif

SONUÇLAR

CAM TÜRLERİNE GÖRE

- İki odada yapılan ölçümler sonucunda gün boyunca kuzey ve güneyde farklı ışık karakteristiğinin hakim olduğu ve bu durumun kullanıcıların aydınlatma sisteminin CCT ve dim ayarını etkilediği tespit edilmiştir.
- Güney odada, Katılımcılar, göz hizasında ortalama 680 lux aydınlatma ve soğuk beyaz ışığı (4798 K) tercih etmişlerdir.
- Kuzeye bakan odada 300 lux aydınlatma ve aynı konumdaki nötr beyaz ışık (4200 K) katılımcıların tercihi olmuştur.



SONUÇLAR

CAM TÜRLERİNE GÖRE

- Mevcut camlar (C1) nispeten nötr bir davranış sergilemesine rağmen, gelişmiş cam (C2, C8, C9, C10) türleri gün ışığının yapısını aydınlatma ve CCT açısından değiştirerek iç mekanlarda farklı CCT seçeneklerine yol açmıştır.
- Geçirgenlik değeri en düşük olan renkli PV camlar ve reflektif camlar, gün ışığı karakterinde en dikkat çekici değişimi oluşturmuş.



SONUÇLAR

CAM TÜRLERİNE GÖRE

- Diğer camların (**şeffaf cam, akıllı cam ve solar low-e cam**) uygulanması durumunda, yaklaşık 500 lx göz seviyesi aydınlatması, 4500 K CCT ve 450 EML elde edilmiştir ve katılımcılar görev performanslarında daha başarılı olmuşlardır.
- Göz seviyesinde ölçülen aydınlık düzeyi, CCT ve EML'nin en düşük değerleri **low-e camlar** varken elde edilmiştir.
- Ancak Landolt testindeki yüksek hata oranları, buranın ofis kullanıcıları için uygun bir aydınlatma ortamı olmayabileceğini göstermektedir.

SONUÇLAR

PERFORMANS TESTLERİNE GÖRE

Landolt testindeki hata oranları ----- deneyin aşaması,
cam türü,
iç ortam ve masaüstü dominant dalga boyu,
LED renk sıcaklığı ayarı ve
iç ortam renk sıcaklığı arasında
(Anlamlılık düzeyi $p < 0,05$)

İç ortam renk sıcaklığı ve baskın dalga boyu azalmasıyla katılımcıların testteki performansında düşüş olduğu görülmektedir.

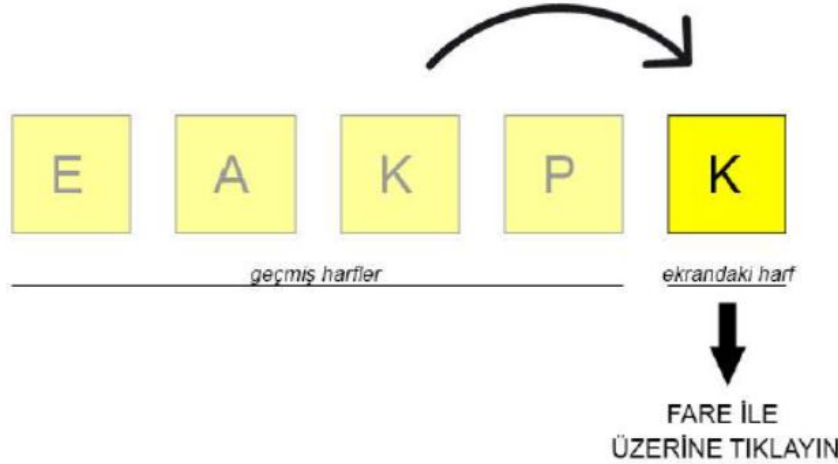
Göz hizası aydınlık düzeyinin artmasıyla doğru eşleştirme oranının düştüğü görülmektedir.

Netlik							
Ekrandaki yazılar	Okunaksız	1	2	3	4	5	Okunaklı
Anketteki yazılar	Okunaksız	1	2	3	4	5	Okunaklı
Harfler ve kağıt arasındaki kontrast	Kötü	1	2	3	4	5	İyi
Nesnelerin dokuları ve görünüşleri	Bulanık	1	2	3	4	5	Net
Nesnelerin detayları	Görünmez	1	2	3	4	5	Görünür
Odadaki renkler	Tanımsız	1	2	3	4	5	Tanımlı
Pencereden görülen dış ortam ve unsurlar	Belirsiz	1	2	3	4	5	Belirgin

Anket soruları

SONUÇLAR

PERFORMANS TESTLERİNE GÖRE



N back hafıza testi

Beyaz/soğuk ışığa doğru kağıttaki kontrastın arttığına ve katılımcıların detayları daha iyi ayırt edebildiği söylenebilir.

Katılımcılar, öğleden sonra (saat 13:00 ve 15:00) kısa süreli hafıza ve dikkati ölçen testte daha iyi performans göstermişlerdir.

SONUÇLAR



PERFORMANS TESTLERİNE GÖRE

CS değeri arttıkça stroop testinde tepki süresi azalmaktadır.

N back hafıza testinde de doğru dilinen harflerin oranı CS ile pozitif yönlü atmaktadır.

EML değeri arttıkça uyanıklık artmaktadır, doğru bilme oranı azalmakta yanlış bilme oranı artmaktadır.

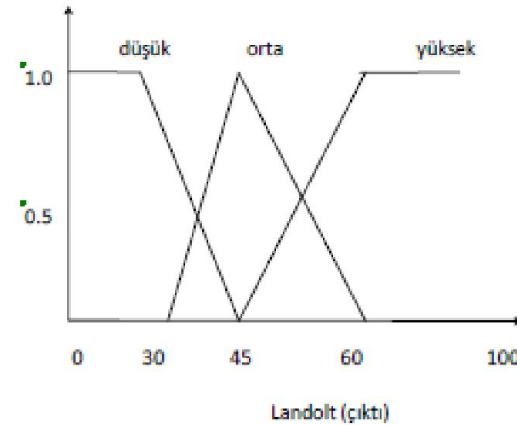
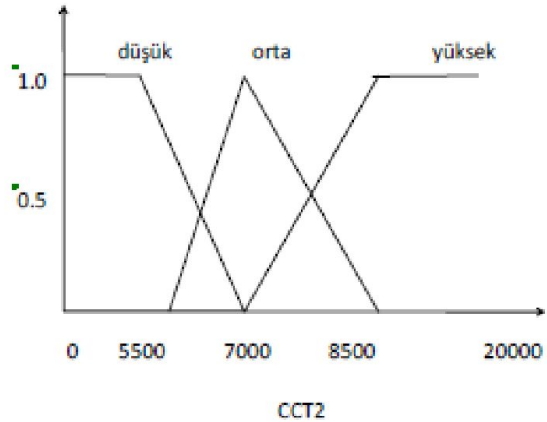
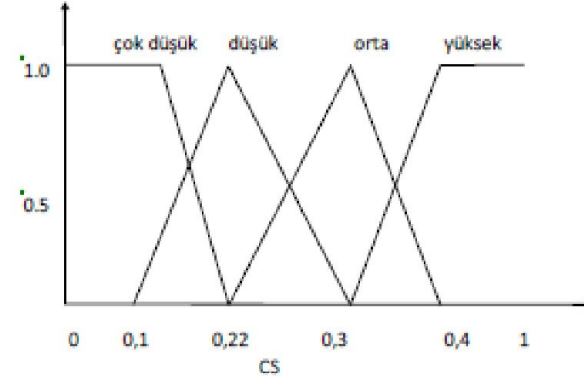
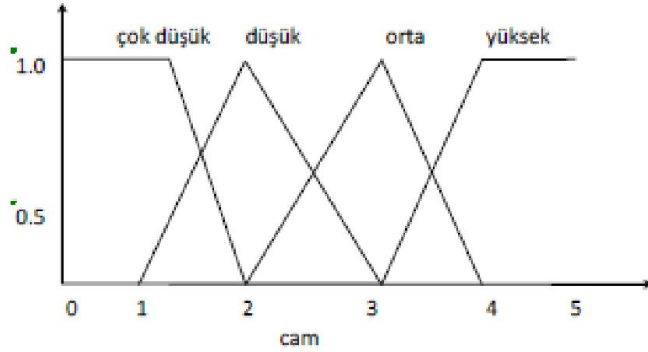
Standartlarda verilen eşik değerleri bu çalışmanın sonucu ile uyumludur. CS 0.3 değeri anlamlı bir eşik değerdir.

	KOŞUL A	KOŞUL B	KOŞUL C
Uyarı			
Cevap			

stroop testi

SONUÇLAR

BULANIK MANTIK MODELLERİ SINIFLANDIRMALARI



Landolt testinde hata oranının %30'un altında kalması en iyi performans göstergesi olur.

- Cam türü: C1 (renksiz düzcam), C2 (akıllı cam) veya C4 (solar low-e)
- Sirkadyen Uyarıcı (CS): 0.15 – 0.30 veya 0.30 – 0.40 aralığında
- İç Ortam Renk Sıcaklığı (CCT2): 0-5500K aralığında olduğunda bu kategori için en iyi Landolt skoru elde edilir ve puan alınır.

SONUÇLAR

BULANIK MANTIK MODELLERİ SINIFLANDIRMALARI

Stroop testinde tepki süresinin 800 ms'nin altında kalması en iyi performans göstergesi olur. Buna göre,

- Cam türü: C2 (akıllı cam), C3 (low-e), C4 (solar low-e) veya C7 (füme solar low-e)
- Göz Hizası Aydınlık Düzeyi (EV3): 200 – 350 lux aralığında
- İç Ortam Renk Sıcaklığı (CCT2): 5100K – 6700K aralığında olduğunda bu kategori için en iyi performans elde edilir ve puan alınır.



C7 (füme solar low-e)

SONUÇLAR

PERFORMANS TESTLERİNE GÖRE

Anketteki doğallık kategorisi için Likert ölçeğinde verilen cevapların toplamının 15'in üzerinde olması doğallık açısından en iyi aydınlatma koşulunu gösterir. Buna göre,

- Cam türü: C1 (renksiz düzcam), C3 (low-e), C4 (solar low-e) veya C6 (bronz solar low-e)
- Dış Ortam Aydınlık Düzeyi (EH2): 570 lux ve üzeri
- İç Ortam Renk Sıcaklığı (CCT2): 3000K – 7000K aralığında olduğunda bu kategori için en iyi aydınlatma ortamı elde edilir ve puan alınır.

Duygu Durum değerlendirmesi için uygulanan PANAS testinde 35 puan ve üzeri kişinin pozitif hissettiğini gösterir. Buna göre,

- Cam türü: C1 (renksiz düzcam) veya C6 (bronz solar low-e)
- LED Dimmer ayarı: 70 ve üzerinde olduğunda bu kategori için en iyi aydınlatma ortamı elde edilir ve puan alınır.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

- Landolt, Stroop veya N-back testlerinden birinde en iyi performans grubunda olmak +1 puan;
- konfor, beğeni, netlik, doğallık ve GSV testlerinden birinde en iyi performans grubunda olmak +1 puan;
- uyanıklık ve duygu durum testlerinde en iyi performans grubunda olmak +1 puan olarak değerlendirilebilir.

Nötral (C4), mavi (C5) ve füme solar low-e (C7) camlar

Performans, anket ve duygu durum uyanıklık göstergelerine etkiler

Dinamik LED aydınlatma sisteminin etkilerini bütüncül olarak görebileceğimiz en uyumlu camlar

Nötral ısı kontrol low-e cam (C4)

CS 3 iken renk sıcaklığı 5500K iken Landolt'ta hata oranı en düşük seviyededir, performans en iyi

BU ÇALIŞMA, TUBİTAK TARAFINDAN 220M006 NOLU 1001
PROJESİ İLE DESTEKLENMİŞTİR. YAZARLAR, TÜBİTAK'A,
EAE AYDINLATMA VE ŞİŞECAM'A KATKILARI SEBEBİYLE
TEŞEKKÜR EDER.

DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜR
EDERİM.

tugcekazanasmaz@iyte.edu.tr

fatmabusra.kose@gmail.com

enginduran@iyte.edu.tr

gokmentayfur@iyte.edu.tr