



Assessment of artificial lighting conditions in sunlight-deprived classrooms

Fazıla Duyan¹ , Elif Kaplan^{2*}

¹Department of Industrial Design, Faculty of Art and Design, Doğuş University, İstanbul, 34775, Türkiye

²Department of Interior Architecture and Environmental Design, Faculty of Architecture and Design, Fenerbahçe University, İstanbul, 34758, Türkiye

Highlights:

- Physical and psychological effects of light
- Lighting in sunlight-deprived classroom
- Temporal light modulation and flicker effect of luminaires

Keywords:

- Classroom lighting
- Artificial light
- Physical effect
- Psychological effect
- Light modulation and flicker effect

Article Info:

Research Article

Received: 12.04.2025

Accepted: 16.08.2025

DOI:

10.17341/gazimmfd.1675019

Acknowledgement:

The authors would like to express their sincere appreciation to Lamp 83 Company for their valuable contribution to the technical measurements of classroom illumination and the evaluation of luminaires

Correspondence:

Author: Elif Kaplan
e-mail: elif.kaplan@fbu.edu.tr
phone: +90 532 717 5135

Graphical/Tabular Abstract

Light has both physical and psychological effects on individuals, influencing their emotional states, behaviours, and biological responses. This study aimed to evaluate students' perceptions of and responses to artificial lighting conditions in sunlight-deprived classrooms within a university building. In this context, the artificial lighting design and the flicker effects of the luminaires were analysed and assessed in accordance with relevant standards (CEN, 2021). Additionally, a questionnaire and a semantic differential scale were employed to gather students' evaluations regarding the visual comfort of the classroom lighting. The findings revealed that although the lighting design partially fulfilled the basic technical requirements and user satisfaction criteria, the existing luminaires caused noticeable glare, light modulation and flicker emitted by the luminaires exceeded acceptable comfort levels thresholds. Students reported that the classroom environment was neither pleasant nor aesthetically satisfactory, frequently describing the lighting as uncomfortable, unhealthy, gloomy, and monotonous (Figure A).

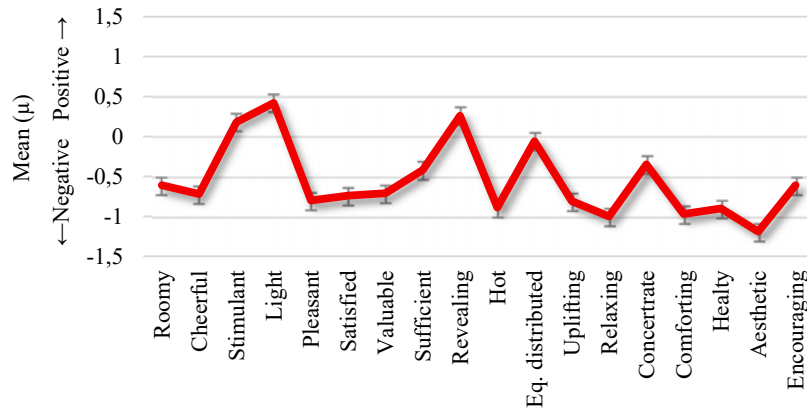


Figure A. Evaluation of Classroom Artificial Lighting with Semantic Differential Scale

Purpose: The purpose of this study is to investigate the various effects of artificial lighting conditions in a sunlight-deprived classroom on students, including visual perception, satisfaction, light colour, illuminance level, glare, flicker, and other related factors.

Theory and Methods: The artificial lighting of the classroom was evaluated through technical measurements, visualizations using the DIALux evo lighting software, and a survey conducted with students. All results were analyzed considering relevant standards. A total of 104 students participated in the study, including 65 female and 39 male students.

Results: The results indicate that the classroom lighting does not fully meet students' expectations in terms of visual comfort conditions. Measurements, calculations, and evaluations have also revealed that the existing lighting fixtures cause glare and temporal light modulation effects.

Conclusion: The students found the lighting conditions of the classroom to be partially adequate; however, they were not considered satisfactory in terms of visual comfort. The findings indicate that factors such as imperceptible flickering, glare, and the use of static light colour -in contrast to the dynamic qualities of natural daylight -contribute to a decrease in the amount of time students prefer to spend in the classroom.



Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi

Journal of The Faculty of Engineering
and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Günişığı olmayan dersliklerde yapay aydınlatma koşullarının kullanıcılar üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi

Fazıla Duyan¹ , Elif Kaplan² *

¹Doğuş Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü, 34775, İstanbul, Türkiye

²Fenerbahçe Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, 34758, İstanbul, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Işığın fiziksel ve psikolojik etkileri
- Günişığı olmayan dersliklerde yapay aydınlatma
- Aydınlatma aygıtlarının geçici ışık modülasyonu ve flicker etkisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 12.04.2025

Kabul: 16.08.2025

DOI:

10.17341/gazimmfd.1675019

Anahtar Kelimeler:

Derslik aydınlatması,
yapay aydınlatma,
fiziksel etki,
psikolojik etki, ışık
modülasyonu ve flicker
etkisi

ÖZ

Derslik aydınlatması üzerine yapılmış birçok çalışma, öğrencilerin derse odaklanması, anlatılan konuları kavrama ve çizim/yazım/uygulama gibi çalışmaların yapılmasından alınan verim ile aydınlatma arasında yakın ve güçlü bir ilişki olduğunu vurgulamaktadır. Bu bağlamda, özellikle günişığı olmayan dersliklerde, yapay aydınlatmanın fiziksel ve psikolojik etkilerinin doğru şekilde planlanması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, bir üniversite binasının bodrum katında yer alan ve dış mekânla görsel bağlantısı bulunmayan bir derslikteki yapay aydınlatma koşullarını incelemektedir. Mimarlık, İç Mimarlık ve Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü öğrencilerinin kullandığı bu derslikte, yapay aydınlatma koşullarının öğrenciler üzerindeki çeşitli etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, öğrencilerin derslikteki aydınlatma koşullarını değerlendirmeleri amacıyla çevrimiçi bir anket uygulanmış ve çalışmaya 65'i kadın, 39'u erkek olmak üzere toplam 104 öğrenci katılmıştır. Derslikte kullanılan aydınlatma aygıtlarının teknik ölçümleri yapılmış ve derslik DIALux Evo aydınlatma programında modellenmiştir. Elde edilen veriler SPSS istatistiksel analiz programında değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, öğrencilerin mevcut yapay aydınlatma koşullarını görsel konfor açısından yetersiz bulduklarını göstermektedir. Ayrıca derslikte kullanılan mevcut aydınlatma aygıtlarının kamaşma ve geçici ışık modülasyonu etkisi oluşturduğu belirlenmiştir.

Assessment of artificial lighting conditions in sunlight-deprived classrooms

H I G H L I G H T S

- Physical and psychological effects of light
- Lighting in sunlight-deprived classroom
- Temporal light modulation and flicker effect of luminaires

Article Info

Research Article

Received: 12.04.2025

Accepted: 16.08.2025

DOI:

10.17341/gazimmfd.1675019

Keywords:

Classroom lighting,
artificial light,
physical effect,
psychological effect,
light modulation and flicker
effect

ABSTRACT

Numerous studies on classroom lighting emphasize a close and significant relationship between students' concentration, comprehension of course content, and the efficiency of activities such as drawing, writing, and practices, with the lighting conditions. In this context, it is particularly important to properly design both the physical and psychological effects of artificial lighting, especially in sunlight-deprived classrooms. This study examines the artificial lighting conditions of a classroom located in the basement of a university building, which has no visual connection to the outdoors. The classroom is utilized by students from the departments of Architecture, Interior Architecture, and Industrial Design. The study investigates the effects of current artificial lighting on students, focusing on aspects such as visual perception satisfaction, light colour, illuminance level, glare, and the temporal light modulation effect. To assess students' perception of the existing lighting conditions, an online questionnaire was administered, and a total of 104 students (65 female, 39 male) who had previous experience with the classroom participated in the study. Technical measurements of the existing luminaires were conducted, and the classroom was digitally modelled using the DIALux Evo lighting software. The collected data were analysed using the SPSS statistical analysis program. The findings of the study indicate that students perceived the artificial lighting conditions as inadequate in terms of visual comfort. Moreover, based on technical measurements, simulations, and user evaluations, it was determined that the existing luminaires caused glare and temporal light modulation effects, negatively affecting the classroom environment.

1. Giriş (Introduction)

Güneşli ve güneşsiz günün güneşin doğumundan batımına kadar olan süreçte renk ve aydınlık düzeyi değişimi insanların ruhsal, fiziksel ve zihinsel sağlıkları üzerinde önemli etkiye sahiptir. İnsanlar yüzyıllardır güneşli ve onun dinamik devinimi ile bütünlük olarak yaşamaktadırlar [1]. Doğal ışığın dinamik karakteri, sadece görsel ihtiyaçları karşılamakla kalmayıp aynı zamanda bireylerin biyolojik saatini düzenleyen, psikolojik iyi oluş halini destekleyen ve mekânsal algıyı etkileyen temel bir çevresel faktör olarak değerlendirilmektedir. Son 25 yılda yapılan çalışmalarda, gözün ağ tabakasında ışığın biyolojik etkilerinin bağlı olduğu yeni bir alıcı olduğu keşfedilmiştir. Gözde ışığa duyarlı alıcılar olan koni ve sopacıkların varlığı uzun zamandan beri bilinmektedir ve ışığın görsel etkileri bu alıcılara bağlı olarak gelişmektedir.

Güneşli, insan yaşamında her zaman temel bir aydınlatma kaynağı olarak önemli bir rol oynamıştır. Ancak yapay aydınlatma sistemlerinin gelişimi ve kullanımının artışı, özellikle 21. yüzyılın başından itibaren insan yaşamında belirleyici bir unsur haline gelmiştir [2]. Güneşli ile yaşamaya alışkın olan insanoğlu, güneşli olmayan hacimlerde de niteliksel ve niceliksel olarak güneşliye yakın yapay ışık kaynaklarını her zaman daha fazla tercih etmiştir. Bu doğrultuda, iç mekanda statik veya dinamik ışık senaryoları oluşturan farklı yapay aydınlatma sistemleri geliştirilmiş ve bu alanda çeşitli bilimsel araştırmalar yürütülmüştür [3, 4]. Özellikle son yıllarda, güneşliye erişimi olmayan iç mekânlarda, doğal ışığın dinamik özelliklerini taklit eden aydınlatma modellerine yönelik çalışmaların arttığı görülmektedir [5-8]. Günümüzde iç mekân aydınlatma tasarımında, mekânın işlevsel ihtiyaçlarına uygun şekilde planlanma yapılması ve kullanıcı odaklı tasarım kriterlerinin göz önünde bulundurulması beklenmektedir. Bu kapsamda yapılan araştırmalar doğrultusunda, optimum aydınlatma koşulları uluslararası standartlarla tanımlanmıştır [9].

Derslikler, bireylerin çocukluk döneminden yetişkinliğe kadar uzanan eğitim süreçlerinde öğrenme ve öğretim faaliyetlerinin gerçekleştiği temel mekânlardır. Bu mekânlarda, öğrencinin bilişsel gelişimini desteklemek ve eğitim-öğretim sürecinin maksimum verimlilikle sürdürülebilmesi için, mekân tasarımının ve fiziksel çevre koşullarının doğru ve işlevsel bir şekilde planlanması büyük önem taşımaktadır. Aydınlatma, ısı-nem dengesi, akustik koşullar ve havalandırma gibi fiziksel çevre parametrelerinin uygun şekilde tasarlanması, derslik kullanıcılarının konfor düzeyini artırarak öğrenme süreci üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır. Literatürde yapılan araştırmalar, derslik aydınlatmasının öğrencilerin derse odaklanması, konuları kavrayabilmesi ve yazma, çizim veya uygulama gibi çalışmaların yapılmasında, öğrenciden alınan verim ile derslik aydınlatması arasında doğrudan bir ilişki olduğunu vurgulamaktadır [10-12]. Derslik aydınlatmasında kullanılan ışığın rengi, aydınlık düzeyi, aydınlatma biçimi/doğrultusu ve kamaşma problemi gibi faktörler, öğrenciler üzerinde duyuşsal, fiziksel ve biyolojik düzeyde çeşitli etkiler oluşturmaktadır [13-17]. Bu bağlamda yapılan çalışmalar, özellikle mekânda tercih edilen ışık renginin yalnızca duygudurum üzerinde değil, aynı zamanda kullanıcı performansı üzerinde de belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir [18-20]. Nitekim Schreiber'in [21] gerçekleştirdiği çalışmada, lambaların ışık parlaklığı azaltıldığında öğrencilerin kendilerini daha iyi hissettikleri ve sınıf içi etkinliklere daha fazla ilgi gösterdikleri tespit edilmiştir.

Güneşli, dersliklerde öğrenme sürecini destekleyen ve öğrencilerin motivasyonunu artıran temel çevresel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Rittner ve Robbin [22], güneşliğin öğrencilerin öğrenme süreçleri ve edindikleri bilgileri hatırlama becerileri üzerinde olumlu etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, bazı araştırmacılar yalnızca doğal ışığın değil,

dersliklerde güneşli ile yapay aydınlatmanın bütünlük olarak kullanıldığı aydınlatma sistemlerinin de öğrenme ortamlarının niteliğini artırmada önemli bir rol üstlendiğini vurgulamaktadır [23].

Özellikle güneşli erişimi bulunmayan iç mekânlarda kullanılan yapay aydınlatma tasarımında; ışık rengi, aydınlık düzeyi, renksel geriverim, kamaşma kontrolü vb. ışığın teknik özelliklerinin doğru planlanması kadar, insan biyolojik ritmi ve davranışsal sistemi üzerindeki fiziksel ve psikolojik etkilerinin de dikkatli ve doğru bir şekilde planlanması gerekmektedir. Ayrıca, yapay aydınlatma ile aydınlatılan mekânlarda kullanıcı sağlığı ve konforu açısından olumsuz etkiler yaratabilen geçici ışık modülasyonu ve flicker etkisi de dikkatle değerlendirilmesi gereken bir diğer konudur. Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE), ışık modülasyonunu; ‘Statik bir ortamda, statik bir gözlemci için, ışık kaynağının parlaklık ya da spektral dağılımı zamanla dalgalanan bir ışık uyarımının neden olduğu görsel kararsızlık algısı’ olarak tanımlamaktadır [24]. Görsel performansı ve kullanıcı konforunu olumsuz etkileyebilen bu titreşimlerin, 100 Hz’in altında olması halinde gözle algılanabilir düzeye ulaştığı, bu durumun ise derslik gibi öğrenme mekânlarında istenmeyen sağlık sorunlarına (baş ağrısı, göz yorgunluğu, dikkat dağınıklığı vb.) yol açabildiği çeşitli araştırmalarda ortaya konmuştur [25-27].

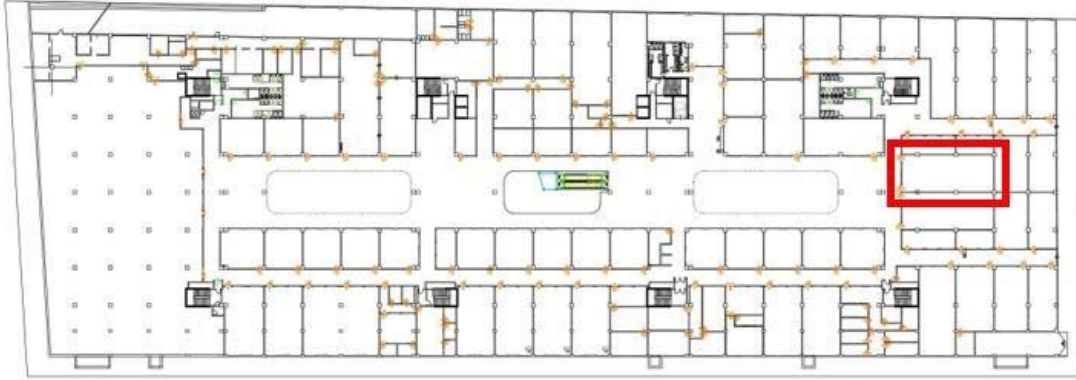
Bu çalışmada, dış mekâna açılan bir penceresi olmayan ve güneşli almayan, yalnızca yapay aydınlatma ile aydınlatılan bir üniversite dersliğinin (tasarım atölyesi) mevcut yapay aydınlatma koşullarının kullanıcı üzerindeki fiziksel ve psikolojik etkilerinin araştırılması ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, derslikte kullanılan aydınlatma düzeninin ve aygıtlarının teknik incelemeleri yapılmış, öğrencilere yapay aydınlatmanın etkilerini değerlendirmeye yönelik çalışmanın yazarları tarafından özgün olarak hazırlanan bir anket formu uygulanmıştır. Ayrıca, derslik DIALux Evo aydınlatma programında görselleştirilmiş ve aydınlatma koşullarına ilişkin teknik veriler elde edilmiştir. Anket çalışması sonucunda elde edilen veriler SPSS istatistiksel analiz programı ile değerlendirilmiştir. Teknik ölçümler, anket sonuçları ve simülasyon verileri ilgili standartlar doğrultusunda karşılaştırılarak, mevcut aydınlatma koşulları dersliğin işlevsel uygunluğu ve kullanıcı konforu açısından irdelenmiştir.

2. Deneysel Metot (Experimental Method)

Araştırma, bir üniversitenin güneşli almayan bir dersliğindeki yapay aydınlatma koşullarının ortaya konması, bu koşulların ilgili standartlara uygunluğunun analiz edilmesi ve mevcut aydınlatmanın öğrenciler üzerindeki farklı duyuşsal ve bilişsel etkilerinin değerlendirilmesi biçiminde planlanmıştır. Tasarım atölyesi olarak kullanılan bu derslikte Mimarlık, İç Mimarlık ve Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü öğrencileri eğitim almaktadır. Derslik, üniversite binası içinde birinci bodrum katta (-4.20 m kot yüksekliğinde) yer almaktadır. Üniversite binasında, güneşli almayan, aynı işleve sahip, biçim ve boyut bakımından benzer özellikler gösteren başka derslikler de bulunmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen dersliğin üniversite birinci bodrum kat planındaki konumu Şekil 1’de yer almaktadır.

2.1. Deney Hacmi (Experimental Space)

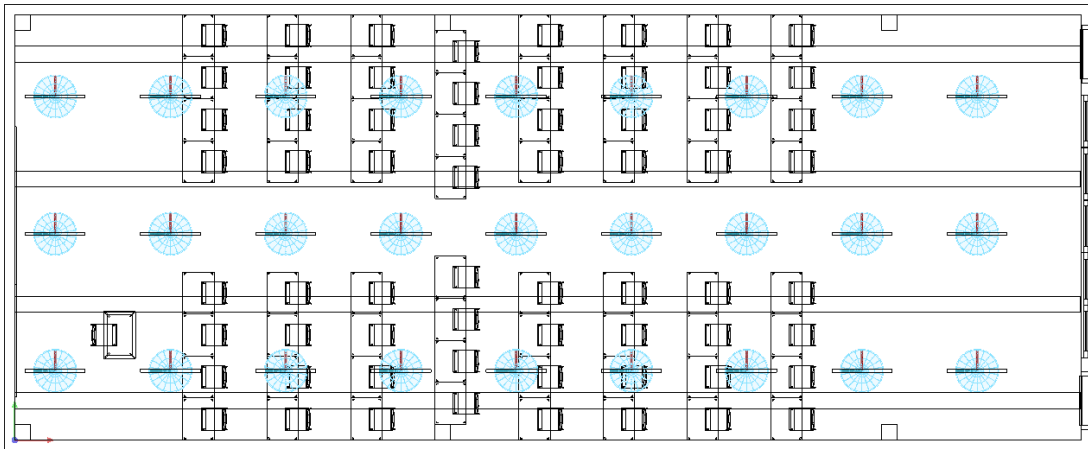
Deney hacminin ölçüleri; genişlik, derinlik ve yükseklik olarak sırasıyla 8,1 m, 20,3 m ve 4,0 m’dir. Derslikte toplamda 27 adet doğrusal LED aydınlatma aygıtı kullanılmaktadır. Aydınlatma aygıtları derslik içinde bakış doğrultusuna paralel olarak üç sıra halinde ve her sırada 9 adet aygıt bulunacak biçimde konumlandırılmıştır. Derslik duvarları hafif kirli beyaz, döşemeler gri renkli parlatılmış betondur. Derslik tavanı rengi ise doğal beton olarak gri renklidir. Hacmin iklimlendirme sistemleri donatıları açık bir şekilde tavanda yer almaktadır. Deney hacmi olan dersliğin genel görünümü ve DIALux Evo aydınlatma programında oluşturulan planı Şekil 2 ve 3’te yer almaktadır.



Şekil 1. Dersliğin üniversite birinci bodrum kat planındaki konumu
(Location of the classroom on the university's first basement floor plan)



Şekil 2. Dersliğin genel görünümü (General view of the classroom)



Şekil 3. Dersliğin DIALux Evo'da oluşturulan planı (Plan of the classroom created in the DIALux Evo)

2.2. Aydınlatma Aygıtı Teknik Verileri (Luminaire technical data)

Deney hacminde bulunan 27 adet doğrusal LED aydınlatma aygıtlarından birinin ölçümleri aydınlatma laboratuvarında yapılmıştır. Buna göre, aydınlatma aygıtının ışık akısı değeri 3702 lm, güç değeri ise 37,6 W olarak ölçülmüştür. Işık verimliliği 97 lm/W olan aygıtın renksel geriverim indeksi (R_a) 85, renk sıcaklığı değeri (T_{cp}) ise 4249 Kelvin'dir. Aydınlatma aygıtının fotometrik ışık modülasyonu ve saniyedeki titreşim salınımı (flicker) ölçümleri de yapılmış ve ışık modülasyonu %22, titreşim salınımı ise 100 Hz olarak bulunmuştur. Ölçüm yapılan aydınlatma aygıtının ışık yeğinlik diyagramı ve renksel ışık tayfı Şekil 4'te görülmektedir.

2.3. Katılımcı Özellikleri (Participant Characteristics)

Çalışmaya, Mimarlık, İç Mimarlık ve Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü öğrencilerinden 18-24 yaş aralığında 65 kadın, 39 erkek olmak üzere toplamda 104 kişi katılmıştır. Çalışmada yer alan katılımcıların cinsiyet bilgileri ve kayıtlı oldukları bölümlere göre dağılımları Tablo 1'de görülmektedir. Katılımcıların, 32'si Mimarlık, 36'sı İç Mimarlık ve 36'sı Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü'nde eğitim görmektedir. Tüm katılımcılar aydınlatma konusunda eğitim almışlardır.

Tablo 1. Katılımcı bilgileri (Participant informations)

Katılımcılar	Mimarlık	İç Mimarlık	Endüstri Ürünleri Tasarımı	Toplam
Kadın	21	25	19	65
Erkek	11	11	17	39
Toplam	32	36	36	104

2.4. Ölçme, Değerlendirme ve Prosedür (Measurement, Evaluation and Procedure)

Çalışmada, tasarım atölyesinin yapay aydınlatma koşullarının öğrenciler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir anket uygulanmıştır. Çalışmanın yazarları tarafından özgün olarak hazırlanan anket, mekanın algısal değerlendirilmesi ile ilgili sorular içermektedir. Çalışmada kullanılan anket için etik kurul onayı alınmıştır.

Derslik mevcut aydınlatması, çeşitli ölçümler yapılarak aydınlatma kriterleri doğrultusunda araştırılmıştır. Dersliğin mevcut aydınlatma durumu DIALux Evo aydınlatma programında modellenerek görselleştirilmiş ve buradan elde edilen veriler anket sonuçlarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

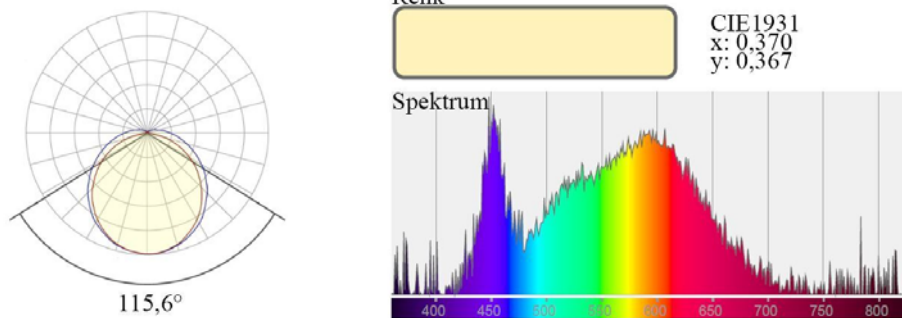
Derslik hiç günışığı almadığından, ankette yalnızca yapay aydınlatma koşullarının değerlendirilmesine yönelik sorular yer almaktadır.

Anket çevrimiçi olarak hazırlanmış olup, öğrenciler derslik içinde bulundukları zaman diliminde mevcut aydınlatma koşulları altında anketi tamamlamışlardır. Anket üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde katılımcılara yaş, cinsiyet ve hangi bölümde öğrenci oldukları ile ilgili kişisel bilgiler sorulmuştur. İkinci bölümde, derslik aydınlatmasının görsel konfor açısından değerlendirilmesi istenmiştir. Bu doğrultuda ankette ışık rengi, aydınlık düzeyi ve kamaşma gibi görsel etkilerin incelendiği teknik soruların yanı sıra aydınlatmanın uyku düzenini, çalışma verimini ve performansı etkilemesi, aydınlatma kaynaklı rahatsızlık (baş ağrısı, yorgunluk vb.) hissedilmesi gibi fiziksel ve psikolojik etkilerin incelendiği sorulara da yer verilmiştir. Bu bölümde ayrıca, derslikte günışığı ve doğal havalandırma olmaması durumunun öğrenciler üzerindeki etkilerini araştıran sorular da yer almaktadır. Üçüncü ve son bölümde ise yapay aydınlatmanın derslikteki etkisi kapsamında 'anlamsal farklılaşma ölçeği' kullanılmıştır.

Anlamsal Farklılaşma Ölçeği, Osgood vd. [28] tarafından geliştirilmiş, bir olaya veya bir nesneye/mekana yönelik öznel tepkileri ölçmeye yönelik kullanılan bir araçtır. Bu teknik, Likert ölçeği kullanarak kullanıcının duygusal izlenimlerini ve algılarını yansıtan ifadelerin ve sıfatların kullanımını ölçerek ürün semantiğini inceler [29]. Daha önce, çeşitli sıfat karşılıkları aracılığıyla mekânsal değerlendirme çalışmalarında kullanılan bu ölçek, bu çalışmada, kullanıcıların derslik aydınlatmasına yönelik duygusal ve anlamsal izlenimlerini ortaya koyabilmek amacıyla farklı çalışmalarda örnekler değerlendirilerek oluşturulmuştur [29-31]. Ölçekte, derslik aydınlatmasına yönelik 18 sıfat çifti yer almış, bu sorular beş basamaklı olarak bir ile beş arasında Likert ölçeği ile derecelendirilerek değerlendirilmiştir (1: en olumsuz, 5: en olumlu). Ölçekte kullanılan sıfat çiftleri, mekanda yapay aydınlatmanın etkilerine yönelik seçilerek; 'ferah-ferah değil, neşeli-kasvetli, uyarıcı-uyarıcı değil, aydınlık-karanlık, hoş-hoş değil, memnun-memnun değil, değerli-değersiz, yeterli-yeterli değil, açığa çıkarıcı-saklayıcı, sıcak-soğuk, düzgün yayılmış-düzgün yayılmamış, iç açıcı-sıkıcı, dinlendirici-huzursuz, odaklayıcı-odak dağıtıcı, rahatlatıcı-rahatsız edici, sağlıklı-sağlıksız, estetik-estetik değil, teşvik edici-engelleyici' olarak belirlenmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, nesnel ve öznel değerlendirmeler olmak üzere farklı başlıklar altında incelenmiştir. Nesnel değerlendirmede, mevcut aydınlatma düzeni teknik ölçümlerinden ve DIALux Evo aydınlatma programında yapılan görselleştirme sonuçlarından yararlanılmıştır. Öznel değerlendirmede ise, kullanıcı algısını ve deneyimini değerlendirmeye yönelik hazırlanan bir anket formu öğrencilere uygulanmıştır. Bu bölümün sonunda nesnel ve öznel veriler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Aydınlatma aygıtının ışık yeğinlik diyagramı ve ışık tayfı (Illuminance intensity diagram and light spectrum)

3.1. Derslik Aydınlatmasının Nesnel Olarak Değerlendirilmesi (Objective Evaluation of Classroom Lighting)

Derslik aydınlatmasının nesnel olarak değerlendirilmesinde, hacmin mevcut aydınlatma düzenine ilişkin ölçme sonuçlarından yararlanılmıştır. Bu amaçla hacim DIALux Evo aydınlatma programında modellenmiş ve derslik aydınlatması ile ilgili aydınlık düzeyi, aydınlık dağılımı düzgünlüğü, kamaşma vb. teknik veriler elde edilmiştir. Daha sonra hacim içinde ölçüm aleti ile belli noktalarda aydınlık düzeyi ölçümleri yapılarak derslikte çalışma düzleminde oluşan ortalama aydınlık düzeyi değerine ulaşılmıştır.

EN 12464-1 Avrupa Standardına göre dersliklerde çalışma düzleminde ve yazı tahtası üzerinde sağlanması önerilen en düşük ($\bar{E}_{m,gerekli}$) ve ışığın fiziksel ve psikolojik etkilerini dikkate alarak değiştirilmiş ortalama aydınlık düzeyi değerleri ($\bar{E}_{m,değiştirilmiş}$), aydınlığın düzgün dağılımı (U_o), renksel geriverim indisi (R_a), gözdeki kamaşma limit değeri (R_{UGL}) ve duvar ile tavanı kapsayan ortalama aydınlık düzeyi değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Avrupa Standardına göre dersliklerde genel aktiviteler için çalışma düzlemi üzerinde sağlanması gereken en düşük aydınlık düzeyi değeri 500 lx’tür. Teknik çizim yapılan dersliklerde ise bu değer 750 lx olarak belirlenmiştir. Her iki durum için standartta dersliklerde önerilen değiştirilmiş değer ise 1000 lx’tür. Değiştirilmiş değer, CIE tarafından 2021 yılında insan odaklı aydınlatma yaklaşımı doğrultusunda iyileştirme yapılarak ışığın fiziksel ve psikolojik etkileri dikkate alınarak önerilen daha yüksek aydınlık düzeyi değeridir [9].

EN 12464-1 Avrupa Standardında dersliklerde çalışma düzlemi üzerindeki aydınlık dağılımı düzgünlük değerinin en az 0,6 olması önerilmektedir. Öğrencilerin göz hizasında doğrudan kamaşma (R_{UGL}) değeri en fazla 19 olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Aydınlatma aygıtının renksel geriverim indisi (R_a) değerinin de en az 80 olması beklenmektedir. Avrupa Standardında dersliklerde bulunan yazı tahtası üzerinde de ışığın görsel etkilerine yönelik sağlanması gereken değerler yer almaktadır. Dersliklerde yazı tahtası üzerinde sağlanması önerilen ortalama aydınlık düzeyi ($\bar{E}_m$) değeri 500 lx, CIE 2021 standartlarına göre değiştirilmiş aydınlık düzeyi ($\bar{E}_m$) değeri ise 750 lx’tür. Yazı tahtası üzerindeki aydınlığın düzgün dağılımı (U_o) değerinin en az 0,7 olması önerilmektedir. Bunun yanı sıra kamaşma ve renksel geriverim indisi değerleri çalışma düzleminde sağlanması gereken değerler ile aynıdır. Çalışmada ele alınan derslikte yazı tahtası yanında projeksiyon perdesi bulunmaktadır. Avrupa Standardı uyarınca projeksiyon perdesi için herhangi bir değer belirtilmemiş, yalnızca projeksiyon perdesi üzerinde yansımaların kaçınılması gerektiği, perde çevresinde en az 200 lx dikey aydınlatmanın oluşması gerektiği ve perde üzerinde sunum yapılırken çevrede başka bölgesel aydınlatmanın bulunmaması gerektiği belirtilmiştir [9]. Yakın ve uzak çevre aydınlık düzeyi değerleri de çalışma düzleminde bulunan aydınlık düzeyi değerleri ile ilişkilendirilmelidir. Teknik çizim yapılan bir derslikte çalışma düzleminde sağlanması gereken aydınlık düzeyi değerine göre (750 lx), yakın çevrede oluşan aydınlık düzeyi değeri bir kademe düşük olmalıdır (500 lx). Uzak çevrede ise yakın çevrede sağlanan değer in üçte biri aydınlık düzeyi olmalıdır [9, 32].

Çalışma kapsamındaki derslikte, belirli noktalarda aydınlatma ölçümleri yapılmıştır. Ölçmelerde Asensetek Lighting Passport (ALP-01) spektrometre ölçüm cihazı kullanılmıştır. Buna göre derslikte çalışma düzleminde aydınlık düzeyi değerleri ölçülmüş ve ortalama 510 lx aydınlık düzeyi bulunmuştur. Çalışma düzleminde yapılan ölçümlerde en düşük 496 lx, en yüksek ise 526 lx aydınlık düzeyi elde edilmiştir. Ayrıca hem aygıt özellikleri hem de yapılan ölçümler değerlendirilerek derslik aydınlatması DIALux Evo aydınlatma programında görselleştirilmiş ve teknik veriler kontrol edilmiştir.

Model hacim için alınan hesaplama sonuçları Tablo 3’te ve DIALux Evo aydınlatma programında modellenen hacmin görünümü Şekil 5’te yer almaktadır.

Yapılan ölçmelere göre mevcut aydınlatma koşullarının değerlendirmesi aşağıdaki başlıklar altında yapılmıştır:

- **Aydınlık Düzeyi ve Aydınlığın Düzgün Dağılımı:** DIALux Evo aydınlatma programından alınan teknik verilere göre derslikte çalışma düzleminde oluşan ortalama 505 lx aydınlık düzeyinin tasarım atölyesi olarak kullanılan bu derslik için yeterli olmadığı görülmektedir (Tablo 3). EN 12464-1 Avrupa Standardına göre dersliklerde, teknik çizim yapılan alanlarda sağlanması gereken en az aydınlık düzeyi değeri 750 lx olarak belirlenmiştir. Standart, bu alanlarda iyileştirilmiş aydınlık düzeyi değerinin 1000 lx olmasını önermektedir (Tablo 2). Çalışma düzleminde oluşan aydınlık dağılımı düzgünlük değeri (U_o) ise 0,33’tür. Derslikte yazı tahtası üzerinde oluşan dikey aydınlık düzeyi değeri 315 lx’tür. Çalışma düzlemi üzerindeki aydınlığın düzgün dağılım değeri de standartta sağlanması gereken değerin ($U_o \geq 0,6$) altında kalmaktadır. Yazı tahtası üzerinde de standartta sağlanması önerilen 500 lx en az aydınlık düzeyi değerinin sağlanmadığı, yine bu bölgede 0,6 olarak bulunan aydınlığın düzgün dağılım değerinin de standartta önerilen 0,7 değerinin çok az altında kaldığı görülmektedir. Derslikte yazı tahtasının hemen yanında projeksiyon perdesi bulunmaktadır. Perde üzerinde, projeksiyon kullanımında olmadığı durumda 236 lx aydınlık düzeyi oluşmakta ve burada başka bölgesel aydınlatma bulunmamaktadır. Derslikte duvarlar üzerinde 157 lx, tavanda ise 127 lx ortalama aydınlık düzeyi oluşmaktadır.
- **Kamaşma:** DIALux Evo aydınlatma programında derslik içinde belli noktalarda oturan öğrencilerin göz seviyesinde oluşan kamaşma değerleri de hesaplatılmıştır. Buna göre elde edilen kamaşma indisi (R_{UGL}) değerlerinin 19-21 aralığında olduğu görülmektedir. Yazı tahtası ve projeksiyon perdesi üzerinde oluşan kamaşma değeri ise 24’tür. Derslikte, yazı tahtası ve projeksiyon perdesi üzerinde oluşan kamaşma değeri standartta belirtilen değerin ($R_{UGL} \leq 19$) üzerinde kalmaktadır. Bu durumda, dersliği kullanan öğrencilerde kamaşma sorunu oluşabileceği görülmektedir.
- **Lambaların Geriverimi:** Derslikte kullanılan aydınlatma aygıtının renksel geriverim değeri olan 85, standartta belirtilen sağlanması gereken en az renksel geriverim değeri olan 80 değerinin üzerindedir.
- **Geçici Işık Modülasyonu ve Flicker Etkisi:** Derslikte aydınlatma aygıtından kaynaklı bir durum olan geçici ışık modülasyonu etkisi de değerlendirmeye alınmıştır. Yapay aydınlatma kaynaklı ‘geçici ışık modülasyonu’ olarak adlandırılan ‘fotometrik flicker’ zamana bağlı olarak aydınlatmadaki değişimdir. 80 Hz altında çıplak gözle görülebilen, 80 Hz-200 Hz aralığında ise görülemeyen etki yarattığı bilinen bu olgu stres, sinirlilik, baş ağrısı ve migren, uyku bozuklukları, dikkat dağınıklığı, görsel görev performansının düşmesi vb. etkiler ile kendini gösterebilmektedir [33]. IESNA Standartlarına göre frekansın tam belirlenemediği durumlarda geçici ışık modülasyonu etkisinin %10’u geçmemesi önerilmektedir [34]. Titreşim yüzdesi, bir döngüdeki maksimum ışığın minimum ışığa göre ölçüsüdür [35]. LED sürücüsünün seçimi, bir armatürün titreşim performansı yani ‘flicker’ etkisi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olabilir [36]. Derslikte bulunan aydınlatma aygıtları için yapılan ölçümlerde fotometrik ışık modülasyonu yüzdesi %22, titreşim salınımı ise 100 Hz olarak bulunmuştur. Bu durumda derslik aydınlatmasında geçici ışık modülasyonu etkisinin olabileceği görülmektedir. Geçici ışık modülasyonu, derslikte uzun süreli çalışmalarda sağlığı olumsuz yönde etkileyebilecek sorunların oluşmasına neden olmaktadır.

Tablo 2. Dersliklerde sağlanması önerilen değerler (Recommended standards for classrooms) [9]

Görev/Etkinlik türü	Derslik		
	Genel aktiviteler	Teknik çizim	Yazı tahtası
$\bar{E}_m$, gerekli (lx)	500	750	500
$\bar{E}_m$, değiştirilmiş (lx)	1000	1000	750
U_o	$\geq 0,6$	$\geq 0,6$	$\geq 0,7$
R_a	80	80	80
R_{UGL}	≤ 19	≤ 19	19
$\bar{E}_m$, duvar (lx)	150	150	-
$\bar{E}_m$, tavan (lx)	100	100	-

Tablo 3. Model hacim için elde edilen hesaplama sonuçları (Results of the calculations for the model volume)

Görev/Etkinlik türü	Derslik	
	Genel aktiviteler	Yazı tahtası
$\bar{E}_m$, gerekli (lx)	505	315
U_o	0,33	0,6
R_a	85	85
R_{UGL}	19-21	24
$\bar{E}_m$, duvar (lx)	157	-
$\bar{E}_m$, tavan (lx)	127	-

**Şekil 5.** Derslik görseli (Classroom visualized in DIALux Evo program)

3.2. Derslik Aydınlatmasının Öznel Olarak Değerlendirilmesi (Subjective Evaluation of Classroom Lighting)

Derslik kullanıcıları olan öğrencilere uygulanan ankette yer alan ve yapay aydınlatmanın fiziksel ve psikolojik etkilerinin değerlendirildiği toplam 13 ifadeden oluşan değerlendirmelerde, beş seçenek sunulmuş (1: hiç katılmıyorum, 2: katılmıyorum, 3: ne katılıyorum ne katılmıyorum, 4: katılıyorum, 5: kesinlikle katılıyorum) ve kullanıcılardan bu seçeneklerden birini işaretlemeleri beklenmiştir. Tablo 4'te ankete verilen yanıtların yüzdesel değerlendirmeleri, ortalama (μ) ve standart sapma değerleri (SD) ile normal dağılıma ilişkin Skewness ve Kurtosis sonuçları yer almaktadır. Anketin güvenilirlik analizi SPSS istatistiksel analiz programında yapılmıştır. Yapılan analizde Cronbach Alfa değeri 0,75 olarak bulunmuştur. Literatürde Cronbach Alfa değeri olarak 0,70 ve üzeri güvenilir olarak kabul edilmektedir [37-39]. Bu nedenle yapılan anket çalışmasının güvenilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 4'teki anket sonuçlarına göre, genel olarak kullanıcıların derslik aydınlatmasına ilişkin olumsuz yanıtlar verdikleri görülmektedir. Kullanıcılar derslik aydınlatmasının çalışma ve öğrenme işlevi için

uygun olmadığı (%43,3) ve görsel konfor açısından beklentileri karşılamadığı (%56,7) yönünde görüş bildirmişlerdir. Katılımcıların çoğunluğu lambaların ışık rengini soğuk bulduklarını (%54,8) ve beğenmediklerini (%50) ifade ederken, daha sıcak renkli ışık kullanımını tercih edebileceklerini belirtmişlerdir (%52,9). Derslik aydınlatmasının gözlerinde kamaşma yarattığını ve bunun rahatsız edici olduğunu ifade edenlerin oranı %55,8'dir. Kullanıcılar, derslik aydınlatmasının baş ağrısı vb. etkiler oluşturduğu ve sağlığı olumsuz etkilediği (%51) aynı zamanda derslikte bulundukları günlerde uyku düzenlerinin bozulduğu yönünde görüş bildirmişlerdir (%47,1). Derslikteki aydınlatmanın mekanda durma sürelerini kısalttığını ifade eden kullanıcı oranı %65,4, enerji ve çalışma performanslarını düşürdüğünü belirten kullanıcıların oranı ise %59,3'tür.

Derslik aydınlatmasının yanı sıra, kullanıcıların büyük çoğunluğu (%87,5) derslikte pencere ve günışığının olmamasının rahatsız edici olduğunu bildirmişlerdir. Mekanda pencere olmamasından kaynaklı doğal havalandırmanın da olmamasını katılımcılar %84,6 oranında olumsuz olarak değerlendirmişlerdir. Bu sonuç, dersliklerde günışığı ve doğal havalandırma olmamasının, öğrenciler üzerinde çok olumsuz bir etki oluşturduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Anket sorularına verilen yanıtların ortalamaları (μ), SD değerleri (Means and SD values of survey replies)

Anket Soruları	Yüzdesel Değerlendirmeler (%)					Ortalama (μ)	Standart Sapma (SD)	İstatistikler	
	1	2	3	4	5			Skewness	Kurtosis
1 Derslik aydınlatması çalışma ve öğrenme işlevim için uygundur	8,7	34,6	23,1	29,8	3,8	3,14	1,07	-0,05	-0,98
2 Derslik aydınlatması görsel konfor açısından beklentilerimi karşılar	19,2	37,5	22,1	19,2	2,0	3,32	1,15	0,05	-1,23
3 Lambaların ışık rengini soğuk buluyorum	2,9	18,3	24,0	42,3	12,5	3,66	0,89	-0,89	1,08
4 Derslik aydınlatma düzeyi çalışmam için uygundur	9,6	16,3	25,0	43,3	5,8	2,75	1,08	0,71	-0,32
5 Derslikte bulunduğum/çalıştığım günlerde/sürelerde uyku düzenim bozuluyor	5,8	20,2	26,9	32,7	14,4	3,45	1,07	-0,55	-0,21
6 Lambaların ışık rengini beğeniyorum	14,4	35,6	26,0	20,2	3,8	3,15	1,13	0,14	-1,00
7 Derslik aydınlatması baş ağrısı vb. etki oluşturuyor ve sağlığımı olumsuz etkiliyor	2,9	16,3	29,8	30,8	20,2	3,66	0,98	-0,53	0,80
8 Derslik aydınlatması, gözlerimde kamaşma yaratır ve beni rahatsız eder	2,8	20,2	21,2	33,7	22,1	3,69	1,03	-0,64	-0,13
9 Derslikte daha sıcak renkli ışık rengi tercih ederim	9,6	15,4	22,1	31,7	21,2	2,39	1,16	0,89	0,21
10 Derslikte günışığının (pencere) olmaması beni çok rahatsız ediyor	0,9	5,1	6,5	21,2	66,3	4,54	0,77	-2,05	4,87
11 Derslikteki aydınlatma enerjimi ve çalışma performansımı düşürür	2,9	18,4	19,4	37,9	21,4	3,80	0,95	-0,90	0,86
12 Derslikteki aydınlatma mekanda durma süremi kısaltır	0,9	15,4	18,3	42,3	23,1	3,90	0,85	-0,77	0,74
13 Derslikte doğal havalandırma (pencere) olmaması beni çok rahatsız ediyor ve sağlığımı olumsuz etkiliyor	0,9	5,1	9,6	26,9	57,7	4,41	0,82	-1,55	2,64

Anket sorularına verilen yanıtların normal dağılıma uyup uymadığı Skewness ve Kurtosis değerleri aracılığıyla incelenmiştir. Bu değerlerin '-2/+2' aralığında olması anketin normal dağılıma uygun olduğunu göstermektedir [40]. Normal dağılıma uygun olmayan sorular tablo üzerinde italik yazı ile gösterilmiştir. Tablo 4'te de görüldüğü gibi 'Derslikte günışığının (pencere) olmaması beni çok rahatsız ediyor' ve 'Derslikte doğal havalandırma (pencere) olmaması beni çok rahatsız ediyor ve sağlığımı olumsuz etkiliyor' soruları dışındaki tüm diğer soruların değerlendirmeleri normal dağılıma uygun çıkmıştır. Günışığı ve doğal havalandırmaya yönelik bu sorular analiz dışı bırakılarak, diğer anket sorularının cinsiyete göre değerlendirilmesi Bağımsız örneklem T testi ile yapılmıştır. Çalışmaya katılan 39 kadın, 65 erkek katılımcı arasında yapılan analizde, 'Derslik aydınlatması, gözlerimde kamaşma yaratır ve beni rahatsız eder' sorusunda %99 güven düzeyinde anlamlı farklılaşma görülmektedir (Sig. (2-tailed)<0.01). Bu soru dışında kalan sorular için anlamlı bir farklılık (Sig. (2-tailed)>0.05) görülmemektedir (Tablo 5). Anlamlı farklılık görülen soru tablo içerisinde italik yazı ile gösterilmiştir.

Tablo 5'te görülen sonuçlara göre 'Derslik aydınlatması, gözlerimde kamaşma yaratır ve beni rahatsız eder' sorusunda %99 güven düzeyinde anlamlı farklılaşma görülmesi, kadınların erkeklerle göre kamaşmadan daha fazla etkilendiğini göstermektedir.

Anketin üçüncü bölümünde yer alan 18 sıfat çifti anlamsal farklılaşma ölçeğine göre değerlendirilmiştir. Bu sıfatlar '1 ile 5' aralığında, '1 ve 2' pozitif, '4 ve 5' değerleri negatif, 3 ise orta, yani 'nötr' olarak belirlenmiştir (Tablo 6). Yapay aydınlatmanın algısal derecelendirmeleri yapılırken, beş basamaklı semantik testte yer alan puanlar '-2/+2' aralığında değerlendirilmiştir. Grafiksel olarak daha rahat algılamak için '1 ile 5' arasındaki değerler Tablo 6'da görüldüğü gibi '+2 ile -2' aralığına dönüştürülmüştür. Tabloda görülen eksi (-) değerler negatif, artı (+) değerler ise pozitif olarak değerlendirilmiştir. Değerler '-2 ile +2'e ne kadar yakınsa, aydınlatmanın o sıfat karşısındaki algılanışı o kadar güçlü anlamına gelmektedir.

Anlamsal farklılaşma ölçeği sonuçlarının ortalamaları (μ) ve standart sapma (SD) değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Sonuçların normal dağılıma uygun olup olmadığı SPSS istatistiksel analiz programında Skewness ve Kurtosis değerleri incelenerek değerlendirilmiştir [40]. Tablo 7'de görüldüğü gibi tüm sıfat karşılıklarına verilen yanıtlar normal dağılıma uygun çıkmıştır.

Sıfat çiftlerinin anlamsal farklılaşma ölçeğine göre değerlendirilmesi ile oluşturulan grafik Şekil 6'da görülmektedir. Grafikten de görülebileceği üzere her sıfat çifti için 'nötr-0' çizgisinin üzerinde kalan alanlar pozitif, altında kalan alanlar ise negatif olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 5. Anket sorularına verilen yanıtların cinsiyete göre değerlendirilmesi (Gender-based analysis of survey)

Levene Test Varyans Eşitliği					T-test Ortalamaların Eşitliği				
Anket soruları	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Ortalama Farkı	Std. Hata Farkı	Ortalamalar arası fark için %99 güven aralığı	
								En az	En fazla
1 EVA	1,76	0,19	-1,02	102	0,31	-0,22	0,22	-0,79	0,35
EVNA			-0,99	72,56	0,33	-0,22	0,22	-0,81	0,37
2 EVA	0,02	0,90	-0,64	102	0,53	-0,15	0,23	-0,76	0,46
EVNA			-0,63	79,38	0,53	-0,15	0,23	-0,77	0,47
3 EVA	1,62	0,21	0,65	102	0,52	0,12	0,18	-0,36	0,59
EVNA			0,62	68,92	0,54	0,112	0,19	-0,38	0,62
4 EVA	0,11	0,75	0,80	102	0,43	0,17	0,22	-0,40	0,75
EVNA			0,79	77,07	0,43	0,17	0,22	-0,41	0,76
5 EVA	0,05	0,82	-0,64	102	0,53	-0,14	0,22	-0,71	0,43
EVNA			-0,64	80,15	0,53	-0,14	0,22	-0,71	0,43
6 EVA	0,20	0,66	-1,81	102	0,07	-0,41	0,23	-1,00	0,18
EVNA			-1,78	76,03	0,08	-0,41	0,23	-1,01	0,20
7 EVA	3,63	0,06	2,07	102	0,04	0,41	0,20	-0,11	0,92
EVNA			1,96	67,36	0,05	0,41	0,21	-0,14	0,95
8 EVA	7,80	0,00	2,83	102	0,00	0,57	0,20	0,04	1,11
EVNA			2,62	65,38	0,01	0,57	0,22	0,00	1,15
9 EVA	3,02	0,09	-0,46	102	0,65	-0,11	0,24	-0,73	0,51
EVNA			-0,43	66,16	0,67	-0,119	0,25	-0,77	0,56
11 EVA	0,90	0,35	-0,83	102	0,41	-0,16	0,19	-0,66	0,35
EVNA			-0,82	78,30	0,42	-0,16	0,19	-0,67	0,35
12 EVA	1,49	0,23	0,30	102	0,77	0,05	0,17	-0,41	0,51
EVNA			0,28	69,43	0,78	0,05	0,18	-0,43	0,53

EVA: Eşit Varyans Dağılımı

EVNA: Eşit Olmayan Varyans Dağılımı

Tablo 6. Anket ve analiz derecelendirme değerleri (Survey and analysis rating values)

	Anket Derecelendirme Değerleri	Analiz Derecelendirme Değerleri	
Hiç katılmıyorum	1	-2	Negatif bölge
Katılmıyorum	2	-1	
Ne katılıyorum ne katılmıyorum	3	0	Nötr
Katılıyorum	4	1	Pozitif bölge
Kesinlikle katılıyorum	5	2	

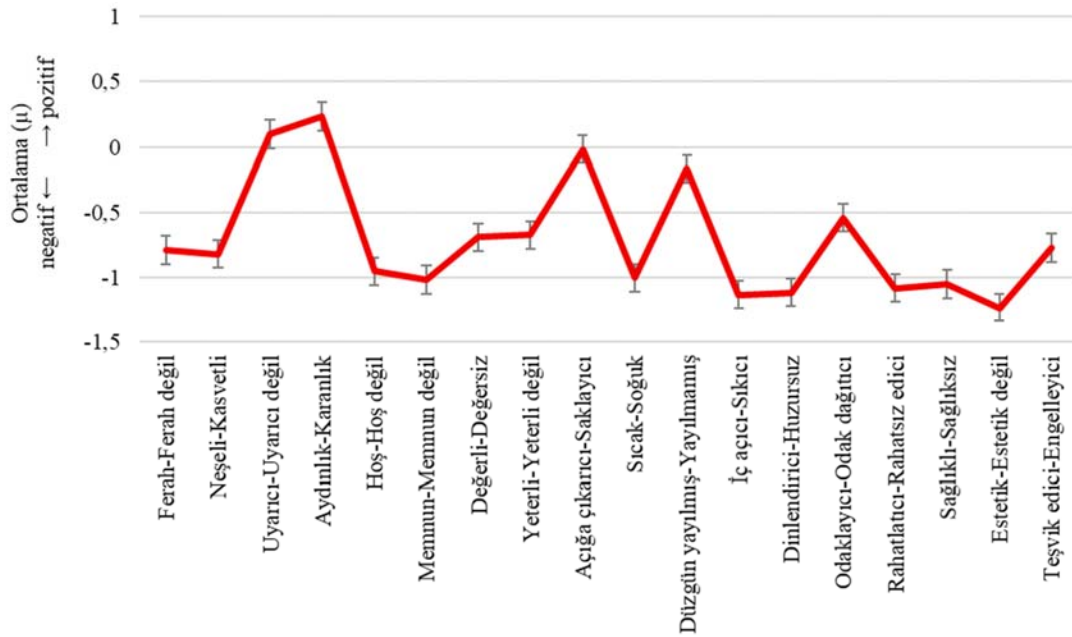
Derslik aydınlatması hemen hemen tüm sıfat çiftleri için negatif olarak algılanmıştır. Yalnızca, ‘açığa çıkarıcı-saklayıcı’, ‘aydınlık-karanlık’ ve ‘uyarıcı-uyarıcı değil’ sıfat çiftleri pozitif bölgede ancak çok yüksek olmayan bir düzeyde değerlendirilmiştir. Bu sıfat çiftleri Tablo 7’de italik yazı ile gösterilmiştir. Katılımcılar aydınlatmayı hoş ve estetik bulmadıklarını belirtmişler, derslik ortamını huzursuz, sağlıksız, kasvetli ve sıkıcı olarak nitelmişlerdir. Yapay aydınlatmada kullanılan ışığın rengi anket sorularına verilen yanıtlara benzer şekilde soğuk olarak değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmede soğuk ışık renginin uyarıcı olarak değerlendirildiği görülmektedir. Bu anlamda literatürde soğuk renkli ışığın uyarıcı olarak nitelendirilmesi bu sonuç ile paralellik göstermektedir [41, 42]. Anlamsal farklılaşma ölçeğinden alınan değerlendirmelere göre, hacmin mevcut aydınlatmasının derslik işlevi için uygun olmadığı sonucuna ulaşılmakta ve kullanıcıların dersliğin aydınlatmasından memnun olmadığı görülmektedir.

Anlamsal farklılaşma ölçeğinin güvenilirlik analizi SPSS istatistiksel analiz programında yapılmıştır. Yapılan analizde Cronbach Alfa değeri 0,92 olarak bulunmuştur. Literatürde 0,70’in üzeri güvenilir kabul edildiğinden anlamsal farklılaşma ölçeğinin güvenilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır [37-39].

Anlamsal farklılaşma ölçeğine verilen yanıtların normal dağılıma uyup uymadığı Skewness ve Kurtosis değerleri aracılığıyla incelenmiştir. Değerlerin ‘-2/+2’ aralığında olması ölçeğin normal dağılıma ve parametrik analizlere uygun olduğunu göstermektedir [40]. Anlamsal farklılaşma ölçeği verilerinin cinsiyete göre anlamlı fark oluşturup oluşturmadığı Bağımsız-örneklem T testi ile analiz edilmiştir. Tablo 8’de görüldüğü gibi, sıfat çiftleri değerlendirmelerinde erkek ve kadın katılımcıların verdikleri yanıtlar açısından anlamlı bir fark görülmemektedir (Sig. (2-tailed)>0,05).

Tablo 7. Anlamsal Farklılaşma Ölçeği değerleri ve Skewness-Kurtosis değer aralıkları
(Semantic Differentiation Scale values and Skewness-Kurtosis value ranges)

Sıfat Çiftleri	Ortalama (μ)	Standart Sapma (SD)	İstatistikler	
			Skewness	Kurtosis
Ferah-Ferah değil	-0,61	1,18	0,50	-0,57
Neşeli-Kasvetli	-0,72	1,00	0,45	-0,36
Uyarıcı-Uyarıcı değil	0,18	1,07	-0,33	-0,29
Aydınlık-Karanlık	0,42	1,08	-0,36	-0,33
Hoş-Hoş değil	-0,80	1,07	0,74	0,22
Memnun-Memnun değil	-0,74	1,14	0,71	-0,10
Değerli-Değersiz	-0,71	0,98	0,64	0,48
Yeterli-Yeterli değil	-0,42	1,21	0,40	-0,66
Açığa çıkarıcı-Saklayıcı	0,26	1,17	-0,01	-0,64
Sıcak-Soğuk	-0,89	1,02	0,62	-0,03
Düzgün yayılmış-Düzgün yayılmamış	-0,06	1,29	-0,11	-1,06
İç açıcı-Sıkıcı	-0,81	1,09	0,57	-0,24
Dinlendirici-Huzursuz	-1,00	0,94	1,02	1,32
Odaklayıcı-Odak dağıtıcı	-0,35	1,10	0,02	-0,97
Rahatlatıcı-Rahatsız edici	-0,97	0,95	0,77	0,41
Sağlıklı-Sağlıksız	-0,90	1,05	0,84	0,38
Estetik-Estetik değil	-1,19	1,06	1,34	1,30
Tesvik edici-Engelleyici	-0,61	0,99	0,12	-0,49

**Şekil 6.** Derslik yapay aydınlatmasının anlamsal farklılaşma ölçeği ile değerlendirilmesi
(Evaluation of classroom artificial lighting with semantic differentiation scale)

3.3. Derslik Aydınlatmasının Nesnel ve Öznel Olarak Değerlendirme Verilerinin Karşılaştırılması (Comparison of Objective and Subjective Evaluation Data of Classroom Lighting)

Derslik aydınlatmasının nesnel ve öznel olarak değerlendirme verilerinin karşılaştırılması; aydınlık düzeyi ve aydınlığın düzgün dağılımı, kamaşma ve geçici ışık modülasyonu etkisi başlıkları altında yapılmıştır.

- **Aydınlık Düzeyi ve Aydınlığın Düzgün Dağılımı:** Derslikte yapılan aydınlık düzeyi ölçümünde çalışma düzleminde 510 lx aydınlık

düzeyi ölçülmüştür. Avrupa Standardına göre dersliklerde çalışma düzleminde genel aktiviteler için en az 500 lx, teknik çizim için ise en az 750 lx aydınlık düzeyinin oluşması gerektiği belirtilmektedir. Bu durumda, derslikte ölçülen aydınlık düzeyinin teknik çizim yeterli olmadığı, genel aktiviteler içinse minimum düzeyde yeterli olduğu görülmektedir. Ankette yer alan 'Derslik aydınlatma düzeyi çalışmam için uygundur' sorusuna verilen yanıtlar, öğrencilerin derslikte bulunan aydınlatma düzeyinden orta düzeyde memnun olduğunu göstermektedir (μ : 2,75, SD: 1,08). Öğrenciler 'Derslikteki aydınlatma enerjimi ve çalışma performansımı düşürür' (μ : 3,80, SD: 0,95) ve 'Derslikteki aydınlatma mekanda

Tablo 8. Anlamsal farklılaşma ölçeği verilerinin cinsiyete göre analizi (Gender-based analysis of semantic differential scale data)

		Levene Test				T-test				
		Varyans Eşitliği				Ortalamaların Eşitliği				
Sıfat çiftleri						Sig. (2-tailed)	Ortalama farkı	Std. hata Farkı	Ortalamalararası	
									fark için %99 güven aralığı	
		F	Sig.	t	df				En az	En fazla
Ferah	EVA	0,00	0,99	-0,11	102	0,92	-0,025	0,24	-0,65	0,60
-Ferah değil	EVNA			-0,11	79,93	0,92	-0,025	0,24	-0,66	0,61
Neşeli	EVA	0,21	0,64	-0,63	102	0,53	-0,13	0,21	-0,67	0,41
-Kasvetli	EVNA			-0,62	77,53	0,54	-0,13	0,21	-0,68	0,42
Uyarıcı	EVA	1,18	0,28	-1,31	102	0,19	-0,28	0,22	-0,85	0,28
-Uyarıcı değil	EVNA			-1,29	75,67	0,20	-0,28	0,22	-0,86	0,30
Aydınlık	EVA	0,21	0,65	0,84	102	0,40	0,18	0,22	-0,39	0,76
-Karanlık	EVNA			0,83	78,59	0,41	0,18	0,22	-0,40	0,77
Hoş	EVA	3,54	0,06	-0,59	102	0,56	-0,13	0,22	-0,70	0,44
-Hoş değil	EVNA			-0,55	64,40	0,56	-0,13	0,23	-0,74	0,49
Memnun	EVA	0,86	0,36	-0,51	102	0,61	-0,12	0,23	-0,73	0,49
-Memnun değil	EVNA			-0,50	73,47	0,62	-0,12	0,24	-0,75	0,51
Değerli	EVA	0,43	0,51	-1,19	102	0,24	-0,24	0,20	-0,76	0,29
-Değersiz	EVNA			-1,17	75,98	0,25	-0,24	0,20	-0,77	0,30
Yeterli	EVA	0,98	0,32	0,08	102	0,93	0,02	0,25	-0,63	0,67
-Yeterli değil	EVNA			0,09	88,33	0,93	0,02	0,24	-0,61	0,65
Açığa çıkarıcı	EVA	1,97	0,16	0,02	102	0,98	0,01	0,24	-0,62	0,63
-Saklayıcı	EVNA			0,02	69,15	0,98	0,01	0,25	-0,66	0,67
Sıcak-Soğuk	EVA	3,98	0,05	-1,17	102	0,25	-0,24	0,21	-0,78	0,30
	EVNA			-1,08	62,97	0,28	-0,24	0,22	-0,83	0,35
Düzgün yayılmış	EVA	0,64	0,43	0,43	102	0,67	0,11	0,26	-0,58	0,80
-Düzgün yayılmamış	EVNA			0,43	78,16	0,67	0,11	0,26	-0,59	0,81
İç açıcı-Sıkıcı	EVA	0,76	0,39	-1,40	102	0,16	-0,31	0,22	-0,88	0,27
	EVNA			-1,39	77,26	0,17	-0,31	0,22	-0,89	0,28
Dinlendirici	EVA	1,45	0,23	-1,60	102	0,11	-0,30	0,19	-0,80	0,19
-Huzursuz	EVNA			-1,54	70,63	0,13	-0,30	0,20	-0,82	0,22
Odaklayıcı	EVA	0,34	0,56	-0,46	102	0,65	-0,10	0,22	-0,69	0,49
-Odak dağıtıcı	EVNA			-0,45	76,72	0,65	-0,10	0,23	-0,70	0,50
Rahatlatıcı	EVA	0,45	0,50	-1,04	102	0,30	-0,20	0,19	-0,70	0,30
-Rahatsız edici	EVNA			-1,04	78,93	0,30	-0,20	0,19	-0,71	0,31
Sağlıklı-Sağlıksız	EVA	1,36	0,25	-1,02	102	0,31	-0,22	0,21	-0,77	0,34
	EVNA			-0,98	71,87	0,33	-0,22	0,22	-0,80	0,37
Estetik-Estetik değil	EVA	3,79	0,05	-1,83	102	0,07	-0,39	0,21	-0,95	0,17
	EVNA			-1,71	63,54	0,09	-0,39	0,23	-1,00	0,22
Teşvik edici-	EVA	0,28	0,60	-0,13	102	0,90	-0,03	0,20	-0,55	0,50
Engelleyici	EVNA			-0,12	72,63	0,90	-0,03	0,21	-0,57	0,52

EVA: Eşit Varyans Dağılımı

EVNA: Eşit Olmayan Varyans Dağılımı

durma süremi kısaltır' (μ : 3,90, SD: 0,85) ve 'Derslikte bulunduğum/çalıştığım günlerde/sürelerde uyku düzenim bozuluyor' (μ : 3,45, SD: 1,07) sorularına ortalamanın üzerinde yanıtlar vererek derslik aydınlatmasını olumlu bulmadıklarını ifade etmişlerdir. Anlamsal farklılaşma ölçeğine verilen yanıtlarda da öğrenciler derslik aydınlatmasını yetersiz olarak değerlendirmiş, aydınlatmayı ferah olmayan, kasvetli ve rahatsız edici olarak nitelendirmişlerdir.

Derslikte çalışma düzleminde ve yazı tahtası üzerinde oluşan aydınlığın düzgün dağılımı değeri de Avrupa Standardında önerilen

değerin altındadır. Bu sonuca paralel şekilde öğrenciler anlamsal farklılaşma ölçeğine verilen yanıtlarda derslik aydınlatmasının düzgün yayılmışlığını 'nötr-0' çizgisinin altında negatif bölgede değerlendirmişlerdir.

- **Kamaşma:** DIALux Evo aydınlatma programında hesaplatılan kamaşma değerlerine göre, öğrencilerin göz seviyesinde oluşan kamaşma indisi değerleri, Avrupa Standardında dersliklerde önerilen minimum değer üzerindedir. Öğrencilerin yazı tahtasına bakış doğrultusunda doğrudan, yazı tahtası ve projeksiyon perdesi üzerinde ise dolaylı (yansımaya bağlı) kamaşma sorunu yaşadığı

görülmektedir. Ankette yer alan ‘Derslik aydınlatması gözlerimde kamaşma yaratır ve beni rahatsız eder’ sorusuna verilen yanıtlarda da öğrenciler kamaşma sorunu yaşadıkları ifade etmişlerdir (μ : 3,69, SD: 1,03).

- *Geçici Işık Modülasyonu ve Flicker Etkisi*: Derslikte kullanılan aydınlatma aygıtı için yapılan teknik ölçümlerde (%22 modülasyon, 100 Hz titreşim) gözle algılanamayan orta düzeyde geçici ışık modülasyonu ve flicker etkisinin olduğu görülmüştür [33]. Bu durumun insan sağlığını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Benzer şekilde öğrenciler ‘Derslik aydınlatması baş ağrısı vb. etki oluşturuyor ve sağlığını olumsuz etkiliyor’ (μ : 3,66, SD: 0,98) sorusuna verdikleri yanıtlarda aydınlatmanın kişisel sağlıklarını olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada bir üniversitenin, günışığı almayan ve doğrusal LED ışık kaynakları ile aydınlatılan dersliğindeki yapay aydınlatma koşulları çeşitli açılardan değerlendirilmiştir. Dersliklerdeki aydınlatma koşulları, yerinde yapılan teknik ölçümler ile aydınlatma tasarımına yönelik bilgisayar destekli simülasyonlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda; aydınlık düzeyi, aydınlığın düzgün dağılımı, ışık rengi, renksel geriverim indeksi, kamaşma ve geçici ışık modülasyonu gibi görsel konfor ve performansı etkileyen temel parametreler incelenmiştir. Bunun yanı sıra kullanıcıların, dersliğin aydınlatmasına yönelik izlenimleri, 13 soruluk anket ve 18 sıfat çifti içeren anlamsal farklılaşma ölçeği ile değerlendirilmiş ve bu anket sonuçları SPSS istatistiksel analiz programı ile analiz edilmiştir. Yapılan analiz ve değerlendirmelere göre aşağıda yer alan sonuçlara ulaşılmıştır:

- Derslik aydınlatmasının işleve ve görsel konfor koşullarına uygunluğu öğrenciler tarafından genelde olumsuz olarak değerlendirilmiştir.
- Çalışma düzleminde ölçülen ortalama 510 lx aydınlık düzeyi, EN 12464-1 Avrupa Standardında dersliklerde genel aktiviteler için sağlanması önerilen en az aydınlık düzeyini karşılamaktadır, yalnız tekni çizm yapılan dersliklerde sağlanması önerilen 750 lx en az aydınlık düzeyini karşılamamaktadır. Anlamsal farklılaşma ölçeğine göre alınan değerlendirme sonuçları da aydınlık düzeyi yeterliliğini sıfır çizgisinin biraz üstünde işaret etmektedir.
- DIALux Evo aydınlatma programından elde edilen verilere göre derslikte çalışma düzleminde aydınlığın düzgün yayılmışlık değeri standartta belirtilen değerin altındadır. Bu anlamda derslik içinde düzgün yayılmış bir aydınlığın bulunmadığı söylenebilir. Anlamsal farklılaşma ölçeğinden alınan verilere göre ise öğrenciler aydınlığın düzgün yayılmışlığını olumsuz olarak değerlendirmişlerdir.
- Anlamsal farklılaşma ölçeğine göre öğrenciler, derslikte kullanılan düzlemsel LED aydınlatma aygıtlarının 4249 K sıcaklığındaki ışığını soğuk olarak nitelendirmişlerdir. 4249 K ışık rengi literatürde ılık olarak değerlendirilmektedir. Derslik aydınlatmasında kullanılan aydınlatma aygıtının ışık renginin soğuk olarak değerlendirilmesi ışığın derslikte bulunan yüzeyler (duvar, döşeme, tavan, sıralar vb.) ile etkileşime girerek soğuklaşması şeklinde yorumlanabilir. Anket sonuçlarına göre, öğrenciler ışık rengini soğuk bulduklarını, beğenmediklerini ve derslikte daha sıcak renkli bir ışık rengini tercih edebileceklerini belirtmişlerdir. Bu sonuç ılık ışık renginin soğuk ışık rengine göre daha olumlu değerlendirildiği başka çalışma sonuçları ile uyumludur [43, 44]. Benzer şekilde Shamsul vd’nin [45] üniversitede derslik kullanıcıları üzerine yaptığı bir çalışmada, öğrenciler ılık ışık rengini soğuk ışık rengine göre daha fazla tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Yang ve Jeon’un [46] yaptığı başka bir çalışmada da üniversite öğrencileri derslikte, ılık ışık rengini sıcak ve soğuk ışık rengine oranla daha konforlu bulduklarını ifade etmişlerdir.

- Katılımcıların büyük çoğunluğu derslik aydınlatmasının gözlerinde kamaşma yarattığını ve bunun rahatsız edici olduğunu ifade etmişlerdir. DIALux Evo aydınlatma programı ile yapılan görselleştirmelerde derslikte çalışma düzlemi üzerinde oluşan kamaşma (R_{UGL}) değerlerinin 19-21 aralığında olduğu saptanmıştır. Yazı tahtası ve projeksiyon perdesi üzerinde ise oluşan kamaşma değeri (R_{UGL}) 24’tür. Çalışma düzlemi, yazı tahtası ve projeksiyon perdesi üzerinde görülen kamaşma değerleri standartta belirtilen kamaşma değerinin üzerindedir. Hem görselleştirmeden elde edilen değerler hem de katılımcıların anket sorularına verdikleri yanıtlara göre, derslikte kamaşma olduğu ve bu durumun görsel konfor koşullarını sağlamadığı görülmektedir. Bu sonuç, derslik aydınlatmasında kamaşma sorununun görsel konforu azalttığını belirten diğer çalışmalarla uyumludur [47]. Hacmin kullanıcıları arasında cinsiyete göre yapılan değerlendirmede, kadınların erkeklerle göre kamaşmadan daha fazla etkilendiği görülmektedir. Bu sonuç, kadınların kamaşmadan erkeklerle oranla daha fazla etkilendiğini ortaya koyan başka çalışmalarla örtüşmektedir [46].
- Anlamsal farklılaşma ölçeğine göre değerlendirme sonuçları, katılımcıların derslik aydınlatmasını hoş ve estetik bulmadıklarını, ayrıca aydınlatmayı huzursuz, sağlıksız, kasvetli ve sıkıcı bulduklarını ortaya koymuştur.
- Anket sonuçlarına göre katılımcıların büyük çoğunluğu derslik aydınlatmasının derslikte durma sürelerini kısalttığı ve performanslarını olumsuz yönde etkilediği yönünde görüş bildirmişlerdir. Bu sonuç, aydınlatmanın derslikte durma süresini ve performansı etkilediğini belirten başka çalışmalarla uyumludur [45].
- Derslikte bulunan LED aydınlatma aygıtlarındaki geçici ışık modülasyonu ölçümleri sonucunda, aydınlatma aygıtlarında %22 modülasyon ve 100 Hz titreşim salınımı olduğu görülmüştür. Literatürde %10’un üzerindeki modülasyon ve 80-200 Hz aralığındaki titreşimler olumsuz olarak nitelendirildiğinden, bu durumun derslikteki uzun süreli çalışmalarda görsel konforu ve sağlığı olumsuz etkileyebileceği öngörülmektedir. Benzer şekilde kullanıcılar yapılan ankete verdikleri yanıtlarda, derslik aydınlatmasının baş ağrısı vb. etkiler oluşturduğu ve sağlığı olumsuz etkilediği yönünde görüş bildirmişlerdir. Bu sonuç, geçici ışık modülasyonunun insan üzerindeki çeşitli olumsuz etkilerini ortaya koyan diğer çalışmalar ile paralellik göstermektedir [48, 49].
- Anket sonuçlarına göre öğrenciler derslikte bulunduğu/çalıştığı günlerde uyku düzenlerinin bozulduğu yönünde görüş bildirmişlerdir. Bu sonuç, gün içinde maruz kalınan aydınlık düzeyinin uyku düzeni üzerinde etkili olduğunu savunan başka çalışmalarla uyumludur [50]. Ayrıca geçici ışık modülasyonu uyku bozukluklarına da neden olabilmektedir [48].
- Derslikte bulunan LED ışık kaynaklarının 85 olan renksel geriverim indeksi standartlarda önerilen değeri sağladığından yeterlidir. Ancak daha yüksek bir renksel geriverim değeri olan bir ışık kaynağının kullanılması aydınlatmanın niteliğini arttıracaktır.
- Derslikte günışığı ve doğal havalandırma olmaması katılımcılar tarafından çok olumsuz olarak değerlendirilmiştir. Bu sonuç mekanda günışığı ve doğal havalandırma olmasının kullanıcıların konforunu ve üretkenliğini artırdığını savunan diğer çalışmalar ile uyumludur [51].

Derslikte yapılan teknik ölçümler, anket ve anlamsal farklılaşma ölçeğine göre, hacmin mevcut aydınlatması kullanıcılar tarafından fiziksel ve psikolojik etkiler açısından olumsuz olarak değerlendirilmiştir. Mevcut durumda günışığı almayan ve statik bir yapay aydınlatması olan bu derslikte, çalışma düzleminde ortalama aydınlık düzeyinin 1000 lx’e getirilmesi, otomasyon sistemi aracılığıyla veya manuel olarak ışık renginin birkaç farklı renge ayarlanabilmesi sirkadyen sistemi destekleyebilecek ve kullanıcıların konfor koşullarını arttırabilecektir. Günümüzde aydınlatma kontrol sistemleri ile aydınlık düzeyi ve/veya ışık rengi istenildiği gibi

ayarlanabilmektedir. Bu sistemlerin kullanımı gün içinde değişen aydınlık düzeyi ve ışık rengi gereksinimlerini karşılamanın yanı sıra enerji korunumu da sağlamaktadır [32]. Statik veya dinamik olarak kurgulanabilen bu sistemlerle, hacimde istenilen aydınlık kontrol paneli ile kumanda edilebilmektedir.

Günlüğü almayan ve statik yapay aydınlatma kullanılan dersliklerde aydınlatmanın nicelik ve nitelik açısından standartlara uygun olarak kullanıcı gereksinimlerini karşılaması çok önemlidir. Özellikle aydınlatmanın işleve bağlı olarak doğru planlanması, hacim kullanıcılarının duygudurumlarını etkilemekte, mutlu-mutsuz, verimli-verimsiz veya sağlıklı-sağlıksız hissetmelerine neden olmaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma, günlük olmayan derslik yapay aydınlatması için, sadece belirli bir aydınlık düzeyine ulaşmak, doğrusal ışık kaynaklarını bakış doğrultusuna dik yerleştirmek ve orta derecede bir ışık rengi seçmenin mekanda fiziksel ve psikolojik konfor koşullarını sağlamada yetersiz olduğunu göstermektedir. Dersliklerdeki aydınlatma tasarımında bu parametrelerin haricinde; standartta belirtilen aydınlık düzeyi değerlerinin sağlanması, ışık rengini seçerken hacmin işlevi, kullanıcı talepleri ve derslik yüzey renklerinin göz önünde tutulması, kamaşma olmaması için gerekli önlemlerin alınması, günlük olmadığı durumlarda bunu destekleyecek niceliksel ve niteliksel aydınlatmanın sağlanması ve ışık kaynaklarında geçici ışık modülasyonu oluşmamasına dikkat edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu ölçütler dikkate alınarak yapılan bir yaklaşım öğrencilerin fiziksel ve duyuşsal olarak daha iyi bir ortamda eğitim görmelerine katkı sağlayacaktır.

Kamaşmanın azaltılabilmesi için aydınlatma aygıtlarında difüzör malzemelerinin kullanılması, ışık yoğunluğu dağılım eğrilerini şekillendirmede ve parlamayı azaltmada önemli derecede rol oynamaktadır [52]. Aydınlatma aygıtının optik kontrol elemanları, prizmatik lensler ve kanatıklar ile panjurlama gibi çeşitli şekillerde tasarlanması da kamaşma sorunun çözülmesinde etkili olabilmektedir [53]. Bunun yanı sıra geçici ışık modülasyonu etkisinin önlenmesi için yüksek frekanslı darbe genişlik modülasyonu (PMW: *pulse width modulation*) sürücülü LED lambaların ve 'flicker-free' sertifikasına sahip ürünlerin kullanılması önerilebilir [33].

İnsanlar yüzyıllardır günlük ve onun dinamik devinimi ile bütünleşik olarak yaşamaktadır. Doğası gereği günlük ile yaşamını sürdürmeye meyilli olan insanların, günlük girmeyen veya bodrum katlarda yer alan hacimlerde çalışması, vakit geçirmesi ve belli işlevleri yerine getirmesi olumsuz etkiler yaratmakta, birçok anlamda konforsuzluk oluşturmaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalar bu tip mekanlarda dinamik veya statik yapay aydınlatma çözümleri ile bu olumsuz etkilerin azaltılabileceğini ortaya koymaktadır [8, 54, 55]. Bu anlamda bu gibi alanlarda günlük benzeyen dinamik aydınlatmanın veya ışık rengi ve aydınlık düzeyi değiştirilebilen statik aydınlatmanın kullanılması önerilmektedir. Bu konuda farklı dinamik ve statik aydınlatma modellerinin analiz edildiği ve önerildiği yeni çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Derslik aydınlatması ve aydınlatma aygıtları teknik ölçümlerinde verdiği destekten dolayı Lamp 83 firmasına teşekkür ederiz.

Kaynaklar (References)

1. Czeisler, C.A., Wright K.P., Influence of light on circadian rhythmicity in humans, *Regulation of Sleep and Circadian Rhythms*, 149–180, 1999.
2. Impact of Light on Human Beings. licht.wissen 19. https://www.licht.de/fileadmin/Publications/lichtwissen/1409_LW19_E_Impact-of-Light-on-Human-Beings_web.pdf. March 2014. Erişim tarihi Eylül 22, 2024.
3. Bao, J., Song, X., Li, Y., Bai, Y., Zhou, Q., Effect of lighting illuminance and colour temperature on mental workload in an office setting, *Scientific Reports*, 11, 15284, 2021.
4. Zhang, R., Campanella, C., Aristizabal, S., Jamrozik, A., Zhao, J., Porter, P., Ly, S., Bauer, B.A., Impacts of dynamic LED lighting on the well-being and experience of office occupants, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 7217, 2020.
5. Guide to Human Centric Lighting (HCL) for Design and Implementation. licht.wissen 21. https://en.licht.de/fileadmin/Publications/lichtwissen/1809_lw21_E_Guide_HCL_web.pdf. 2020. Erişim tarihi Ocak 2025.
6. Van Bommel, W.J.M., Van Den Beld, G.J., Lighting for work: A review of visual and biological effects, *Lighting Research and Technology*, 36 (4), 255-269, 2004.
7. Bellia, L., Diglio, F., Fragliasso, F., Office workers' performance and satisfaction with the luminous environment under standard and daylight mimicking LEDs, *Journal of Building Engineering*, 97, 110942, 2024.
8. Mogas-Recalde, J., Palau, R., Classroom lighting and its effect on student learning and performance: Towards smarter conditions, *Proceedings of the 5th International Conference on Smart Learning Ecosystems and Regional Development*, 3-12. 10 September 2020.
9. Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places, EN 12464-1. European Committee for Standardization. Brussels: CEN, 2021.
10. Tanner, C.K., Explaining relationships among student outcomes and the school's physical environment, *Journal of Advanced Academics*, 19 (3), 444-471, 2008.
11. Barkmann, C., Wessolowski, N., Schulte-Markwort, M., Applicability and efficacy of variable light in schools. *Physiology & Behavior*, 105 (3), 621–627, 2012.
12. Samani, S. A., The impact of indoor lighting on students' learning performance in learning environments: A knowledge internalization perspective University of Applied Sciences, *International Journal of Business and Social Science*, 3 (24), 127–136, 2012.
13. Küçük, S., Aydınlatma ve ışığın insan yaşam ve sağlığı üzerindeki etkileri, *Journal of Medical Sciences* 2023, 4 (3) 95-102, 2023.
14. Mott, M.S., Robinson, D.H., Walden, A., Burnette, J., Rutherford, A.S., Illuminating the effects of dynamic lighting on student learning, *Sage Open*, 2 (2), 1-9, 2012.
15. Bayram, İ., Akboğa Kale, Ö., Baradan, S., Eğitim binalarının aydınlatma performansı açısından değerlendirilmesi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 11 (2), 783-798, 2020.
16. Keis, O., Helbig, H., Streb, J., Hille, K., Influence of blue-enriched classroom lighting on students' cognitive performance, *Trends in Neuroscience and Education*, 3 (3-4), 86-92, 2014.
17. Zhou, A., Pan, Y., Effects of indoor lighting environments on paper reading efficiency and brain fatigue: an experimental study, *Frontiers in Built Environment*, 9, 1303028, 2023.
18. Quiles-Rodríguez, J., Palau, R., Effects of colored lighting on learning processes: Towards a smart classroom, *Journal of Technology and Science Education*, 14 (2), 484–506, 2024.
19. Rajae-Joordens, R.J.E., Hanique, I., The Effect of Colored Light on Arousal and Valence in Participants Primed with Colored Emotional Pictures, *Sensing Emotions Philips Research Book Series*, Springer Netherlands, 65-84, 2010.
20. Kombeiz, O., Steidle, A., Facilitation of creative performance by using blue and red accent lighting in work and learning areas, *Ergonomics*, 61 (3), 456–463, 2018.
21. Schreiber, M.E., Lighting alternatives: Considerations for child care centers, *Young Children*, 51 (4), 11-13, 1996.
22. Rittner, H., Robbin, M., Color and light in learning, *School Planning & Management*, 41(2), 57–58, 60-61, 2002.
23. Woolner, P., Hall, E., Higgins, S.E., McCaughey, C., Wall, K., A sound foundation? What we know about the impact of environments on learning and the implications for Building Schools for the Future, *Oxford Review of Education*, 33 (1), 47–70, 2007.
24. International Commission on Illumination, ILV: International Lighting Vocabulary, CIE S 017:2020, <https://cie.co.at/cilvterm/17-22-092>. Erişim tarihi: Şubat 20, 2025.
25. Jaén, M., Sandoval, J., Colombo, E., Troscianko, T., Office workers' visual performance and temporal modulation of fluorescent lighting, *LEUKOS The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America*, 1 (4), 27–46, 2005.

26. Winterbottom, M., Wilkins, A.J., Lighting and discomfort in the classroom, *Journal of Environmental Psychology* 29 (1), 63-75, 2009.
27. Wilkins, A.J., Nimmo-Smith, I., Slater, A.I., Bedocs, L., Fluorescent lighting, headaches and eyestrain, *Lighting Research & Technology*, 21 (1), 11-18, 1989.
28. Osgood, C.E., Suci, G.J., Tannenbaum P.H., *The Measurement of Meaning*, University of Illinois Press, Illinois, 1957.
29. Castilla, N., Llinares, C., Bisegna, F., Blanca-Giménez, V., Affective evaluation of the luminous environment in university classrooms, *Journal of Environmental Psychology*, 58, 52-62, 2018.
30. Yıldırım, K., Hidayetoglu, M.L., Capanoğlu, A., Effects of interior colors on mood and preference: Comparisons of two living rooms, *Perceptual and Motor Skills*, 112 (2), 509-524, 2011.
31. Kaya, N., Weber, J.M., Cross-cultural differences in the perception of crowding and privacy regulation: American and Turkish students, *Journal of Environmental Psychology*, 23 (3), 301-309, 2003.
32. Kaplan, E., Bürolarda ışığın görsel ve görsel olmayan etkilerini dikkate alan aydınlatma tasarımına yönelik bir yaklaşım, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2022.
33. IEEE Recommended practices for modulating current in high-brightness LEDs for mitigating health risks to viewers, *IEEE Standard* 1789-2015.
34. U.S. Department of Energy. Practice Energy Efficiency&Renewable Energy. Flicker: Understanding the New IEEE Recommended Practice. https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-11/ssl-miller-lehman_flicker_lightfair2015.pdf. Yayın tarihi Mayıs, 2015. Erişim tarihi Eylül 18, 2024.
35. LED Professional. Flicker: Standards and Test Methods. <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/flicker-standards-and-test-methods>. Erişim tarihi Kasım 6, 2024.
36. Acuity Brands. Flicker Performance in LED Lighting. <https://insights.acuitybrands.com/eldoled-blog/article-flicker-performance-in-led-lighting>. Erişim tarihi Mart 15, 2024.
37. Cortina, J.M., What is coefficient alpha? An examination of theory and applications, *Journal of Applied Psychology*, 78 (1), 98, 1993.
38. Tavakol, M., Dennick, R., Making sense of Cronbach's alpha, *International Journal of Medical Education*, 2, 53, 2011.
39. Taber, K.S., The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education, *Research in Science Education*, 48, 1273-1296, 2018.
40. George, D. Mallery, M., *SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference*, Boston by Allyn & Bacon, Boston, 2010.
41. Viola, A.U., James, L.M., Schlangen, L.J.M., Dijk, D.J., Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality, *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, 34 (4), 297-306, 2008.
42. Mills, P.R., Tomkins, S.C., Schlangen, L.J.M., The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance, *Journal of Circadian Rhythms*, 5 (2), 2007.
43. Baniya, R.R., Tetri, E., Halonen, L., A study of preferred illuminance and correlated colour temperture for LED Office lighting, *Light and Engineering*, 23 (3), 39-47, 2015.
44. Bao, J., Song, X., Li, Y., Bai, Y., Zhou, Q., Effect of lighting illuminance and colour temperture on mental workload in an office setting, *Scientific Reports*, 11, 15284, 2021.
45. Shamsul, B.M.T., Sia, C.C., Ng, Y.G., Karmegan, K., Effects of light's colour temperatures on visual comfort level, task performances, and alertness among students, *American Journal of Public Health Research*, 1 (7), 2013.
46. Yang, W., Jeon, J.Y., Effects of correlated colour temperature of LED light on visual sensation, perception, and cognitive performance in a classroom lighting environment, *Sustainability*, 12, 4051, 2020.
47. Giang, D.T., Duong, P.H., Optimizing classroom lighting: Balancing illuminance uniformity and glare control with Led technology, *VNU Journal of Science: Mathematics - Physics*, 40 (3), 2024.
48. Yavuz, C., Aksoy Tırmıkçı, C., Fotometrik flicker olayının insana etkileri ve bunların tıbbi olmayan tespit yöntemleri, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 9 (1), 223-228, 2021.
49. Wilkins, A., Veitch, J., Lehman, B., LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update, *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, 171-178, September 2010.
50. Figueiro, M.G., Steverson, B., Heerwagen, J., Kampschroer, K., Hunter, C.M., Gonzales, K., Plitnick, B., Rea, M.S., The impact of daytime light exposures on sleep and mood in office workers, *Sleep Health*, 3 (3), 204-215, 2017.
51. Gregg, D.A., Whole building design guide - windows and glazing. <http://www.wbdg.org/resources/windows.php>, 2008.
52. Sanchez-Cano, A., Blasco-Yachemet, L., Orduna-Hospital, E., Aporta, J., Integrative lighting design for educational spaces: Linking spatial distribution and spectral strategies for visual and non-visual control, *Buildings*, 15 (11), 1779, 2025.
53. Ulsan, N., Fitöz, İ., Eğitim yapılarında enerji etkin aydınlatma: İstanbul Kağıthane Anadolu Lisesi örneği, *Tasarım + Kuram Dergisi*, 13 (24), 138-147, 2017.
54. Nieto-Vallejo, A.E., Camacho, J.E., Cuervo-Pulido, R., Hernandez-Mihajlovic, E., Dynamic lighting system to increase the attention of design students in the classroom, *Revista Facultad de Ingeniería*, 30 (55), 2021.
55. Slegers, P.J.C., Moolenaar, N.M., Galetzka, M., Pruyn, P., Sarroukh, B.E., Van der Zande, B., Lighting affects students' concentration positively: Findings from three Dutch studies, *Lighting Research & Technology*, 45 (2), 2012.