



## A method for determining and improving the visual comfort change in strengthened buildings: educational building-the example of classroom

Ahmet Bircan Atmaca\*<sup>ID</sup>, Fatma Zoroğlu Çağlar<sup>ID</sup>, Fatma Rengin Ünver<sup>ID</sup>, Gülay Zorer Gedik<sup>ID</sup>

Yıldız Technical University, Department of Architecture, 34349, Istanbul, Turkey

### Highlights:

- A method proposal to determine the effect of the changes in the strengthened buildings on the visual conditions
- Examining the visual comfort conditions of an educational building with the proposed method
- The importance of structural system design in the efficient use of spaces in terms of visual comfort

### Keywords:

- Strengthened buildings
- Natural lighting
- Artificial lighting
- Educational buildings
- Classroom

### Article Info:

Research Article  
Received: 01.12.2020  
Accepted: 14.11.2021

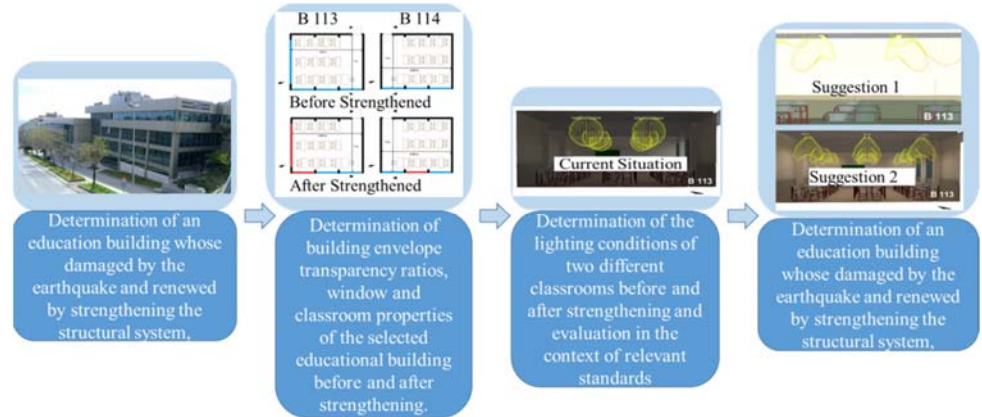
### DOI:

10.17341/gazimmfd.834601

### Correspondence:

Author: Bircan Atmaca  
e-mail:  
abatmaca@yildiz.edu.tr  
phone: +90 212 383 2623

### Graphical/Tabular Abstract



**Figure A.** Examination steps of the visual comfort changes of the strengthened educational building

**Purpose:** The aim of the study can be summarized as proposing a method for determining and improving the visual comfort in buildings damaged by an earthquake and renewed by reinforced the structural system, and in this context, determining the changes in the visual comfort conditions building whose structural system has been strengthened and making some suggestions for improvement.

### Theory and Methods:

In line with this aim, according to the proposed method for the strengthened buildings, the lighting conditions (natural, artificial, integrated) in the before and after of classrooms, which are assumed to be typical of an existing education building, were examined and evaluated in the context of relevant standards, and some improvement designs were offered.

### Results:

The findings revealed that although the lighting conditions were more favorable before retrofitting the examined building, it was generally not sufficient in terms of the standards in before and after cases, and new designs should be created for required conditions. As a result of the study, it has been determined that more attention to the lighting technique and the effects of natural and artificial lighting in the interiors will be more positive in terms of energy efficiency, using natural resources, and creating appropriate indoor conditions for visual comfort.

### Conclusion:

of the spaces and especially the visual comfort. The issue to be considered is that while the inevitable strengthening changes are made, it is necessary to produce solutions that do not compromise the comfort conditions of the users. The methods proposed in the study and the examination methods and suggestions used specifically for the classrooms will contribute to the creation of suitable conditions for visual comfort and energy efficiency in the spaces in the retrofitted buildings.



## Güçlendirme yapılan binalarda görsel konfor değişiminin saptanması ve iyileştirilmesi için bir yöntem: eğitim binası-derslik örneği

Ahmet Bircan Atmaca\*<sup>ID</sup>, Fatma Zoroğlu Çağlar<sup>ID</sup>, Fatma Rengin Ünver<sup>ID</sup>, Gülay Zorer Gedik<sup>ID</sup>

Mimarlık Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 34349, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Güçlendirme yapılan yapılarıdaki değişikliklerin görsel koşullara etkisinin belirlenmesi için yöntem önerisi
- Önerilen yöntem ile eğitim yapısının görsel konfor koşullarının incelenmesi
- Görsel konfor açısından hacimlerin verimli kullanılmasında taşıyıcı sistem tasarımının önemi

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 01.12.2020

Kabul: 14.11.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.834601

### Anahtar Kelimeler:

Güçlendirilmiş bina,  
doğal aydınlatma,  
yapay aydınlatma,  
eğitim yapısı,  
derslik

### ÖZ

Işık, ses, ısı vb. fizik ortam öğelerine yönelik konfor koşullarının, hacimlerin işlevi ve kullanıcı özellikleri bağlamında, gereği gibi düzenlenmesinin kullanıcı performansı, sağlığı ve mekândaki enerji tüketiminin azaltılması gibi konularda olumlu katkı sağladığı bilinen bir gerçektir. Söz konusu düzenlemeler, gerek yeni yapılacak yapıların tasarımı gerekse mevcut yapıların yenileme çalışmaları sırasında gerçekleştirilmelidir. Mevcut yapılarıdaki yenileme işlemlerinden biri de, depremde hasar gören taşıyıcı sisteminin güçlendirilerek, binanın tekrar hizmete kazandırılmasıdır. Çalışmanın amacı, depremde hasar gören ve taşıyıcı sistemi güçlendirilerek yenilenen yapılarıda, görsel konfor değişiminin saptanması ve iyileştirilmesi için bir yöntem önerisi oluşturulması ve bu yöntem doğrultusunda taşıyıcı sistemi güçlendirilen bir binanın mekânlarındaki görsel konfor koşullarındaki değişimin belirlenmesi, iyileştirme önerilerinin yapılması olarak özetlenebilir. Belirtilen hedef doğrultusunda, önce öneri yöntemine uygun olarak mevcut bir eğitim binasının tipik olduğu varsayılan dersliklerindeki, yapının güçlendirme öncesi ve sonrasındaki aydınlatma koşulları incelenmiş ve ilgili standartlar bağlamında değerlendirilmiş ardından iyileştirme tasarımları yapılmıştır. Değerlendirme bulguları, incelenen yapıda güçlendirme öncesi aydınlatma koşulları daha olumlu olmasına karşın, her iki durumda da standartlardaki ölçütleri sağlama açısından, genelde yeterli olmadığını ortaya koymuş olup, gerekli koşulları sağlayacak yeni tasarımlar yapılmıştır. Böylece, çalışmada önerilen yöntem ve derslikler özelinde kullanılan inceleme yöntemleri ve öneriler, güçlendirme yapılan binalardaki mekânlarda görsel konfor için uygun koşullarının oluşmasına, enerji etkinliğinin sağlanmasına katkıda bulunacaktır.

## A method for determining and improving the visual comfort change in strengthened buildings: educational building-the example of classroom

### H I G H L I G H T S

- A method proposal to determine the effect of the changes in the strengthened buildings on the visual conditions
- Examining the visual comfort conditions of an educational building with the proposed method
- The importance of structural system design in the efficient use of spaces in terms of visual comfort

### Article Info

Research Article

Received: 01.12.2020

Accepted: 14.11.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.834601

### Keywords:

Strengthened buildings,  
natural lighting,  
artificial lighting,  
educational buildings,  
classrooms

### ABSTRACT

It is a known fact that the arrangements of the comfort conditions for physical environment elements light, sound, heat, etc. in the context of the function of the spaces and occupants characteristics contributes positively to the issues such as occupant's performance, health, and reduction of energy consumption. These arrangements should be realized both during the design of new buildings and renovation existing structures. One of the renovation procedures in an existing building is to restore the building back into service by strengthening the structural system damaged in the earthquake. The aim of the study can be summarized as proposing a method for determining and improving the visual comfort in buildings damaged by earthquake and renewed by strengthened the structural system, and in this context, determining the changes in the visual comfort conditions building whose structural system has been strengthened, and making some improvement suggestions. In line with this aim, in accordance with the proposed method, the lighting conditions of the building before and after the reinforcement in the classrooms, which are assumed to be typical of an existing education building, were examined and evaluated in the context of relevant standards, and then some improvement designs were made. The findings revealed that although the natural lighting conditions were more favorable before reinforcement in the examined building, it was generally not sufficient in terms of the standards in both cases, and new designs were made to meet the necessary conditions. Thus, the methods proposed in the study and the examination methods and suggestions used specifically for the classrooms will contribute to the creation of suitable conditions for visual comfort and energy efficiency in the spaces in the strengthened buildings.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir mekândaki fizik ortam öğeleri (ışık, ses, ısı vb.) yapılan eylemleri dolayısıyla kullanıcının verimi, hoşnutluğu, sağlığı gibi öznel konuların yanı sıra mekândaki yapay enerji kullanımını da doğrudan etkiler. Bu öğelerden biri olan ışık öğesi için yapılacak aydınlatmalar, mekân işlevi ve kullanıcı özelliklerine göre gerekli görsel konfor koşullarını sağlayacak ve yapay aydınlatma enerjisi kullanımı en az düzey olacak biçimde kurgulanmalıdır [1]. Literatürde ofis, derslik, hastane, konut vb. işlevli yapıların mekânlarındaki görsel konfor koşullarının incelendiği çalışmalar bulunmaktadır [2-4]. Ayrıca yönlenmeye bağlı olarak günışığının aydınlatma enerjisi tüketimine olan etkisinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda yapılmıştır [5].

Mevcut yapıların yenileme çalışmaları genelde yapının eskimesi, yıpranması, taşıyıcı sisteminin güçlendirme gerektirmesi, işlevinin değişmesi, güncel mimariye uygunluk sağlanması isteği vb. amaçlarla yapılmaktadır. Bunlardan taşıyıcı sisteminin güçlendirme durumu, günümüzde aktif olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Örneğin, son olarak 2020 yılındaki İzmir depreminde de can kayıpları olmuş, kimi binalar yıkılmış, kimileri ise ayakta kalmakla birlikte hasar görmüştür. Hasarlı binalardan hizmete devam edebileceği belirlenenleri için taşıyıcı sistemin depreme karşı güçlendirme işlemlerinin yapılması da ülkemizde 2007 yılından bu yana yasal açıdan zorunlu hale gelmiş olup bu işlemler genelde kolon ve kiriş dayanıklılığının artırılması, yeni kolonların değişik yerlere konumlandırılması ve yapı kabuğuna eklenmesi gibi örneklenebilir [6, 7].

Depremlerden hasar görerek taşıyıcı sistemi güçlendirmeye gerek duyulan yapı tipolojilerinden biri de eğitim binalarıdır. Milli Eğitim Bakanlığı'nın 2020 verilerine göre, ülke nüfusunun yaklaşık %21'inin etkin olarak kullandığı okul sayısı 68 bin 589 adettir [8]. Bu yapıların yaklaşık %50'si, 25 yaşın üzerinde olup 25-30 yıl öncesinin mimari yaklaşım, yapı standartları ve deprem yönetmeliklerine göre oluşturulmuştur [9]. Bu nedenle, birçok eğitim yapısı depremden etkilenebilmekte ve deprem sonrasında hizmet vermeye devam edebilmesi için güçlendirme işlemi yapılması zorunlu hale gelmektedir. Eğitim yapıları güçlendirme çalışmaları kurgulanırken, mekânların fizik ortam konfor koşullarını etkileme durumları da dikkate alınmalıdır. Fizik ortam öğelerinden ışıkla ilgili aydınlatma alanında yapılan araştırmalar, doğru tasarlanmış doğal aydınlığın öğrencilerin dersteki performansını ve problem çözme becerileri üzerinde önemli derecede olumlu etkisi olduğunu göstermiştir [10-12].

Literatürde, doğal ve yapay ışık kaynaklarının dersliklerde oluşturduğu görsel konfor koşullarını (aydınlık düzeyi ve/ya da kamaşma) değerlendirmeye yönelik farklı yöntemlerle yapılan çalışmalar bulunmaktadır [13-15]. Ayrıca mevcut konfor durumunun belirlenmesine yönelik günışığı aydınlığı

ve kamaşma değerleri için indis önerisinde bulunan çalışmalar da bulunmaktadır [16]. Yenilenen eğitim binalarını içeren alan çalışmaları da literatürde bulunmaktadır. Bunlar, genellikle binalardaki günışığı ve yapay enerji tüketimine yönelik olup doğal aydınlatma sistemi (pencere) özelliklerinin değiştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır [17-19]. Eğitim binalarının yenilenmesine ilişkin yapay aydınlatma çalışmaları ise enerji tüketiminin değerlendirilmesine yönelik olup günışığı ya da bütünsel aydınlatma durumu kapsam dışında bırakılmıştır [20-22].

Bu çalışmada, depremde hasar gören ve taşıyıcı sistemi güçlendirilen yapılardaki yenileme ve değişikliklerin güçlendirilerek yenilenmesi gereken yapılarda yapılan değişikliklerin fizik ortam öğelerinden ışığın oluşturduğu görsel koşullara etkisinin belirlenmesine yönelik bir yöntem önerisi oluşturulmuştur. Bu yöntemin bir eğitim yapısının kimi derslikleri üzerinden örneklendirilerek, güçlendirme öncesi (eski) ile güçlendirme sonrasındaki (yeni) değişimlerin saptanması ve yeni aydınlatma koşullarının iyileştirilmesi için tasarım önerilerinin yapılması hedeflenmiştir. Önerilen yöntem güçlendirme yapılan binalara uygulanacak özgün bir yaklaşım içermektedir. Söz konusu yöntemin basamakları bu çalışmada eğitim yapısı- derslik örneği üzerinde uygulanmıştır. Ancak, çalışmanın yöntemi diğer bina tiplerine uygulanabilecek özgünlüktedir. Bu makale kapsamında uygulanan yöntem, ele alınan eğitim yapısı ve derslikleri özelinde yapılan görsel konfor incelemeleri, geliştirilen yapay aydınlatma tasarımı önerileri ile güçlendirme yapılan binalardaki mekânlarda görsel konfor için uygun koşulların oluşturulmasına, enerji etkinliğinin sağlanmasına yol göstererek katkıda bulunacaktır. Çalışma, bina taşıyıcı sistem güçlendirme işlemleri planlanırken mekânların işlevlerine ilişkin aydınlatma koşullarının da yeniden kurgulanması gerektiği konusuna dikkat çekmektedir.

## 2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ (METHOD OF THE STUDY)

Bu çalışmanın amacı, bina taşıyıcı sistemini depreme karşı güçlendirmek için yapılan yenileme ve değişikliklerin mekânlardaki fizik ortam öğelerinden ışığın oluşturduğu görsel koşullara etkisinin belirlenmesine ilişkin bir yöntem önerisi oluşturmaktır. Bu öneri yöntemin uygulaması olarak, bir örnek bina tipolojisi mekânları üzerinde güçlendirme öncesi (eski) duruma göre güçlendirme sonrası (yeni) değişimlerin tanımlanması ve aydınlatma koşullarının iyileştirilmesine ilişkin kimi çözümlerin üretilmesi biçiminde sıralanabilir.

Yukarıda verilen amaçları gerçekleştirebilmek için önerilen ve çalışmada izlenen yöntemin adımları,

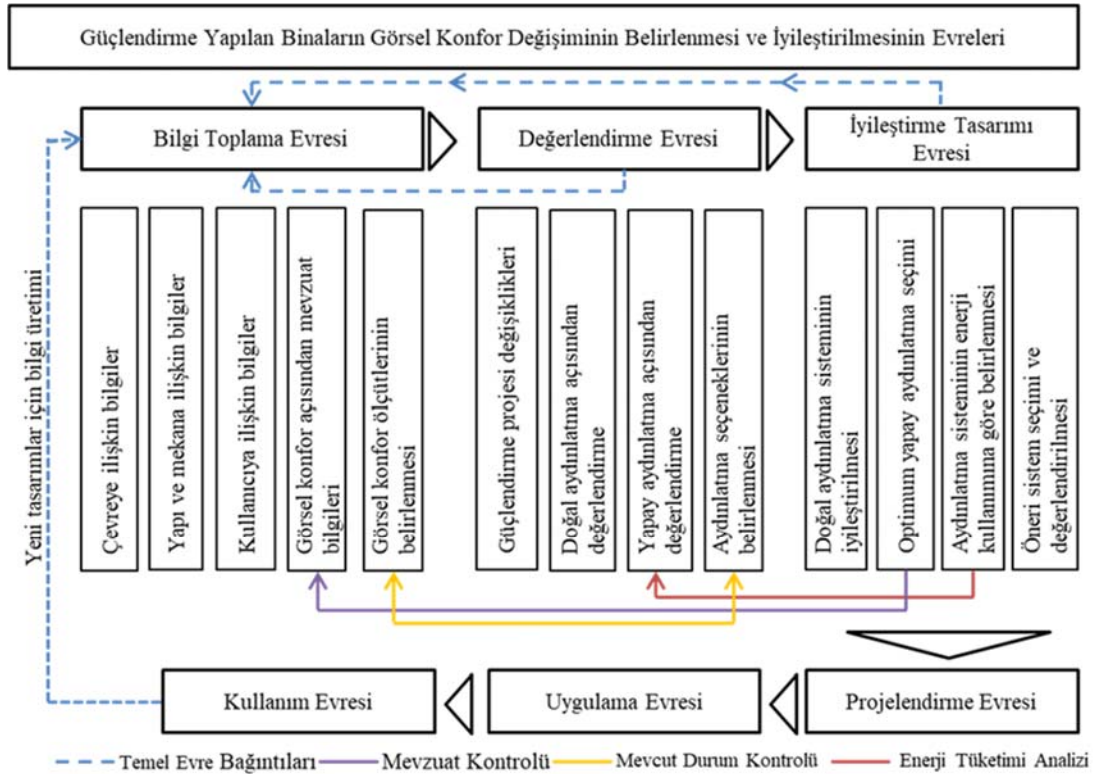
- Bilgi toplama adımı,
  - Yapının yer aldığı çevreye ilişkin bilgilerin (gök koşulu, arazi vb.) belirlenmesi,
  - Yapı ve mekânlara ilişkin bilgilerin (işlev, yön, yüzey malzeme özellikleri vb.) saptanması,

- Kullanıcıya ilişkin bilgilerin (yaş, eylem türü, kullanım saatleri vb.) toplanması,
  - Görsel konfora yönelik mevzuatlardaki (standart, yönetmelik vb.) parametre ve ölçütlerle ilişkin bilgilerin belirlenmesi,
  - Çevre, yapı, mekân, kullanıcı ve mevzuat bilgileri aracılığı ile sağlanması gereken görsel konfor koşullarının kesinleştirilmesi,
- b. Değerlendirme ve öneri tasarım adımı,
- Güçlendirme projesi bağlamında yapılan değişikliklerin görsel konfor ölçütleri açısından doğal, yapay aydınlatma sisteminin oluşturduğu koşullarına etkisinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi,
  - Değerlendirme sonuçlarına göre, güçlendirme değişikliklerinin olumsuzluklara yol açması durumunda doğal ve yapay aydınlatma sisteminde yapılacak iyileştirme tasarımı önerilerinin oluşturulması,
  - İyileştirme önerilerinin enerji kullanımı açısından da değerlendirmesi ve uygulanacak sisteme karar verilmesi olarak özetlenebilir.

Temel özellikleri yukarıda sıralanan yöntem aracılığı ile çalışmada ele alınan eğitim yapısı tipolojisinin kimi derslikleri özelinde kullanılan inceleme yöntemleri ve öneriler, güçlendirme yapılan binalardaki mekânlarda görsel konfor için uygun koşulların oluşmasına, enerji etkinliğinin sağlanmasına katkıda bulunacak ve yardımcı olacaktır. Şekil 1'de güçlendirme yapılan binaların görsel konfor değişiminin belirlenmesi ve iyileştirilmesine ilişkin yöntem içindeki evreler gösterilmiştir. Çalışmada, örnek yapı

tipolojisi olarak eğitim yapısı seçilmiştir. Çünkü eğitim ve öğretim gelecek nesilleri, dünyayı ve insanlığı daha iyi yerlere taşıyacak bir sistem olup, bunun gerçekleştirildiği yapılar, kullanıcıların barınma gereksiniminin yanı sıra eğitimde çağın gerektirdiği öğrenme olanaklarıyla, çağdaş bir toplum kültürünün oluşturulmasını da sağlar [23]. Okuma, yazma gibi görsel eylemlerin ağırlıkta olduğu mekânlarda, diğer algılama türleri içinde en büyük paya sahip olan görsel algılamaya yönelik gerekli konfor koşullarının sağlanması büyük önem taşımaktadır [24]. Söz konusu koşullar sağlanmadığında öğrencilerde algılama yanlışlıkları, dikkat dağınıklığı, çabuk yorulma, baş ağrısı, sık hastalanma gibi fizyolojik ve psikolojik rahatsızlıklar görülebilmektedir [25- 27].

Millî Eğitim Bakanlığı'nın en son 2015 yılında yayımladığı Eğitim Yapılarında Asgari Tasarım Standartları Kılavuzu'nda belirtildiği üzere bir eğitim yapısı derslik, laboratuvar, konferans salonu, yönetici odaları, öğretmen odaları, sirkülasyon alanları, ıslak hacimler gibi pek çok değişik işleve sahip mekânlardan oluşur [28]. Her mekânın işlevi doğrultusunda gerçekleşen eylemler için sağlanması gereken görsel konfor koşulları da değişkenlik gösterir [4, 28, 29]. Çalışma kapsamında yöntemin uygulama örneği olarak, mevcut bir eğitim yapısındaki derslik mekânları ele alınmıştır. Bugün için ülkemizde doğal aydınlatma ve yapay aydınlatmaya yönelik görsel konfor ölçütleri ve sağlanması gereken ölçüt değerlerine ilişkin iki standart kullanılmaktadır.



**Şekil 1.** Güçlendirme yapılan binalarda görsel konfor değişiminin belirlenmesi ve iyileştirilmesi yönteminin evreleri (Stages of improving and determining the visual comfort change of strengthened buildings)

Doğal aydınlatma için “TS EN 17037:2019 Binalarda Günışığı” standardındaki ölçütler ve değerleri, hacim işlevi ve kullanıcı özellikleri konusunda bir belirleme yapılmadan,

- Günışığı aydınlığının sağlanması (hacim içinde önerilen en az, orta ve yüksek ortalama aydınlık düzeyleri sırasıyla  $\geq 300$  lx,  $\geq 500$  lx ve  $\geq 750$  lx olarak belirlenmiştir. Hedeflenmiş aydınlık düzeyinin yıl boyunca gündüz saatlerinin  $> 50$  sinde,  $\geq 300$  lx olması koşulunda, ortalama aydınlık düzeyi çalışma düzleminin  $\%50$ 'sinde en az 300 lx,  $\%95$ 'inde ise en az 100 lx olmalıdır),
- Dış görüş (kullanıcı konumuna göre (oturan 1,20 m, ayakta 1,70 m yükseklikte) pencereden gördüğü dış ortam görüntüsü 3 katman (gök, doğal ya da yapay manzara, zemin) üzerinden, en az, orta, yüksek olmak üzere derecelendirilerek değerlendirilmektedir. Ayrıca, hacim derinliğinin 4 m'den fazla olması durumunda pencerelerin genişlik ve yüksekliği en az 1 m x 1,25 m olmalıdır).
- Güneşlenme (1 Şubat-21 Mart tarihleri arası herhangi bir gün döşemeden 1,20 m yükseklikte, planda pencere düzleminin orta noktasına gelen dolaysız güneş ışığı süresi en az 1,5 saat olmalıdır),
- Kamaşmadan korunma (göz hizasındaki düşey aydınlık düzeyini ve kamaşma yaratan ışıklılığı yüksek kaynakları dikkate alarak, rahatsız olan kişilerin oranını değerlendiren, günışığı kamaşma olasılığı/DGP ölçütüne bağlı olarak kamaşma değeri minimum 0,45, orta 0,40, yüksek 0,35 olarak verilmiştir. Bu değerlerinin, en fazla  $\% 5$ 'inde aşılmasına izin verilmektedir) olarak dört başlık altında verilmiştir [29].

Yapay aydınlatma için “TS EN 12464-1:2011 Işık ve Aydınlatma-Çalışma Yerlerinin Aydınlatılması-Bölüm 1: Kapalı Çalışma Yerleri” standardındaki ölçütler ve değerleri hacim işlevine bağlı olarak verilmiş olup derslik işlevine yönelik olarak,

- Aydınlık düzeyi (sıra üzerindeki ortalama yatay aydınlık düzeyi ( $E_m$ )  $\geq 300$  lx),
- Aydınlightın düzgün yayılmışlığı (sıra üzerindeki  $U_0$ )  $\geq 0,6$ ),
- Kamaşma (kullanıcı konumuna göre kamaşma (UGR) için  $19 \geq$ ),
- Işık rengi (renksel geriverim indisi ( $R_a$ )  $\geq 80$ ) olmak üzere dört başlık altında verilmektedir.

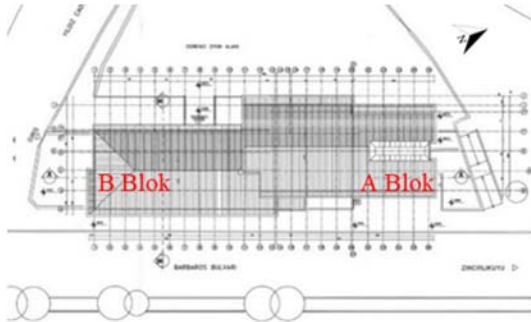
Ayrıca iç yüzey malzeme ve donatıların ışık özelliklerine ilişkin gerekli bilgilere de ulaşılabilmektedir [30].

Çalışma kapsamında önerilen yöntemin uygulanması için ele alınan eğitim yapısı ve dersliklerin özellikleri, kamu kuruluşları ve okul yöneticilerinden alınan bilgiler ile makale yazarları tarafından yerinde yapılan belirleme ve ölçmelerden elde edilmiştir. Yapının ele alınan dersliklerinin güçlendirme öncesi ve sonrası durumlarındaki doğal, yapay ve bütünsel aydınlatma düzenlerinin oluşturduğu görsel koşullar Dialux 4.13 aydınlatma simülasyon programı, günışığı kamaşma durumu ise Grasshopper/HoneyBee-Radiance programı ile belirlenmiştir.

### 3. EĞİTİM YAPISI VE DERSLİKLERİN ÖZELLİKLERİ (PROPERTIES OF EDUCATIONAL BUILDING AND CLASSROOMS)

Çalışmada İstanbul İli, Beşiktaş İlçesi, Barbaros Bulvarı'nda yer alan, halen “Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi” adıyla kullanılan ve 1992 yılında yapılan binanın taşıyıcı sistemi, 1999' da yaşanan Kocaeli depreminin ardından 2008 yılında güçlendirilmiştir [31]. İstanbul Beşiktaş Belediyesi'nden elde edilen proje bilgilerine göre, lise binası A ve B olarak adlandırılan, birbirine yaslanarak kaydırılmış iki bloktan oluşmaktadır. Bunların en, boy ve yükseklikleri sırasıyla A Blok için 19 x 34 x 18 m, B Blok için 17 x 29 x 14 m'dir. A blok, arazideki kot farkı nedeniyle yarım bodrum kat ile birlikte beş, B blok biri bodrum kat olmak üzere dört katlıdır. Binada yirmi altı derslik ile laboratuvar, konferans salonu, yemekhane, öğretmenler odası vb. değişik işlevli mekânlar bulunmaktadır. Günümüzde 534 öğrenci, hafta içi 08.15-15.20 saatleri arasında eğitim görmektedir [31]. Lise binasının güncel konumu ve cephe görseli Şekil 2'de sunulmuştur.

2008 yılında yapılan güçlendirme çalışmalarında yapı kabuğu başta olmak üzere binanın çeşitli yerlerine ek perde kolonlar yerleştirilmiş ve yapı kabuğu alüminyum doğramalı giydirmeye cam cephe olarak yenilenmiştir. Yapı kabuğuna eklenen perde kolonlar nedeniyle dersliklerdeki pencere sayısı, dolayısıyla mekânların saydamlık oranları değişmiştir. Derslikler binanın ağırlıklı olarak caddeye bakan Güneydoğu yönünde (16 adet) yer almaktadır.

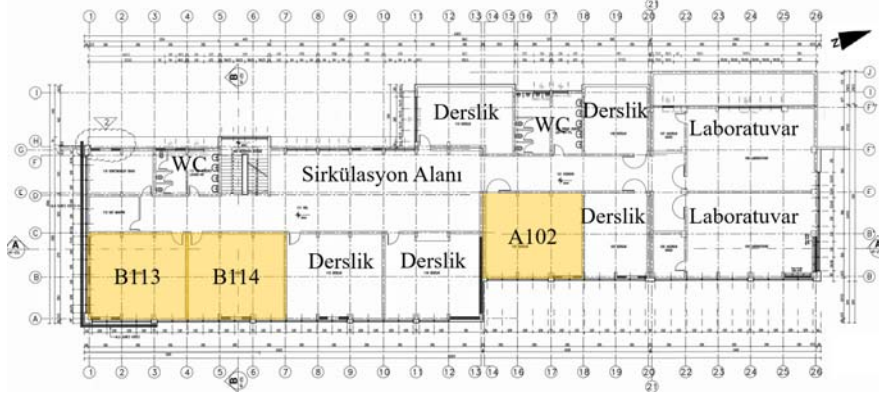


Şekil 2. Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi'nin vaziyet planı ve Barbaros Bulvarı'ndan görünüşü  
(The site plan of Sakıp Sabancı Anatolian High School and its view from Barbaros Boulevard) [32]

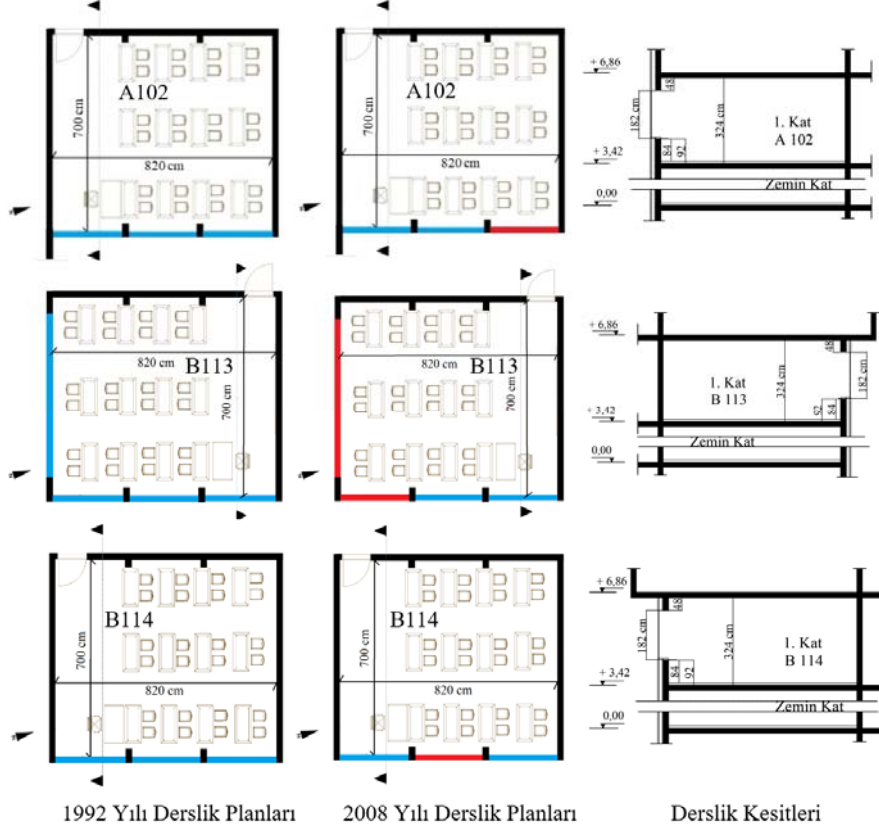
Çalışmada önerilen yöntemin uygulanması adına, bina katlarını temsil etmesi amacıyla 1. Kat, derslik mekânlarını örneklemek amacıyla Güneydoğu'ya yönelmiş biri köşede (B113), diğerleri ortada (B114, A102) konumlanmış üç mekân ele alınmıştır. Dersliklerin eni 7 m boyu 8,20 m ve yüksekliği 3,44 m'dir. Şekil 3'te dersliklerin 1. kat planı üzerindeki konumları ve Şekil 4' te tefrişli plan ile kesitleri, Şekil 5'te güncel iç mekân görüntüleri gösterilmiştir.

İncelenen dersliklerin 1992 ve 2008 yıllarındaki mekânsal, doğal ve yapay aydınlatma sistemlerinin temel özelliklerine

ilişkin bilgiler, İstanbul Beşiktaş Belediyesi ve Okul Yönetimi'nden elde edilmiştir. Ayrıca yerinde Haziran 2020'de yapılan belirlenmeler, 1992 ve 2008 yılındaki bilgiler ile örtüşmektedir. Haziran 2020 yılında gerçekleştirilen belirlenmelere göre dersliklerin döşeme kaplaması linolyum, duvarlar ve tavan çimento sıva üstü plastik boyalıdır. Pencereleerde ısıcam kullanılmıştır. Hacim iç yüzey ve donatılarının ışık yansıtma çarpanları Minolta Spectrophotometre CM-2600d ile ölçülmüştür. Söz konusu değerler, TS EN 12464-1 ve TS EN 17037 standartlarında belirtilen yansıtma çarpanı değerleri ile genelde uyumlu olup



**Şekil 3.** Lise binası 1. kat planı ve dersliklerin konumu  
(The 1st floor plan of the high school building and the location of the classrooms) [32]



**Şekil 4.** Dersliklerin tefrişli planları ve eklenen taşıyıcı (kırmızı renkli) konumları  
(Plans of classrooms with furnished and locations of added carrier)

Tablo 1’de sunulmuştur. Yapı dışı engellerin ve yol üzerindeki asfaltın ışık yansıtma çarpanları sırasıyla %50 ve %7 olarak alınmıştır.

A102, B113 ve B114 numaralı dersliklerdeki doğal ve yapay aydınlatma sistemlerinin özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

*Doğal aydınlatma sistemi:* Şekil 4’te görüleceği üzere 1992 yılında B113 Numaralı köşe hacimde Güneydoğu’ya yönelik 3 adet, Güneybatı’ya yönelik 1 adet, A102 ve B114 Numaralı dersliklerde ise Güneydoğu’ya yönelik 3 adet pencere bulunmaktadır. Ancak, güçlendirme yapılan 2008 yılında ise B113 Numaralı köşe derslikte Güneybatı’ya yönelik pencere tamamen kapatılmış ve Güneydoğu’ya yönelik sadece 2 adet pencere kalmıştır. A102 ve B114 Numaralı dersliklerde Güneydoğu’ya yönelik 3 pencereden biri kapatılmış olup halen 2 adet pencere bulunmaktadır. Bir başka anlatımla, 2008 yılındaki güçlendirmeler sırasında yapı kabuğuna eklenen perde kolonlar nedeniyle her üç derslikte de pencere sayıları değişmiş ve saydımlık oranları azalmıştır. Halen pencerelerde 6+16+6 mm’lik çift tabakalı Saint Gobain

temperli ısıcam kullanılmaktadır. Parapet yüksekliği 1 m olan dersliklerdeki pencerelerin yön, boyut, saydımlık oranı, doğrama ve cam özellikleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Güncel durumda dersliklerde günışığı açısından en yakın dış engeller Güneydoğu yönünde 10 m ve 30 m uzaklıkta bulunan yüksekliği 5 m ile 15 m arasında değişen ağaçlardır. Güneybatı yönündeki engel ise 33 m uzaklıkta ve 20 m yüksekliktedir. Yapıya mesafeleri ve yükseklikleri nedeniyle bu engeller mevcut durumda Güneydoğu cephesinde saydam alanları bulunan derslikler için görsel konfor koşulları açısından engel teşkil etmemektedir. 1992 ve 2008 yıllarındaki dış engel bilgilerine ulaşılammıştır.

*Yapay aydınlatma sistemi:* Binanın yapım yılı olan 1992 ve güçlendirme sonrası 2008 yıllarındaki derslik yapay aydınlatma sisteminin kesin özelliklerine ulaşılammıştır. Ancak, 2008 yılında yapılan yapay aydınlatma sisteminin bir benzerinin halen güncel olarak (2020) kullanılmakta olduğu bilgisi edinilmiştir. Yerinde yapılan güncel belirlemelerde, dersliklerde öğrencilerin bakış doğrultusuna dik bir şekilde

**Tablo 1.** Derslik yüzey ve donatılarının ışık yansıtma çarpanları (Light reflectances of classroom surfaces and furniture)

Derslik No	Yüzeylerin Işık Yansıtma Çarpanı						
	Tavan	Duvar (alt bölüm)	Duvar (üst bölüm)	Döşeme	Kapı	Yazı Tahtası	Masa-Sandalye
A102 / B113 / B114	%85	%40	%65	%40	%60	%12-%75	%50
TS EN 12464-1:2011	%70-%90	%50-%80	%50-%80	%20-%40	%20-%70	%20-%70	%20-%70
TS EN 17037:2019	%70-%90	%50-%80	%50-%80	%20-%40	-	-	-



**Şekil 5.** Dersliklerin mevcut iç mekân görünüşleri (B113: a, B114: b) (Current interior views of the classrooms (B113: a, B114: b))

**Tablo 2.** Derslik pencerelerinin güçlendirme öncesi (1992) ve sonrası (2008) özellikleri (Properties of windows before (1992) and after (2008) reinforcement)

Derslik No	Yıl	Yön	Adet	Boyut (w/h; m)	Saydımlık oranı	Doğrama malzemesi	Pencere cam malzemesi	Cam ışık geçirme çarpanı
B113	1992	Güneydoğu	3	2,55x1,8	%46,90	-	-	-
	1992	Güneybatı	1	5,62x1,8	%60,25	-	-	-
	2008	Güneydoğu	2	2,55x1,8	%31,6	Alüminyum	İki tabakalı (6+16+6)	%38
A102 / B114	1992	Güneydoğu	3	2,55x1,8	%46,90	-	-	-
	2008	Güneydoğu	2	2,55x1,8	%31,62	Alüminyum	İki tabakalı (6+16+6)	%38

konumlandırılmış 2x36W flüoresan lambalı dolaysız aydınlatma biçimine sahip opal yayıncılı toplam 6 adet aygıt bulunduğu saptanmıştır. Aygıtların konum ve teknik özellikleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

### 5. DERSLİKLERİN DOĞAL AYDINLATMA KOŞULLARI VE DEĞERLENDİRMESİ (NATURAL LIGHTING CONDITIONS OF CLASSROOMS AND ASSESSMENT)

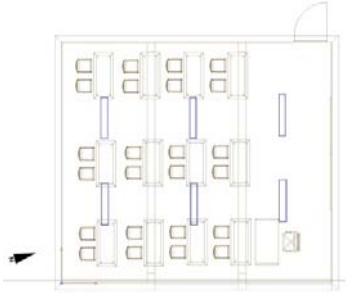
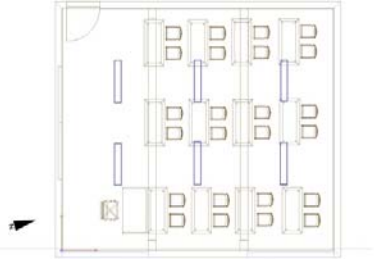

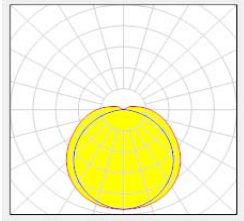
Çalışmada ele alınan dersliklerin doğal aydınlatma koşullarının incelenmesi için, 4. Bölümde belirtilen, 1992 ve 2008 yıllarındaki mimari proje verileri ve 2020 yılında yapılan ölçme ve belirleme bulguları dikkate alınmıştır. Sağlanması gereken doğal aydınlatma koşulları için "TS EN 17037:2019 Binalarda Güneşli" standardındaki güneşli aydınlığın sağlanması, dış görüş, güneşlenme ve kamaşmadan korunma ölçütleri bağlamında inceleme yapılmıştır.

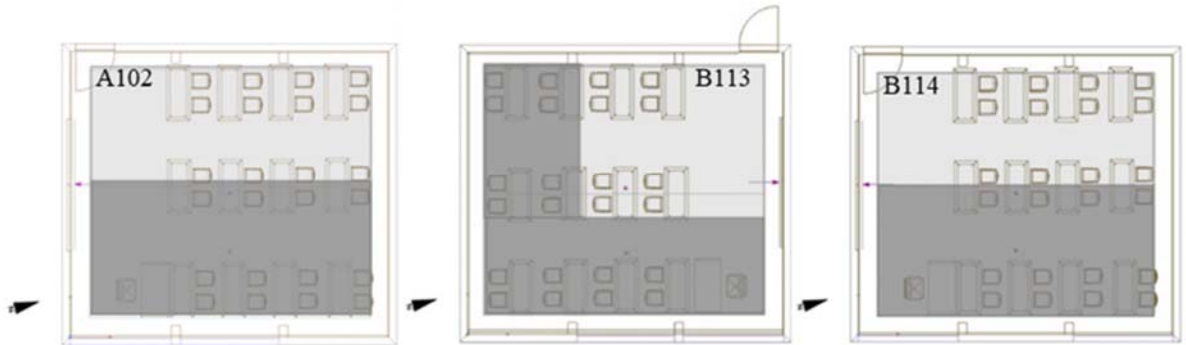
#### 5.1. Güneşli Aydınlığın Sağlanması (Daylight Provision)

Dersliklerde güneşli aydınlığın sağlanması ölçütü için TS EN 17037:2019 Binalarda Güneşli standardında belirtilen "hedeflenmiş aydınlık düzeyinin  $\geq 300$  lx olması koşulunda, ortalama aydınlık düzeyi çalışma düzleminin %50'sinde en az 300 lx, %95'inde ise en az 100 lx olmalıdır" durumu kabul edilmiştir. Bu bağlamda, A102, B113 ve B114 numaralı dersliklerin güçlendirme öncesi (1992) ve güçlendirme sonrası (2008) pencere özellikleri dikkate alınarak, yılın değişik ay, gün ve saatlerinde sıralar üzerinde oluşan ortalama yatay güneşli aydınlık düzeyi değerleri Dialux Aydınlatma 4.13 simülasyon programı ile hesaplanmıştır. Şekil 6'da hesaplamalarda kullanılan %50 ve %95'lik çalışma düzlemi dağılımı gösterilmektedir.

Kutlu Güvenkaya ve Yılmaz'ın çalışmalarına dayanarak, hesaplamalar için 15 Aralık, 15 Mart ve 15 Haziran günleri ile derslik kullanım saatleri dikkate alınarak 9, 11, 12, 13 ve

**Tablo 3.** Derslik güncel (2020) aygıt yerleşim planı ve özellikleri (Lamp layout and lamp features of current situation)

Derslik No	B113	A102 / B114
Tavan Planı		
Aygıt Özellikleri	<p>Aygıt Teknik Özellikleri LUXIONA Troll - METEOR LUX OPAL Lamba: Flüoresan, 2X36W T8 840. Lamba Işık akısı: 3015 lm Işık rengi: Ra&gt;80; 4000K Geriverim: %67 Aygıt adedi: 6 Boyut: 1,255 x 0,2 x 0,071m</p>	
	Aydınlatma Aygıtı Görseli	Aygıt Işık Yeğinlik Diyagramı
		



**Şekil 6.** Çalışma Düzleminin Dağılımı (■%50, ■%95) (Working Place)



15 saatleri örnek olarak belirlenmiştir [33, 34]. Seçilen gün ve saatlerdeki gök durumları için Yılmaz tarafından Perez berraklık indisi yöntemi ile oluşturulan sınıflandırmadan yararlanılmıştır [34]. Tablo 4'te hesap sonuçları, 15 Aralık, 15 Mart ve 15 Haziran günlerindeki 9, 11, 12, 13 ve 15 saatleri için ortalama değerler olarak gösterilmiş ve 9, 12 ve 15 saatleri için örneklenmiş olup standarda uygun olmayan durumlar sarı renk ile belirtilmiştir.

Tablo 4'te verilen hesap sonuçları incelendiğinde, güçlendirme öncesi (1992) ve sonrası durumlarda (2008) dersliklerdeki günışığı aydınlık düzeylerinin Mart ve Haziran aylarında genellikle standarda uygun olduğu görülmektedir. Ancak, Aralık ayında, 1992 ve 2008 durumlarda hacimlerin hem %50'si hem de %95'indeki çalışma alanlarında gerekli günışığı aydınlık düzeyi büyük oranda sağlanamamıştır. Bununla birlikte, ele alınan günlerdeki, günlük ortalama günışığı aydınlık düzeyi sonuçları, her üç hacimde de saydamlık oranının azalması nedeniyle çalışma alanının %50'inde ve %95'inde güçlendirme öncesi (eski) durumdaki günışığı aydınlık düzeyinin, güçlendirme sonrası (yeni) göre çok daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bir başka anlatımla, güçlendirme öncesi durumda, güçlendirme sonrası duruma göre çalışma alanlarının ortalama aydınlık düzeyleri, A102 ve B114 numaralı dersliklerde yaklaşık %30-60, B113 numaralı köşe derslikte ise yaklaşık %125-150 kadar daha yüksektir. Bu durum her üç hacimde de saydamlık oranının azalmasına bağlıdır.

### 5.2. Dış Görüş (View Out)

TS EN 17037:2019 Binalarda Günışığı standardında dış ortamla görsel bağlantı kurulması ölçütü, kullanıcının oturması ( $h=1,20$  m) ya da ayakta ( $h=1,70$  m) olması durumunda pencereden gördüğü dış ortam görüntüsü katmanlarına (gök, doğal ya da yapay manzara/landscape, zemin) göre derecelendirilerek değerlendirilmektedir. Ayrıca, hacim derinliğinin 4 m'den fazla olması durumunda, pencerelerin genişlik ve yüksekliği en az  $1\text{ m} \times 1,25$  m

olmalıdır. Şekil 4'te verilen tefrişli planlarından görüleceği gibi derslik pencereleri konumları gereği, temelde öğrenci ve öğretmenin görme alanının sınırlı bir bölümünde yer almaktadır. Ayrıca, dersliklerde hedef, ders konusuna yoğunlaşmak, dikkati toplamaktır. Kullanıcıların dış ortamla doğrudan bağlantı kurması ders sırasında gerekli/zorunlu değildir. Derslikler için alışılmış olan bu durum, günışığı standardındaki dış ortam ile görsel bağlantının kurulması ölçütünün değerlendirmesinin yapılması yönünden anlamlı değildir. Ancak çalışmada, kullanıcıların bakış doğrultularını pencereye doğru çevirmeleri durumu dikkate alınarak dış görüş değerlendirmesi de yapılmış ve buna yönelik bilgiler aşağıda verilmiştir. A102, B113 ve B114 dersliklerinin güçlendirme sonrası (2008) küçülen saydamlık oranına rağmen, pencerelerin genişlik ve yükseklikleri TS EN 17037 standardında belirtilen minimum boyutlardan daha büyüktür. TS EN 17037 standardında dış ortamla görsel bağlantının kurulması yatay görüş açısı, dış görüş mesafesi ve kullanım alanının %75 inden görünen dış ortam katmanlarına bağlı olarak minimum orta ve yüksek olarak değerlendirilmiştir. Şekil 7'de dersliklerin pencere genişliğine bağlı yatay görüş açısı ve dış ortamla görsel bağlantı kesiti yer almaktadır. Oturan öğrenciler için pencere genişliğine bağlı yatay görüş açısı ortalaması Şekil 7'de verildiği gibi TS EN 17037 standardında verilen orta dereceyi ( $(20^\circ+37^\circ):2 = 28,5^\circ \geq 28^\circ$ 'yi) sağlamaktadır. İncelenen dersliklerin önünde dış ortam katmanlarının görünmesine engel oluşturacak herhangi bir yapay ve/ya da doğal eleman bulunmamaktadır. Bununla birlikte incelenen A102 dersliğinde Güneydoğu yönünde yaklaşık 12 m yüksekliğinde olan ağacın engel mesafesi 10m'dir. B113 ve B114 dersliklerinin Güneydoğu yönünde yaklaşık 5 m ile 15 m arasında yüksekliği olan ağaçların engel mesafesi 30 m'dir ve bu mesafeye göre TS EN 17037 standardında dış görüş mesafesi için verilen minimum derece ( $\geq 20$  m) A102 dersliğinde, orta derece ( $\geq 20$  m) B113 ve B114 dersliklerinde, sağlanmaktadır. Gökyüzü ve manzara (yapay ve doğal) katmanları kullanılan alanın en az %75'inden görülmektedir (Şekil 7) ve TS EN 17037 standardına göre orta derece sağlanmaktadır.

**Tablo 4.** Dersliklerin günışığı aydınlık düzeyi hesap sonuçları ve sağlanması gereken değerler (SO: Saydamlık oranı; Em: Aydınlık düzeyi  $\text{lm/m}^2$ ) (Daylight illumination level calculation results and values to be provided (SO: Transparency ratio; Em: Illumination level))

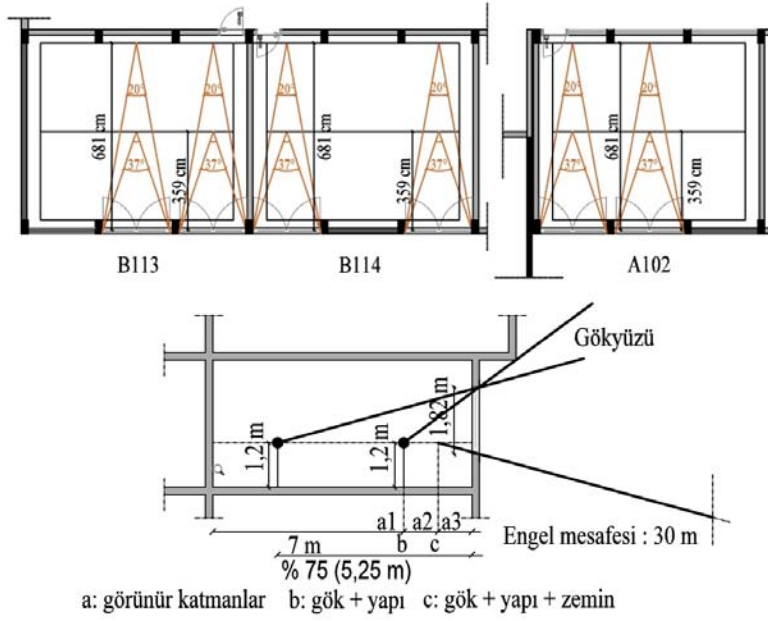
Tarih/ Saat	A102		B113				B114						
	1992 (SO: %46,90)		2008 (SO: %31,62)		1992 (SO: %46,90)		2008 (SO: %31,62)		1992 (SO: %46,90)		2008 (SO: %31,62)		
	50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%	
Günışığı Ortalama Yatay Aydınlik Düzeyi, Em (lx)													
15 Aralık	9	65	43	44	29	123	94	56	34	72	47	46	30
	12	117	77	80	52	223	171	102	61	131	85	83	54
	15	64	42	43	28	121	93	55	33	71	46	45	30
Ortalama		82	54	55,6	36,3	178	136,4	81	48,8	104	67,6	66,4	43,6
15 Mart	9	497	335	331	222	784	599	437	274	573	383	364	244
	12	429	288	287	192	1091	911	403	248	542	357	346	230
	15	185	125	125	84	664	541	170	105	227	151	146	98
Ortalama		370	249	247	166	938,8	766,2	365,4	226	488	322	311	207
15 Haziran	9	729	486	484	320	898	709	619	384	785	519	498	331
	12	360	239	245	161	666	522	317	193	416	271	266	175
	15	201	135	138	92	645	527	178	110	236	156	153	101
Ortalama		430	286	289	191	735,4	578,4	367,8	225,8	476	312	304	200

### 5.3. Güneşlenme (Exposure to Sunlight)

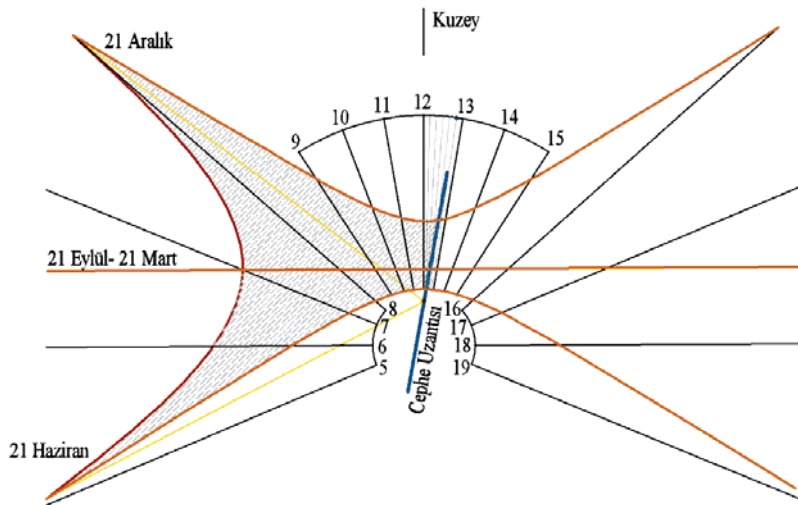
TS EN 17037 standardında mekânların dolaysız güneş ışığına maruziyeti (güneşlenme süresi) ile ilgili 1 Şubat ve 21 Mart tarihleri arasındaki herhangi bir gün için en az (1,5 saat), orta (3 saat) ve yüksek (4 saat) olmak üzere üç ayrı derecelendirme verilmiş olup güneşlenme süresinin bilgisayar programları ya da manuel yöntemlerle hesaplanabileceği belirtilmiştir. Çalışmada dersliklerin güçlendirme öncesi ve sonrası güneşlenme süresinin hesaplanmasında “gölge eğrileri yöntemi” nden yararlanılmıştır. İstanbul’da  $41^{\circ}03'02.3''$  enlemi  $29^{\circ}00'29.3''$  boylamında yer alan A102, B113 ve B114 numaralı dersliklerin pencereleri Güneyden  $10^{\circ}$  Doğu’ya yönelik

olup, yapı çevresinde gölge oluşturacak yükseklikte herhangi bir engel bulunmamaktadır. B113 ve B114’ nolu derslikler yıl boyunca gün doğumundan saat 12.00’ dan sonra değişen saatlere kadar (yaklaşık 21 Aralık 12.40’a ve 21 Haziran 12.14’e), yani yılın her günü 4 saatten fazla dolaysız güneş ışığı almaktadır. A102’ nolu derslik, önde olan B blok nedeniyle diğer dersliklere göre daha az günışığı almaktadır.

Ancak bu derslik yapılan incelemeler sonucunda belirtilen tarihlerde en az 3 saat dolaysız günışığı almaktadır. Dersliklerin dolaysız güneş ışığını kesintisiz aldığı gün ve saatler Şekil 8’ de gri tarama ile belirtilmiştir. Bir başka anlatımla, dersliklerin güneşlenme süresi, ilgili standarda göre orta ve yüksek olarak değerlendirilebilir.



**Şekil 7.** Dersliklerin pencere genişliğine bağlı yatay görüş açısı ve dış ortam ile görsel bağlantısının gösterimi  
(Horizontal sight angle depending on the window width of the classrooms and visual connection of classrooms with the external environment)



**Şekil 8.** Gölge eğrileri yöntemine göre  $41^{\circ}$  Enlemi için dersliklerin güneşlenme süresi  
(Sunlight duration of classrooms for latitude  $41^{\circ}$  according to the method of shadow curves)

#### 5.4. Kamaşmadan Korunma (Protection from Glare)

Konumunu ve bakış yönünü değiştiremeyen ve okuma yazma işlevinde bulunan kullanıcılar için kamaşmadan korunma, Günişliği Kamaşma Olasılığı (Daylight Glare Probability-DGP) hesaplanarak belirlenir. TS EN 17037 standardında DGP sınır değerleri, alanın kullanım saatlerinin % 5'in den fazlasında aşılması durumu için kategorize edilmiştir. Mekânda birden fazla kullanıcı olması durumunda, pencereye en yakın konuma göre kamaşma hesaplamalarının yapılması önerilmiştir. Pencereye en yakın konumda bulunan 4 öğrencinin tahtaya göre ve öğretmenin sınıfa göre kamaşma durumu 15 Aralık, 15 Mart ve 15 Haziran (saat 9.00-12.00-15.00) tarihleri için hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında, dersliklerde DGP değerlerinin hesaplanması için TS EN 17037 standardında verilen formülleri kullanan ve 'evalglare' yöntemine göre hesaplama yapan Grasshopper/HoneyBee- Radiance programı kullanılmıştır [35, 36]. Hesaplamalar Güneydoğu cephesinde pencereye en yakın konumda oturan dört öğrenci ve öğretmen için yapılmıştır.

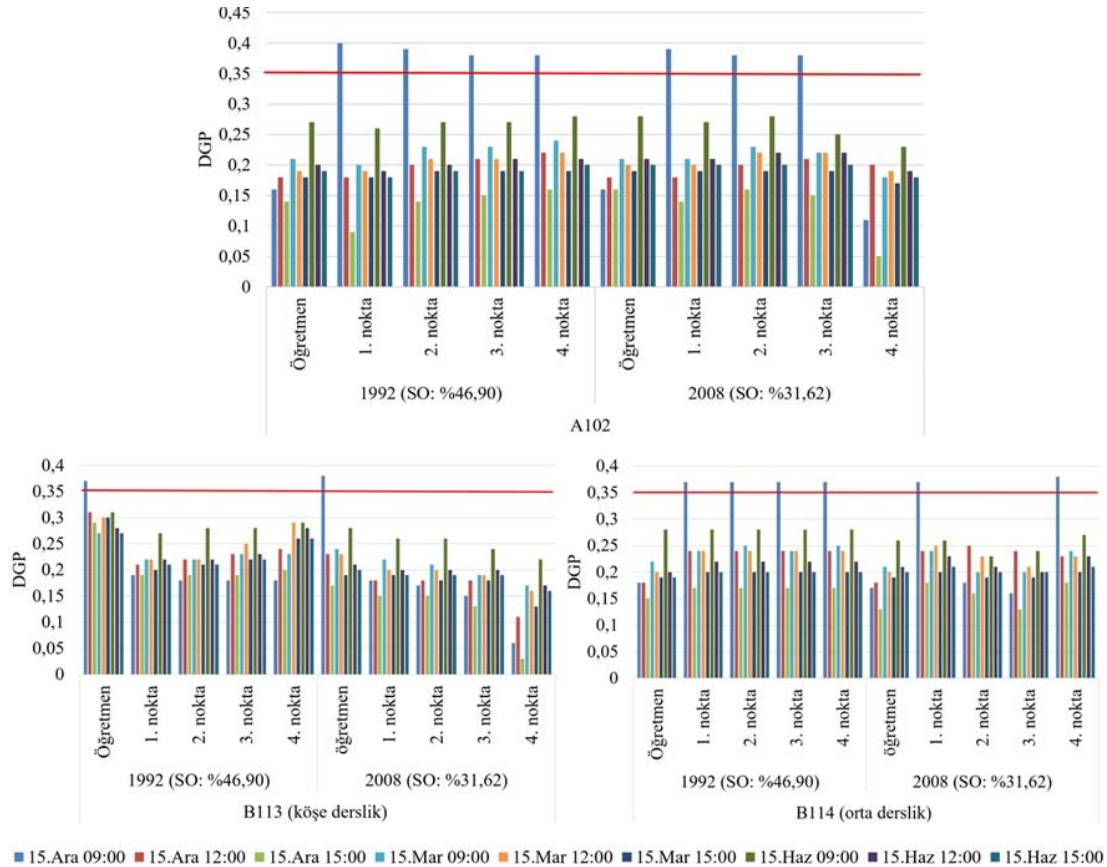
Şekil 9'da verilen hesaplama sonuçları çoğunlukla, standartta 'kamaşmanın çoğunlukla algılanmadığı' sınır olarak verilen 0,35 DGP değerinden küçük olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra tüm sonuçlar 0,40 DGP değerinden küçük olup, gerekli koşullar sağlanmaktadır. Öte

yandan, dersliklerin güçlendirme öncesi ve sonrasındaki durumlar için DGP değerleri arasında belirgin ayrımlar görülmemiştir. Ancak, güçlendirme öncesi ve sonrası durumlar arasındaki farklar B 113 dersliğinde A102 ve B 114' e göre daha çöktür.

#### 5.5. Dersliklerin Doğal Aydınlatma Koşullarının Değerlendirilmesi

(Assessment of Natural Lighting Conditions of Classrooms)

Çalışmada ele alınan dersliklerin "TS EN 17037:2019 Binalarda Günişliği" standardına göre doğal aydınlatma koşullarının inceleme sonuçları, güçlendirme öncesi (1992) ve sonrası (2008) durumlarında dış görüş, güneşlenme ve kamaşma ölçütleri açısından büyük bir farkın ve olumsuzluğun olmadığını göstermektedir. Ancak, günişliği aydınlığının sağlanması ölçütü açısından, güçlendirme öncesindeki değerler genelde güçlendirme sonrası değerler göre çok daha yüksektir. Bununla birlikte, her iki durumda da (1992 ve 2008) dersliklerde, özellikle kış aylarında yeterli günişliği aydınlık düzeyinin sağlanmadığı belirlenmiştir. Bu olgu, dersliklerde günişliği aydınlığının yapay aydınlatma ile desteklenmesi, yani hem günişliğinin hem de lamba ışığının birlikte kullanıldığı bütünleşik aydınlatma ile gerekli koşulların sağlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Belirlenen bu durum doğrultusunda, dersliklerin güçlendirme öncesi ve sonrası bütünleşik aydınlatma



Şekil 9. Güçlendirme öncesi ve sonrası durumlarında dersliklerde DGP değerleri (DGP values of classrooms before and after reinforcement)

koşullarının, günışığı aydınlığının sağlanması ölçütü açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

## 6. DERSLİKLERİN BÜTÜNLEŞİK AYDINLATMA KOŞULLARI VE DEĞERLENDİRMESİ (INTEGRATED LIGHTING CONDITIONS OF CLASSROOMS AND ASSESSMENT)

Bölüm 4'te belirtildiği üzere, dersliklerde güçlendirme öncesi (1992), sonrası (2008) ve güncel (2020) durumda yapay aydınlatma düzeninin benzerlik gösterdiği ve aygıtların tavadaki konumlarının aynı olduğu bilgisi edinilmiştir. Güncel durumda tavana belli aralıklarla yerleştirilmiş 2x36W flüoresan lambalı dolaysız aydınlatma biçimine sahip opal yayıcılı, bakış doğrultusuna dik toplam 6 adet aydınlatma aygıtı bulunmaktadır. Güçlendirme öncesi (1992) ve sonrası (2008) durumlarındaki saydamlık oranı değişiminin bütünlük aydınlık düzeyine etkisini inceleyebilmek için Tablo 3'te verilen 2020 güncel yapay aydınlatma düzenindeki aygıt konum, doğrultu ve sayıları dikkate alınarak iç yüzey, donatı, pencere ve doğrama özellikleri değiştirilmeden doğal ışık bakımından Bölüm 5.1 de verilen yılın üç tipik günündeki kimi saatler bağlamında hesaplamalar yapılmıştır.

Bütünlük aydınlatma için aydınlık düzeyleri (Em) ve aydınlığın düzgünlüğüne (Uo) ilişkin Dialux Aydınlatma Simülasyon programı sonuçları ile TS EN 17037:2019 ve TS EN 12464-1:2011 standartlarındaki sağlanması gereken değerler Tablo 5'te verilmiştir. TS EN 17037:2019 Binalarda Günışığı standardına göre aydınlık düzeyinin  $\geq 300$  lx olması koşulunda, ortalama aydınlık düzeyi çalışma düzleminin %50'sinde en az 300 lx, %95'inde ise en az 100 lx olmalıdır. TS EN 12464-1: 2011 Standardına göre dersliklerde sıra üzeri ortalama aydınlık düzey en az 300 lx, aydınlığın düzgünlüğü en az 0,6 olmalıdır. Standartlara uygun olmayan durumlar Tablo 5'te sarı renk ile belirtilmiştir.

Tablo 5'te görüleceği üzere, Aralık ayında güçlendirme öncesi (eski) ve sonrası (yeni) durumlarda bütünlük aydınlatma koşulları, her üç derslikte de standartlarda verilen değerlere ulaşmamaktadır. Mart ve Haziran aylarında ise güçlendirme öncesi (eski) sonuçlar daha olumludur. Örneğin, ortalama aydınlık düzeyleri, eski durumda yeni duruma göre A102 ve B114 numaralı dersliklerde yaklaşık % 35-50, B113 numaralı köşe derslikte ise yaklaşık % 95-135 kadar daha yüksektir. Ayrıca, aydınlığın düzgünlüğü için TS EN 12464-1:2011 Standardında verilen değerlerde hiçbir durumda sağlanamamaktadır. Bu olgu, dersliklerde standartlarda verilen görsel konfor koşullarının sağlanması açısından doğal aydınlatma sistemi olan pencerelerin boyut, konum, doğrama ve cam özelliklerinde değişiklik yapılamayacağı varsayıldığında yapay aydınlatma sisteminin tekrar kurgulanarak, bütünlük aydınlatma tasarımının yapılması gerektiği sonucunu göstermektedir.

## 7. BÜTÜNLEŞİK AYDINLATMA İÇİN YAPAY AYDINLATMA DÜZENİ ÖNERİLERİ (RECOMMENDATIONS OF ARTIFICIAL LIGHTING SYSTEM)

Bütünlük aydınlatma ile gerekli görsel konfor koşullarının oluşturulabilmesi açısından 6. Bölümde yapılan açıklamalar, güçlendirme sırasında (2008) yapı kabuğuna yerleştirilen perde kolonların saydamlık oranını küçültmesinin yol açtığı günışığı aydınlığındaki azalmanın giderilmesi ve gerekli koşulların sağlanmasının, ancak yapay aydınlatma sisteminde iyileştirme yapılmasının, yani yeniden tasarlanmasının zorunlu olduğu anlamına gelmektedir.

Çalışmada, güçlendirme sonrası (2008) pencere ve iç yüzey yansıtma çarpanı özellikleri değiştirilmeden, yalnızca yapay aydınlatma sistemindeki aygıt özellikleri değiştirilerek, bütünlük aydınlatma bakımından sağlanabilecek iyileştirmelere örnek olabilmeleri için Tablo 6'da özellikleri verilen iki farklı aygıtın kullanılması (A1 ve A2) durumu için iki ayrı yapay aydınlatma düzeni önerisi (Ö1 ve Ö2)

**Tablo 5.** Dersliklerin bütünlük aydınlatma (Günışığı+Yapay) hesap sonuçları ve sağlanması gereken değerler (SO: Saydamlık oranı; Em: Aydınlık düzeyi  $\text{lm/m}^2$ ; Uo: Aydınlığın düzgünlüğü) (Integrated lighting (Daylight + Artificial) calculation results and values to be provided (SO: Transparency ratio; Em: Illumination level; Uo: Lighting uniformity))

Tarih/ Saat	A102		B113				B114					
	1992 (SO: %46,90)		2008 (SO: %31,62)		1992 (SO: %46,90)		2008 (SO: %31,62)		1992 (SO: %46,90)		2008 (SO: %31,62)	
	50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%
	Em	Em	Em	Em	Em	Em	Em	Em	Em	Em	Em	Em
9 Aralık	97	77	74	62	155	127	89	68	103	80	78	64
12 Aralık	150	112	109	85	254	204	134	95	162	118	115	88
15 Aralık	96	76	74	62	153	126	88	68	102	80	77	63
Ortalama Em-Uo	114-0,59	88,3-0,49	85-0,32	69-0,4	209-0,5	169-0,3	113-0,3	83-0,4	135-0,6	101-0,5	98-0,4	77-0,5
9 Mart	532	371	356	252	815	630	469	307	604	415	394	276
12 Mart	460	321	309	220	1120	942	434	280	572	389	376	261
15 Mart	216	158	152	116	695	573	202	139	258	183	177	130
Ortalama Em-Uo	402-0,46	283-0,39	272,3-0,21	196-0,3	968-0,4	797-0,3	397-0,2	259-0,3	518-0,4	354-0,4	341-0,3	239-0,4
15 Haziran	770	526	507	350	1019	740	650	417	815	551	528	363
12 Haziran	394	273	267	189	696	553	349	226	446	304	296	207
15 Haziran	232	168	163	122	675	558	210	143	266	188	183	134
Ortalama Em-Uo	465,3-0,46	322-0,38	312-0,2	221-0,29	783-0,4	609-0,3	399-0,2	258-0,3	506-0,4	344-0,4	334-0,3	233-0,4


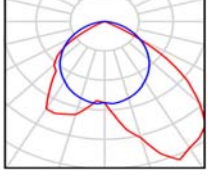


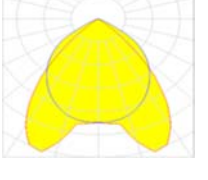

Tablodaki ortalama değerler, 9, 11, 12, 13, 15 saatleri için verilmiştir.

geliştirilmiştir. Öneri yapay aydınlatma düzenlerinde aygıtlar, 1992 ve 2008'dekinden farklı olarak bakış doğrultusuna paralel kullanılmıştır. Mevcut ve Öneri aygıtlardaki ışık kaynaklarının renksel geriverimi ( $R_a > 80$ ) TS 12464-1 standardına uygundur. Her iki öneride de sıralar üzerindeki gerekli aydınlık düzeyinin sağlanması ve olabildiğince düzgün yayılmış olması hedeflenmiştir. Birinci öneride (Ö1) kullanılan A1 aygıtı, asimetrik ışık yeğinlik diyagramına sahip olup, 6 adet aygıt masa dizilerinin arasına ortalanarak konumlandırılmıştır. İkinci öneride (Ö2) kullanılan A2 aygıtı, pantolon bacağı biçimindeki ışık yeğinlik diyagramına sahip olup 9 adet aygıt masa dizilerinin ortasına konumlandırılmıştır. Öneri durumlar için hesaplanan bütünsel aydınlatma sonuçları Tablo 7'de belirtilmiştir. Tablo 7'de verilen sonuçlar, her iki öneride de

bütünsel aydınlatma açısından hesaplama yapılan tüm gün ve saatlerde TS EN 17037 ve TS EN 12464-1 standartlarında verilen aydınlık düzeyi ile ilgili ölçütlere ilişkin değerlerin sağlandığını göstermektedir. Aydınlığın dağılım düzgünlüğü değerlendirildiğinde, her iki öneride de Tablo 5'te verilen mevcut duruma göre iyileşme olduğu görülmekte olup Ö1 ve Ö2 durumlarındaki düzgünlük değerleri birbirlerine yakındır. Öte yandan, Öneri 1 de kullanılan aygıt sayısı, Öneri 2'de daha azdır. Düzgünlük açısından yakın sonuçların elde edilmesinin nedeni, aydınlığın dağılım düzgünlüğünün aygıt sayı ve konumunun yanı sıra aygıt ışık yeğinlik diyagramı biçimine de bağlı olmasıdır.

Dersliklerin yapay aydınlatma düzenlerinin enerji tüketimi, güçlendirme sonrası durumda 432 Wh ( $2 \times 36W \times 6$ ), Ö1

**Tablo 6.** Öneri yapay aydınlatma düzenlerindeki (Ö1, Ö2) aydınlatma aygıtlarının (A1, A2) özellikleri  
(Features of the lamps (A1, A2) in suggestion artificial lighting arrangements (Ö1, Ö2))

No	Aygıt Özellikleri	Aydınlatma Aygıtı Görseli	Aygıt Işık Yeğinlik Diyagramı	Aygıt Yerleşim Planı (B113 Örneği)
Ö1-A1	PHILIPS TTX188 Lamba: Flüoresan, 1x58 W Lamba Işık akısı: 5150 lm Işık rengi: $R_a > 80$ ; 4000K Geriverim: %83 Aygıt adedi: 6 Boyut: 1,54x0,14x0,14 m			
Ö2-A2	SITECO, 5MR51B71ZWN Lamba: LED tüp, 2x19 W Lamba Işık akısı: 3045 lm Işık rengi: $R_a > 80$ ; 4000K Geriverim: %100 Aygıt adedi: 9 Boyut: 1,19x0,29x0,05 m			

**Tablo 7.** Öneri 1 ve Öneri 2 Yapay Aydınlatma Düzenleri ile Bütünsel Aydınlatma Hesap Sonuçları (SO: Saydımlık oranı; Em: Aydınlık düzeyi  $lm/m^2$ ; Uo: Aydınlığın düzgünlüğü) (Integrated Lighting Calculation Results of Artificial lighting arrangements of Suggestion 1 and Suggestion 2 (SO: Transparency ratio; Em: Illumination level; Uo: Lighting uniformity))

Tarih/ Saat	Ö1-A1 (SO: %31,62)						Ö2-A2 (SO: %31,62)						
	A102		B113		B114		A102		B113		B114		
	50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%	
15 Ara.	9	327	318	342	326	331	321	339	336	364	344	357	351
	12	361	339	385	352	368	344	373	358	408	370	393	374
	15	326	317	341	326	330	320	339	336	363	343	356	350
Ort. $E_m-U_o$	338-0,6	324-0,6	365-0,5	340-0,6	351-0,7	333-0,7	350-0,6	343-0,6	388-0,6	358-0,6	376-0,6	363-0,5	
15 Mart	9	611	508	719	565	649	534	623	527	742	583	675	564
	12	561	474	682	536	628	516	574	493	706	554	653	547
	15	403	368	451	394	428	384	416	388	474	411	454	416
Ort. $E_m-U_o$	525-0,4	450-0,5	646-0,4	515-0,5	593-0,5	494-0,6	537-0,4	469-0,5	669-0,4	533-0,5	619-0,5	525-0,5	
15 Haz.	9	764	606	900	676	783	620	777	625	923	694	809	650
	12	520	444	597	481	548	461	533	463	621	499	573	492
	15	415	377	458	397	434	388	428	395	481	415	458	417
Ort. $E_m-U_o$	566-0,4	475-0,5	648-0,4	514-0,5	586-0,5	487-0,6	579-0,4	494-0,5	671-0,4	532-0,5	611-0,5	518-0,5	

önerisinde 348 Wh (1×58W×6) ve Ö2 önerisinde 342 Wh (2×19W×9) tır. Önerilen aydınlatma aygıtlarının kullanılması durumunda 2008 durumuna göre hem görsel konfor koşullarının daha iyi olması sağlanmış hem de enerji tüketimi azaltılmıştır.

## 8. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Aktif deprem kuşakları üzerinde yer alan ülkemizde, depremde hasar gören binalardan işlevlerine devam edebileceği belirlenen yapılar için taşıyıcı sistem güçlendirme işlemlerinin yapılması 2007'den bu yana yasal açıdan zorunlu hale gelmiştir. Taşıyıcı sistem güçlendirme çalışmaları kolon giriş dayanımlarının artırılması, sisteme yeni kolon ve perdeler eklenmesi olarak özetlenebilir. Özellikle yapı kabuğunda yapılan eklemeler, pencere boyutlarının küçülmesine dolayısıyla, hacme giren günışığının azalmasına ve görsel konfor koşullarının değişmesine yol açmaktadır.

Bu çalışmada, bina taşıyıcı sistemini depreme karşı güçlendirmek amacıyla yapılan yenileme ve değişikliklerin mekânlardaki fizik ortam öğelerinden ışığın oluşturduğu görsel koşullara etkisinin belirlenmesine ilişkin bir yöntem önerisi sunulmuştur. Öneri yöntem, güçlendirilmiş bir eğitim yapısının kimi derslik mekânları üzerinde uygulanarak, güçlendirme öncesi (eski) duruma göre güçlendirme sonrası (yeni) durumdaki değişimler saptanmış ve aydınlatma koşullarının iyileştirilmesine yönelik kimi tasarımlar yapılmıştır. Bu bağlamda, öneri yönteminin uygulaması olarak ülkemiz içinde büyük önem taşıyan eğitim binalarının taşıyıcı sistemlerinin depreme karşı güçlendirilmesi sürecinde, yapı kabuğundaki pencere açıklıklarının kapatılarak saydamlık oranlarının azaltılmasının, eğitim yapıları özelinde dersliklerdeki görsel konfor ölçütlerindeki değişiminin hem doğal aydınlatma hem de bütünlük aydınlatma koşullarına etkisi incelenmiştir. İncelemeler, İstanbul, Beşiktaş ilçesinde bulunan bir lise binasının tipik üç dersliği için örneklenmiş, güçlendirme çalışması öncesi ve sonrası durumlarında doğal aydınlatma için TS-EN 17037:2019, yapay aydınlatma için TS-EN 12464-1:2011 standartlarındaki ölçütler doğrultusunda yapılmıştır. Çalışmadaki kabullere göre yapılan hesaplama ve değerlendirmeler sonucunda doğal aydınlatma ve bütünlük aydınlatma için aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

*Doğal aydınlatma:* Derslik hacimlerinin güçlendirme çalışmaları sonucunda yapı kabuğunun saydamlık oranları azalmıştır. Bu durum,

- o Hacmin pencereden uzak bölümlerinde günışığı aydınlık düzeyinin azalmasına yol açmıştır.
- o İnceleme yapılan gün ve saatler dikkate alındığında kış aylarında/Aralık ayında günışığı aydınlık düzeyinin standartta verilen değerlerin oldukça altında kalmasına neden olmuştur. Diğer gün ve saatlerin bir bölümünde de benzer durum söz konusudur.

Belirtilen bulgular, dersliklerde, doğal aydınlatmayı destekleyici yapay aydınlatmanın, yani bütünlük

aydınlatmanın yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Saydamlık oranlarının azalması, günışığı aydınlığı açısından dış görüş, güneşlenme ve kamaşma ölçütlerini belli bir oranda etkilemekle birlikte, standartta verilen sınır değerler sağlanmaktadır.

*Bütünlük aydınlatma:* Dersliklerin doğal ve yapay aydınlatma düzenleriyle birlikte ele alındığı, doğal aydınlatmayı destekleyici yapay aydınlatmanın kullanıldığı bütünlük aydınlatma durumundaki koşullara ilişkin hesaplamalar, ilgili ölçütler açısından güçlendirme öncesi ve sonrası durumlarında da gerekli değerlerin sağlanmadığını göstermiştir. Bütünlük aydınlatma durumunda, bu durumun nedenleri,

- Pencere camlarının ışık geçirme çarpanlarının oldukça düşük olması,
- Yapay aydınlatma düzeninde kullanılan aydınlatma aygıtlarının ve lambaların ışıksal özelliklerinin uygun olmaması olarak sıralanabilir.

Çalışma kapsamında, pencere özelliklerinde ve iç yüzey ışık yansıtma çarpanlarında değişiklik yapılmadan, yalnızca aydınlatma yapay aydınlatma sisteminde aygıt, lamba ve aygıt konumlarının değiştirilmesi ile bütünlük aydınlatma durumunun iyileştirilebileceğine ilişkin örneklemeler ve yapay aydınlatma enerji tüketimi karşılaştırmaları da yapılmıştır. Aydınlık düzeyinin ve dağılım düzgünlüğünün iyileştirilmesine yönelik iki öneri yapay aydınlatma düzeni (Ö1 ve Ö2) için yapılan hesaplamalar aydınlatma aygıtlarının ışıksal özellik ve konumlarının doğru seçimi ile iyileştirme sağlanabildiğini göstermiştir. Yapılan önerilerde aydınlığın dağılım düzgünlüğünü etkileyen önemli bir faktör olan aygıt ışık yeğinlik diyagramına göre yerleşim planı oluşturulması gerektiği görülmüştür. Ayrıca, eğitim yapıları gibi belli bir bakış doğrultusu olan mekânlarda, aygıtların bakış doğrultusuna paralel konumlandırılmasının dağılım düzgünlüğünün sağlanmasının yanı sıra kamaşma gibi olumsuzluklarında en aza indirgenerek engellenmesini sağlayacaktır. Önerilerde kullanılan aygıtların yapay enerji tüketimleri de, mevcuda göre daha düşüktür.

Sonuç olarak, makalede örneklenen durumda olduğu gibi, eğitim yapılarında yapılacak güçlendirme çalışmaları, mekânların fizik ortam öğelerine ilişkin koşulları ve özellikle görsel konforu etkileyebilecektir. Burada dikkat edilmesi ve üzerinde önemle durulması gereken konu, kaçınılmaz olan güçlendirme çalışmaları yapılırken, kullanıcıların gerekli konfor koşullarından ödün vermeyen aydınlatma çözümlerinin üretilmesidir. Çalışmadaki bulgular, binaların güçlendirme işlemleri sırasında, yapı fiziği parametrelerinden ışık açısından doğal ve yapay aydınlığının iç ortamdaki etkilerine daha fazla özen gösterilmesinin görsel konfora uygun iç ortam koşullarının oluşması, enerji etkinliği ve kaynakların kullanılması yönünden daha yararlı olacağını ortaya koymuştur. Bu çalışmada görsel konfora yönelik önerilen genel yöntem ve eğitim yapısındaki derslik örneklemesi, güçlendirme yapılacak tüm yapı tipolojileri için de yol gösterici olacaktır.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. IESNA, Lighting Handbook, 11th edition, New York, 2011.
2. Jovanović A., Pejić P., Djorić-Veljković S., Karamarković J., Djelić M., Importance of building orientation in determining daylighting quality in student dorm rooms: Physical and simulated daylighting parameters' values compared to subjective survey results, *Energy Buildings*, 77, 158-170, 2014.
3. Ünver R., Akdağ N.Y., Gedik G.Z., Öztürk L.D., Karabiber Z., Prediction of building envelope performance in the design stage: an application for office buildings, *Building and Environment*, 39, 143-152, 2004.
4. Kurtay C., Design of the external environment for adequate day light in inner spaces, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 17 (3), 75-86, 2002.
5. Sümengen Ö., Köknel Yener A., Binalarda Aydınlatma Enerji Performansının Belirlenmesinde Güneşiğe İlişkin Değişkenlerin İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 31 (2), 135-148, 2015
6. Kaplan S.A., Mevcut binaların depreme karşı güvenceye alınmasında binayı sırtlayıp, kucaklayıp depremi emniyetle savacak yeni bir güçlendirme yöntemi, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 459-460, 2010/1-2.
7. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 26454, 2007, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/03/20070306-3.htm>. Erişim tarihi Şubat 11,2021.
8. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Millî Eğitim İstatistikleri Örgün Eğitim 2019-2020. [https://sgb.meb.gov.tr/www/icerik\\_goruntule.php?KN O=396](https://sgb.meb.gov.tr/www/icerik_goruntule.php?KN O=396). Erişim tarihi Şubat 12, 2021.
9. Çelik K., Ünver R., Görsel Konfor ve Enerji Kullanımı Açısından İlköğretim Dersliklerinin İncelenmesi, 10. Ulusal Aydınlatma Kongresi (ATMK), İstanbul, 9-16, 2015.
10. California Energy Commission, Daylighting in Schools: Reanalysis Report, 1-91, California, 2003.
11. Priscilla J.D., William K.A., Greener schools, greater learning, and the LEED value, *National Journal for Publishing and Mentoring Doctoral Student Research*, 7, 1-8, 2010.
12. Hescong L., Daylighting in Schools: An Investigation into the Relationship between Daylighting and Human Performance. Detailed Report, California Board for Energy Efficiency Third Party Program, 1999.
13. Michael A., Heracleous C., Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus, *Energy Buildings*, 140, 443-457, 2017.
14. Shafavi N.S., Tahsildoost M., Zomorodian Z.S., Investigation of illuminance-based metrics in predicting occupants' visual comfort (case study: Architecture design studios), *Solar Energy*, 197, 111-125, 2020.
15. Ashrafiyan T., Moazzen N. The impact of glazing ratio and window configuration on occupants' comfort and energy demand: The case study of a school building in Eskisehir, Turkey, *Sustainable Cities and Society*, 47, 2019.
16. Köknel Yener A., Kutlu Güvenkaya R., Şener F., İlköğretim dersliklerinin görsel konfor açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi, *İTÜ dergisi/a mimarlık, planlama, tasarım*, 8:1, 105-116, 2009.
17. Boafó F.E., Ahn J.G., Kim S.M., Kim J.H., Kim J.T., Fenestration refurbishment of an educational building: Experimental and numerical evaluation of daylight, thermal and building energy performance, *Journal of Building Engineering*, 25, 100803, 2019.
18. Yılmaz Y., Oral Koçlar G., An approach for cost and energy efficient retrofitting of a lower secondary school building, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1), 393-407, 2019.
19. Ma'bdeh, S., Al-Khatatbeh, B., Daylighting retrofit methods as a tool for enhancing daylight provision in existing educational spaces—A case study, *Buildings*, 9, 159, 2019.
20. Ali H., Hashlamun R., Envelope retrofitting strategies for public school buildings in Jordan, *Journal of Building Engineering*, 25, 100819, 2019.
21. Cristino T.M., Lotufo F.A., Delinchant B., Wurtz F., Faria Neto A., A comprehensive review of obstacles and drivers to building energy-saving technologies and their association with research themes, types of buildings, and geographic regions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110191, 2021.
22. Doulos L.T., Kontadakis A., Madias E.N., Sinou M., Tsangrassoulis A., Minimizing energy consumption for artificial lighting in a typical classroom of a Hellenic public school aiming for near Zero Energy Building using LED DC luminaires and daylight harvesting systems, *Energy and Buildings*, 194, 201-217, 2019.
23. Ünver R., Eğitim yapılarında konfor ne demek? *Led&Lighting Dergisi*, 16, 114-121, 2015.
24. Porter T., *The Architect's Eye Visualization and Depiction of Space in Architecture*, E&FN Spon, London, 29-30, 43-44, 1997.
25. Ünver, R., Karabiber, Z., İlk Öğretim Binalarında Yapı Fiziği, İlk Öğretim Sorunları Sempozyumu, İstanbul, 119-127, 1998.
26. Çelik, K., Ünver, R., Eğitim yapıları tasarım kılavuzları bağlamında dersliklerin görsel konfor ve enerji kullanımı açısından değerlendirilmesi, *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 12 (63), 441-443, 2019.
27. Çelik, K., Ünver, R., Sustainable lighting in educational buildings, *Academic Journal of Science*, 6 (1), 513-522, 2016.
28. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı İnşaat Ve Emlak Dairesi Başkanlığı, Eğitim Yapılarının Asgari Tasarım Standartları Kılavuzu, 2015.
29. TS EN 17037, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Binalarda Güneşiği Standardı, 2019.
30. TS EN 12464-1, Işık ve Aydınlatma-Çalışma yerlerinin aydınlatılması-Bölüm 1:Kapalı çalışma alanları Standardı, 2011.

31. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. İstanbul/Beşiktaş Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi. <http://sabancilisesi.meb.k12.tr/tema/index.php>. Erişim tarihi. Ağustos 11, 2020.
32. İstanbul Beşiktaş Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü Arşivi, Beşiktaş Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi 1992 ve 2008 Yılı Mimari Planları, 2020.
33. Kutlu Güvenkaya R., İlköğretim dersliklerinde aydınlatma enerjisi yönetimi açısından yönlere göre uygun cephe seçeneklerinin belirlenmesi üzerine bir yaklaşım, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
34. Yılmaz Ş., Sürdürülebilir Çevre İçin Mimari Aydınlatma Sistemi Tasarımında Kullanılabilecek Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
35. Wienold J., Christoffersen J., Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras, *Energy and Buildings*, 38 (7), 743-757, 2006.
36. Pierson C, Wienold J, Bodart M. Daylight Discomfort Glare Evaluation with Evalglare: Influence of Parameters and Methods on the Accuracy of Discomfort Glare Prediction, *Buildings*, 8 (8), 94, 2018.