

DİNAMİK CAM UYGULAMASININ GÜNIŞIĞI VERİMİNE ETKİSİ: İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ'NDEKİ BİR DERSLİK ÜZERİNDE SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Nurefşan SÖNMEZ¹, Arzu CILASUN KUNDURACI², Tuğçe KAZANASMAZ³

¹Mimarlık Doktora Programı Öğrencisi, Yaşar Üniversitesi, İzmir, 35100, Türkiye, nrfnsnsonmez@gmail.com

²Dr. Öğretim Üyesi, Mimarlık Bölümü, Yaşar Üniversitesi, İzmir, 35100, Türkiye, arzu.cilasun@yasar.edu.tr

³Prof. Dr., Mimarlık Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, 35430, Türkiye, tugcekazanasmaz@iyte.edu.tr

ÖZET

Eğitim yapılarında günışığı kullanımının, eğitim ortamına, öğrenci motivasyonuna ve kullanıcı memnuniyetine olumlu etkide bulunduğu bilinmektedir. Tüm bu iyi yönlerine karşılık kontrolsüzce alınan günışığı iç mekânda kamaşma ve fazla ısınmaya sebep olabilmektedir. Bu yüzden tasarım aşamasında günışığının olumsuz etkilerinden korunarak planlı bir şekilde kullanımı önem kazanmaktadır.

Günümüzde cepheler için geliştirilmiş pek çok yenilikçi yöntem ve materyal bulunmaktadır. Günışığının geliş açısı ve yoğunluğu hem yıl hem de gün içerisinde farklılıklar gösterdiğinden cephe üzerindeki statik çözümlerin yetersiz kaldığı durumlar olabilmektedir. Bu gibi durumlarda yaşanacak olası konforsuzlukların önüne geçmek için geliştirilen dinamik cam sistemleri, cephenin günışığının değişen koşullarına göre esneklik gösterebilmektedir. Dinamik cam sistemleri yenilikçi bir uygulama olup dünya genelinde bazı örneklerde görülebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında dinamik cam sistemlerinin mevcut uygulamaları tartışılmış ve etkinliğini incelemek için İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde bulunan bir örnek derslik üzerinde simülasyon çalışması yapılmıştır. Climate Studio programı kullanılarak yapılan simülasyonlarda, mevcut cephenin dinamik cam sistemi ile değiştirilmesinin UDI (Useful Daylight Illuminance/Faydalı Günışığı Düzeyi) ve ASE (Annual Sunlight Exposure/Yıllık Günışığına Maruz Kalma Düzeyi) açısından yaptığı değişiklik incelenmiştir. Yapılan simülasyonlar sonucunda Halio cam tipini kullanarak UDI.a'da %76,04 artış sağlanırken UDI.e'de ise %89,01 düşüş sağlanabileceği görülmüştür. Ayrıca bu gibi yenilikçi sistemlerin, uygulamasının öncesinde etkinliklerinin bilinmesi, yatırım kararlarının alınmasında yol gösterici olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: dinamik cam, simülasyon, kamaşma, UDI, ASE

1. GİRİŞ

Günışığı, görsel konforu iyileştirmede, zihinsel ve fiziksel sağlığı olumlu yönde etkilemede, iş verimliliğini ve üretkenliği arttırmada ve enerji tasarrufu sağlamada önemli bir yere sahiptir [1]–[4]. Bu sebeple günışığının önemi ve günışığının kullanılabilirliğinin iyileştirilmesi birçok çalışmanın temel konusu olmuştur [5]–[7]. Günışığının çalışmalarda sıklıkla değinilen önemli bir avantajı da gün içerisinde çalışma

saatlerinde geçerli olmasıdır [8]. İnsanlar zamanlarının çoğunu iç mekânlarda geçirdikleri için [9], [10] çalışma, eğitim, sosyalleşme ve dolaşım gibi gereksinimlerin karşılanmasında etkin düzeyde verimli günışığının sağlanması, aydınlatma koşullarının ve kullanıcı sağlığının iyileştirilmesi, enerji tüketiminin azaltılması açısından önem taşımaktadır [11].

1.1. Eğitim Yapılarında Güneş

Kullanıcıların gün içerisinde uzun saatler geçirdiği iç mekanlardan biri de eğitim yapılarıdır. Güneşin, gün içerisinde zamanlarının yaklaşık %25-30'unu eğitim yapılarında harcayan öğrencilerin [12] sağlığına, performansına, dikkatine olan olumlu etkilerine ek olarak [13], [14] yapay aydınlatmayla kıyaslandığında öğrencilerin başarısına da olumlu yönde etki ettiği yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır [6], [15]. Belirtilen sebepler doğrultusunda, eğitim yapılarında güneşten alınan verimin iyileştirilmesi akademik çalışmalarda önemli bir amaç haline gelmiş ve alternatif yollar aranmıştır.

Örneğin, Suudi Arabistan'daki bir eğitim yapısı için yapılan bir simülasyon çalışmasında ışık rafı kullanılmasıyla aydınlık düzeyinde (lx) en az %15 oranında bir iyileşme gözlenmiştir [16]. İran'daki bir eğitim yapısı için yapılan bir simülasyon çalışmasında %65,1 olan UDI.a'nın, pencerelerin dış kısmına reflektör uygulanmasıyla %71'e kadar yükseldiği, hem sınıfın iç tavanına hem de pencerelerin dış kısmına reflektör uygulanmasıyla da %80'e kadar yükseldiği belirtilmiştir [17].

1.2. Statik ve Dinamik Sistemler

Güneşin eğitim yapılarına yetersiz düzeyde alınması yapay aydınlatma kullanımının artışı sebebiyle enerji tüketiminde artışa [18], fazla veya kontrolsüz şekilde alınması ise öğrencilerde görsel konforsuzluk, kamaşma ve/veya ısıl rahatsızlık [6], [19] gibi sorunlara sebep olabilmektedir. Bu yüzden ihtiyaç duyulan miktarda güneşin yapıya girişini doğru bir şekilde planlamak gerekmektedir.

Güneşin etkin bir şekilde yapıya girişini sağlayabilmek için pasif/statik ve aktif/dinamik olarak adlandırılan

güneş sistemleri kullanılmaktadır. Statik sistemler, statik cam tipini seçme, pencere-duvar oranını düzenleme, cephede statik gölgelendirme kullanma ve yapıya ışık tüpleri yerleştirme gibi sabit/durağan sistemlerdir. Dinamik sistemler ise güneşin yapıya etkili ve kontrollü alınımını sağlamak için güneşin hareketlerini izleyen hareketli cam, gölgeleme elemanları veya heliostatlar gibi sistemlerdir [20].

1.2.1. Dinamik Cam Sistemleri

Akıllı cam olarak da bilinen dinamik cam sistemleri [21] Güneş'i takip etmek için sensör aracılığıyla otomatik veya camdaki sıvı veya gaz moleküllerin hareketine bağlı olarak manuel olarak [22] camın geçirgenlik düzeyini, U değerini ve güneş ısısı kazanç katsayılarını değiştirebilmektedir [23]. Geçirgenlik değerlerinde oluşan değişiklikler dış mekan görüşünü engellemeden, kamaşmayı ve fazla ısınmayı azaltabilmekte [23], [24], böylece kullanıcıların görsel ve ısıl konforunu iyileştirip enerji tüketimini azaltmaktadır [25], [26]. Ayrıca bu sistemlerin kullanıcıların psikolojisi ve üretkenliği üzerinde de önemli etkisi olduğu kanıtlanmıştır [23].

Dinamik camların farklı aktivasyon şekline (iyon hareketi, malzemede faz değişikliği, gazın hareketi gibi), ve farklı uyarıcı türlerine göre (ısı, elektrik, ışık, mekanik darbe) harekete geçen birçok çeşidi vardır (bunlardan bazıları Elektrokromik cam, Fotokromik Cam, Termokromik Cam, Gazokromik Cam, Mekanokromik Cam, gibi [22], [27], [28]). Dinamik camlar arasında en yaygın olarak bilineni ise Elektrokromik Camdır (EC) [29].

Elektrokromik Cam (EC), voltajla etkinleştirilmekte ve iyonların hareketi yoluyla camın geçirgenliğinde değişim gerçekleştirilmektedir. Elektrokromik

tabakadan iyon çıkışı camı koyulaştırır. İyonların elektrokromik tabakaya geri dönmesiyle de cam şeffaf/daha geçirgen hale gelir [22], [28]. EC gibi elektrikle çalışan dinamik cam tipleri, güneşin mevcut durumu hakkında bilgi almak için sensörlerle çalışır. Sensör aşırı güneşi algıladığında, kamaşmayı ve aşırı ısı kazancını önlemek için koyulaşır ve güneşi zayıfladığında daha net hale gelerek camdan içeriye daha fazla ışık girmesini sağlar [30].

Yapılan çalışmaların sonucunda, geleneksel statik camlara kıyasla çeşitli avantajlar sunan, enerji tasarrufu, görsel konfor ve doğrudan güneş radyasyonunun kontrolünü sağlayan EC kullanılmasını öneren çalışmalar literatürde görülmektedir [31]. Örneğin, EC'nin uygulandığı bir simülasyon çalışmasında UDI'nin %35,33'e kadar artışı ve yaklaşık %15,79 enerji tasarrufu sağlandığı gözlenmiştir [32], bir optimizasyon çalışmasında UDI'de %111,76 artış elde edilmiştir [33], bir diğer çalışmada soğutma yükünde %60'a kadar azalma sağlanmıştır [34].

2. METOD

Çalışmanın temel amacı, dinamik cam sistemlerinin tercih edilmesinin eğitim yapılarındaki güneşi verimine olan katkısını incelemektir. Bu doğrultuda, bir Rhinoceros eklentisi olan Climate Studio (CS) programında İzmir'de yer alan bir derslik örneğinde simülasyon çalışmaları yapılarak UDI ve ASE metriklerinin değerlendirilmesiyle farklı tip dinamik cam sistemlerinin güneşi kullanılabilirliğine olan etkisi incelenmiştir.

2.1. Simüle Edilen Dersliğin Lokasyonu ve Özellikleri

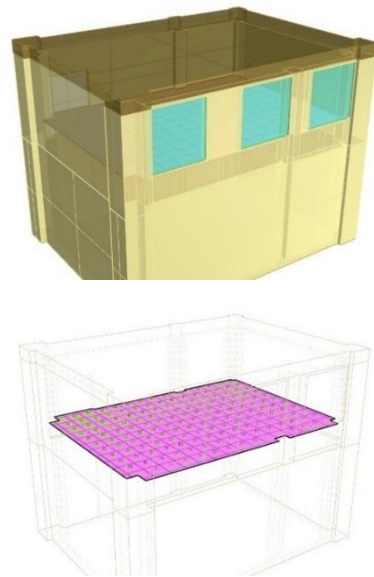
Ele alınan derslik, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde (38.324309,

26.630475) Güney yönüyle 10 derecelik açı yapan bir yapının birinci katında (giriş katının üstünde) yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Dersliğin Google haritalardaki görüntüsü

Derslik, konumunun yerden yüksekliği 0,9 m olan ve 2 m x 2 m boyutlarında güney yönüne bakan 3 pencere açıklığına sahiptir (Şekil 2). Dersliğin derinliği 6,4 m, genişliği 8,8 m ve yüksekliği 3,1 m olup, toplam derslik alanı 53,1 m²'dir. Sınıf içinde iç veya dış gölgeleme yoktur. Ölçülen zemin yüzeyi noktaları yerden 0,8 m yüksektedir.



Şekil 2. Simüle edilen dersliğin cephesi ve hesaplama düzlemi

Dersliğin iç mekân malzemeleri gerçek değerlere [35] en yakın olacak şekilde CS'nin içindeki malzemelerle Tablo 1'de verildiği gibi tanımlanmıştır. Simülasyon için programa İzmir-Güzelyalı iklim verileri tanımlanmıştır.

Tablo 1. Modeldeki yüzey malzemelerinin geçirgenlik / yansıtıcılık değerleri

Cam	%80,5 (Starphire - Sungate 400 (3) on Starphire (Argon))
Duvar	%79,80 (Beyaz Boyalı Koridor Duvarları)
Zemin	%70,32 (Seramik Karo Zemin)
Tavan	%89,40 (Beyaz Boyalı Tavan)

2.2. Uygulanan Dinamik Cam Alternatifleri

Climate Studio içerisinde dinamik cam simülasyonlarının yapılabilmesi için farklı markalara ait 4 farklı dinamik (Elektrokromik) cam tipi vardır: Halio, Halio Black, Sage ve View. Tablo 2'de gösterildiği gibi bu 4 farklı dinamik cam tipi, farklı ışık geçirgenliği düzeylerine (Tvis/Visible Transmittance) göre açık renk durumundan opak duruma doğru durum değiştirebilmektedir. Halio'nun 9 farklı, Halio Black'in 7 farklı, Sage'in ve View'in 4 farklı ışık geçirgenliği düzeyi vardır.

Programda LEED kriterine göre tercih edilebilen otomatik ayara göre (LEEDv4 2% Kuralı), yılın her saati için, kullanılan alanın % 2'sinden fazlası 1000 lx'ten fazla doğrudan günışığı aldığı durumlarda, dinamik cam sistemine

odanın sensörlerinin % 2'den azı günışığı alana kadar kapanmaları talimatı verilmektedir [36].

Tablo 2. Dinamik cam alternatiflerinin renk tonu geçirgenlik düzeyleri [36]

Tvis	Halio	Halio Black	Sage	View
Tvis 0	% 62,5	% 51,3	% 59,7	% 62,1
Tvis 1	% 43,2	% 21,6	% 17,3	% 41,2
Tvis 2	% 30,0	% 11,3	% 5,5	% 5,4
Tvis 3	% 22,1	% 2,3	% 0,9	% 1,1
Tvis 4	% 13,9	% 0,8	-	-
Tvis 5	% 8,9	% 0,5	-	-
Tvis 6	% 7,0	% 0,1	-	-
Tvis 7	% 4,4	-	-	-
Tvis 8	% 1,5	-	-	-

2.3. Değerlendirilen Günışığı Metrikleri

UDI, yapılar için gerçekçi gökyüzü ve belirli iklim tabanlı koşullar altında tahmin edilen yıllık aydınlatma değerlerini sağlayarak günışığı kullanılabilirliğini ve günışığına maruz kalma düzeylerini değerlendirmek için olanak tanır [37]. Sağladığı sonuçların güvenilirliği ve çeşitli çalışmalarda kullanım sıklığı nedeniyle [38]–[41], UDI bu çalışmada değerlendirilen ana metriktir. Tablo 3'te gösterildiği gibi, UDI için tanımlanan alt ve üst eşikler sırasıyla 300 lx ve 3000 lx'tür.

Bu aralıktaki günışığı aydınlatması 'faydalı' olarak kabul edilir ve elektrikli aydınlatmadan (yapay aydınlatma) bağımsız aydınlatma sağlamada yeterli günışığı düzeyini (miktarını) gösterir. 100 lx ve 300 lx arası 'tamamlayıcı' olarak tanımlanır ve elektrikli aydınlatmayı tamamlamak için yeterli olan ancak yerini alamayan günışığı düzeylerini gösterir. 100 lx'ün altı 'yetersiz' olarak tanımlanır ve elektrikli aydınlatmaya ihtiyaç duyulan günışığı düzeylerini gösterirken, 3000 lx'ten fazlası günışığının neden olduğu konforsuzluk kamaşmasına yol açtığı için 'çok fazla/aşırı' olarak kabul edilir ve üst eşik değeri olarak tanımlanır [38], [42]. UDI değerlerinin bir alanda geçirilen zamanın en az %50'sini karşılaması beklenmektedir [43].

Tablo 3. UDI tipleri ve kapsamları [42]

UDI Tipi	Lx Aralığı
UDI.f (Failing) =Yetersiz	UDI.f < 100 lx
UDI.s (Supplemental) =Tamamlayıcı	100 lx < UDI.s, UDI.s < 300 lx
UDI.a (Autonomous) = Faydalı	300 lx < UDI.a, UDI.a < 3000 lx
UDI.e (Excessive) = Aşırı	UDI.e > 3000 lx

Bu çalışmada kullanılan bir diğer metrik, görsel konforun sağlanmasında yol gösterici olan ve doğrudan günışığı düzeyini ve kamaşma potansiyelini tahmin eden Annual Sunlight Exposure (ASE)'dir. ASE, bir alanda aydınlatma sınırını rahatsızlık verecek boyutta

aşmış, doğrudan günışığı yoluyla 1000 lx'ten fazla aydınlık düzeyine 250 saatten fazla maruz kalmış alanların yüzdesini göstermektedir [42]. LEED kriterleri, ASE için üst eşığı taban alanının %10'u olarak tanımlamıştır [44].

3. BULGULAR

Climate Studio tarafından iklim verileri dikkate alınarak belirlenen simülasyon sonuçlarına göre yıl boyunca camın gölgelemesiz/en yüksek geçirgenlik (Tvis0) durumunda olduğu saatlerin oranları Halio ve View dinamik camları için %45, Sage dinamik camı için %45,2 ve Halio Black dinamik camı için %46,1'dir. Temel model ve 4 farklı tip dinamik camın temel model üzerine uygulanmış durumları simüle edildikten sonra elde edilen detaylı UDI sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Temel modelde elektrikli aydınlatmadan bağımsız aydınlatma sağlamada yeterli günışığı oranı (UDI.a) %31,31 olarak ölçülürken, 3000 lx'ü aşan (aşırı) miktarda günışığına maruz kalma oranı (UDI.e) %63,88'dir. Elektrikli aydınlatmayı tamamlamak için yeterli olan ancak yerini alamayan günışığı oranı (UDI.s) %2,18 iken, elektrikli aydınlatmaya ihtiyaç duyulan günışığı oranı (UDI.f) %2,64'dür. 4 farklı tip dinamik cam simülasyonlarının sonuçlarında UDI.e' de ciddi bir düşüş ve UDI.a'da iyileşme gözlenmektedir.

- Halio cam uygulaması ile UDI.a sonucunda %76,04 artış, UDI.e sonucunda %89,01 azalış elde edilmiştir.
- Halio Black cam uygulamasıyla UDI.a sonucunda %69,24 artış, UDI.e sonucunda %93,42 azalış elde edilmiştir.

- Sage cam uygulamasıyla UDI.a sonucunda %67,96 artış, UDI.e sonucunda %90,68 azalış elde edilmiştir.
- View cam uygulamasıyla UDI.a sonucunda %57,71 artış, UDI.e sonucunda %89,29 azalış elde edilmiştir.

Tablo 4. UDI Sonuçları

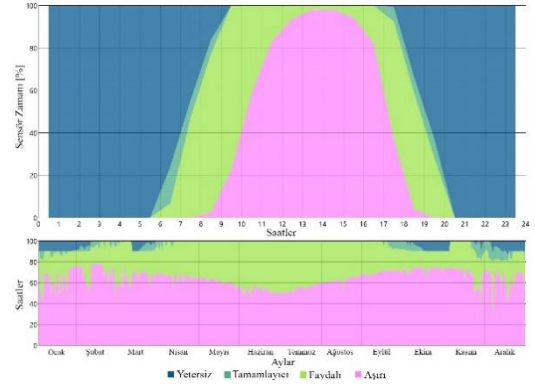
	UDI.f	UDI.s	UDI.a	UDI.e
Temel Model	% 2,64	% 2,18	% 31,31	% 63,88
Halio	% 14,75	% 23,11	% 55,12	% 7,02
Halio Black	% 21,50	% 21,30	% 52,99	% 4,20
Sage	% 29,17	% 12,28	% 52,59	% 5,95
View	% 24,94	% 18,83	% 49,38	% 6,84

UDI.f: Yetersiz, UDI.s: Tamamlayıcı, UDI.a: Faydalı, UDI.e: Aşırı

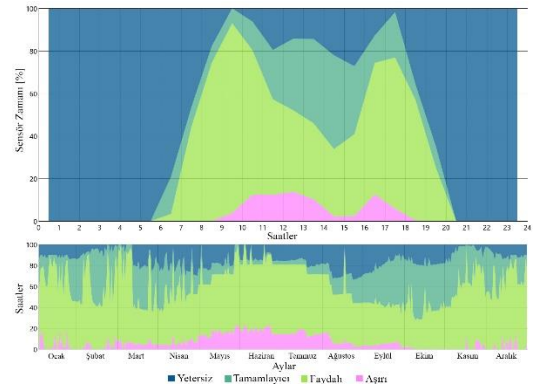
Şekil 3, 4, 5, 6 ve 7 sırasıyla temel model'in, Halio camın, Halio Black camın, Sage camın ve View camın aylara göre UDI dağılımlarını göstermektedir.

Şekil 3'e göre temel modelde UDI.e sonuçları (pembe renkli) yılın bütün aylarında çoğunlukla %50'nin üzerinde ve gün içi çalışma saatlerinde ise %100'e yakın bir orandadır.

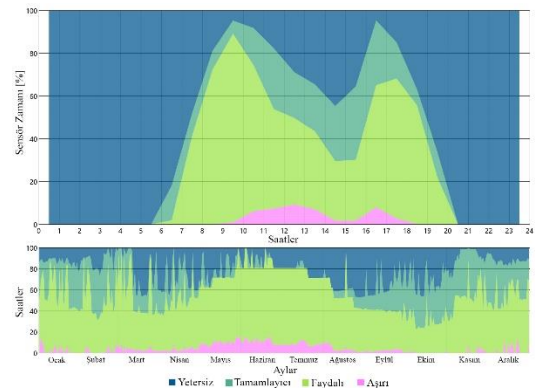
Şekil 4-5-6-7'ye göre dinamik cam kullanıldığında UDI.e sonuçları Mayıs, Haziran, Temmuz aylarında %20 civarındayken diğer aylarda ve gün içi çalışma saatlerinde %20'nin altına düşmüştür.



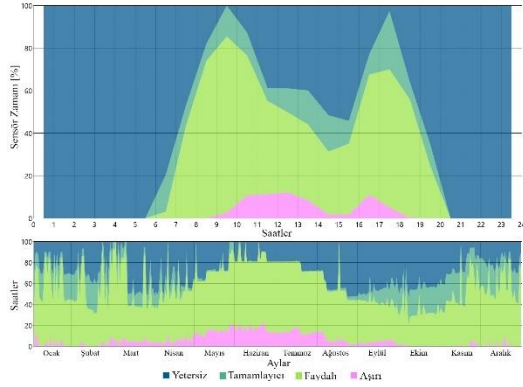
Şekil 3. Temel modelin UDI sonuçları (dinamik cam uygulaması yok)



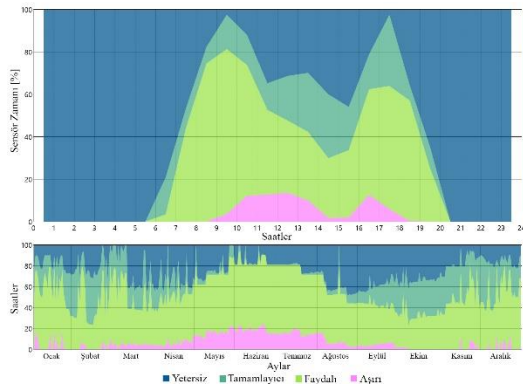
Şekil 4. Halio dinamik cam kullanılan modelin UDI sonuçları



Şekil 5. Halio Black dinamik cam kullanılan modelin UDI sonuçları



Şekil 6. Sage dinamik cam kullanılan modelin UDI sonuçları



Şekil 7. View dinamik cam Kullanılan Modelin UDI Sonuç Grafiği

Temel modelin ve 4 tip dinamik camın görselleştirilmiş UDI ve ASE sonuçları Tablo 5’de verilmiştir. Temel modelde UDI.e (pembe renkli) sonucu dersliğin geneline yayılmışken, dinamik cam uygulamasıyla sadece pencere önlerinde ve temel modele kıyasla oldukça azalmış olarak gözlenmektedir. ASE sonucu, mavi çizgiyle gösterilen 3 pencereden giren ve doğrusal olmayan yatay çizgiye kadar olan alanı göstermektedir. ASE sonucunda (%50,63) değişim gözlenmemiştir. Bunun sebebi olarak ASE’nin doğrudan güneşiğine maruz kalınan bölge hakkında bilgi verdiği fakat UDI’nin bütün ölçüm yüzeyini baz alarak sonuç verdiği çıkarımına varılabilmektedir. Bu çalışmada ASE sonucu detaylı bilgi vermiyor olsa da UDI.a ve UDI.e sonuçlarındaki değişimlerin güneşliğinden faydalanma

ve aşırı güneşiğine maruz kalma durumuna dair bilgiler verdiği görülmektedir.

Tablo 5. UDI ve ASE sonuçları

Alter.	UDI - ASE
Temel Model (dinamik cam yok)	<p>%31,31 - %50,63</p>
Halio	<p>%55,12 - %50,63</p>
Halio Black	<p>%52,99 - %50,0</p>
Sage	<p>%52,59 - %50,63</p>
View	<p>%49,38 - %50,63</p>
<p>■ Yetersiz ■ Tamamlayıcı ■ Faydalı ■ Aşırı</p>	

4. TARTIŞMA

Yapılan simülasyonlar sonucunda geçirgenlik değerleri %62,5 ile %1,5 arasında değişen 9 farklı geçirgenlik düzeyine sahip olan Halio cam ile UDI.a'da en çok artış (%76,04), geçirgenlik değerleri %51,3 ile %0,1 arasında değişen 7 farklı geçirgenlik düzeyine sahip olan Halio Black cam ile UDI.e'de en çok azalış (%93,42) sağlanmıştır. Literatürdeki çalışmalar EC kullanımının günışığından alınan verimi arttırdığını [31] ve UDI.a'nın artışında olumlu etkisi olduğunu göstermektedir [32],[33]. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar literatür bulgularını destekler niteliktedir.

Temel modelde %50,63 olan ASE sonucu, Halio, Sage veya View dinamik cam kullanımıyla değişmemiş, Halio Black (en düşük geçirgenlik düzeyine sahip olan cam) kullanımı ile %50'ye kadar düşmüştür. Literatürde ASE için tanımlanan üst eşik %10 iken [44], bu çalışmada kullanılan dinamik camlar ile ASE'nin kabul edilebilir düzeye düşmediği gözlenmiştir.

5. SONUÇ

Dinamik camlar, günışığından alınan verimi iyileştirmesiyle, kamaşma ve aşırı günışığına maruz kalma durumlarını minimize etmesiyle, ısıtma-soğutma yükünde ve yapay aydınlatma kullanımında enerji tasarrufu sağlamasıyla hem çevre hem de kullanıcı dostu sistemlerdir. Bu çalışmada dinamik cam sistemlerinin günışığı kullanılabilirliğine olan etkilerinin incelenmesi için İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde yer alan Güney yönelimli bir derslik modellenmiştir. Elde edilen bulgular, en iyi UDI.a sonuçlarının en çok sayıda farklı geçirgenlik düzeylerine sahip dinamik camlar ile sağlandığını göstermektedir. Bu durumda, çok sayıda farklı geçirgenlik düzeyine sahip

dinamik camların az sayıda farklı geçirgenlik düzeyine sahip dinamik camlardan daha avantajlı olduğu sonucuna varılabilmektedir. Ayrıca, en düşük geçirgenlik düzeyine sahip camın tercih edilmesiyle ve bu geçirgenlik düzeyinin diğerlerine göre daha uzun kullanımının ayarlanabilmesiyle ASE'de daha iyi sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir. Climate Studio'da geçirgenlik düzeylerinin kullanım süreleri manuel olarak ayarlanamadığı için bu durum çalışmanın bir kısıtı olarak görülebilir. Dinamik cam kullanımında incelenen derslikte olduğu gibi UDI.a'da iyileşme olmasına rağmen ASE'nin üst eşığı aştığı durumlarda dinamik cam kullanımına ek olarak gölgeleme elemanına da ihtiyaç duyulabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışma, gölgeleme elemanı olmayan ve günışığına fazla maruz kalan yapılar için örnek niteliğindedir. Eğitim yapılarında, özellikle görsel konfora ihtiyacın arttığı zorlu ve dikkat gerektiren çalışmaların yapıldığı mimarlık gibi disiplinlerde günışığından verimli bir şekilde faydalanmak ve kamaşmanın önüne geçebilmek için dinamik cam sistemleri tek başına veya günışığına maruz kalmanın fazla olduğu mekanlarda gölgeleme elemanı ile birlikte tercih edilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Z. Shirzadnia, A. Goharian, ve M. Mahdavinjad, "Designerly approach to skylight configuration based on daylight performance; toward a novel optimization process", *Energy Build*, c. 286, s. 112970, May. 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.112970.
- [2] A. Tabadkani, A. Roetzel, H. X. Li, ve A. Tsangrassoulis, "Daylight in buildings and visual comfort evaluation: The advantages and limitations",

Journal of Daylighting, c. 8, sy 2. Solarlits, ss. 181-203, 01 Aralık 2021. doi: 10.15627/jd.2021.16.

[3] R. Nagare, M. Woo, P. Macnaughton, B. Plitnick, B. Tinianov, ve M. Figueiro, “Article access to daylight at home improves circadian alignment, sleep, and mental health in healthy adults: A crossover study”, *Int J Environ Res Public Health*, c. 18, sy 19, Eki. 2021, doi: 10.3390/ijerph18199980.

[4] B. Antunović, M. Malinović, J. Rašović, ve S. Petrović, “Daylight Performance in an Austrohungarian Heritage Building”, *AIT+*, c. 1, sy 8, Tem. 2020, doi: 10.7251/aggplus2008008a.

[5] J. Rucińska ve A. Trzaski, “Measurements and simulation study of daylight availability and its impact on the heating, cooling and lighting energy demand in an educational building”, *Energies (Basel)*, c. 13, sy 10, May. 2020, doi: 10.3390/en13102555.

[6] A. A. Y. Freewan ve J. A. Al Dalala, “Assessment of daylight performance of Advanced Daylighting Strategies in Large University Classrooms; Case Study Classrooms at JUST”, *Alexandria Engineering Journal*, c. 59, sy 2, ss. 791-802, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.aej.2019.12.049.

[7] L. T. Doulos, A. Kontadakis, E. N. Madias, M. Sinou, ve A. Tsangrassoulis, “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 Build*, c. 194, ss. 201-217, Tem. 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.04.033.

[8] X. Yu ve Y. Su, “Daylight availability assessment and its potential energy saving estimation -A literature

review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 52. Elsevier Ltd, ss. 494-503, 23 Ağustos 2015. doi: 10.1016/j.rser.2015.07.142.

[9] P. M. Bluysen, “The need for understanding the indoor environmental factors and its effects on occupants through an integrated analysis”, içinde *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Eki. 2019. doi: 10.1088/1757-899X/609/2/022001.

[10] X. R. Bonnefoy vd., “Review of evidence on housing and health by”.

[11] N. Sönmez ve A. C. Kunduraci, “Assessment of Architectural Interventions’ Influence on Daylight Availability: A Case Study of a Classroom”, 2021. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/355059816>

[12] S. S. Korsavi, A. Montazami, ve D. Mumovic, “Perceived indoor air quality in naturally ventilated primary schools in the UK: Impact of environmental variables and thermal sensation”, *Indoor Air*, c. 31, sy 2, ss. 480-501, Mar. 2021, doi: 10.1111/ina.12740.

[13] N. Shishegar ve M. Boubekri, “Natural Light and Productivity: Analyzing the Impacts of Daylighting on Students’ and Workers’ Health and Alertness”, *International Journal of Advances in Chemical Engineering and Biological Sciences*, c. 3, sy 1, May. 2016, doi: 10.15242/ijacebs.ae0416104.

[14] F. Rahman, M. Mozammel, ve H. Tuhin, “Daylight Impact on Learning Environment in Classrooms of Secondary High School at Ishwardi, Pabna, Bangladesh”, *International Research Journal of Engineering and*

Technology, 2019, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: www.irjet.net

[15] M. Pinto, R. M. S. F. Almeida, A. José, C. Santos, ve R. M. S. F. A. Santos, “P2I Project ‘COREAP’-Service life, conservation and rehabilitation of walls of buildings with relevant patrimonial value View project Human Centric Lighting: new approaches for new challenges in lighting View project Daylighting in classrooms performance criterion”, 2014, doi: 10.13140/RG.2.1.3501.4563.

[16] M. Sabbagh, S. Mandourah, ve R. Hareri, “Light Shelves Optimization for Daylight Improvement in Typical Public Classrooms in Saudi Arabia”, *Sustainability (Switzerland)*, c. 14, sy 20, Eki. 2022, doi: 10.3390/su142013297.

[17] K. Soleimani, N. Abdollahzadeh, ve Z. S. Zomorodian, “Improving daylight availability in heritage buildings: A case study of below-grade classrooms in Tehran”, *Journal of Daylighting*, c. 8, sy 1, ss. 120-133, 2021, doi: 10.15627/jd.2021.9.

[18] T. Ashrafian ve N. Moazzen, “The impact of glazing ratio and window configuration on occupants’ comfort and energy demand: The case study of a school building in Eskisehir, Turkey”, *Sustain Cities Soc*, c. 47, May. 2019, doi: 10.1016/j.scs.2019.101483.

[19] P. Bakmohammadi ve E. Noorzai, “Optimization of the design of the primary school classrooms in terms of energy and daylight performance considering occupants’ thermal and visual comfort”, *Energy Reports*, c. 6, ss. 1590-1607, Kas. 2020, doi: 10.1016/j.egyr.2020.06.008.

[20] N. O. Onubogu, K. K. Chong, ve M. H. Tan, “Review of Active and Passive Daylighting Technologies for Sustainable Building”, *International*

Journal of Photoenergy, c. 2021. Hindawi Limited, 2021. doi: 10.1155/2021/8802691.

[21] A. Cannavale, U. Ayr, F. Fiorito, ve F. Martellotta, “Smart electrochromic windows to enhance building energy efficiency and visual comfort”, *Energies (Basel)*, c. 13, sy 6, 2020, doi: 10.3390/en13061449.

[22] N. H. Matin, A. Eydgahi, ve P. Matin, “The Effect of Smart Colored Windows on Visual Performance of Buildings”, *Buildings*, c. 12, sy 6, Haz. 2022, doi: 10.3390/buildings12060861.

[23] J.-H. Choi, V. Loftness, D. Nou, ve B. Tinianov, “Impacts of dynamic glazing on office workers’ environmental and psychological responses Impacts of dynamic glazing on office workers’ environmental and psychological responses”, *ARCC Conference Repository*, 2019.

[24] N. L. Sbar, L. Podbelski, H. M. Yang, ve B. Pease, “Electrochromic dynamic windows for office buildings”, *International Journal of Sustainable Built Environment*, c. 1, sy 1, ss. 125-139, 2012, doi: 10.1016/j.ijbsbe.2012.09.001.

[25] M. Casini, “Active dynamic windows for buildings: A review”, *Renewable Energy*, c. 119. Elsevier Ltd, ss. 923-934, 01 Nisan 2018. doi: 10.1016/j.renene.2017.12.049.

[26] X. Zhao, A. Aili, D. Zhao, D. Xu, X. Yin, ve R. Yang, “Dynamic glazing with switchable solar reflectance for radiative cooling and solar heating”, *Cell Rep Phys Sci*, c. 3, sy 4, Nis. 2022, doi: 10.1016/j.xcrp.2022.100853.

[27] J. Marchwinski, “Architectural evaluation of switchable glazing technologies as sun protection measure”, içinde *Energy Procedia*, Elsevier Ltd,

- 2014, ss. 1677-1686. doi: 10.1016/j.egypro.2014.10.158.
- [28] A. Ghosh ve B. Norton, “Advances in switchable and highly insulating autonomous (self-powered) glazing systems for adaptive low energy buildings”, *Renewable Energy*, c. 126. Elsevier Ltd, ss. 1003-1031, 01 Ekim 2018. doi: 10.1016/j.renene.2018.04.038.
- [29] V. Costanzo, G. Evola, ve L. Marletta, “Thermal and visual performance of real and theoretical thermochromic glazing solutions for office buildings”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, c. 149, ss. 110-120, May. 2016, doi: 10.1016/j.solmat.2016.01.008.
- [30] M. Casini, “Smart windows for energy efficiency of buildings”, *International Journal of Civil and Structural Engineering-IJCSE*, c. 2, sy 1, 2015, [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.researchgate.net/publication/280597205>
- [31] S. Sibilio vd., “A review of electrochromic windows for residential applications”, *International Journal of Heat and Technology*, c. 34, sy Special Issue 2, ss. S481-S488, 2016, doi: 10.18280/ijht.34S241.
- [32] W. Zhang vd., “Study on the impact of photovoltaic electrochromic modular smart window on indoor environment”, *Build Environ*, c. 238, Haz. 2023, doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110381.
- [33] A. Hosseinzadeh Zarrabi, M. Azarbayjani, A. Amirazar, ve R. Asharafi, “Comparative Study of Different Design Configurations Based on the Daylight and Visual Comfort Performance of Electrochromic Glass in a side-lit Office building”, içinde *Healthy, Intelligent and Resilient Buildings and Urban Environments 7th International Building Physics Conference Proceedings*, 2018.
- [34] A. Piccolo, “Thermal performance of an electrochromic smart window tested in an environmental test cell”, *Energy Build*, c. 42, sy 9, ss. 1409-1417, 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.03.010.
- [35] Y. Keskinel, “Performance of Movable Façade Panels in terms of Dynamic Daylight Metrics for a Classroom”, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, 2020.
- [36] Climate Studio, “Blinds”, 2020. <https://climatestudiodocs.com/docs/blinds.html> (erişim 06 Temmuz 2023).
- [37] A. Nabil ve J. Mardaljevic, “Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors”, *Energy Build*, c. 38, sy 7, ss. 905-913, Tem. 2006, doi: 10.1016/j.enbuild.2006.03.013.
- [38] F. Nocera, A. Lo Faro, V. Costanzo, ve C. Raciti, “Daylight performance of classrooms in a mediterranean school heritage building”, *Sustainability (Switzerland)*, c. 10, sy 10, Eki. 2018, doi: 10.3390/su10103705.
- [39] A. Kirimtat, O. Krejcar, B. Ekici, ve M. Fatih Tasgetiren, “Multi-objective energy and daylight optimization of amorphous shading devices in buildings”, *Solar Energy*, c. 185, ss. 100-111, Haz. 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.04.048.
- [40] R. Debnath ve R. Bardhan, “Daylight Performance of a Naturally Ventilated Building as Parameter for Energy Management”, içinde *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, Ara. 2016, ss. 382-394. doi: 10.1016/j.egypro.2016.11.205.

[41] Y. Sun *vd.*, “Analysis of the daylight performance of window integrated photovoltaics systems”, *Renew Energy*, c. 145, ss. 153-163, Oca. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.05.061.

[42] Climate Studio, “Custom Daylight Availability”, 2020. <https://climatestudiodocs.com/docs/daylightCustom.html> (erişim 05 Temmuz 2023).

[43] K. A. Al-Sallal, “Daylighting performance in UAE traditional buildings used as museums”, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, c. 13, sy 2, ss. 116-121, Haz. 2018, doi: 10.1093/ijlct/cty003.

[44] C. Reinhart, “Opinion: Climate-based daylighting metrics in LEEDv4 - A fragile progress”, *Lighting Research and Technology*, c. 47, sy 4. SAGE Publications Ltd, s. 388, 06 Haziran 2015. doi: 10.1177/1477153515587613.