4.Ulusal
Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi

2-3 Mayıs 2024
İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul

BİNALARDA GÜNIŞIĞI PERFORMANSI DEĞERLENDİRME METODLARI VE KULLANIM ALANLARI

Semih Göksel Yıldırım[1]
Stuart Werner Baur[2]
Mehmet Şener Küçükdoğu[3]
[1,3] İstanbul Gelişim Üniversitesi, Avcılar, İstanbul
[2] Missouri University of Science and Technology, Rolla, Missouri

ÖZET

Güneş ışınımının ısısal ve ışıksal etkisinden yararlanan günışığı odaklı bina tasarımında farklı performans ölçüm metodları araştırmacılar arasında kullanılmaktadır. Bu metodların bir kısmı, tasarımcılar arasında da bilinmekle birlikte, karmaşıklığı yüzünden tam olarak yaygınlaşamamıştır. Bu bağlamda, güneş dekatlonu yarışmaları, günışığı performans ölçümlerine yönelik akademik çalışmaların kullanılabileceği uygun zeminler olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle, bu yarışmalara daha önceden katılmış, daha sonra Üniversitelerin kampüs alanına kurulup, işletilmekte olan bu binalar, ideal araştırma laboratuvarı konumundadırlar. Ön tasarım ve kesin proje aşamalarında, güneş yörüngesi analizi, kütlesel çalışma, güneş kontrolü sistemlerinin tasarımı, bilgisayar simülasyonu, yüksek dinamik aralık görüntüleme tekniği, fiziksel ölçekli model ile heliodon analizi gibi ölçüm metodları kullanılabilmektedir. Bu kapsamda yürütülecek bir araştırmaya ilişkin bir çerçeve çizilmekte, tasarımcılara ve akademik ortama etkileri incelenmektedir. Bilimsel çalışma temellerine dayanan performans ölçümleri geleceğin yapı üreticilerini ve tasarımcılarını yönlendirmektedir. Bunun için de belirtilen performans ölçümleri eğitim alanında da uygulama alanı bulmuştur. Müfredat içeriğine deneysel öğrenme olarak dahil edilmektedir.

Anahtar sözcükler: Günışığı, performans ölçümü, pasif iklimlendirme, güneş dekatlonu

ABSTRACT

Different performance measurement methods are used among researchers in daylight-oriented housing design that utilizes the thermal and luminous effects of solar radiation. Although some of these methods are known among designers, they have not become widespread due to their complexity. In this context, solar decathlon competitions are suitable grounds for academic studies on daylighting performance measurements. In particular, these buildings, which have already participated in these competitions and which have been re-installed and operated in the campus area of universities, are ideal research laboratories. In the preliminary design and final project stages, measurement methods such as solar path analysis, massing study, sunlight shading calculation, computer simulation, high dynamic range imaging technique, heliodon analysis with physical scale model can be used. A framework for a research to be conducted in this context is drawn and its implications for designers and the academic environment are investigated. Performance measurements based on scientific studies guide the building manufacturers and designers of the future. For this reason, these performance measurements have also found application in the field of education. It is inserted into the curriculum content as experimental learning.

Key words: Daylighting, performance measurement, passive control systems, solar decathlon

[1] e-posta adresi: sgyildirim@gelisim.edu.tr
[2] e-posta adresi: baur@mst.edu
[3] e-posta adresi: mskucukdogu@ gelisim.edu.tr

1. GİRİŞ

Enerji verimli bir yapının gerçekleştirilmesi için çeşitli aktif ve pasif sistemler bina tasarımı aşamasında kullanılmaktadır. Bunlar içinden doğal aydınlatma ve yapma aydınlatmaya ilişkin çözümler de önemli bir yer tutmaktadır. Doğal aydınlatmanın doğru kullanılması ile mekânlara ilişkin ihtiyaç duyulan en az aydınlık düzeyleri sağlanabilmekte ve dolayısıyla yapma aydınlatmaya ihtiyaç ta azalmaktadır. Dünyadaki yapı stokunun büyük çoğunluğunun konut yapıları olması ve önemli oranda enerji kullanımının söz konusu olması sebebiyle, Amerika Birleşik Devletleri' nde 2002 yılında güneş dekatlonu yarışması başlatılmış olup, "Missouri Bilim ve Teknoloji Üniversitesi" bu yarışmaya en başından bu yana katılım göstermektedir. Farklı disiplinlerdeki öğrenciler "Öğrenci Tasarım ve Deneysel Öğrenme Merkezi" bünyesinde bu yarışmalara iki yıllık periyotlar halinde dahil olmaktadırlar. Fiziki olarak üretilen enerji verimli konutlara ait paneller ve materyaller yarışmanın düzenlendiği eyalete nakledilmektedir. Yarışmanın sonuçlanması ile tekrar kampüse geri getirilmektedir. Kampüste oluşturulan "Güneş Köyü" alanına bu konutlar kalıcı olarak yerleştirilmekte ve "yaşayan laboratuvarlar" olarak Üniversite ve çevresinin kullanımına sunulmaktadır **[1]**. Bunlara örnek olarak, 2009 (Show-me solar), 2013 (Chameleon) ve 2015 (The Nest) güneş evleri **Şekil 1**' de sunulmaktadır.



Şekil 1: "Güneş Dekatlonu" katılımları ile Missouri Bilim ve Teknoloji Üniversitesi kampüsünde güneş köyü oluşturulması **[1]**

Güneş evlerinin tasarımında öğrenciler büyük oranda Üniversite' deki danışmanlarının tecrübelerinden yararlanmakta, belirli tasarım ve performans ölçüm metotlarını kullanmaktadırlar. Yarışma projesine hazırlanırken, ön tasarımdan, kesin proje aşamasına geçildiğinde genellikle bilgisayar simülasyonu kullanılmaktadır. Ancak tamamlanmış yapıların kampüste yaşayan laboratuvar olarak kullanımda olması başka ölçüm metotlarını da gündeme getirmektedir. Dolayısıyla binaların ilk tasarımından kullanım sonrasındaki farklı süreçlerde doğal aydınlatma performansı ölçüm metotlarının neler olduğunun incelenmesine ihtiyaç duyulmuştur.

İnşaat, Mimarlık ve Çevre Mühendisliği Bölümü' nde deneysel bir seçmeli ders olarak "doğal aydınlatma" dersi açılmış olup bu kapsamda, geliştirilecek ders dokümanlarının aynı zamanda "güneş köyünde" yürütülecek doğal aydınlatma araştırmalarına da zemin olması hedeflenmiştir. Çalışma, önceden güneş dekatlonu yarışmasına katılmış daha sonra üniversite kampüsünde yer alan laboratuvar niteliğindeki konut binalarının günışığı performansının değerlendirilmesi ihtiyacından yola çıkılarak geliştirilen deneysel ders kapsamındaki günışığı performansı değerlendirme ölçütlerinin açıklanmasını kapsamaktadır. Güneş yörüngesi analizi, kütlesel çalışma, güneş ışınımın ısısal ve ışıksal etkisi, gölgeleme hesaplaması, bilgisayar simülasyonu, yüksek dinamik aralık görüntüleme tekniği, fiziksel ölçekli model ile heliodon analizi" yöntemleri tasarım ve kullanım sonrasında kullanılacak yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır.

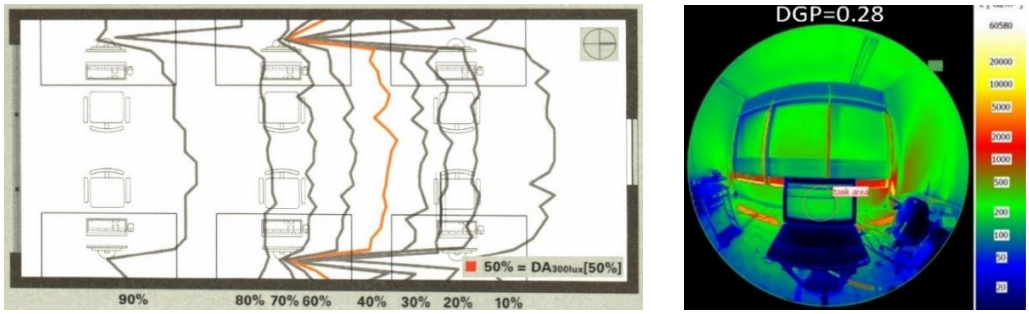
2. MEKANLARIN DOĞAL AYDINLATMA DÜZEYLERİNİN ÖLÇÜMÜ

Gün ışığı kullanılabilirliği, cephelerden odaya iletilen mevcut gün ışığını tanımlar. Bu ölçütler, gün ışığı faktörü (DF) ve belirli bir zamana ilişkin aydınlık düzeyi gibi statik olanlar ve, gün ışığı özerkliği (DA), faydalı gün ışığı aydınlığı (UDI) veya yıllık güneşlenme süresi (ASE) gibi dinamik/iklim temelli olanlar olarak ayrılabilir **[2; 3]**. Bir binanın içindeki aydınlık ve parıltı düzeylerinin ölçümünde zaman faktörünün devreye girmesi ile iklime dayalı gün ışığı ölçüm metodları gündeme gelmektedir **[3]**. Dinamik veya iklim temelli ölçütler adından da anlaşılacağı gibi, yıllık aydınlık profillerinden, yani yerel iklim verileri kullanılarak oluşturulan gün ışığına bağlı iç aydınlık veya parıltı düzeylerinin saatlik zaman serileri üzerinden ölçümü ile türetilir **[4; 5]**. Bu ölçümler LEED v4 kriterlerini ve Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu (IESNA) tarafından aydınlatma ölçüm protokolünü karşılamak için kullanılmaktadır **[6]**.

Gün ışığı kullanılabilirliğinin ölçütü "gün ışığı faktörüdür" ve CIE standart kapalı gök koşulu altında iç mekandaki bir gözleme noktasındaki aydınlığın, dış mekandaki engelsiz gök altında yatay düzlem üzerinde ölçülen aydınlığa oranı olarak tanımlanır. Gün ışığı kullanılabilirliğinin bugüne kadarki en yaygın bilgisayar tabanlı değerlendirmesi, zeminden (genellikle masa yüksekliğinde) yatay düzlem üzerindeki gözleme noktalarından oluşan bir ızgara tanımlanması ve ardından bu gözleme noktalarındaki gün ışığının çeşitli kriterler/metrikler kullanılarak değerlendirilmesiyle başlar **[7]**. "Gün ışığı faktörü" (DF) tipik olarak iç mekanda gün ışığından gelen yatay çalışma düzlemi aydınlatmasının test edilen binanın dış mekandaki engelsiz gök altında yatay düzlem üzerinde ölçülen yatay aydınlatmaya bölünmesi ve ardından 100 ile çarpılmasıyla hesaplanır (DF = (Ei / Eo) x 100%) **[8]**. DF yönteminin basitliği, bu metriği bina yönetmeliklerinde herhangi bir gün ışığı tavsiyesi olan ülkelerde en yaygın performans değerlendirme ölçütü haline getirmiştir **[9]**.

Gün ışığı otonomisi (DA), bir mekan için gerekli en az aydınlık düzeyinin, yalnızca gün ışığı ile karşılanabildiği, yıl içindeki kapsadığı zamanların yüzdesi olarak tanımlanan iklime dayalı bir metriktir. IESNA komitesi şu anda ofisler, sınıflar ve kütüphane tipi alanlar için, yerel saatle sabah 8'den akşam 6'ya kadar kullanımda olan saatlerde 300lux hedef aydınlık düzeyini tercih etmektedir. IESNA aydınlatma ölçüm standartlarına göre, mekândaki bir noktanın gün ışığı otonomisi yılın kullanılan zamanlarının %50'sini aşarsa o nokta yeterince aydınlık olarak kabul edilir **[7]**. 300lux hedef aydınlık ve %50 eşik DA, kısaca DA300lux [%50], şu anda Kuzey Amerika Aydınlatma Mühendisliği Topluluğu (IESNA) tarafından açık ofisler, sınıflar, toplantı odaları ve çok amaçlı odalar gibi ortak çalışma ortamları için tavsiye edilen değerlerdir **[10]**. "DA" endeksinin sürekli gün ışığı özerkliği (cDA) ve mekansal gün ışığı özerkliği (sDA) gibi varyasyonları da mevcuttur **[2]**. Yararlı gün ışığı aydınlığı (UDI) olarak adlandırılan iklim temelli başka bir ölçüt 2006 yılında Mardaljevic ve Nabil tarafından tanıtılmıştır **[11]**. UDI büyük ölçüde DA' ya benzemekle birlikte, gün ışığının "faydalı" olması için 100lux ve 2000lux alt ve üst aydınlık eşiklerini tanımlar. Alt ve üst düzeyler nedeniyle, bir mekândaki her noktanın üç UDI değeri vardır, bunlar; bir noktadaki aydınlığın 100 lux'ün altında, 2000 lux'ün üzerinde veya arasında olduğu zamanların yüzdeleridir **[7]**. Yıllık güneşlenme süresi (ASE), ortam veya yaygın gök ışığı katkıları olmadan ve sDA'nın gerektirdiği dinamik gölgeleme cihazları olmadan 1000 lux' ü aşan doğrudan güneş ışığı geçişinin bir ölçüsüdür **[6]**. Bir mekandaki bir konuma 250 saat doğrudan güneş gelirse, o zaman aşırı aydınlatılmış olarak belirlenir ve bir mekanın taban alanının %10'undan fazlası aşırı aydınlatılmışsa, o zaman 'genel olarak tatmin edici olmayan' görsel rahatsızlığa sahiptir. Bir mekanın taban alanının %7'sinden daha azı aşırı aydınlatılmışsa 'nötr' ve %3'ünden daha azı aşırı

aydınlatılmışsa 'açıkça kabul edilebilir' olarak değerlendirilir **[3]**. Bunlar arasında, çalışma düzlemi aydınlığı (DF), DA ve UDI, ilgili araştırmalarda sıklıkla kullanılan ilk üç metriktir **[2]**. Görsel konforun ölçümünde kullanılan diğer bir yöntem de gün ışığı parıltı olasılığı (daylight glare probability - DGP) yöntemidir. Gün ışığı parıltı olasılığı hesaplamasında görünümün genel parıltısı, parıltı konumu ve görsel kontrast dikkate alınır **[12]**. "Gün ışığı parıltı olasılığı" 0,35 in veya %35' in altındaki oranlar algılanamaz parıltı düzeyi olarak görülmekte ve kabul edilebilir limit değer olarak tanımlanmaktadır **[13; 14]**. Yatay çalışma düzlemindeki aydınlık düzeyinin ölçümünde kullanılacak metrikler (DF, DA veya UDI vb.) ile objelerin yüzeyinde oluşan yansıma ve algılanan parıltı düzeyinin ölçümünde kullanılan metrikler farklılık göstermektedir **(Şekil 2)**.



Şekil 2: Örnek bir ofis için gün ışığı otonomisi (DA300lux[%50]) eş aydınlık düzeyi eğrileri(güneş kırıcısısız) (solda) **[10]**, örnek bir laboratuvar için "gün ışığı parıltı olasılığı" analizi ve fotoğraf ile haritalanması (sağda) **[15]**

3. TASARIM VE KULLANIM AŞAMALARINDA PERFORMANS ÖLÇÜM METODLARI

Doğal aydınlatma ile iç mekan termal özelliklerine ilişkin bir dengenin kurulması önem arz etmektedir **[2; 16]**. Genel olarak, bu dengeyi sağlamak için planda uygun bir genişlik-derinlik oranı, cephede uygun bir pencere-duvar oranı, yüksek şeffaflık ve ısı yalıtımlı camların kullanımı, kontrollü ayarlanabilir gölgelendirme ve verimli aydınlatma ekipmanları önerilmektedir **[2]**. Tasarım aşamasında bir mekana ilişkin doğal aydınlatma düzeyinin ölçümü için öncelikli olarak yukarıda belirtilen metriklerden hangisinin kullanılacağına karar verilmelidir. Sonrasında, örnek çalışmanın hangi aşamasında bu ölçümün veya analizin gerçekleştirileceği tespit edilmelidir. Tasarım ve kullanım süreçlerinde güneş yörüngesi analizi, güneş ışınımının ısısal ve ışıksal etkisi, kütlesel çalışma, gölgeleme hesaplaması, bilgisayar simülasyonu, fiziksel ölçekli model ile heliodon analizi, yerinde fiziki ölçüm, yüksek dinamik aralıklı görüntüleme tekniği kullanılmaktadır **(Çizelge 1)**.

Çizelge 1: Proje geliştirme ve bina kullanım süreçlerinde kullanılabilecek doğal aydınlatma ölçüm metodları

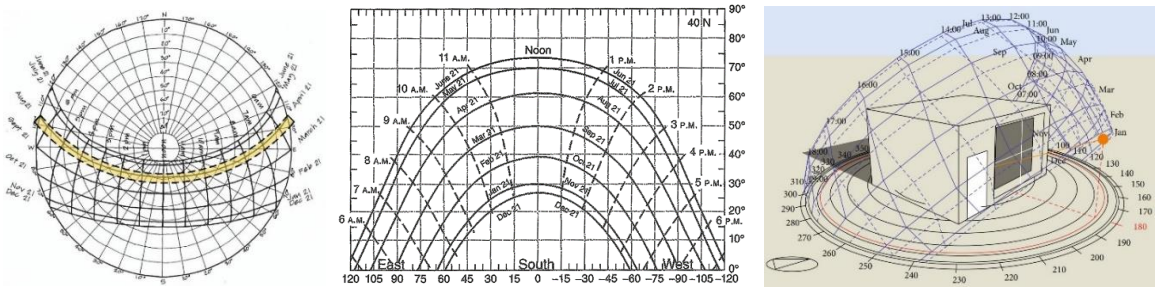
A. Tasarım sürecinde		**B. Kullanım sürecinde**
Ön tasarım aşamasında	Kesin proje aşamasında	
1-Güneş yörüngesi analizi	4-Bilgisayar simülasyonu	1-Yerinde fiziki ölçüm
2-Kütlesel çalışma	5-Fiziksel ölçekli model ile	2- Yüksek dinamik aralıklı
3-Gölgeleme hesaplaması	heliodon analizi	görüntüleme tekniği

3.1. Tasarım Sürecinde Performans Ölçüm Metodları

Şematik tasarımda özellikle araziye ve binanın arazi üzerindeki konumuna göre günışığı-bina ilişkisi analiz edilir. Bu aşamada yapı kütlesini ve mekânsal tasarımını yönlendirecek doğal aydınlatmaya ilişkin genel veriler ortaya çıkarılmaya çalışılır. Güneşin hareket yönüne göre cephe-mekân ilişkileri incelenir. Hangi yönlerin tasarlanacak mekânların doğal aydınlatma düzeylerini nasıl etkilediği araştırılır.

- **Güneş yörüngesi analizi**

Belirli bir bina alanına çarpan güneş ışınlarının yoğunluğu farklı dönemler için tahmin edilebilir ve olumsuz etkisi tasarımla yönetilebilir ve çözülebilir **[17]**. Güneş yörüngesi diyagramları ile, Güneş'in gökyüzündeki konumu belirlenebilir veya hesaplanabilir. Ayrıca, güneş yörüngesi diyagramları mimaride güneşin binayı nasıl etkileyeceğini analiz etmek için kullanılır **[18]**. Grafik gösterim teknikleri olarak en çok kullanılan yöntemler kutupsal (stereografik) ve silindirik (ortografik) projeksiyonlardır **[19]**. Stereografik diyagramlar, güneşin gün ve yıl boyunca gökyüzünde değişen konumunu temsil eder [12]. Güneş yörüngesi diyagramı, gökyüzünün yarım küre şeklindeki tonozu boyunca belirli bir enlem için güneşin yolunun iki boyutlu grafiksel bir temsilidir. Güneş yörüngesi diyagramındaki üç boyutlu gökyüzü kubbesi, güneşin yolunun bir dizi eliptik eğriye dönüştüğü iki boyutlu dairesel bir ekrana yansıtılır **(Şekil 3) [17; 19]**.



Şekil 3: 2 boyutlu stereografik güneş yörüngesi diyagramı (solda) **[20]**, 2 boyutlu ortografik güneş yörüngesi diyagramı (ortada) **[21]**, 3 boyutlu güneş yörüngesi analizi **[22]**

- **Kütlesel çalışma**

Bina kütle çalışmasında enerji ve çevre performansını iyileştirmek için tek bir parametre almak yerine çoklu parametrelerin karşılaştırılması ile bir optimizasyon sağlanabilmektedir. Burada belirtilen performans hedefleri enerji tüketimini, fotovoltaik enerji potansiyelini ve gün ışığı saatlerini içermektedir **[23]**.

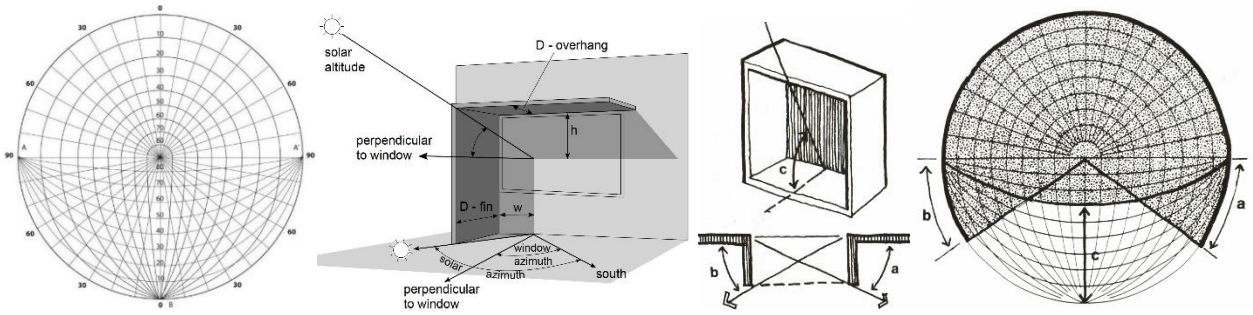


Şekil 4: Gökyüzüne maruz kalma analizi; kesit (solda) **[26]**, kuzey-batı yönünden perspektif (ortada) **[27]**, gökyüzü açısı hesaplaması (sağda) **[10]**

Bir binanın aydınlatması tasarlanırken, bina yerleşiminin ve yöneliminin yapay aydınlatma ihtiyacını azaltabileceği ve böylece kullanıcı memnuniyetini artırabileceği dikkate alınmalıdır. Güneş yörüngesine göre ayarlanmış bir bina düzeninin pencereler aracılığıyla yeterli gün ışığı sağlaması gerektiği kabul edilmektedir **[24]**. Kütle çalışmasının ön tasarımı aşamasında yaygın olarak kabul gören temel kurallar; atrium ve tepe aydınlatması kuralı, gökyüzüne maruz kalma düzlemi kuralı, pencere-duvar ve pencere-kat alanı oranları ve pencere tepe yüksekliğidir. Gökyüzü açısının hesaplanması, gün ışığı fizibilite testi için yararlı bir araçtır. Gün ışığı fizibilite testinden de burada bahsetmek gerekir. Temel fikir, bir mekânın yeterli doğal ışık alabilmesi için, minimum miktarda gün ışığı akısının bir pencereden mekana girebilmesini sağlayabilmektir **(Şekil 4) [25]**.

- **Gölgeleme hesaplaması**

Güneş ışığı gölgeleme hesaplaması, proje sahanın güneşe maruz kalma düzeyinin değerlendirmesi, proje alanının güneş ışınımının erişimine engel objeleri/kütleleri gösterir gölgeleme maskesi ve pencere gölgeleme maskesi ile gerçekleştirilebilir. Stereografik diyagramların en önemli özelliklerinden biri, sahada zemin düzleminden gökyüzünü hedeflemiş bir balıkgözü mercekli fotoğraf makinası ile çekilmiş fotoğraf ile ilişkilendirilebilmesidir. Bu sayede alanın yıl boyunca günün hangi saatlerinde güneş ışınlarının alanda engellendiği ve gölgelenme zamanları hakkında veri sağlar **(Şekil 5) [17]**.



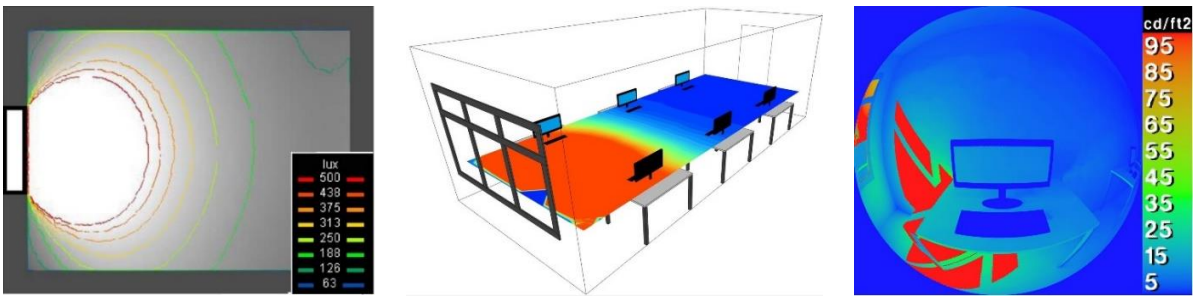
Şekil 5: Güneş gölgeleme açıölçeri (solda) **[28]**, güneş kırıcı ölçülerinin hesaplaması (ortada) **[29]**, yatay ve düşey gölgeleme elamanları kombinasyonlu gölgeleme maskesi (sağda) **[26]**

Şematik tasarım ile binanın genel konumlanışı belirlendikten sonra tasarlanan mekânların doğal aydınlatma düzeylerinin daha net anlaşılabilmesi için daha detaylı analizlere ihtiyaç duyulur ve

tasarım geliştirme aşamasında bu ihtiyaca çözüm aranır. Bu aşamada artık binanın kütlesine değil, mekânların doğal aydınlatma düzeylerinin yeterli olup olmadığına odaklanılır.

- **Bilgisayar simülasyonu**

Bir mekanın bilgisayar simülasyonu yardımı ile genellikle yıl boyunca farklı dönemlerinin incelenmesi gerekir ve bu incelemede farklı gökyüzü koşulları ve günün/yılın farklı zamanları dikkate alınmalıdır **[30]**. Günümüzde doğal aydınlatma araştırmacılarının kullandığı çok çeşitli dijital araçlar bulunmaktadır **[31; 32]**. Hesaplamalar araştırmaya konu proje alanının yer küre üzerindeki konumuna (enlem ve boylam), gökyüzü tanımına (farklı CIE gökyüzü modelleri) ve yılın belirli zamanlarına (gün/saat) dayanmaktadır **[33]**. Simülasyonlarda genellikle çalışma düzlemindeki doğal aydınlatma düzeyleri ölçülmektedir. Ölçülen alana ilişkin aydınlık düzeyleri gruplanabilmektedir. Ölçüm metriği olarak ağırlıkla statik ölçüm metodu olan günışığı faktörü (DF) metodu tasarımcılar arasında yoğun olarak kullanılmakta, ancak dinamik/iklim temelli ölçüm metodları araştırmacılar arasında daha popülerdirler. Bunun yanında plan düzleminden farklı olarak iç mekan perspektiflerinde günışığı parıltı olasılığı ölçümü de simüle edilebilmektedir **(Şekil 6)**. Bu hesaplamalarda, aydınlık düzeyi ölçü birimi olan "lux" ten farklı olarak, parıltı düzeyi "cd/m^2" ölçü birimi ile ölçülebilmektedir.

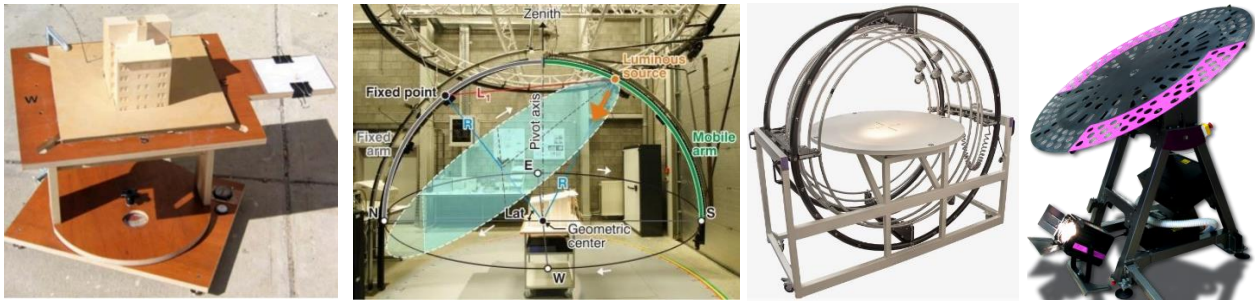


Şekil 6: Plan düzleminde aydınlık düzeyi (solda) **[34]**, plan düzleminde günışığı otonomisi (DA) (ortada) **[5]**, sabit bir kullanıcı noktasından alınan günışığı parıltı olasılığı (sağda) **[5]**.

- **Fiziksel ölçekli model ile heliodon analizi**

Fiziksel ölçekli model ile bir bina kütlesinin güneş yörüngesi ve gölgeleme ilişkisi analizi heliodon adı verilen güneşin bir binaya göre olan hareketini göstermek için kullanılan mekanik bir cihaz ile yapılır. Genel olarak portatif ve mekanik heliodon olarak ayrılmaktadır. Portatif heliodonlar ağırlıklı olarak yüksek teknoloji gerektirmeden dış mekanda kullanılmaya başlanmıştır. Dışarıda bir heliodon kullanmak için, güneş yörüngesini takip etmek üzere bir güneş saati gereklidir. Bu tür güneş saatleri günümüzde internet tabanlı uygulamalardan, çalışılan coğrafi konuma göre doğrudan dijital olarak üretilebilmekte ve kağıt çıktı ile kullanılabilmektedir. Portatif heliodonlara ilaveten mekanik heliodonlar daha karmaşık bir yapıya sahiptirler. Bu heliodonlar mekanik cihazlardır ve manuel veya otomatik olarak çalıştırılabilirler **[35]**. Bugüne kadar geliştirilen mekanik iç mekan heliodonları genel olarak iki kategoriye ayrılabilir; sabit güneş-hareketli yeryüzü modeli ve sabit yeryüzü-hareketli güneş modeli **[36; 37]**. Her iki mekanik heliodon da amaç, model üzerinde uygun güneş açılarını ve gölgeleri oluşturmaktır. Güneş modelini esas alan bu tip heliodonlar farklı güneş yörüngelerini temsil eden birden fazla rijit kemere/yaya sahiptirler **[37]**. Güneş modeline ilaveten

daha gelişmiş gökyüzü modelleri de mevcuttur. Kubbe şeklindeki "Ayna kutusu" ile gökyüzü modellemesi, bulutlu bir CIE (Uluslararası aydınlatma komisyonu) simülasyonu yapılmasına ve böylece modellenen binanın herhangi bir alanındaki gün ışığı faktörünün değerlendirilmesine olanak tanır **(Şekil 7) [33]**.



Şekil 7: Güneş saati ile kullanılan portatif bir dış mekan heliodon' u (solda) **[35]**, sabit yeryüzü-hareketli güneş modeli (ortada) **[33; 38]**, sabit güneş-hareketli yeryüzü modeli (sağda) **[38]**.

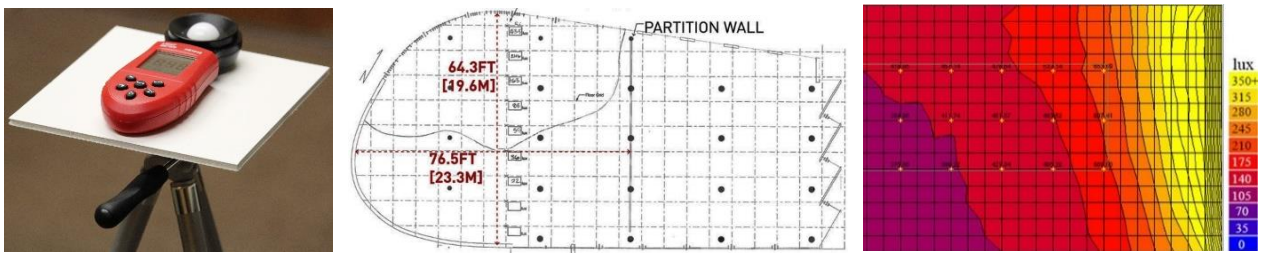
3.2. Kullanım Sürecinde Performans Ölçüm Metodları

Ön tasarım ve proje geliştirme süreçlerinde yukarıda anlatılan örneklere ilaveten, mevcutta kullanımda olan yapıların da performans ölçümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu açıdan bakıldığında temelde iki ölçüm metodu karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan birincisi, yerinde fiziki ölçüm, ikincisi ise yüksek dinamik aralıklı görüntüleme tekniği ile günışığı parıltı düzeyinin ölçümüdür.

- **Yerinde fiziki ölçüm**

Yerinde fiziki ölçüm, bir mekanın aydınlık düzeyinin bir ışıkölçer (illuminance meter / lüksmetre –ölçü birimi; lux) yardımı ile ölçülmesi ile gerçekleştirilir. Bunun için çalışma düzleminde sanal bir grid oluşturulur ve tanımlanan noktalarda belirtilen ölçümler gerçekleştirilir. Elde edilen bulgular, eş aydınlık düzeyi eğrileri olarak plan düzleminde çizilmesi ile değerlendirilir.

Bunun yanında eğer bir objeye ait parıltı düzeyinin ölçümü gerekli ise ayrı bir cihaz olan parıltı ölçer (luminance meter – ölçü birimi; cd/m2) kullanılmaktadır. Her iki cihazın beraber kullanılması ile alınacak ölçümlerden sonra bir mekandaki yüzeyin yüzey yansıtma (surface reflectance) katsayısı da elde edilebilir **[39]**. Dolayısıyla, mevcut binaların iç mekanlarında gün ışığı aydınlık düzeyleri, yüzey yansıma katsayıları ile birlikte fiziki olarak ölçülebilmektedir **[40]**. Lüksmetre ile yatay düzlemde oluşturulan sanal grid üzerinden yapılan ölçümler yardımı ile eş aydınlık düzeyi eğrileri çizilebilmekte, bu sayede bir mekana ilişkin günışığı faktörü (DF) analizi yapılabilmektedir **(Şekil 8)**.



Şekil 8: Çalışma düzleminde ışık ölçer ile noktasal ışık ölçümü (solda) (fotoğraf; Semih G. Yıldırım), yatay düzlemde sanal grid oluşturularak ışık ölçer (lüksmetre) ile ölçüm yapılması (ortada) **[7]**, yerinde ölçülen değerlerin bilgisayar programına aktarılması ile oluşturulan plan düzleminde eş aydınlık düzeyi eğrileri analizi **[41]**.

- **Yüksek dinamik aralıklı görüntüleme tekniği**

"Yüksek dinamik aralıklı" (HDR) görüntüler, aydınlatma tasarımı ve parıltı analizi, görsel konfor çalışmaları, yol ve yaya aydınlatması araştırmaları gibi farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır **[30]**. Yüksek dinamik aralığa sahip görüntülerin, dijital sensörün yüksek dinamik aralık kaydındaki sınırlaması nedeniyle (karanlık alanlarda az pozlaması ve aydınlık alanlarda aşırı pozlaması) ayrıntı ve doku kaybı olmadan kaydedilmesi imkânsızdır. Bu görüntüler, aynı sahnenin her biri farklı deklanşör hızıyla çekilmiş birden fazla görüntüsünün birleştirilmesiyle oluşturulur ve böylece farklı pozlamalara sahip daha iyi bir görüntü yelpazesi sağlar **[42; 43]**. İnsan gözü, bir dijital kameranın yakalayabileceğinden veya bir bilgisayar ekranının görüntüleyebileceğinden daha geniş bir ışık aralığını görebilir **[44]**. Esasen, dijital tek lensli yansıtma kamerası (DSLR) ile elde edilen bir "yüksek dinamik aralıklı" (HDR) görüntü, aydınlatma verilerini doğru bir şekilde elde etmekte ve bu teknik ile bir görüntü insan algısına eş düzeyde yakalanabilmektedir **[45]**. Elde edilen "yüksek dinamik aralıklı" (HDR) görüntüler, bilgisayar yazılımı yardımı ile birleştirilerek, farklı görüntü analiz programları ile yanlış renk (false-color), eş aydınlık düzeyi eğrisi (isolux mapping) ve kamaşma analizi (glare analysis) yapılabilmektedir **[44; 45]**. Bu yöntem, bir mekanın kullanım sonrası çeşitli parıltı düzeylerinin ölçümü için kullanılabilir.

4. SONUÇLAR

Üniversite bünyesinde doğal aydınlatma ile ilgili yürütülecek gerek araştırma ve gerekse eğitim faaliyetlerinde kullanılabilecek bir altyapı oluşturulması amacıyla bu çalışma kapsamındaki konular incelenmiştir. Binalarda aydınlık düzeyi ve parıltı düzeyi ölçüm metodlarının neler olduğu ortaya konulmuş, bu metodların nerelerde kullanılabileceği gösterilmeye çalışılmıştır. Tasarım ve kullanım aşamalarındaki performans ölçüm metodlarının her biri esasen bir uzmanlık alanı niteliğinde olup, yürütülecek araştırmalarda ayrı ayrı veya birleştirilerek ele alınabilir. Özellikle günümüzde bilgisayar simülasyonu diğer tekniklere nazaran, pratik olması bakımından yaygın olarak tercih edilmektedir. Fiziksel ölçekli model ile heliodon analizi ancak bir aydınlatma laboratuvarı ortamında özel ekipman ile gerçekleştirilebilmekte, bundan dolayı kullanımı araştırmacılar arasında da sınırlı kalmaktadır. Performans değerlendirme ölçütü olarak, günışığı faktörü (DF) analizi yaygın olarak kullanılmakta olsa da, dinamik/iklim temelli ölçüm metodları gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Eğitim alanına uyarlanması düşünüldüğünde, lisans veya lisansüstü düzeyde yürütülecek doğal aydınlatma ile ilişkili derslerde, burada sunulan metodlardan biri veya birkaçı seçilebilir ve laboratuvar ortamında uygulama faaliyeti olarak öğrencilere yaptırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Missouri S&T, Living Laboratories, https://cree.mst.edu/laboratories/ (erişim; 01.03.2024)

2. F. Yu, R. Wennersten, J. Leng, A state-of-art review on concepts, criteria, methods and factors for reaching 'thermal-daylighting balance'. *Building and Environment*, (2020), no.186.

3. J.A. Jakubiec, G. Quek, T. Srisamranrungruang, Long-term visual quality evaluations correlate with climate-based daylighting metrics in tropical offices – A field study, *Lighting research technology*, 53, (2021), pp. 5–29

4. C.F. Reinhart, J. Wienold, The daylighting dashboard: A simulation-based design analysis for daylit spaces. *Building and environment*, 46, (2011), no.2, pp.386-396.

5. L. Buckley, Ten key daylight and electric light metrics. Integrated Environmental Solutions (IES), https://www.iesve.com/discoveries/article/3813/ten-key-daylight-and-electric-metrics (erişim; 01.03.2024)

6. IES, Approved method: spatial daylight autonomy (sDA), annual sunlight exposure (ASE). *Illuminating engineering society (IES)*. New York (2012).

7. C.F. Reinhart, D.A. Weissman, The daylit area: Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics. *Journal of Building and environment*, 50 (2012), pp.155-164.

8. C. M. Meek, K. V. D. Wymelenberg, Daylighting and integrated lighting design. *Pocket architecture: technical design series*, (2014), published by Routledge.

9. M. Boubekri, Daylighting design: planning strategies and best practice solutions, (2014), Published by Birkhauser Verlag GmbH.

10. C.F. Reinhart, Daylighting handbook I; fundamentals designing with the sun. Published in USA, (2014).

11. J. Mardaljevic, A. Nabil, The useful daylight illuminance paradigm: a replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, 38 (7), (2006), pp. 905-913.

12. M. Bodart, C. Cauwerts, Assessing daylight luminance values and daylight glare probability in scale models, *Building and environment*, 113, (2017), pp. 210-219.

13. J. Mardaljevic, M. Andersen, N. Roy, J. Christoffersen, Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability?, *First Building Simulation and Optimization Conference, Loughborough, UK*, (2012).

14. Daylight glare probability (DGP), https://help.iesve.com/ve2021/ (erişim; 01.03.2024)

15. A. Tzempelikos, Daylight glare probability measurements and correlation with indoor illuminances in a full-scale office with dynamic shading controls, *International high performance buildings conference*, (2014)

16. A. Sepúlveda, F.D. Luca, M. Thalfeldt, J. Kurnitski, Analyzing the fulfillment of daylight and overheating requirements in residential and office buildings in Estonia. *Building and Environment*, (2020), no.180.

17. Solar radiation as external thermal force acting on the building, Center of Planning & Architectural Studies. http://www.cpas-egypt.com/pdf/Ahmed_Safwat/M.Sc/004%20%20%20%20%20CHAPTER2.pdf (erişim; 01.03.2024)

18. G. Prinsloo, R. Dobson, Solar tracking, *Published by Stellenbosch University*, South Africa, (2015).

19. J. K. W. Oh, J. S. Haberl, L. Degelman, Enhanced software for displaying orthographic, stereographic, gnomic and cylindrical projections of the sun path diagram and shading mask protractor. *Proceeding of the twelfth symposium on improving building systems in hot and humid climates*, San Antonio, TX, (2000).

20. B. Norkin, How to read sun path diagrams. https://hyperfinearchitecture.com/how-to-read-sun-path-diagrams/ (erişim; 01.03.2024)

21. Z. An, S. Mason, Integrating advanced daylight analysis into building energy analysis. Fourth National Conference of IBPSA, New York, (2010).

22. T. Guo, G. Sang, Y. Zhang, X. Cui, Thermal performance and energy analysis of phase change material-integrated building with the auxiliary heating system in different climate regions. *International Journal of Energy Research*, vol. (2023).

23. K. Liu, X. Xu, W. Huang, R. Zhang, L. Kong, X. Wang, A multi-objective optimization framework for designing urban block forms considering daylight, energy consumption, and photovoltaic energy potential. *Building and Environment*, (2023), no.242.

24. G. Wimmers, Passive design toolkit for homes. *Light House Sustainable Building Centre*, Vancouver, (2009).

25. C. F. Reinhart, Daylighting handbook I; fundamentals designing with the sun. *Published in USA*, (2014).

26. F. Moore, Concepts and practice of architectural daylighting. *Published by Van Nostrand Reinhold*, New York, (1991).

27. L. Wang, P. Jannsen, K. W. Chen, Z. Tong, G. Ji, Subtractive building massing for performance-based architectural design exploration: a case study of daylighting optimization. *Sustainability*, vol. 11, (2019).

28. Sun shading catalogue - Adequate shading: sizing overhangs and fins. *United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat)*, (2018).

29. A. Robinson, S. Selkowitz, The integrated approach; tips for daylighting with windows. *Environmental Energy Technologies Division of the Lawrence Berkeley National Laboratory*, (2013).

30. V. Zaikina, Light modelling in architectural spaces; luminance-based metrics of contour, shape and detail distinctness of day-lit 3D objects. *PhD Dissertation*, (2016), Norwegian University of Science and Technology.

31. Dubois M., C, Horvat, M., (Eds.) State-of-the-art of digital tools used by architects for solar design. *Report T.41.B.1.IEA SHC Task 41 Solar Energy and Architecture*, (2010).

32. Horvat, M., Dubois, M., C., Snow, M., & Wall, M. International survey about digital tools used by architects for solar design. *Report T.41.B.2. IEA SHC Programme Task 41: Solar Energy and Architecture*, (2011).

33. Horvat, M., Wall, M., Solar design of buildings for architects: Review of solar design tools. *Solar Heating & Cooling Programme, International Energy Agency.* (2012).

34. J. Mohelnikova, J. Hirs, Effect of externally and internally reflective components on interior daylighting. *Journal of Building Engineering*, vol. 7, (2016), pp. 31-37.

35. R. E. Osser, Development of two heliodon systems at MIT and recommendations for their use. Master of Science Thesis in Massachusetts Institute of Technology, (2007).

36. K. P. Cheung, S. L. Chung, A table top heliodon with a moving light source for use in an architect's office. *International Journal on Architectural Science*, Vol. 3, Number 2, (2002), p.51-60.

37. D. Dolan, G. Bucher, L. Carter, J. Hamilton, R. Hubilla, Cal Poly heliodon. *California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California.* (2015).

38. Betanit, Robotic and manual heliodons for education, design and research, https://www.betanit.com/heliodon/ (erişim; 01.03.2024)

39. C.F. Reinhart, Daylight course; lecture notes 5; massing studies. *MIT open course ware*, https://ocw.mit.edu/courses/4-430-daylighting-spring-2012/ , (2012).

40. I. Bournas, M.C. Dubois, T. Laike, Perceived daylight conditions in multi-family apartment blocks – Instrument validation and correlation with room geometry. *Building and Environment*, (2020), no.169.

41. S. Ma'bdeh, B.Al-Khatatbeh, Daylighting retrofit methods as a tool for enhancing daylight provision in existing educational spaces-a case study. *Buildings* vol. 9, issue 159, (2019).

42. A. Ntregkaa, A. Georgopoulosa, M. S. Quinterob, Photogrammetric exploitation of HDR images for cultural heritage. *XXIV International CIPA Symposium, Strasbourg, France,* (2013).

43. C. Pierson, C. Cauwerts, M. Bodart, J. Wienold, Tutorial: luminance maps for daylighting studies from high dynamic range photography. *The Journal of the Illuminating Engineering Society*, vol. 17, no. 2, (2021), pp.140-169.

44. L. Beltran, B. M. Mogo, Assessment of luminance distribution using hdr photography. *ISES solar world congress, Orlando, FL,* (2005).

45. P. Au, M. Donn, HDR luminance measurement: comparing real and simulated data. *The architectural science association (ASA), Conference, New Zealand,* (2012).