TEPE AYDINLATMASININ EĞRİSEL TAVANLARDA KULLANIMI; AYDINLATMA VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN BİR DEĞERLENDİRME

Ebrar Sugün[1], Semih Göksel Yıldırım[2]

[1] İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, ebrar.sugun1@ogr.gelisim.edu.tr
[2] İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, sgyildirim@gelisim.edu.tr

Mimarlıkta sürdürülebilir tasarım, enerji tüketimini azaltmayı ve doğal kaynaklardan etkin yararlanmayı gerektirir. Bu bağlamda, doğal aydınlatma hem kullanıcı konforu hem de enerji verimliliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Çalışmada, farklı geometrik eğriliklere sahip dört tonoz tipinin (dairesel, eliptik, parabolik, sikloid) tepe aydınlatmalarıyla birlikte iç mekânlarda sunduğu gün ışığı performansı karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Yöntem olarak, bilgisayar destekli simülasyonlardan yararlanılmış; her tonoz tipi yılın üç karakteristik günü (21 Mart, 21 Haziran, 21 Aralık) ve farklı saat dilimlerinde değerlendirilmiştir. Aydınlık düzeyleri belirlenen eşik aralıklarına göre sınıflandırılmış ve performans göstergeleri bu veriler üzerinden yorumlanmıştır. Bulgular, eliptik tonozun en istikrarlı performansı sunduğunu, parabolik ve dairesel tonozların yaz aylarında yüksek verimlilik gösterdiğini, sikloid tonozun ise sınırlı sürelerde etkili olabildiğini ortaya koymuştur. Genel olarak, kış aylarında tüm tiplerin yetersiz kaldığı ve yapay aydınlatma desteğinin zorunlu olduğu görülmüştür. Çalışma, tonoz geometrisinin ışık kalitesi ve mekânsal deneyim üzerinde belirleyici bir parametre olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Tonoz Tipleri, Tepe Aydınlatması, Doğal Aydınlatma, Günışığı Simülasyonu, Karşılaştırmalı Analiz

The Use of Skylights in Curved Ceilings: An Evaluation of Lighting Efficiency

Sustainable design in architecture requires reducing energy consumption and making effective use of natural resources. In this context, daylighting plays a critical role for both user comfort and energy efficiency. This study comparatively analyzes the daylight performance of four vault types with different geometric curvatures (circular, elliptical, parabolic, and cycloid) in combination with skylights. Computer-aided simulations were employed as the method; each vault type was evaluated on three characteristic days of the year (March 21, June 21, and December 21) and at different times of the day. Illuminance levels were classified according to defined threshold ranges, and performance indicators were interpreted based on these values. The findings reveal that the elliptical vault provided the most consistent performance, while parabolic and circular vaults showed higher efficiency during summer months, and the cycloid vault was effective only for limited periods. Overall, all types were insufficient in winter, making artificial lighting support necessary. The study demonstrates that vault geometry is a decisive parameter influencing both light quality and spatial experience.

Keywords: Vault Types, Skylight, Daylighting, Daylight Simulation, Comparative Analysis

1. GİRİŞ

Günümüzde mimari tasarım süreçleri yalnızca estetik ve işlevsellik kriterlerine değil, aynı zamanda enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik gibi çevresel parametrelere de duyarlılık göstermeyi gerektirmektedir. Bu kapsamda, doğal aydınlatma, enerji tüketimini azaltan, kullanıcı konforunu artıran ve iç mekân deneyimini zenginleştiren önemli bir tasarım bileşeni olarak öne çıkmaktadır [1]. Özellikle yapay aydınlatma ihtiyacını azaltma potansiyeli sayesinde, günışığının mimari mekanlarda etkin kullanımı hem çevresel hem ekonomik açıdan kayda değer faydalar sunmaktadır.

Doğal ışığın iç mekâna alınmasında geleneksel pencere açıklıkları mimaride uzun süredir kullanılmakla birlikte, bu açıklıklar genellikle duvar düzlemi ile sınırlıdır. Oysa özellikle büyük

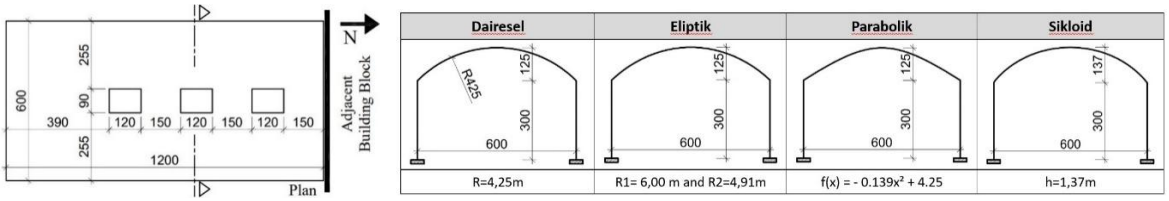
açıklıkların ve yüksek hacimlerin söz konusu olduğu yapılarda, tepe aydınlatmaları (zenithal daylighting) çok daha etkin bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tür aydınlatma biçimleri, gün ışığını doğrudan tavan yüzeyinden alarak hem daha homojen bir ışık dağılımı sağlar hem de mimari formun doğal ışıkla etkileşimini artırır [2].

Bu bağlamda, eğrisel yüzeyli mimari örtüler—özellikle tonozlar—yalnızca yapısal avantajlarıyla değil, aynı zamanda ışığı alma ve yönlendirme biçimleriyle de dikkat çekmektedir. Tonoz sistemleri, mimarlık tarihinde hem estetik hem de teknik açıdan önemli yere sahip olup, günümüzde çağdaş mimarlıkta yeniden yorumlanmaktadır. Ancak bu yüzeylerin günışığını iç mekâna nasıl taşıdığına dair nicel ve karşılaştırmalı analizler oldukça sınırlıdır.

Bu çalışma, mimari tasarımda sıkça kullanılan eğrisel örtü sistemlerinden tonozların, tepe aydınlatmalarıyla birlikte gün ışığı performansını nicel olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, dört farklı eğrisellik özelliğine sahip tonoz tipi—dairesel, eliptik, parabolik ve sikloid—üzerinde yapılan simülasyonlarla, her bir yüzeyin iç mekâna doğal ışık taşıma kapasitesi karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Böylece, farklı tonoz biçimlerinin yalnızca yapısal veya estetik değil, aynı zamanda aydınlatma performansı açısından da tasarım sürecine etkisi araştırılmıştır.

Aydınlatma verimliliği literatürde birçok araştırmacı tarafından hem teorik hem de deneysel olarak araştırılmıştır [3-12]. Bu çalışmalarda, eğrisel geometrilerin ışık yayılımı üzerindeki etkisine dair çalışmalar sınırlı olsa da, yüzey biçiminin ışığın yönü, yoğunluğu ve dağılımı üzerinde belirleyici olduğu ortaya konmuştur [13]. Bu nedenle, yalnızca açıklığın boyutu değil, aynı zamanda açıklığın konumu ve tonoz yüzeyinin eğriliği gibi parametreler de tasarım kararlarında kritik rol oynamaktadır. Çalışma, bu parametrelerin ışık performansı üzerindeki etkisini sayısal verilerle ortaya koyarak, mimari tasarım sürecine yön verecek veriye dayalı içgörüler sağlamayı hedeflemektedir.

Böylece bu çalışma, hem akademik araştırmalar hem de pratik tasarım süreçleri açısından iki yönlü katkı sunmayı hedeflemektedir: Bir yandan mimari kabuk formlarının aydınlatma performansı üzerine yeni veriler sunarken, diğer yandan tasarımcıya kılavuzluk edebilecek stratejik ipuçları sağlamaktadır.



Şekil 1. Tonoz boyutları ve üzerinde açılacak boşlukların konumu (solda); tonoz tiplerine göre eğrilik yarıçapları ve ölçülendirme (sağda) .

Bu kapsamda çalışmada, dört farklı tonoz tipi - dairesel, eliptik, parabolik ve sikloid - aynı açıklık genişliğine (6 metre) sahip olacak şekilde modellenmiş ve bu yüzeylerin üzerinde, gün ışığının doğrudan içeri girmesini sağlayacak tepe açıklıkları yerleştirilmiştir. Bu açıklıklar, tüm tonoz tiplerinde geometrik merkezle aynı hizada konumlandırılmış olup, böylece eğrisel yüzeyin ışık ile etkileşimi yalnızca biçimsel farklılıklar üzerinden analiz edilebilmiştir. Şekil 1, bir yandan tonozların genel boyutlarını ve açıklık konumlarını (solda), diğer yandan da her bir tonoz tipine özgü eğrilik yarıçaplarını ve yüzey ölçülendirmelerini (sağda) göstermektedir. Bu geometrik altyapı, simülasyonlarda karşılaştırılabilir bir değerlendirme zemini sunmak amacıyla sabit tutulmuştur.

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEM

Simülasyon çalışmaları, İstanbul'da kurgulanan bir inovasyon ve araştırma merkezi tasarımı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yapının üst örtüsünü oluşturan tonozlar, 6 metre genişliğinde ve 12 metre uzunluğunda olacak şekilde modellenmiş; tüm tonozlarda tepe açıklığı geometrik merkeze yerleştirilmiştir (Tablo 1). Bu açıklıklar, ışığın yüzeyle etkileşimini doğrudan etkileyen bir parametre olarak sabit tutulmuş, yalnızca tonoz eğriliği değişken olarak ele alınmıştır.
Sayısal değerlendirme için Autodesk Revit yazılımı kullanılmış ve iç mekânda elde edilen aydınlık düzeyi (lux) değerleri üç farklı tarih için analiz edilmiştir: 21 Mart (ilkbahar), 21 Haziran (yaz), 21 Aralık (kış). Bu tarihler, yılın farklı mevsimlerine karşılık gelen tipik günler olarak seçilmiş ve saat 10.00 ile 16.00 aralığında gün ışığı dağılımları gözlemlenmiştir. Her simülasyon için, iç mekândaki 1 m²'lik karelerden oluşan bir grid sisteminde elde edilen veriler üzerinden, %30 ile %50 aydınlık düzeyi aralığında kalan alan yüzdesi, performans göstergesi olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. Tonoz tiplerine göre geometrik özellikler ve simülasyon parametreleri.

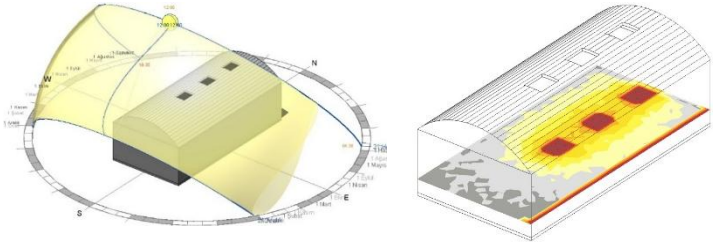
Tonoz Tipi	Eğri Tipi	Genişlik (m)	Uzunluk (m)	Tepe Açıklığı Konumu	Yüzey Eğriliği Özelliği
Dairesel	Yarıçaplı	6	12	Orta Nokta	Simetrik, içbükey
Eliptik	a:5, b:2.5	6	12	Orta Nokta	Yumuşak eğri
Parabolik	$y = ax^2$ tipi	6	12	Orta Nokta	Derin içbükey
Sikloid	$y = a(1-\cos x)$	6	12	Orta Nokta	Asimetrik yayılım

Bu yöntemin tercih edilme nedeni, geleneksel "daylight factor" gibi ölçütlerin gerçek zamanlı günışığı değişimini yansıtmakta yetersiz kalmasıdır [14]. Bunun yerine, farklı saatlerdeki ışık varyasyonlarını hesaba katan dinamik simülasyon yöntemi sayesinde, her tonoz tipinin gün boyunca ve mevsimsel olarak ne kadar verimli çalıştığı daha doğru biçimde ortaya konmuştur. Bu yöntemsel çerçeve, hem akademik geçerlilik hem de tasarım pratiğine aktarılabilirlik açısından güçlü bir değerlendirme zemini sunmaktadır.

Simülasyonlar, mimari tasarım kararlarının çevresel bağlamla uyumlu bir biçimde değerlendirilebilmesi amacıyla gerçek dünya koşullarına uygun olarak yapılandırılmıştır. İstanbul iklim verileri temel alınarak, her bir tonoz modeli, sabit bir doğrultuda ve aynı referans yüzeyi üzerinde test edilmiştir. Bu süreçte yapının coğrafi yönelimi, güneşin yıllık hareketini gösteren güneş yörüngesi diyagramı ve ışığın iç mekâna düşme açıları dikkate alınarak belirlenmiştir.

Simülasyonlarda kullanılan analiz düzlemi, iç mekân tabanından 72 cm yükseklikte konumlandırılmış ve 1 m²'lik kare gridlerden oluşan bir matrisle örneklenmiştir. Her bir grid noktası, saatlik bazda aydınlık düzeyi (lux) ölçümlerine konu olmuştur. Böylece, farklı tonoz yüzeylerinin ışık yayılımı üzerindeki etkisi nicel olarak karşılaştırılabilir hale getirilmiştir.

Şekil 2, bu simülasyon sürecinde kullanılan tipik yapılandırmayı sunmaktadır. İlk görselde, yapının yönelimi, açıklıkların konumu ve güneş ışığının yapı üzerindeki etkisi temsil edilmekte; ikinci görselde ise elde edilen aydınlık düzeyi dağılımı iç mekân perspektifiyle görselleştirilmektedir. Bu modelleme sistemi, simülasyonun hem zamansal hem de mekânsal doğruluk açısından tutarlı bir değerlendirme üretmesini sağlamıştır.



Şekil 2. Gün ışığı simülasyonlarında kullanılan tipik konfigürasyon: yönlendirme, güneş yörüngesi ve analiz referans düzlemi.

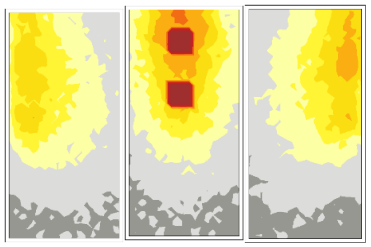
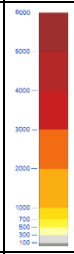
3. TONOZ TİPLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, dört farklı tonoz biçiminin gün ışığı performansı, yılın üç karakteristik günü olan 21 Mart, 21 Haziran ve 21 Aralık tarihlerine ait saatlik simülasyon sonuçları üzerinden değerlendirilmiştir. Analizlerde performans göstergesi olarak, aydınlık düzeyinin %30 ila %50 aralığında kaldığı iç mekân alan yüzdesi esas alınmış; bu eşik aralığı kullanıcı konforu ve enerji verimliliği açısından optimum doğal aydınlatma seviyesi olarak kabul edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, hem eş-aydınlık eğrileri ile görsel olarak hem de yüzdesel değerler ile tablo halinde sunulmuştur. Böylece, ışığın mekân içindeki dağılım biçimi ve önerilen eşik değerler içindeki aydınlatma oranı birlikte incelenebilmiştir.

Örnek olarak dairesel tonoz için yapılan analizlerde, ışık dağılımı eş-aydınlık eğrileriyle plan düzleminde gösterilmiştir. Grafikler, günün farklı saatlerinde ışığın mekân içinde nasıl yayıldığını ortaya koymaktadır (Tablo 2). Öğle saatlerinde daha yoğun aydınlık elde edilirken, sabah ve öğleden sonra ışığın daha yumuşak dağıldığı görülmektedir.

Tablo 2. Dairesel tonoz tipi için farklı mevsim ve saatler için eş-aydınlık eğrilerini gösteren planlar

21 Mart			21 Haziran			21 Aralık			Lejant
									
9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00	Lux

Simülasyon verilerinden türetilen eşik değer performans yüzdeleri ise ikinci tabloda sunulmuştur (Tablo 3). Buna göre, 21 Haziran tarihinde %60'a ulaşan uygun aydınlık oranı en yüksek performansı ortaya koyarken, 21 Aralık'ta tüm saatlerde verimin %1'in altına düştüğü görülmektedir. Bu durum, kış aylarında doğal ışığın yetersiz kaldığını ve yapay aydınlatma desteğinin zorunlu hale geldiğini göstermektedir.

Tablo 3. Eşik değerini tarifleyen saatlik aydınlatma performansı (%)

Saat	21 Mart	21 Haziran	21 Aralık	En Düşük Gün	En Yüksek Gün
09:00	%52	%55	%0	21 Aralık	21 Haziran
12:00	%57	%60	%1	21 Aralık	21 Haziran
15:00	%49	%53	%0	21 Aralık	21 Haziran
18:00	%0	%2	%0	21 Mart & Aralık	21 aziran

3.1 Tonoz Tipleri için Mevsimsel Doğal Aydınlatma Performansı Verileri

Dairesel tonoz tipi için yapılan simülasyonlarda, yılın üç karakteristik dönüm günü (21 Mart, 21 Haziran, 21 Aralık) ve günün dört saat dilimi (09:00, 12:00, 15:00, 18:00) değerlendirilmiştir. Analizler, özellikle 18:00 saatinde tüm mevsimlerde aydınlık düzeylerinin neredeyse sıfıra indiğini göstermiştir. Bu nedenle akşamüstü verileri anlamlı sonuç üretmemiştir.

En yüksek performans yaz gündönümünde (21 Haziran) elde edilmiş; bu tarihte %53–60 aralığında yeterli doğal aydınlatma sağlanmıştır. İlkbahar ekinoksunda (21 Mart) oranlar %49–57 arasında kalırken, kış gündönümünde (21 Aralık) yüzeyin büyük kısmı eşik değerlerin altında kalmıştır. Her üç tarihte de öğle saatlerinde en yüksek aydınlık elde edilmiş, ışığın daha dik açıyla gelmesi tonozun odaklama kapasitesini artırmıştır. Buna karşılık akşamüstü saatlerinde, özellikle Aralık ayında, iç mekânın büyük kısmı yeterli ışık alamamıştır. Genel olarak dairesel tonoz, yaz ve ilkbaharda %50'nin üzerinde bir performans sunarken, kışın neredeyse işlevsiz hale gelmektedir.

Eliptik tonozun simülasyon sonuçları, yaz ve ilkbahar aylarında dengeli ve tatmin edici bir performans sergilediğini göstermektedir. 21 Mart ve 21 Haziran tarihlerinde sabah ve öğle saatlerinde %52–55 aralığında yeterli aydınlatma elde edilmiştir. Buna karşılık, 21 Aralık'ta yüzeyin tamamı eşik değerlerin altında kalmış ve iç mekâna anlamlı düzeyde doğal ışık taşınamamıştır.
Eliptik tonoz, yaz ve bahar dönemlerinde homojen ışık dağılımı sağlamasıyla öne çıkarken, kış aylarında doğal ışık kullanımı açısından yetersiz kalmaktadır. Yine de, gün boyunca daha istikrarlı bir ışık performansı sunması, bu tipin konfor açısından avantajlı olduğunu göstermektedir.

Parabolik tonoz, özellikle yaz gündönümünde yüksek performans göstermiştir. 21 Haziran'da öğle saatlerinde %65 oranında yeterli aydınlatma sağlanmış, diğer saatlerde ise %52–54 aralığında kalmıştır. İlkbahar ekinoksunda performans %46–53 arasında seyretmiştir. Ancak kış gündönümünde, diğer tonoz tiplerinde olduğu gibi, eşik değerlerin üzerinde anlamlı bir aydınlatma sağlanamamıştır.

Her üç dönemde de en yüksek ışık verimi öğle saatlerinde gerçekleşmiştir. Bu, güneş ışınlarının daha dik açıyla tonoz yüzeyine çarpmasıyla açıklanabilir. Akşamüstü saatlerinde ise performans belirgin şekilde düşmüş; özellikle Aralık ayında uygunluk oranı sıfıra inmiştir. Parabolik tonoz, yaz aylarında güçlü doğal ışık verimiyle öne çıkarken, mevsimsel koşullara oldukça duyarlı olması nedeniyle kış aylarında yetersiz kalmaktadır.

Sikloid tonozun simülasyonları, özellikle yaz aylarında sabah ve öğle saatlerinde etkili bir aydınlatma sağladığını göstermektedir. 21 Haziran'da 09:00'da %57, 12:00'de %55 oranında yeterli ışık elde edilmiştir. Mart ayında da benzer şekilde %46–55 aralığında sonuçlar alınmıştır.
Her üç dönemde de en yüksek aydınlık değerleri öğle saatlerinde kaydedilmiştir. Bu durum, güneş ışınlarının daha dik açıyla tonoz yüzeyine ulaşmasıyla ilişkilidir. Sikloid form, özellikle sabah saatlerinde ışığın mekâna daha doğrudan yansımasını sağlamıştır. Ancak günün ilerleyen saatlerinde performans belirgin biçimde düşmüş, kış aylarında ise doğal ışık katkısı yok denecek kadar azalmıştır.

3.2 Doğal Aydınlatma Performansı Karşılaştırması

Yapılan bilgisayar simülasyonları sonucunda elde edilen veriler, tasarım sürecinde hangi tonoz tipinin hangi koşullarda tercih edilebileceğine dair önemli ipuçları sunmaktadır. Bu noktada, çalışmanın genel sonuçlarını daha bütünlüklü şekilde yansıtmak amacıyla hazırlanan Tablo 4, elde edilen bulguların özetini sunmaktadır.

Tablo 4. Bulgulara ilişkin genel özet.

Tonoz Tipi	En Yüksek Performans	En Düşük Performans	Aşırı Aydınlatma Eğilimi	Ortalama Başarı (Mart-Haziran)
Dairesel	%60 (21 Haz - 12:00)	%0 (Tüm gün - 21 Aralık)	Yok	%50 civarı
Eliptik	%55 (21 Mart & Haz)	%0 (Tüm gün - 21 Aralık)	Hafif (Haziran'da %5'e kadar)	%52 civarı
Parabolik	%65 (21 Haz - 12:00)	%0 (Tüm gün - 21 Aralık)	Belirgin (Haziran'da %10'a kadar)	%53 civarı
Sikloid	%57 (21 Haz - 09:00)	%0 (Tüm gün - 21 Aralık)	Sınırlı (Haziran'da %5'e kadar)	%51 civarı

Simülasyonlardan elde edilen veriler, tonoz tiplerinin doğal aydınlatma performansında belirgin farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Tablo 5, dört farklı tonoz biçiminin optimum aydınlık yüzdesi, kamaşma riski, gün içi tutarlılık ve mevsimsel uyum bakımından karşılaştırmalı değerlendirmesini sunmaktadır.

Genel sonuçlar, eliptik tonozun mevsimsel değişimlerden en az etkilenen ve gün boyunca en dengeli performansı gösteren tip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu geometri, hem homojen ışık dağılımı sağlaması hem de kamaşma riskini düşük seviyede tutması nedeniyle kullanıcı konforu açısından avantajlıdır. Dairesel tonoz, özellikle yaz aylarında güçlü ışık girişi sağlamakta ancak öğle saatlerinde aşırı aydınlatmaya bağlı olarak kamaşma riski taşımaktadır. Buna karşın kış aylarında performansı oldukça düşmekte, bu da mevsimsel uyum açısından sınırlı bir kullanım potansiyeli doğurmaktadır. Parabolik tonoz, yaz aylarında en yüksek aydınlatma değerlerini üretmiş, ancak bu performans çoğunlukla alanın merkezinde yoğunlaşmış ve yan bölgelerde ışık yetersiz kalmıştır. Bu nedenle gün içi tutarlılık düşük bulunmuştur. Ayrıca kış aylarında verimi diğer tonoz tipleriyle benzer şekilde zayıflamıştır. Sikloid tonoz ise özellikle sabah ve öğle saatlerinde başarılı sonuçlar vermiş, fakat günün ilerleyen saatlerinde ve kış döneminde performansı ciddi biçimde azalmıştır. Bu nedenle, gün içi süreklilik ve mevsimsel uyum bakımından eliptik ve dairesel tonozların gerisinde kalmıştır.

Tablo 5. Doğal aydınlatma performans karşılaştırması.

Tonoz Tipi	En Yüksek Performans Günü	Ortalama Aydınlık Alan (%)	Parlama Riski	Gün İçi Tutarlılık	Mevsimsel Uyum
Dairesel	21 Aralık	Orta	Yüksek (Yaz)	Düşük	Düşük
Eliptik	21 Haziran	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek
Parabolik	21 Mart	Düşük	Orta	Düşük	Düşük
Sikloid	21 Haziran	Orta	Düşük	Düşük	Orta

Sonuç olarak, tonoz tipleri arasında eliptik tonoz hem istikrarı hem de düşük kamaşma riskiyle öne çıkarken, parabolik ve dairesel tonozlar belirli koşullarda yüksek performans sunmalarına rağmen mevsimsel ve saatlik değişimlere daha duyarlıdır. Sikloid tonoz ise asimetrik ışık dağılımı nedeniyle daha sınırlı bir çözüm olarak değerlendirilebilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, farklı eğrisellik özelliklerine sahip dört tonoz tipinin tepe aydınlatmalarıyla birlikte doğal ışık performansını karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Yapılan analizler, tonoz geometrisinin yalnızca mekânın estetik ya da yapısal kimliğini değil, aynı zamanda iç mekâna taşınan gün ışığının niteliğini de belirlediğini göstermiştir.

Elde edilen bulgular, eliptik tonoz tipinin yıl boyunca daha dengeli ve istikrarlı bir ışık dağılımı sunduğunu ortaya koymuştur. Bu tip, kullanıcı konforunu koruyan homojen aydınlatma sağlarken, mevsimsel değişimlerden de en az etkilenen geometri olmuştur. Dairesel tonoz tipi yaz ve bahar aylarında tatmin edici bir performans sergilese de öğle saatlerinde aşırı aydınlatmaya bağlı kamaşma riski oluşturmuş, kış aylarında ise verimi belirgin şekilde düşmüştür. Parabolik tonoz tipi, yaz döneminde en yüksek aydınlatma değerlerini üretmiş ancak ışığın mekân içinde dengesiz dağılması nedeniyle tutarlılık açısından sınırlı kalmıştır. Sikloid tonoz ise sabah ve öğle saatlerinde başarılı sonuçlar vermekle birlikte günün ilerleyen saatlerinde ve kış aylarında etkisini büyük ölçüde kaybetmiştir.

Genel değerlendirmede, yaz aylarında tüm tonoz tipleri için doğal ışık katkısı yüksek düzeyde gerçekleşmiş, kış aylarında ise performans belirgin biçimde azalmıştır. Bu durum, özellikle kış mevsiminde yapay aydınlatmanın zorunlu hale geldiğini göstermektedir. Dolayısıyla, tonoz tiplerinin seçimi yalnızca formun estetik ve yapısal niteliklerine göre değil, aynı zamanda coğrafi konum ve mevsimsel koşulların belirleyici etkileri dikkate alınarak yapılmalıdır.

Sonuç olarak, eğrisel yüzeylerin ışıkla kurduğu ilişki, mimari tasarımın vazgeçilmez parametrelerinden biridir. Tonoz tiplerinin aydınlatma performansı üzerine yapılan bu karşılaştırmalı çalışma, tasarım sürecine yön verecek veriye dayalı ipuçları sunmakta; doğal ışığın etkin kullanımı açısından yüzey geometrisinin ne denli kritik olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Gelecek çalışmalarda, farklı coğrafi konum ve iklim koşullarında benzer analizlerin yapılması, elde edilen sonuçların çeşitlenmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca, tonoz yüzeylerinde açıklık boyutu ve konumunun değiştirilmesi, farklı malzeme özelliklerinin ışık yansıtma ve yayma etkilerinin incelenmesi gibi ek parametreler de değerlendirmeye alınabilir. Böylece, doğal aydınlatma performansını artırmaya yönelik daha kapsamlı tasarım stratejileri geliştirilebilir ve tonoz tiplerinin güncel mimari uygulamalardaki potansiyelleri daha geniş bir bakış açısıyla ortaya konulabilir.

DESTEK BEYANI

Birinci yazarın hazırlamış olduğu *"Tonoz Sistemleri Üzerinde Gün Işığı Aydınlatmasına ve Yapısal Performansa İlişkin Karşılaştırmalı Analiz"* başlıklı araştırma projesi Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 2209-A kapsamında desteklenmiş ve danışmanlığını ikinci yazar yürütmüştür. Bu çalışma adı geçen araştırma projesinden üretilmiştir. Proje Numarası: TÜBİTAK 2209A-1919B012338296.

KAYNAKÇA

1. Lu Y., Tsang E. W., Peng M. W., Knowledge management and innovation strategy in the Asia Pacific: Toward an institution-based view, Asia Pacific Journal of Management; 25 (3), 361-374, 2008.
2. Tregenza P., Wilson M., Daylighting: Architecture and Lighting Design, Routledge, London, 2011.
3. Dubois M. C., Blomsterberg Å., Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review, Energy and Buildings; 43 (10), 2572-2582, 2011.
4. Reinhart C., Fitz A., Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design, Energy and Buildings; 38 (7), 824-835, 2006.
5. Gonçalves M., Figueiredo A., Almeida R. M. S. F., Vicente R., Dynamic façades in buildings: A systematic review across thermal comfort, energy efficiency and daylight performance, Renewable and Sustainable Energy Reviews; 199, 114474, 2024.
6. Kalaimathy K., Priya R. S., Rajagopal P., Pradeepa C., Senthil R., Daylight performance analysis of a residential building in a tropical climate, Energy Nexus; 11, 100226, 2023.
7. Li X., Yuan Y., Liu G., Han Z., Stouffs R., A predictive model for daylight performance based on multimodal generative adversarial networks at the early design stage, Energy and Buildings; 305, 113876, 2024.
8. Wang Y., Sun Y., Lu P., Berta M., An integrated climate-based daylight performance evaluation framework for indoor arenas' roof system, Journal of Building Engineering; 90, 109164, 2024.
9. Mangkuto R. A., Tresna D. N. A. T., Hermawan I. M., Pradipta J., Jamala N., Paramita B., Experiment and simulation to determine the optimum orientation of building-integrated photovoltaic on tropical building façades considering annual daylight performance and energy yield, Energy and Built Environment; 5 (3), 414-425, 2024.
10. L Li X., Wu Y., A review of complex window-glazing systems for building energy saving and daylight comfort: Glazing technologies and their building performance prediction, Journal of Building Physics; 48 (4), 496-540, 2025.
11. Yılmaz N., Yüksel F. C. G., Yapı Bilgi Modellemesi ile Sürdürülebilir İç Mekan Tasarımında Enerji Verimliliği, Aydınlatma Optimizasyonu: Avantajlar ve Zorluklar, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi; 8 (1), 13-24, 2025.
12. Kocaman B., Kapalı Otopark aydınlatmasında floresan ve LED lambanın enerji verimliliği açısından karşılaştırılması, Journal of the Institute of Science and Technology; 10 (3), 1640-1648, 2020.
13. Baker N., Steemers K., Daylight Design of Buildings: A Handbook for Architects and Engineers, Routledge, London, 2002.
14. Mardaljevic J., Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance, International Journal of Lighting Research and Technology; 32 (3), 111-118, 2000.