

BEYLİKDÜZÜ SPOR KOMPLEKSİ İÇİN ENERJİ ETKİN AYDINLATMA TASARIMI

Miraç DURHAN

Elektrik Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469,
Maslak, İstanbul
e-posta: durhan18@itu.edu.tr

Lale ERDEM ATILGAN

Elektrik Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi
İstanbul Teknik Üniversitesi, 34469,
Maslak, İstanbul
e-posta: erdeml@itu.edu.tr

ÖZET

LED armatürler geleneksel aydınlatma çözümlerine göre hem enerji verimliliği hem de kontrol kabiliyeti yüksek armatürlerdir. Yüksek enerji verimliliği sebebiyle günümüzde, yüksek enerji tüketimi olan spor salonlarında da LED armatürler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Türk Standartları Enstitüsü'nün yayınlamış olduğu TS EN 12193 Aydınlatma ve Işık - Spor Aydınlatması standardı incelenerek spor ve müsabaka türlerine göre maksimum konfor ve yüksek enerji verimliliği sağlanarak Beylikdüzü Spor Kompleksi'nin DIALux Evo programı yardımıyla 3 boyutlu modeli hazırlanıp yapılan simülasyonlar konusunda bilgi verilecektir.

Anahtar Sözcükler: Spor aydınlatması, LED, Enerji verimliliği, DIALux evo

1. GİRİŞ

Spor kompleksleri çocuktan yaşlısına kadar herkesin hem spor yaptığı hem de izleyici olarak bulunduğu binalardır. Günümüzde artan karbon salınımı Dünya üzerinde birçok olumsuz etkiye neden olmaktadır. Enerji kaynağının yenilebilir kaynaklarla üretilmesi ve enerji tasarrufuna önem vererek çevreye olan yıkıcı etkileri azaltılabilir. Gelişen teknolojilerle birlikte Aydınlatma sektörü de hızla kendini geliştirmiş ve yüksek verimli LED armatürlerin kullanılması yaygınlaşmıştır. Spor komplekslerinde de LED aydınlatma kullanımı, enerji tasarrufu ve çevresel faydalar sağlayan önemli bir gelişmedir. LED'ler, geleneksel aydınlatma sistemlerine kıyasla daha az enerji tüketen ve daha uzun ömürlü olan teknolojik aydınlatma çözümlerinden biridir. Bu nedenle, spor komplekslerinde LED aydınlatma kullanarak enerji tüketimini azaltmak ve dolayısıyla enerji maliyetlerini düşürmek mümkün olmaktadır. Ayrıca, LED'lerin çevreye olan olumlu etkileri de dikkate değerdir.

LED'ler, daha düşük enerji tüketimiyle beraber daha az karbon salınımına neden olur, bu da iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir adımdır. Ayrıca, LED'lerin uzun ömürlü olması, daha az atık ve kaynak kullanımını anlamına gelir. Bu nedenle, spor komplekslerinde LED aydınlatma kullanımı, enerji tasarrufu sağlayarak çevreye olumlu katkıda bulunur.

Bu çalışmada İstanbul Beylikdüzü'nde bulunan Beylikdüzü Spor Kompleksi'nin spor faaliyeti yapılan alanları ve ortak alanların aydınlatma tasarımları çalışılmıştır. Bu spor kompleksinde 1 adet çok amaçlı spor salonu, 1 adet tam olimpik kapalı yüzme havuzu ve 2 adet tenis kortu bulunmaktadır. Bu spor kompleksi, konum ve mimari olarak bölgenin hem antrenman hem de müsabaka ihtiyaçlarını karşılayarak bölgede spor kültürünün artmasında büyük rol sahibi olmuştur. Bu çalışma süresince spor yapılan alanlar ve ortak alanlar ilgili aydınlatma standartlarına göre analiz edilerek maksimum enerji tasarrufu hedefiyle bir aydınlatma tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Spor yapılan alanlar için TS EN 12193 Aydınlatma ve Işık - Spor Aydınlatması [1] standardı kullanılarak bu alanların uluslararası yarışmalara ve televizyon yayınına uygun bir şekilde tasarlanması amaçlandı. Ortak alanlarda ise TS EN12464 Işık ve ışıklandırma- İş mahallerinin aydınlatılması [2] standardına uygun tasarım amaçlandı. Bu tasarım sırasında DIALux Evo programı yardımıyla kompleksin bir modellemesi hazırlanarak ve standartlara uygun bir şekilde seçilen armatürler kullanılarak ilgili hesaplar yapılmıştır.

2. SPOR AYDINLATMASI

TS EN 12193 standardına uyumlu olarak spor faaliyetlerinde Tablo 1’de verilen değerler baz alınarak yapılan sporun amacına ve büyüklüğüne uygun olarak 3 adet sınıflandırma görülmektedir. Sınıf 1’e doğru ilerledikçe yapılan sporlar müsabakaya dönmüş ve müsabaka boyutuna göre değişiklikler olmuştur.

Tablo 1. Müsabaka sınıflandırması

Müsabaka Seviyesi	Sınıf I	Sınıf II	Sınıf III
Uluslararası ve Ulusal	X		
Bölgesel	X	X	
Yerel	X	X	X
Antrenman			X
Rekreasyonel/Okul sporları (Beden eğitimi)			X

Aydınlatma sınıfları ilerledikçe bu müsabakaların canlı yayın ihtiyacı da ortaya çıkmıştır. TS EN 12193 standardına göre televizyon yayınları için gerekli olan değerler büyük müsabakalar ve normal müsabakalar olmak üzere Tablo 2 ve Tablo 3’te belirtilmiştir. Burada $E_{düş Min}$ en düşük düşey aydınlık düzeyi, $E_{kam Min}$ en düşük kamera aydınlık düzeyi, Gradyan verilen mesafede aydınlık düzeyindeki yüzde değişim, $E_{kam Ort}$ ortalama kamera aydınlık düzeyidir.

Tablo 2. Normal müsabakalarda televizyon yayını için minimum fotometrik gereklilikler

Minimum gereklilikler	Değer
$E_{düş Min}$ ve $E_{kam Min}$	600 Lx
Gradyan	1 m üzerinde % 6
$E_{kam Min}/E_{kam Ort}$	0,60

Tablo 3. Büyük etkinliklerde televizyon yayını için minimum fotometrik gereklilikler

Minimum gereklilikler	Değer
$E_{düş Min}$ ve $E_{kam Min}$	1400 Lx
Gradyan	1 m üzerinde % 5
$E_{kam Min}/E_{kam Ort}$	0,70

Televizyon yayınlarında kullanılan kameraların konumu gereği kameranın görüntü aldığı alanın net ve doğru bir şekilde gözükmesi için düşey aydınlık düzeyleri ve bu düzeylerin düzgünlük değerleri önemlidir. Ek olarak da kameraların görüntüyü canlı ve doğal kaydedebilmesi için de bağıl renk sıcaklığı değerlerinin ve renksel geriverimin önemi artmıştır. Standart, bağıl renk sıcaklığının 5000 K ve 6000K arasında kullanılması gerektiği belirlemiştir. Tablo 4’te ise renksel geriverim için değerler belirtilmiş ve Müsabaka boyutlarına göre de bu standart değerler değişiklik göstermiştir.

Tablo 4. Renksel geriverim değerleri

Tür	Ra
Büyük etkinlikler	> 80
Minimum gereksinimler	> 60

Teknolojinin hızla gelişmesi ve yayıncılık sektörünün de bu yenilikleri kullanmasıyla süper hızlı hareket görüntüleri için de kameraların kullanılması yaygınlaşmıştır.

Bu kameralar saniyede 150 kare hızdan başlayarak 300 ve 600 kare saniye şeklinde değişmektedir. Saniye başına bu kadar kare çekilmesi elbette ortamın aydınlık düzeyinin ve titreme değerlerinin de buna göre ayarlanmasını zorunlu kılmıştır. Harici bir uygulamada yapılan kayıtlar karanlık ve kullanılmaz halde olur. Bu kameralar hem görsel zevk hem de fotofiniş gibi mili saniyelerin önemli olduğu spor türlerinde kullanılmaktadır.

2500 seyirci kapasiteli çok amaçlı spor salonu bulunduran Beylikdüzü spor kompleksinde farklı sporlar yapıldığı için standartlar bu sporlara uygun olarak belirlenmiştir. Yapılan sporun alanı, hızı, zemini vb. faktörler bu standartların belirlenmesinde önemli bir role sahiptir. Spor yapılan alanın aydınlatması için bu alanın belli parçalara ayırıp ve standartlara uygun ölçüm noktaları belirlenmesi gerekmektedir. Ana alan ve toplam alan olmak üzere ayrılan alanlarda, standartların belirttiği sayıda hesaplama noktası koyarak hesaplama yapılması gerektiği TS EN 12193'te belirtilmiştir ve hesaplaması yapılacak sporlar için kriterler Tablo 5-6-7'de gösterilmiştir.

Tablo 5. Badminton ve Masa Tenisi için standart değerler

Sınıf	Yatay Aydınlık düzeyi $E_{yat Ort}$ L_x	Düzgünlük Değeri U_{2yat}	Kamaşma Endeksi R_G	R_a
I	750	0,70	35	80
II	500	0,70	40	60
III	300	0,70	40	60

Tablo 6. Basketbol, Hentbol, Voleybol ve Güreş için standart değerler

Sınıf	Yatay Aydınlık düzeyi $E_{yat Ort}$ L_x	Düzgünlük Değeri U_{2yat}	Kamaşma Endeksi R_G	R_a
I	750	0,70	35	80
II	500	0,70	40	60
III	200	0,50	40	60

Tablo 7. Yüzme için standart değerler

Sınıf	Yatay Aydınlık düzeyi $E_{yat Ort}$ L_x	Düzgünlük Değeri U_{2yat}	Kamaşma Endeksi R_G	R_a
I	550	0,70	35	80
II	500	0,70	40	60
III	300	0,50	40	60

3. BEYLİKDÜZÜ SPOR KOMPLEKSİ

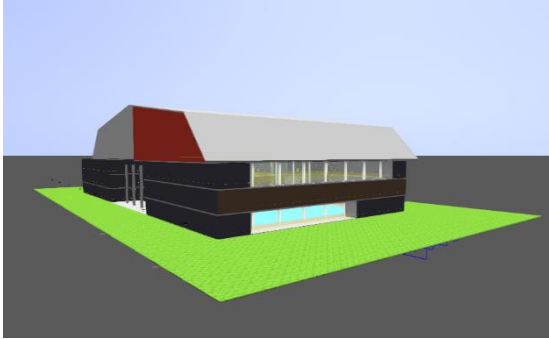
Beylikdüzü Spor Kompleksi, İstanbul'un Beylikdüzü ilçesinde 2017 yılında Gençlik ve Spor Bakanlığı tarafından inşa edilen ve kullanıma açılan bir projenin kapsamında seçilmiştir. Şekil 1' de yer alan Beylikdüzü Spor Kompleksi, toplam 38.343,3 m² inşaat alanına sahiptir ve 800 seyirci kapasiteli bir olimpik havuz, 2500 seyirci kapasiteli çok amaçlı bir spor salonu ve 2 tenis kortu içermektedir. Bu büyük spor kompleksinde toplam kapasitesi 359 araç olan 2 katlı bir otopark bulunmaktadır. Zemin katta ana kapının sağ tarafında yüzme havuzu, sol tarafında spor salonu girişi bulunmaktadır. 2 yürüyen merdivenle 2. Kata çıkıldığında sağ tarafta yüzme havuzu ve sol tarafta çok amaçlı spor salonunun seyirci girişi bulunmaktadır. Kompleksin çatı katında ise 2 adet tenis kortu bu büyük kompleksi tamamlamaktadır.



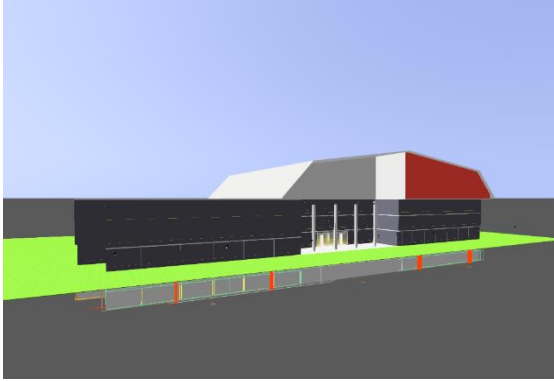
Şekil 1 : Beylikdüzü Spor Kompleksi [3]

4. MODELLEME VE SİMÜLASYON

Enerji tasarrufu ilkesiyle başlatılan bu projede, kullanılacak armatürlerin tüm aydınlatma hesaplarının hazırlanması ve kompleksin modellenmesi için DIALux Evo programı kullanılmıştır. İlk aşamada kompleks DIALux Evo ortamında Şekil 2 ve Şekil 3'teki gibi 3 boyutlu olacak şekilde modellenmiştir. Kompleks modellendikten sonra TS EN 12193 standardında belirtilen aydınlatma hesaplamaları yapılmak üzere armatürler seçilmiştir.



Şekil 2 : Havuz tarafından 3 Boyutlu Modelleme

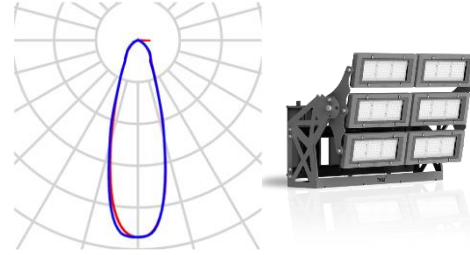


Şekil 3 : Ön tarafından 3 Boyutlu Modelleme

4.1 Çok Amaçlı Spor Salonu

Kompleksin içinde yer alan çok amaçlı spor salonu için Basketbol, Hentbol, Masatenisi, Voleybol ve Güreş sporları için TS EN 12193 standardına uygun bir aydınlatma tasarımı yapılması amaçlanmıştır. Enerji tasarrufu hedefiyle tasarlanan bu salonda LED armatürleri

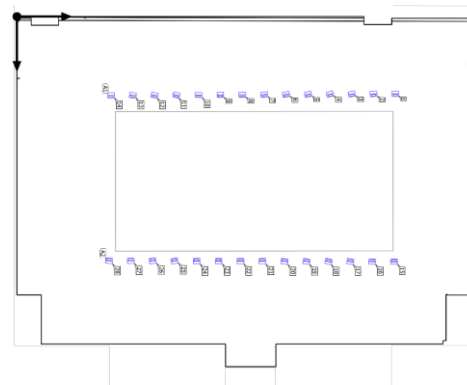
kullanılmış ve Şekil 4'te ışık dağılımı ve Tablo 8'de belirtilen özelliklere sahip 28 Adet Heper LF8032 armatür Şekil 5'teki gibi yerleştirilmiştir. Tablo 8'de P armatürün gücünü, Φ_{lamba} ışık kaynağının ışık akısını, $\Phi_{armatür}$ armatürün ışık akısını, η armatür verimini, CCT armatür bağlı renk sıcaklığını ve CRI armatür renksel geriverim endeksini göstermektedir.



Şekil 4 : Heper LF8032 armatür ışık dağılım eğrisi [4]

Tablo 8. Heper Armatür Verileri

Heper	Değer
Parça numarası	LF8032.526-EN-VN2-700-957
P	1380.0 W
Φ_{lamba}	145944 lm
$\Phi_{armatür}$	145944 lm
η	99.7 %
Etkinlik faktörü	105.8 lm/W
CCT	5700 K
CRI	90



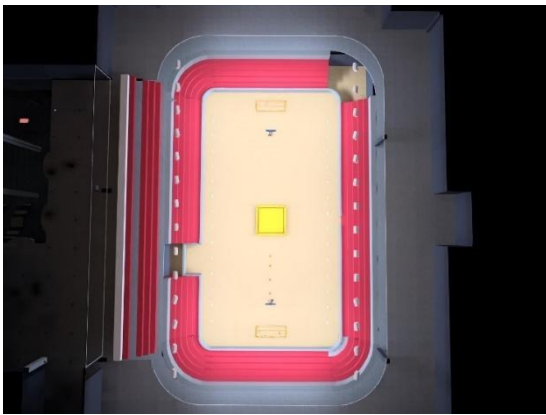
Şekil 5 : Çok amaçlı spor salonunda armatür dizilimi

Şekil 5’te belirtildiği gibi 14-14 paralel olarak sahanın uzun kenarlarına ilgili armatürler yerleştirilmiştir. Armatürlerin yerleşimi hususunda pek çok farklı tasarım denenmiş ancak yapılan sporlarda sporcular genellikle kale, file ve pota gibi sahanın kısa kenarında konumlandırılan hedeflere odaklandığı için sporcuların göz konforu ve performansı açısından elde edilen fotometrik simülasyon sonuçları uygun olmadığı için, son tasarımda paralel konumlandırma yapılmıştır.

Bu çok amaçlı spor salonunda birden fazla spor yapıldığı için armatürler belirli açılarda konumlandırılarak ilgili tüm sporlar TS EN 12193 standardına uygun bir şekilde tasarlanmıştır. Şekil 6 ve Şekil 7’de gözüktüğü gibi çok amaçlı spor salonu üç boyutlu modellenmiştir ve armatürler konumlandırılmıştır.



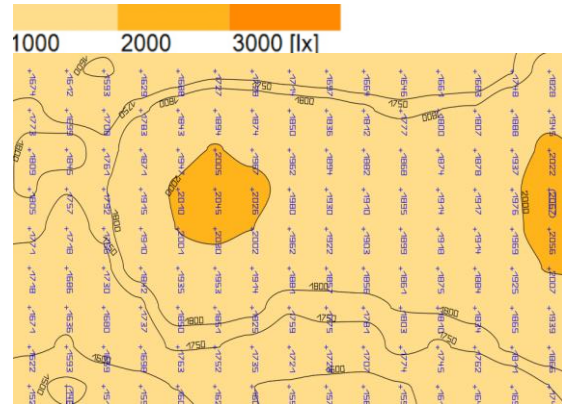
Şekil 6 : Basketbol sahası 3 boyutlu modellemesi



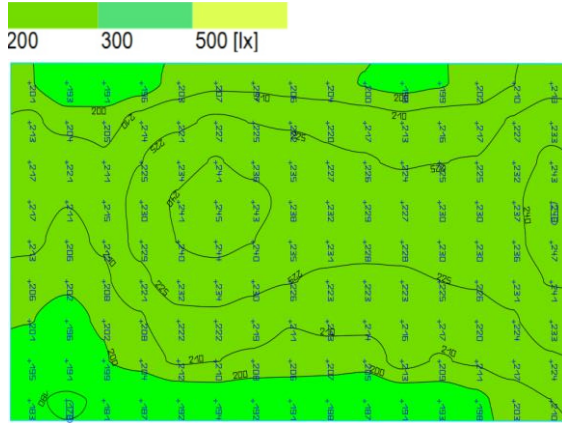
Şekil 7 : Çok amaçlı spor salonu kuşbakışı modellemesi

Basketbol; hızlı hareketler, yüksek atışlar ve keskin geçişler gibi unsurları içeren bir spor olduğu için doğru aydınlatma düzenlemeleri büyük önem taşır. Basketbol sahasındaki armatürlerin doğru şekilde dizilmesi, oyuncuların görüş açısını optimize eder ve oyunun kalitesini artırır. Armatürler genellikle saha kenarlarına eşit bir şekilde dağıtılır, böylece gölgeler en aza indirilir ve oyuncular topu daha iyi takip edebilir. Ayrıca, yeterli aydınlatma, oyuncuların birbirlerini ve savunma oyuncularını daha iyi görmelerini sağlar, iletişimi kolaylaştırır ve takım koordinasyonunu geliştirir. Doğru aydınlatma aynı zamanda göz yorgunluğunu azaltır ve oyuncuların odaklanmasını artırır. Böylece, oyuncular daha net atışlar yapabilir, daha iyi bir performans sergileyebilir ve maç sırasında daha iyi kararlar verebilirler.

Basketbol sporu için Tablo 2’de belirtilen TV yayını ve 3. Sınıf etkinlikler için gerekli olan standartlar baz alınarak DIALux Evo ortamında hesaplamalar sonucunda Şekil 8 ve Şekil 9’da belirtildiği gibi bir aydınlık düzeyi dağılımı ortaya çıkmıştır. Diğer Sınıf müsabakaları için sonuçlar da Tablo 9 ve Tablo 10’da belirtilmiştir.



Şekil 8 : Basketbol için Sınıf 1 yatay aydınlık düzeyi yanlış renk gösterimi



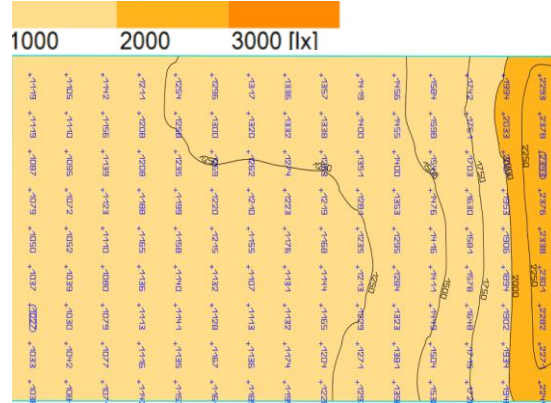
Şekil 9 : Basketbol için Sınıf 3 yatay aydınlık düzeyi yanlış renkler gösterimi

Tablo 9. Basketbol Sahası Simülasyon Sonuçları

Sınıf	Yatay Aydınlik Düzeyi $E_{yat Ort} Lx$	Düzensünlük $U_{2,yat}$	Yatay Aydınlik Düzeyi Sonucu $E_{yat Ort} Lx$	Düzensünlük Değeri $U_{2,yat}$
TV	> 750	0,70	1803	0,82
I	750	0,70	762	0,75
II	500	0,70	505	0,82
III	200	0,50	216	0,82

Tablo 9’da belirtildiği üzere 3 sınıf için de hesaplamalar yapılmış ve yüksek düzensünlük değerleri sağlanarak başarılı bir sonuç elde edilmiştir. Bu kompleks başta belirtildiği gibi yüksek çözünürlüklü yayın yapacak şekilde tasarlandığı için armatürler ona göre seçilmiştir, ancak diğer sınıf müsabakalarında bu yüksek güce ihtiyaç olmadığı için Sınıf 1-2-3 için armatürlerin ışık çıktısı sırasıyla %42, %28 ve %17 değerlerine loşlaştırılarak ayarlandığında bu sonuçlar elde edilmiştir. Canlı Yayın için gerekli olan 1400 Lx Düşey Aydınlik düzeyi için armatürler %100 güçte çalıştırılmıştır. Bu sebeple Yatay Aydınlik Düzeyi değeri de 1803 Lx’e çıkmıştır. Bu tasarımda belirli yerlere kamera konumlandırılmış ve bu kameralardan birinin simülasyon sonucu Şekil 10’da görülmektedir. Sonuç olarak Tablo’10’da belirtildiği gibi 1410 lx’lük

Düşey Aydınlik düzeyi değeri başarıyla sağlanmıştır.



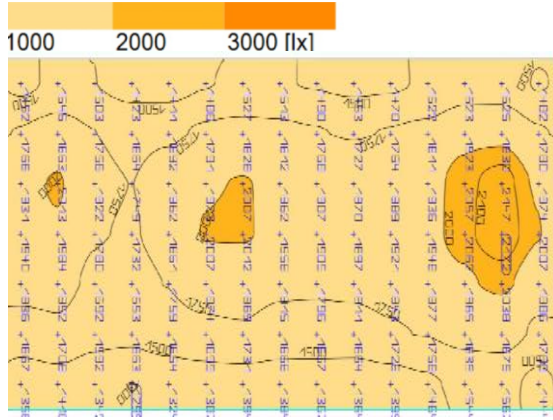
Şekil 10 : Basketbol için Kamera düşey aydınlık düzeyi yanlış renkler gösterimi

Tablo 10. Basketbol kamera aydınlık düzeyi sonuçları

Sınıf	Kamera Aydınlik Düzeyi $E_{kam Ort} Lx$	Kamera Aydınlik düzeyi Sonucu $E_{kam Ort} Lx$
I HDTV	> 1400	1410

Basketbol için tasarlanan bu kısımda yüksek çözünürlüklü – high definition (HD) canlı yayın ve 3 seviye dahil olmak üzere bir tasarım yapılmıştır. Bu tasarım TS EN 12193 standardına uygun hazırlanarak gerekli olan değerleri sağlamıştır.

Hentbol sporunda da aynı Basketbol sporunda olduğu gibi sahanın kısa kenarlarında konumlandırılmış hedefler bulunmaktadır. Hentbol sporunda kaleyi korumak için bir kaleci konumlandırılmış ve bu kalecinin rakip oyuncuya ya da kendi takım arkadaşına bakarken direkt karşısından bir ışık kaynağının bulunması uygun olmadığından paralel tasarım Hentbol sporunda da uygunluk göstermiştir. Şekil 11’de HD TV yayını için Şekil 12’de ise Sınıf 3 etkinlikler için hesaplanan aydınlık düzeyi dağılımları gösterilmiştir.

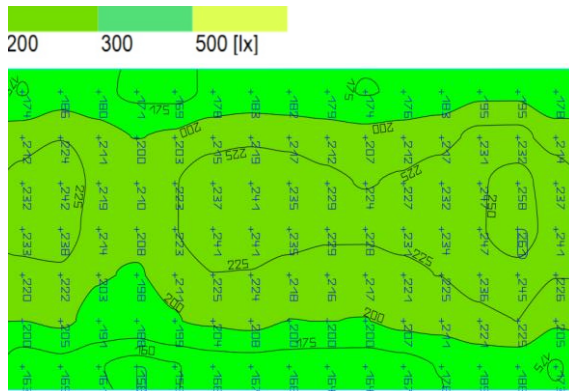


Şekil 11 : Hentbol için HD yayın yatay aydınlık düzeyi yanlış renkler gösterimi

HD TV yayını için gerekli olan standartlar uygulandığında Tablo 11’de belirtildiği üzere 1732 Lx yatay aydınlık düzeyi değeri ve 0,75 düzgünlük değeri sağlanmıştır.

Tablo 11. HD TV Yayını Basketbol Sahası Sonuçları

Sınıf	Yatay Aydınlık Düzeyi $E_{yat Ort}$ Lx	Düğünlük U_{yat}	Yatay Aydınlık Düzeyi Sonucu $E_{yat Ort}$ Lx	Düğünlük Değeri Sonucu U_{yat}
I HDT V	> 750	0,70	1732	0,75



Şekil 12 : Hentbol için yatay aydınlık düzeyi yanlış renkler gösterimi

Sınıf 3 için gerekli olan standart için hesaplamalar yapıldıktan sonra ışık dağılım eğrileri Şekil 12’de gösterilmiştir.

Tablo 12. Hentbol simülasyon sonuçları

Sınıf	Yatay Aydınlık Düzeyi $E_{yat Ort}$ Lx	Düğünlük U_{yat}	Yatay Aydınlık Düzeyi Sonucu $E_{yat Ort}$ Lx	Düğünlük Değeri Sonucu U_{yat}
I	750	0,70	762	0,75
II	500	0,70	519	0,75
III	200	0,50	208	0,75

Tablo 12’de belirtildiği üzere 3 sınıf için de gerekli standartlar sağlanmıştır. Bu sistemde armatür güç yüzdeleri ise sırasıyla %44, %32 ve %20 olarak hesaplanmıştır. Canlı yayım olmadığı takdirde müsabakanın sınıfına göre armatürler kontrol edildiği zaman istenilen sonuçlar alınmıştır.

İlgili sahada gerçekleştirilen güreş, badminton, voleybol ve masa tenisi sporları için yapılan simülasyon sonuçları tablo halinde sonraki bölümde sunulmuştur.

Güreş sporunda sporcular çok eksenli ve ani hareketler yaptıklarından dolayı hem hakemlerin hem de kameraların pozisyonları net bir şekilde görebilmeleri için aydınlatma tasarımı çok önemlidir. Tablo 13’te belirtildiği üzere güreş sporu için gerekli olan tüm standartlar sağlanmıştır.

Tablo 13. Güreş simülasyon sonuçları

Sınıf	Yatay Aydınlık Düzeyi $E_{yat Ort}$ Lx	Düğünlük U_{yat}	Yatay Aydınlık Düzeyi Sonucu $E_{yat Ort}$ Lx	Düğünlük Değeri Sonucu U_{yat}
TV	> 750	0,70	1906	0,91
I	750	0,70	763	0,91
II	500	0,70	501	0,91
III	200	0,70	210	0,91

Badminton sporunda sporcular raket yardımıyla ucunda mantar olan hafif bir fileye vuruş yapmaktadır. Bu vuruşlar esnasında top çok yüksek hızlara çıktığı ve şekil olarak çok küçük olduğu için sporcular iyi bir aydınlatmaya ihtiyaç

duyar. Paralel konumlandırılan armatürler, Badminton sporu sırasında kısa kenarlara bakacak şekilde, yükseğe bakılarak oynandığı için de uygun bir tasarım olmuştur. Diğer sporların aksine file şeklindeki top çok yükseklerle çıktığı için bu topun yörüngesini izlemekte zordur. Sporcular Badminton oynarken yörüngede hareket eden bir topa bakarken armatürler direkt bakarak kamaşmanın artmasının önüne geçilmiştir. Tablo 14’te badminton sporu için hesaplanan sonuçlar belirtilmiştir. Bu düzeylerin elde edilebilmesi için armatür güçleri Sınıf 1-2-3 için sırasıyla %38, %25 ve %19 dur. Yazının başında belirtildiği üzere HD TV yayını için tüm sporlar için armatürler %100 güçte çalışmaktadır.

Tablo 14. Badminton simülasyon sonuçları

Sınıf	Yatay Aydınlik Düzeyi $E_{yat Ort}$ Lx	Düzensünlük $U_{2,yat}$	Yatay Aydınlik Düzeyi Sonucu $E_{yat Ort}$ Lx	Düzensünlük Değeri $U_{2,yat}$
TV	> 750	0,70	1929	0,94
I	750	0,70	771	0,94
II	500	0,70	502	0,94
III	300	0,70	327	0,94

Voleybol sahasındaki aydınlatma düzeni, oyuncuların görüş açısını ve oyunda başarılı olmalarını etkileyen önemli bir faktördür. Voleybol, hızlı ve dinamik hareketler gerektiren bir spor olduğundan, yeterli ve doğru aydınlatma sağlanması büyük bir öneme sahiptir. Armatürlerin doğru şekilde dizilmesi, saha üzerindeki gölgeleri en aza indirir ve oyuncuların topu takip etmelerini kolaylaştırır. İyi bir aydınlatma, oyuncuların topun yüksekliğini, hızını ve rotasını doğru bir şekilde değerlendirmelerine yardımcı olur. Ayrıca, doğru aydınlatma, oyuncuların birbirlerini görmelerini ve iletişim kurmalarını kolaylaştırır. Bu sayede, takımın koordinasyonu artar, performansları yükselir. Voleybol sporu için hesaplama sonuçları Tablo 15’te belirtilmiştir. Bu düzeylerin elde edilebilmesi için armatür güçleri Sınıf 1-2-3 için sırasıyla %40, %28 ve %12’dir.

edilebilmesi için armatür güçleri Sınıf 1-2-3 için sırasıyla %40, %28 ve %12’dir.

Tablo 15. Voleybol simülasyon sonuçları

Sınıf	Yatay Aydınlik Düzeyi $E_{yat Ort}$ Lx	Düzensünlük $U_{2,yat}$	Yatay Aydınlik Düzeyi Sonucu $E_{yat Ort}$ Lx	Düzensünlük Değeri $U_{2,yat}$
TV	> 750	0,70	1875	0,90
I	750	0,70	756	0,90
II	500	0,70	529	0,90
III	200	0,50	227	0,90

Masa tenisi, hızlı refleklere dayanan bir spor olduğu için doğru aydınlatma düzenlemeleri oldukça önemlidir. Masa tenisi masasının düzensünlük aydınlatılması oyuncuların topu takip etmelerini kolaylaştırır ve oyundaki başarılarını etkiler. Genellikle masa tenisi masasının üzerinde yer alan lambalar, yeterli ve homojen bir ışık sağlamak için eşit aralıklarla konumlandırılır ancak bu spor salonu tasarımında diğer sporlar için uzun kenarlara paralel olacak şekilde armatürler konumlandırılmıştır; bununla birlikte Masa Tenisi sporu için armatürlerin açıları ayarlanarak standartlara uygun bir aydınlatma sağlanmıştır. Standartlara uygun bir aydınlatma, topun hızını, yüksekliğini ve rotasını doğru bir şekilde değerlendirmek için oyunculara net bir görüş sağlar. Ayrıca, doğru aydınlatma düzenlemesi, gölgeleri en aza indirir ve oyuncuların topu daha kolay takip etmelerini sağlar. Masa tenisi oyuncularının gözlerini yormaz ve konsantrasyonlarını sürdürmelerine yardımcı olur. Böylece, oyuncular daha iyi bir performans sergileyebilir ve rekabetçi bir ortamda başarılı olabilir. Masa Tenisi sporu için hesaplama sonuçları Tablo 16’da belirtilmiştir. Bu düzeylerin elde edilebilmesi için armatür güçleri Sınıf 1-2-3 için sırasıyla %40, %28 ve %12’dir.

Tablo 16. Masa Tenisi simülasyon sonuçları

Sınıf	Yatay Aydınlık Düzeyi $E_{yat Ort}$ L_x	Düzensünlük $U_{2,yat}$	Yatay Aydınlık Düzeyi Sonucu $E_{yat Ort}$ L_x	Düzensünlük Değeri $U_{2,yat}$
TV	> 750	0,70	1875	0,90
I	750	0,70	772	0,93
II	500	0,70	502	0,93
III	300	0,70	328	0,93

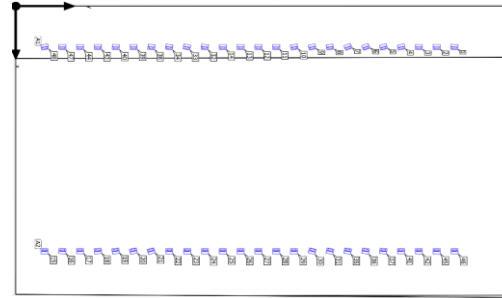
Çok amaçlı spor salonu için 28 adet Heper markalı paralel konumlandırılmış LED lambaların kullanılması, enerji tasarrufu sağlamanın yanı sıra gerekli standart olan TS EN 12193'te karşılamaktadır. LED lambalar, geleneksel aydınlatma sistemlerine kıyasla daha düşük enerji tüketimiyle çalışır ve bu da enerji maliyetlerinin azalmasına yardımcı olur. Ayrıca, LED teknolojisi yüksek verimlilik sağlar ve daha uzun ömürlü olduğundan lambaların sık sık değiştirilmesi gerekmez. Bu da çok amaçlı spor salonları için bakım maliyetlerinin düşmesini sağlar. Armatürlerin paralel düzende konumlandırılması, lambaların homojen bir şekilde dağıtılmasını ve aydınlatmanın her alanın doğru bir şekilde kapsamını sağlamıştır. Bu aydınlatma tasarımı alınan sonuçlar itibariyle etkin bir aydınlatma çözümü olmuştur.

4.2 Olimpik Yüzme Havuzu

Olimpik yüzme havuzları hem antrenmanlar için hem de uluslararası yüzme müsabakaları için önemli spor mekanlarıdır. Bu havuzların aydınlatması, enerji tasarrufu sağlamak ve belirtilen standartlara uygun bir şekilde ışıklandırmayı sağlamak amacıyla günümüzde LED armatürlerin kullanımıyla geliştirilmiştir. LED armatürler, geleneksel aydınlatma sistemlerine göre daha düşük enerji tüketimiyle çalışırken yüksek kaliteli ışık sunarlar. Bu hem işletme maliyetlerini düşürürken hem de çevresel etkiyi azaltırken enerji verimliliğini artırır. Olimpik yüzme havuzlarında kullanılan

LED armatürlerin hassas aydınlatma kontrolü sağlanması, yüzücülerin suyun içindeki hareketlerini daha iyi görmelerini sağlar ve güvenliği artırır.

Yüzme sporu diğer bahsedilen sporlardan farklı olarak su ortamında yapılmaktadır. Suyun yoğunluğu ve kırıcılığı hava ile aynı olmadığı için havuzlara özel bir tasarım yapılması şarttır. Günümüzde genellikle yüzme havuzlarının kenarları ya da tavanlarında cam kullanılarak gün ışığının yardımıyla ferah bir kullanım sunulmaktadır. Beylikdüzü spor kompleksi, yan tarafından gün ışığı alması sayesinde armatürlerin gündüz vaktinde kullanım oranı azalmaktadır. İçerisinde 50 metrelik bir olimpik yüzme havuzu bulunduran Beylikdüzü Spor Kompleksi'nde Şekil 13'te belirtildiği üzere 24-24 toplam 48 adet armatür paralel bir şekilde konumlandırılarak bir tasarım yapılmıştır.

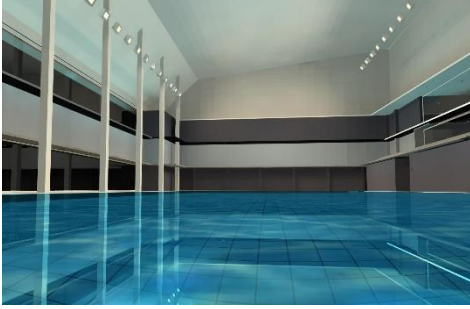


Şekil 13 : Yüzme havuzu armatür yerleşimi

Olimpik havuz DIALux Evo'da modellenip, armatürler belirli açılarla yerleştirilerek gerekli olan yatay aydınlık düzeyi ve düzensünlük değerleri sağlanmıştır. Şekil 14 ve Şekil 15'te havuzun 3 boyutlu modellenmesi gösterilmiştir.



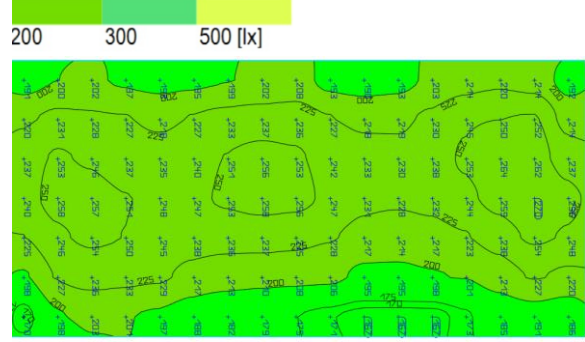
Şekil 14 : Olimpik yüzme havuzunun modeli



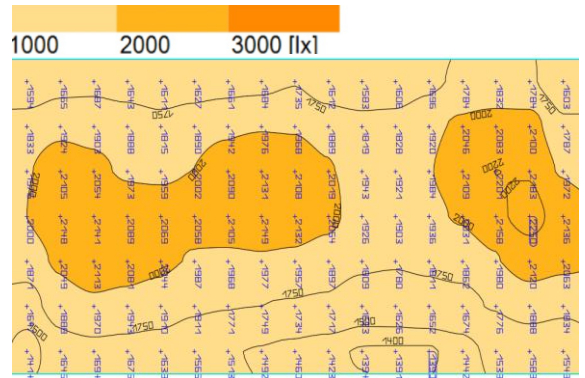
Şekil 15 : Olimpik yüzme havuzunda su üstünden bakış modeli

TS EN 12193 standardına göre hazırlanan bu projede hem müsabakalar hem de antrenmanlar için uygun bir tasarım yapılması amaçlanmıştır. Yüzme yarışları için armatür dizilimi, yarışçıların en iyi performanslarını sergileyebilmeleri ve güvenli bir yüzme ortamı sağlanabilmesi için büyük bir öneme sahiptir. Yüzme yarışlarında kullanılan armatürler, havuzun yanlarına stratejik olarak yerleştirilir. Bu düzenleme, yüzücülerin su yüzeyindeki hareketlerini net bir şekilde görebilmeleri için planlanmıştır. Ayrıca, armatürlerin doğru konumlandırılması, gölgeleri en aza indirir ve renksel geriverim endeksi yüksek bir armatür kullanımı suyun rengini doğru bir şekilde yansıtarak yüzme hattını belirginleştirir. Standartlara uygun bir tasarım sayesinde daha iyi bir yarış performansı sağlar. Ayrıca, yarışlarda kullanılan armatürlerin enerji verimliliği de göz önünde bulundurulmalıdır, böylece enerji tasarrufu sağlanabilir ve sürdürülebilir bir çözüm elde edilebilir.

HD TV yayını için ve Sınıf 3 müsabakalarının Yatay Aydınlık düzeyi simülasyon sonuçları Şekil 16 ve Şekil 17'de görülmektedir. Suyun yoğunluğu ve kırıcılığı havaya göre farklı olduğu için su yüzeyinde düzgünlük değerinin sağlanması daha da zorlaşmıştır ancak bu sorun, armatürler açı yapılarak konumlandırıldığında başarıyla çözülmüştür. Yüzme sporu için hesaplama sonuçları Tablo 17 ve Tablo 18'de belirtilmiştir. HD TV yayını için gerekli olan 1400 Lx düşey aydınlık düzeyi sağlanması nedeniyle yatay aydınlık düzeyinde de büyük bir artış olmuştur. Bu düzeylerin elde edilebilmesi için armatür güçleri Sınıf 1-2-3 için sırasıyla %45, %32 ve %20 düzeyine getirilmelidir.



Şekil 16 : Yüzme havuzu sınıf 3 yatay aydınlık düzeyi yanlış renkler gösterimi



Şekil 17 : Yüzme havuzu sınıf 1 için yatay aydınlık düzeyi yanlış renkler gösterimi

Tablo 17. Yüzme simülasyon sonuçları

Sınıf	Yatay Aydınıklık Düzeyi $E_{yat Ort}$ Lx	Düzensünlük U_{yat}	Yatay Aydınıklık Düzeyi Sonucu $E_{yat Ort}$ Lx	Düzensünlük Değeri U_{yat}
TV	> 750	0,70	1852	0,75
I	500	0,70	537	0,75
II	300	0,70	315	0,75
III	200	0,70	222	0,75

Tablo 18. Yüzme kamera için simülasyon sonuçları

Sınıf	Kamera Aydınıklık Düzeyi $E_{kam Ort}$ Lx	Dikey Aydınıklık düzeyi Sonucu E_{kam} Lx
I HDTV	> 1400	1401

Sonuç olarak Toplam 48 adet paralel konumlandırılmış LED armatürlerin kullanıldığı yüzme havuzu aydınlatma tasarımında hem enerji tasarrufu sağlamakta hem de gerekli TS EN 12193 standardına uygundur. Projenin ana hedeflerinden biri olan enerji tüketimiyle ilgili ise LED armatürler kullanılarak düşük enerji tüketimi ve enerji maliyetlerinin azalmasını sağlarken, çevresel etkiyi de minimize etmiştir. Aynı zamanda LED teknolojisinin yüksek verimliliği ve uzun ömrü, bakım maliyetlerini düşürür. Paralel konumlandırma, homojen bir aydınlatma sağlayarak gölgeleri en aza indirir ve yüzme havuzunun her noktasında doğru bir ışık dağılımı sağlar. Bu, yüzücülerin hareketlerini takip etmelerini kolaylaştırır ve konforunu artırır.

5. ENERJİ TÜKETİM ANALİZİ

Enerji tasarrufu ilkesiyle yapılan bu aydınlatma tasarımında LED armatürler kullanılarak yüksek verim elde edilmiştir. Bu tip armatürler geleneksel aydınlatma çözümlerinden farklı olarak verimi daha yüksek ve kontrolü daha kolay olduğu için gerekli tüm sporlar için ve müsabaka derecesine göre kolayca ayarlanmaktadır.

Toplam kurulu aydınlatma gücü Tablo 19’da yer almaktadır.

Tablo 19. Toplam kurulu güç

Adet	Üretici	P	Φ	Etkinlik faktörü
72	Heper	1380 W	145944 lm	105.8 $\frac{lm}{W}$
Toplam		99.36 kW	11842443 lm	105.7 $\frac{lm}{W}$

Spor türüne ve müsabaka önem derecesine göre harcanan güç Tablo 20’de belirtilmiştir.

Tablo 20. Güç Hesaplamaları

	HD canlı yayın	Sınıf I	Sınıf II	Sınıf III
Basketbol	24 \times 1380 = 33.12 k	33.12 \times 0.42 = 13.91 k	33.12 \times 0.28 = 9.27 k	33.12 \times 0.17 = 5.63 k
Yüzme Havuzu	48 \times 1380 = 66.24 k	66.24 \times 0.45 = 29.8 kW	66.24 \times 0.32 = 21.2 k	66.24 \times 0.20 = 13.25 k
Toplam	99.36 kW	37.71 kW	30.47 kW	18.88 kW

Bu sonuçlara bakıldığına HD yayın için gerekli olan güç miktarının yüksek olduğu gözükmektedir. HD yayınlarda gerekli olan bu yüksek aydınlatma ihtiyacı için LED armatürler kullanarak spor komplekslerinde de aydınlatmanın enerji verimliliği açısından ne kadar önemli olduğu tekrardan gözlemlenmiştir. Kalan diğer sınıflarda da ilgili çalıştırma oranlarıyla Sınıf 3 etkinlikleri için basketbol ve yüzme sporu aynı anda faaliyet gösterdiğinde 18.88 kW’lık bir güç tüketimi gözlemlenmiştir.

6. SONUÇLAR

Spor kompleksleri içerisinde birden fazla spor yapabilme imkânı sunduğu için gündün güne yaygınlaşan yapılarıdır. Günümüzde spor, çocukluk çağında başlayıp hayatın sonuna kadar yapılması gereken bir gereklilik haline gelmiştir.

Spor merkezlerinde antrenmanlarda dahil olmak üzere birçok farklı müsabakalar düzenlenmektedir. Spor yapılışı bakımından genelde hızlı ve takip gerektiği için iyi bir aydınlatma tasarımına da ihtiyaç duyar. Basketbol sporunu düşünüldüğünde, sporcu başını kaldırıp potaya şut attığı esnada gözüne direkt ışık gelmemesi gerekir aksi takdirde potayı net bir şekilde göremez ve konforsuz bir alan oluşturur. Bu ve buna benzer nedenlerden yola çıkılarak hazırlanan TS EN 12193 numaralı standartta ise farklı sporların farklı koşullarda oynandığında ortaya çıkan gerekliliklere yer verilmiştir.

Bu araştırmada en önem verilen kısımlardan biri ise başta iklim değişikliği, çevre kirliliği vb. gibi sorunlara yol açan yüksek enerji tüketimidir. İstanbul şehrinde bulunan Beylikdüzü Spor Kompleksi'nin de maksimum düzeyde enerji verimliliği ile işletilebilmesi için bu araştırma ve tasarım yapılmıştır. Bu tasarımda geleneksel armatürler yerine yüksek enerji verimliliği ve kolay kontrolü sayesinde günümüzde hızla yaygınlaşan LED armatürler kullanılmıştır. Fantozzi'ye göre yeni yapılacak olan spor salonlarında LED kullanıldığı takdirde geleneksel armatürlere göre %32 ve %52 arasında daha az enerji tüketiliyor.[4] Bu armatürlerin seçilmesi ve simülasyonu için spor kompleksinin tamamı DIALux Evo ortamına aktarılıp 3 boyutlu tasarımı yapılmıştır. 3 boyutlu tasarım sırasında zemin, duvar, eşyalar vb. gibi ışığın yansıma yapacağı tüm yüzeyler sistem modeline girilmiş ve ona göre hesap yapılmıştır. Armatür marka seçiminde ise Türk menşeli firma olan Heper tercih edilmiştir.

Bu hesaplamalar sonucunda referans olarak alınan TS EN 12193 standardına uygun bir şekilde sonuçlar elde edilmiştir. 3 ayrı sınıfta hesaplanan spor müsabakaları için farklı güç değerlerinde armatür kontrolü ile simülasyonlar yapılmıştır. LED armatürler kolay

kontrolü sayesinde aynı sahada düzgünlük değerleri değişmeden 3 ayrı sınıf için de istenen değerler elde edilmiştir. Ancak spor salonu yüksekliği az olduğundan dolayı kamaşma değerleri istenilen seviyede çıkmamıştır, ancak özel üretim lensler sayesinde bu kamaşma sorunu çözülebilir. Beylikdüzü Spor Kompleksi çevresinin en büyük spor kompleksi olduğu için bu tasarım sayesinde düşük güç tüketimi, yüksek verimliliğiyle çevre dostu ve yenilikçi bir spor kompleksi olmuştur.

7. KAYNAKÇA

- [1]TS EN 12193, “Aydınlatma ve ışık- Spor aydınlatması, Türk Standartları Enstitüsü,” Ankara, 2019
- [2]TS EN 12665, “Işık ve ışıklandırma- İş mahallerinin aydınlatılması - Bölüm 1: Kapalı alandaki iş mahalleri, *Türk Standartları Enstitüsü*,” Ankara, 2019
- [3] *Beylikdüzü Spor Kompleksi*. (12 C.E., February 12). Spor envanter. Retrieved May 6, 2023, from <https://sporenvanteri.ibb.istanbul/en/facility/beylikduzu-spor-kompleksi>
- [4] *Ürünler- HEPER*. (n.d.). HEPER. <https://heperlighting.com/tr/regio-lf-regio-rg/>
- [5] Fantozzi, F., Leccese, F., Salvadori, G., Rocca, M., & Garofalo, M. (2016). LED Lighting for Indoor Sports Facilities: Can Its Use Be Considered as Sustainable Solution from a Techno-Economic Standpoint? *Sustainability*, 8(7), 618. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/su8070618>