

**AYASOFYA MOZAIKLERİNİN GİZLENMESİNE YÖNELİK TEKNOLOJİ TABANLI BİR ARAŞTIRMA****A TECHNOLOGY-BASED RESEARCH ON THE VEILING OF THE HAGIA SOPHIA MOSAICS****Erdem Köymen<sup>\*</sup>, Fatma Zehra Dabbagh<sup>\*\*</sup>****Öz**

Ayasofya, Bizans'ın hayatta kalan en önemli sanatsal bileşenlerini içeren örneklerinden biridir. Kilise, müze ve cami fonksiyonları arasında dönemsel geçişler yaşamasının da etkisiyle farklı dönemlerde çeşitli müdahaleler geçirmiştir ve barındırdığı sanat eserleri bu müdahalelerden etkilenmiştir.

2020'nin Temmuz ayı itibarıyla tekrar camiye çevrilmesiyle birlikte toplu ibadet faaliyetleri başlamıştır. Bu fonksiyon değişikliği, mekân içindeki "ibadetin sıhhatini engellemesi" gerekçesiyle, apsis bölümünün üstündeki mozaiklerin örtülmesini gerekli kılmıştır. Diyanet İşleri Başkanlığı tarafından bu amaca yönelik çeşitli girişimlerde bulunulmuştur. "Karartma" gibi teknikler gündeme getirilse de sonuç olarak hareketli bir perde sistemi ile mozaikler örtülmüş ve bu yaklaşımla yapının iç karakteristiği ve sanatsal bütünlüğü zedelenmiştir.

Bu çalışmada, bahsi geçen mozaiklerin ibadet vakitlerinde gizlenmesi için günümüz teknolojisinin imkânları taranmış ve projeksiyon haritalamanın bu amacı en iyi karşılayan teknik olduğu analizlerle birlikte ortaya koyulmuştur. Tekniğin sağladığı avantajların yanında yaydığı ışığın mozaiklere zarar verme ihtimali, koruma yaklaşımları açısından makalenin araştırdığı alanlardan biridir. Optik bilimini referans alarak ilerleyen bu özgün çalışma, mozaik eserlerin ışıktan korunmasının matematiğine odaklanarak elde edilen sonuçları sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Ayasofya, İkona, Mozaik, Restorasyon-Koruma, Projeksiyon Haritalama.

**Abstract**

Hagia Sophia is one of the examples that contain the most important surviving artistic components of Byzantium. It has undergone various interventions in different periods with the effect of periodic transitions between church, museum and mosque functions, and the artworks it contains have been affected by these interventions.

As of July 2020, collective worship activities have started with the conversion into a mosque. This change of function made it necessary to cover the mosaics on the abscissa on the grounds that "it prevents the health of worship" in the space. Various initiatives have been taken by the Directorate of Religious Affairs towards this goal. Although techniques such as "blackout" were brought to the agenda, as a result, the mosaics were covered with a moving curtain system, and with this approach, the interior characteristic and artistic integrity of the building was damaged.

In this study, the possibilities of today's technology to hide the mentioned mosaics during the prayer times were evaluated and it was revealed with the analysis that projection mapping is the technique that

---

*Araştırma Makalesi // Başvuru tarihi: 23.02.2021 - Kabul tarihi: 18.05.2021.*

<sup>\*</sup> Dr., İstanbul Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mimarlık Bölümü, erdem.koymen@izu.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-6924-421X>.

<sup>\*\*</sup> İstanbul Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Mimarlık Bölümü, zahradabbagh5@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2055-250X>.

best meets this purpose. In addition to the advantages provided by the technique, the possibility of the light emitted to damage the mosaics is one of the areas that the article investigates in terms of protection approaches. This original study, which proceeds with the science of optics as a reference, presents the results obtained by focusing on the mathematics of protecting mosaic works from light.

**Keywords:** Hagia Sophia, Icon, Mosaic, Restoration-Conservation, Projection Mapping.

## 1. Giriş

Ayasofya, yüzyıllar boyunca gördüğü dönüşümlerle birlikte farklı onarımlar geçirmiştir. Fatih Sultan Mehmet döneminde kiliseden camiye çevrildikten sonra İslam inancına göre “ibadetin sıhhati” açısından mozaikleri kapatmak için dönemsel olarak çeşitli örtme uygulamaları yaşamıştır. Günümüzde ise ikinci defa camiye dönüştürülmesiyle birlikte benzer bir “örtme” yaklaşımı tekrar gündeme gelmiştir.

Sanatsal bütünlüğü bozması açısından hali hazırda yapılan perdeleme sisteminin eleştirildiği makalede, teknolojinin desteği ile bu işleve yeni bir çözüm arayışına girilmiştir.

## 2. Ayasofya

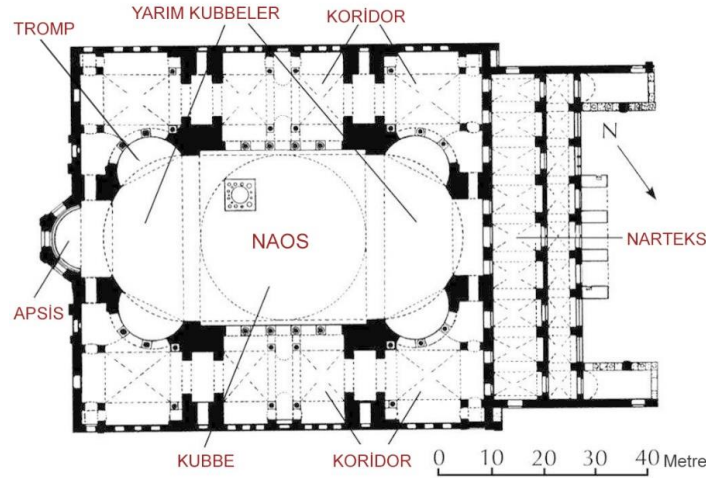
Dünya mimarlık tarihinin önemli eserlerinden biri olan Ayasofya, İstanbul'un tarihi yarımadasında ve Fatih ilçesine bağlı Sultanahmet meydanında bulunmaktadır. Dönemin Doğu Roma'sının başkentinde, mimarisiyle kendi döneminin bir “şaheseri” olmuş, imparatorluğun yıkılışına kadar da önemini korumaya devam etmiştir (Dabanlı ve Tökmeci, 2020).

Kayıtlara göre Ayasofya, farklı dönemlerde olmak üzere aynı yerinde üç kere inşa edilmiştir. I. Konstantinos'un 324-337 yıllar arasında yapımını başlattığı birinci Ayasofya, oğlu II. Konstantios (337-361) tarafından tamamlanmıştır. Bu ilk yapı, siyasi rekabet sonucu çıkan isyan ve yangında büyük ölçüde tahrip olmuştur. İkinci Ayasofya yapısının inşaatı İmparator Arkadios (395-408) tarafından başlatılmış ve II. Theodosius (408-450) tarafından tamamlanarak 415 yılında kilise olarak tekrar ibadete açılmıştır. 532 yılında çıkan Nika ayaklanması sırasında Ayasofya bir kez daha yanmıştır (Doğan, 2009).

Yangından kısa bir süre sonra I. Justinianus tarafından üçüncü Ayasofya yapısının inşasına yeniden başlanmıştır. Beş yıl süren inşaat sonrası 537 yılında tekrar ibadete açılmıştır. Günümüze ulaşan Ayasofya'nın bu üçüncü yapı olduğu bilinmektedir. Yaklaşık dokuz yüz sene

kilise olarak kullanılan yapı, Fatih Sultan Mehmet'in İstanbul'un 1453 yılında fethedilmesi ile birlikte camiye dönüştürülmüştür (Kinci, 2014).

Yaklaşık beş yüz sene cami olarak hizmet veren yapı, Bakanlar Kurulu Kararı ile (1934) müzeye çevrilmiştir.<sup>1</sup> 2020 yılına kadar müze olarak kullanılan yapı, 10 Temmuz 2020 tarihinde yine Bakanlar Kurulu Kararı ile camiye çevrilmiştir.



Görsel 1. Ayasofya zemin kat planı<sup>2</sup>.

Ayasofya kubbeli bazilikal plan tipindedir. Narteks ve apsis bölümleri dışında 69,50 x 73,50 metre iç hacme sahip dikdörtgen bir plan şeması üzerine yerleştirilmiştir. Binanın inşaatında genel olarak tuğla ve taş kullanılmıştır (Akgündüz vd., 2006: 85-86). Merkezi kubbesi dört büyük fil ayağa oturmaktadır. Kemer ve payandalarla desteklenen büyük kubbe yaklaşık 31 metre çapında ve zeminden 58 metre yüksekliktedir (Ousterhout, 2019:205). Kubbenin iki yanında yarım kubbeler bulunmaktadır. Binanın Doğu cephesinde bulunan apsis içten dairesel, dıştan üç cephelidir. Köşelerde tromplar ve kubbeli ana hacmi üç yandan çeviren galeri bulunmaktadır. Yan nefler, dış duvarlara saplanan kemerlerle alt bölümlere ayrılmıştır. Çapraz tonozla örtülü olan bölümlerden batı galeri bölümü beşik tonozludur (Doğan, 2009) (Görsel 1).

<sup>1</sup> Eyice, S., "Ayasofya", TDV İslâm Ansiklopedisi, <https://islamansiklopedisi.org.tr/ayasofya#1> Erişim tarihi: 21.02.2021.

<sup>2</sup> "Ayasofya", <https://www.kutsalkitap.org/ayasofya/>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

### **3. Ayasofya'daki Mozaikler**

Ayasofya'da günümüze kadar ulaşabilen çeşitli renk ve malzeme ile üretilmiş ikonalar bulunmaktadır. Bu ikonaların yapımında çoğunlukla mozaik tekniğinin kullanıldığı görülmektedir.

Mozaik, farklı renklerdeki küçük taş, cam, tuğla veya metal parçacıkların bir yüzey üzerinde yan yana getirilmesiyle oluşturulan bir tür resim veya bezeme sanatıdır.<sup>3</sup>

Ayasofya mozaiklerinde de çeşitli tür ve renklerde parçacıklar kullanılmıştır. Bunlar arasında cam, gümüş, altın, taş, pişmiş toprak ve mermer bulunmaktadır. Beyaz, yeşil, sarı, mor, turkuvaz, pembe, kırmızı, mavi, siyah, kahverengi bu mozaiklerde kullanılan renklerdendir (Kinci, 2014).

Ayasofya mozaikleri üst ve alt katta bulunmalarına göre ikiye ayrılarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

#### **Alt kattaki mozaikler**

- Vestibül Mozaiği
- İç narteksteki mozaik
- İmparator Kapısı Mozaiği
- Apsis yarım kubbesindeki Meryem Mozaiği
- Kuzey tympanondaki Aziz Mozaikleri
- Bema kemerindeki mozaikler
- Pandantiflerdeki mozaikler

#### **Üst kattaki mozaikler**

- Güney galerideki Deesis Mozaiği
- Güney galerideki Komnenoslar Mozaiği
- Kuzey galerideki İmparator Alesandros Mozaiği
- Güney galerideki İmparatoriçe Zoe Mozaiği

---

<sup>3</sup> "Mozaik", <https://sozluk.gov.tr/>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

### 3.1. Apsis Yarım Kubbesindeki Meryem Mozaïği

Makale kapsamında araştırmanın odaklandığı apsis yarım kubbesinin içindeki Hz. Meryem Mozaïği, yine altından olan mozaik bir zemin üzerine işlenmiştir. 9. yüzyıla ait olan bu mozaikte Hz. Meryem koyu mavi elbisesiyle kucağındaki çocuk Hz. İsa ile birlikte inci ve gümüşlerle süslenmiş bir taht üzerinde oturmaktadır (Key ve İnanan, 2005).



**Görsel 2.** Apsis yarım kubbesinde bulunan Hz. Meryem Mozaïği. (M. Yılmaz arşivi).

Bu mozaik İkonoklazm Dönemi'nden sonra Ayasofya'da yapılmış en eski mozaik olarak bilinmektedir.<sup>4</sup> Hz. İsa'nın giysisinin sarı renkli kısımlarında altın, beyaz renkli kısımları ise gümüş tercih edilmiştir<sup>5</sup> (Görsel 2). Mozaik, 867 yılında Partik Photios tarafından açılmıştır ve 14. yüzyılda büyük onarımlar geçmiştir (Akgündüz ve Öztürk, 2005:210).

### 3.2. Mozaikler Üzerindeki Müdahaleler

Yunanca "eikon" kelimesinden türeyen "İkona", tasvir veya benzeşim anlamına gelmektedir. Kilise veya katedral yapılarındaki Hz. İsa, Hz. Meryem, Hz. Yahya, Aziz(e) ve Şehit'lerin yassı resim veya ahşap üzerine yağlı boya ile yapılan dini içerikli resimleri veya mozaikleri olarak tarif edilmektedir (Küçük, 2019).

Mozaikler üzerindeki en büyük bilinçli müdahalenin İkonoklazma döneminde yaşandığı söylenebilir. İkonoklazma, "tasvir kırmak" anlamına gelmektedir. 7. Yüzyılda Bizans devletinde bulunan kiliselerde ikonların yüceltilmesi gittikçe artmıştır. Bunun üzerine 692 yılında Bizans

<sup>4</sup> "Ayasofya Müzesi ve Mozaikleri", <https://www.tarihiistanbul.com/ayasofya-muzesi-ve-mozaikleri/>, Erişim tarihi: 21.02.2020.

<sup>5</sup> "Ayasofya", <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ayasofya>, Erişim tarihi: 21.02.2020.

imparatoru II. Justinianos İstanbul'da bir konsil toplamıştır. Toplanan konsil, tahta veya herhangi bir nesne üzerine tasvir üretmeyi, "görüşü büyülemesi" ve "aklı bozması" gerekçeleriyle yasaklamış, bu yasağa uymayanların da afroz edileceğini ilan etmiştir (Aydın, 2002). Böylece 726-843 yılları arasında iki farklı dönem halinde yaşanan İkonoklazma hareketinde Hz. İsa, Hz. Meryem ve Azizler'in tasvirleri müdahaleye açık hale gelmiştir. Sonrasında Ayasofya'daki mozaik, ikona ve resimlerin çoğu ya ortadan kaldırılmış ya da üzeri sıvanmıştır. Bu dönemde yapı yoğun olarak haç motifleriyle süslenmiştir. Günümüze erişen Ayasofya'daki insan sureti tasvirlerini içeren tüm mozaikler İkonoklazma Dönemi sonrasına aittir. Ancak insan sureti içermeyen bazı süslemelerin 6. yüzyılda yapılan ilk mozaikler olduğu bilinmektedir (Geyik, 2020).

Ayasofya, III. Mihail (842-867) yönetimi altındayken onarıma alınmıştır. 859'da çıkan yangın bu çalışmaları kesintiye uğratsa da III. Mihail, imparatorluğunun son yılında (867) apsisteki büyük Theotokos Mozaığının yapımını tamamlamıştır. 10. yüzyıla geldiğinde Ayasofya, İmparator II. Basileos'un emriyle mimar Trdat tarafından bir onarıma alınmış ve bu onarımda süslemeler üzerine de çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. 11. yüzyıla denk gelen III. Romanos döneminde (1028-1034) güney galerinin doğusundaki duvar üzerine İmparatoriçe Zoe'nin mozaığı pano şeklinde yapılmıştır. Patrik İoannes Ksiphlinos döneminde (1064-1075) kilisenin bemasındaki zarar görmüş mozaikler yenilenmiştir. 1122 yılı civarı II. Komnenos Dönemi'nde Ayasofya'nın batı galerisinin güney duvarı üzerine eşi Eirene ve oğulları Aleksios'un mozaikleri yapılmıştır. Bizans Devleti'nin son yıllarında ise Ayasofya bakımsız ve tamiratsız kalmıştır (Diker, 2010).

1453 yılında İstanbul'un fethiyle birlikte Ayasofya Müslümanların eline geçmiş ve Fatih Sultan Mehmet'in emriyle camiye çevrilmiştir.

İslami literatürde, içerisinde resim/heykel bulunan eve meleklerin girmediğine dair Hadis-i Şerifler bulunmaktadır.<sup>6</sup> Bazı İslam âlimleri tarafından Hadis-i Şeriflerde bulunan

---

<sup>6</sup> Buhari, Libas, 92, 88; Ebu Davûd, Libas, 48.

uyarıların İslam inancına uymayan “tapınma” ve “tazim” gösterme gibi amaçları kapsadığı ve bu suretlerin sadece kible yönüne getirilmesinin “mekruh” olduğu ifade edilmiştir.<sup>7</sup>

Osmanlı döneminde Ayasofya, insan suretlerinin yukarıdaki bağlamda örtülmesi için çeşitli müdahaleler görmüştür. Bu dönemde Osmanlılar tarafından Ayasofya'nın korunması için gösterilen çaba dikkat çekmektedir. İslam dini insan resimlerini ibadet yerlerinde menetmesine rağmen suretler, yapıya ve kendilerine zarar vermeden ince bir kireç tabakasıyla kapatılarak korunmuştur. Hatta çok fazla namaz kılınan yerlerde, göz önünde veya dikkati çekecek bir bölgede değilse hiç dokunulmamış veya sadece figürlerin yüzleri kapatılmıştır. Böylelikle Ayasofya mozaiklerinin günümüze ulaşması sağlanmıştır (Akgündüz ve Öztürk, 2005:199).

Kubbedeki Pantokrator Mozaiği yüksek bir yerde olduğundan dolayı müdahale edilebilmesi için iskelenin kurulması gerekmiştir. Bundan dolayı bu mozağin kapatılması ertelenmiştir. Kubbeye geçişi sağlayan dört pandantifteki “Kerubim” ve “Seraphim” melek figürlerinin ise sadece yüz bölgeleri silinmiş kanatları ise açık bırakılmıştır (Doğan, 2009).

Kariye Camii'nde de kiliseden camiye dönüşüm sürecinde benzer örtme yaklaşımlarına rastlanmaktadır. İstanbul'un önemli anıtlardan biri olan Kariye Camii, 1453 ile 1510 yılları arasında kiliseden camiye çevrilmesiyle birlikte birçok onarım çalışmaları geçirmiştir. Cami işlevini taşıdığı süre içinde Hıristiyan tasvirlerini örtmek için yüz, el, ayak, haç ve yazıtlar en çok 5 mm kalınlığında badana uygulaması ile örtülmüştür (Çağlar, 2015).

Daha yakın dönemde Sultan Abdülmecid tarafından Ayasofya Camii'nin onarımı için Fossati Kardeşler görevlendirmiştir. Bu dönemde Ayasofya duvarlarındaki sıvalar bozulmuş ve altındaki mozaiklerin bir kısmı ortaya çıkmıştır. Fossati Kardeşler, Sultan Abdülmecid'den izin alarak sıvaları çıkartıp tespit edilen mozaiklerin onarımını yaptıktan sonra suluboya ve karakalemle rölevesini alıp önce belgelemiş daha sonra sıva ile tekrar örtmüşlerdir. Bazı mozaiklerin eksik olan kısımlarını ise alçı ile tamamlamışlar ve üzerlerini de geometrik veya bitkisel bezemelerle kapatmışlardır (Doğan, 2009).

---

<sup>7</sup> Fetavay-ı Hindiyeye, I, 107.

Cumhuriyet döneminde 1931 yılındaki bakanlar kurulu kararından sonra Ayasofya'daki mozaikler temizlenmeye başlamıştır. 1932 yılında ise Fossati'nin kapattığı mozaikler sıvaların altından çıkartılmıştır. Bu çalışma 1970'e kadar devam etmiştir (Akgündüz ve Öztürk, 2005:807).

1993 yılında Ayasofya ana kubbesinin en çok zarar gören kuzeydoğu çeyreğinde büyük bir iskele kurulmuş ve mozaiklerin onarımı yapılmıştır. Bu iskele 4 defa yer değiştirmiştir. 2009 yılında kubbenin son çeyreğindeki çalışmalar tamamlanmış ve 2010'da kubbenin altındaki iskeleler sökülüştür (Gökçe, 2010).



**Görsel 3.** Hali hazırda kullanılan perde sistemi. (M. Kurt arşivi).

2020 yılının Temmuz ayında Ayasofya'nın tekrar camiye çevrilmesiyle birlikte Diyanet İşleri Başkanlığı tarafından kible tarafına gelen mozaiklerin namazın sıhhatini engellemesi gerekçesiyle örtülmesi için çözüm arayışına girmiştir. Mozaiklerin lazerle karatılması düşüncesi öne çıkmakla birlikte bu eserlere zarar verme endişesiyle bu fikirden vazgeçilmiştir. Buna alternatif olarak apsis üstü yarım kubbe ve bema kemerindeki mozaiklerin önüne, namaz vakitlerinde kapatılıp sonradan tekrar açılacak nitelikli dinamik bir perde sistemi yerleştirilmiştir (Görsel 3).

#### **4. Mozaiklerin Gizlenmesine Yönelik Araştırma**

Yapının ibadete açılmasından sonra kible yönündeki mozaiklerin örtülmesi için tercih edilen ve üçgen parçalar şeklinde üretilen perde sisteminin renk ve form açısından yapının genel estetiğine uymadığı görülmüştür. Ayrıca sistemin çalışması sırasındaki dinamiği ve titreşimi ile birlikte yapıya zarar verme ihtimali de bulunmaktadır. Bunun yanında bu sistemin



pratik kullanım açısından da oldukça hantal olduğu düşünülmektedir. Öngörülen bu problemlerle birlikte sanat tarihi açısından önemi belli olan Ayasofya'nın bu iç odak merkezinin örtülmesi için, modern bilim ve teknolojinin imkânları ile makale kapsamında daha doğru ve bilimsel bir çözüm arayışına girilmiştir. Araştırmalar sonucunda üç yöntem tespit edilmiş ve incelemeye alınmıştır.

#### **4.1. Sistem Araştırmaları**

Sistem araştırmalarına başlarken öncelikle aşağıdaki kriterler belirlemiş ve araştırmalar bu kriterlere dikkat edilerek ilerletilmiştir:

- Sistemin; “yüzey gizleme” eylemi içermesi
- Yüzey üzerinde bozulmalara sebep olmaması
- Güncel bir teknoloji barındırması
- Temel restorasyon-koruma prensiplerine karşı çıkmaması
- Yapının ana karakteristiği ve estetiğine ters düşmemesi

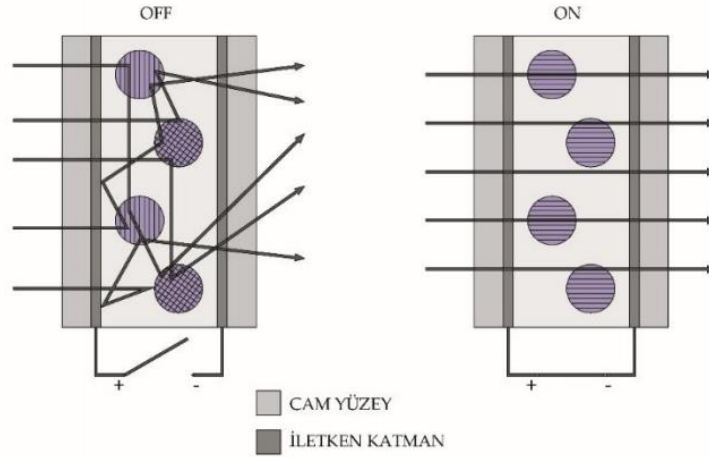
Bu kriterler doğrultusunda yapılan araştırmada amaca en yakın sonuç verebileceği öngörülen sistemler; “Akıllı Cam” (Smart Glass), “Görünmezlik Pelerini” (Invisibility Cloak) ve “Projeksiyon Haritalama” (Projection Mapping) şeklindedir.

##### **4.1.1 Akıllı Cam (Smart Glass)**

Akıllı camlar 1970-1980 yılları arasında ortaya çıkmıştır. İstenildiğinde opak istenildiğinde şeffaf görünüme geçebilen ileri teknoloji bir cam kaplama malzemesi olarak bilinmektedir. Günümüzde ofis, konut, müze, hastane, otel gibi yapılarda kullanım örnekleri bulunmaktadır. Genel olarak “aktif” ve “pasif” sistemler şeklinde iki sınıfa ayrılmaktadır. Erkol ve Sayın (2021) makalelerinde 7'si pasif sistemler olmak üzere, toplam 17 farklı akıllı cam sistemini incelemiş ve karşılaştırmalı tablolar şeklinde bu sistemleri tanıtmışlardır.

Bu araştırmaya göre ısı ve ışık gücüyle renk değiştiren “pasif” akıllı camlar, insan müdahalesi ile başlatma ve durdurma fonksiyonlarına imkân tanımamaktadır. Bundan dolayı makalemizde pasif sistemler araştırma dışında bırakılıp aktif sistemler üzerine yoğunlaşmıştır. Sonrasında çalışma konusu olan Ayasofya'daki mozaik ikonaların istenilen zaman aralığında

örtülebilmesi için akıllı cam türlerinden “Likit Kristal Cam” sistemi amaca daha yakın görülmüş ve araştırma bu yöne ilerlemiştir.



**Görsel 4.** Sıvı kristal akıllı camın çalışma prensibi (Erkol ve Sayın, 2021).

Likit kristal akıllı camlar Türkiye’de en yaygın olan akıllı cam sistemleri olarak polimer içerisine dağılmış sıvı kristaller içeren türleridir (PDCL) (Erkol ve Sayın, 2021). Sistem, iki cam arasına yerleştirilen ısı performansını çok yüksek olan sıvı kristallerinin elektrik akımı ile oluşan gerilimi sonucu camın geçirgenliğinin değişmesi prensibi ile çalışmaktadır (Wong ve Chan, 2014) (Görsel 4).

Sıvı kristal camların, mağaza vitrinleri, toplantı salonları, banyo hacimleri, yüzme havuzu, araba camları gibi yerlerde ortamı perdelemek amacıyla tercih edildiği görülmüştür. Bunun yanında büyük panel ekranları üzerindeki kullanımlarına da rastlanmıştır.



**Görsel 5.** Akıllı cam sisteminin çeşitli hacimlerde uygulama örnekleri.<sup>8</sup>

Görsel 5'te akıllı camın çeşitli hacmindeki kullanım örnekleri paylaşılmıştır. Görsellerde de görüldüğü gibi sistem açıldığı zaman opak, kapatıldığı zaman ise şeffaf bir görünüm almaktadır.

Dünya çapında birçok şirket dinamik akıllı cam ve geniş alanlı düz panel ekranlar geliştirmektedir. Bunun yanında çeşitli üniversiteler ve laboratuvar grupları bu ürünleri iyileştirmek için yeni malzeme ve süreçleri araştırmaktadır (Lampert, 2002).

**Tablo 1.** AFE Koruma ve güvenlik sistemleri firmasına ait Akıllı cam filmi teknik özellikleri tablosu.<sup>9</sup>

OPTİK ÖZELLİKLER	Görünürlük, ışık iletimi	Açık	> %90
		Kapalı	< %2
	Şeffaflık	Açık	% 0.90
	UV Engellemesi	Açık	% 0.50
		Kapalı	% 0.99
IR Engellemesi	Açık	% 0.30	
	Kapalı	% 0.90	
ELEKTRİK DEĞERLERİ	SGHC	Açık & Kapalı	5w/m2
	Güç Kaynağı	Açık	60 Hz
	Akım	Açık	2mA/m2
	Tepki Süresi	Açma > Kapama	0.3 s
		Kapama > Açma	0.3 s
Güç Tüketimi	Açık	5w/m2	
AYRINTILAR	Çalışma Sıcaklığı	-20 °C <> 100 °C	
	Çalışma Ömrü	10 Yıl	
	Açma - Kapama adedi	> 2 Milyon	
	Mevcut Renkler	Beyaz / Açık Gri / Siyah	
	Su geçirmezlik	Var	
	Garanti Süresi	2 Yıl	
ÖLÇÜLER	En Büyük Ebat	1800 mm * 4000 mm	
	Kalınlık	0,38 mm	

<sup>8</sup> "Itecvision Glass / Cristales Inteligentes", <https://www.itecvision.com/productos/itecvision-glass-cristales-inteligentes/>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

<sup>9</sup> <https://www.afsakillicamfilmi.com/>, Erişim tarihi: 21.02.2020.

Akıllı cam araştırmaları sırasında Türkiye’de faaliyet gösteren şirketlerden “Googlass”, “Mayacamsin” ve “AFE Koruma ve Güvenlik Sistemleri” ile görüşmeler yapılmıştır. AFE firmasının yayınladığı akıllı cam sisteminin teknik özellikleri Tablo 1’de verilmektedir. Görüldüğu gibi akıllı camlar; UV ve IR engellemesi içeren, su geçirmezlik özeliği olan, farklı renk ve boyutta tasarlanabilen, 0,3 saniye açma-kapama süresine sahip, uzun ömürlü bir malzemedir. Işık iletimi ise açıkken %90’dan büyük, kapalı haldeyken %2’den küçük olabilmektedir. Bunun yanında sadece 0,38 mm kalınlığa sahip olması da dikkat çekicidir (Tablo 1).

Aktif akıllı cam sistemlerinin çalışması için elektrik gücüne ihtiyaç duyulur. Sistem karmaşık bir yapı içerir ve sistemi oluşturan her bir bileşen için ayrı elektrik gücü hesaplanmalı ve donanımı da buna göre kurgulanmalıdır (Addington ve Schodek, 2005:48). Tipik olarak bu cihazlar 24 ile 100 V AC arasında çalışır. Güç tüketimleri 5 W / m<sup>2</sup>’den azdır, ancak çalışmaları için sürekli enerjiye ihtiyaç duyarlar (Lampert, 2002).

Makalesinde bükümlü nematik sıvı kristal camların elektro optik özelliklerini inceleyen Karapınar (2017), bu cihazların yapımı için yeni yöntem araşışlarına dikkat çekerek 90 derecelik büküm yerine 270 dereceye ulaşan bir “süper büküm” aygıtının geliştirildiğinden bahsetmektedir. Karapınar’a göre sıvı kristal akıllı camlarda “siyanobifenil” bileşeni yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bileşen verdiği hızlı tepkiden dolayı birçok elektro optik devrede tercih sebebi olmuştur. Bileşenin gösterdiği faz geçiş niteliğinden dolayı katı halden sıvı kristal hale 23 °C’de geçmektedir. Bunun yanında 34 °C’de ise erimekte ve izotropik hal almaktadır (Karapınar, 2017).

#### **4.1.2. Görünmezlik Pelerini (Invisibility Cloak)**

Yüzeylerin gizlenmesine yönelik teknoloji tabanlı araştırmada ikinci olarak Duke Üniversitesi’nden David R. Smith tarafından geliştirilen bir sistem dikkati çekmiştir. Sistem “Görünmezlik pelerini” olarak isimlendirilmiş ve sonrasında bu isimle kavramlaşarak birçok araştırmaya konu olmuştur.



**Görsel 6.** Görünmezlik pelerinin uygulama örnekleri.<sup>10</sup>

“Pelerin” olarak isimlendirilen yüzey, mikrodalga ışınlarını saptırarak küçük bir bozulma ile arkasındaki nesnenin etrafından bu ışınları akıtır. Bu prensibine dayandırılan sistem ile pelerin arkasında kalan nesne yerinde yokmuş gibi görünür. (Görsel 6) Bu çalışmalarla birlikte yeni bir elektromanyetik tasarım paradigması ortaya atılmış ve “görünmezlik” kavramı bilim camiası için pratik bir konu haline gelmiştir (Landy ve Smith, 2013). Sonralarda iki boyutlu ve tek yönlü bir bakış sağlayan sistem, elektromanyetik dalga saçılım teorisine dayandırılarak silindirik formlar üzerinden geliştirilmiş ve böylelikle açısız bir zenginlik yakalanmıştır (Zhang vd., 2007). Fotokopi makineleri, elektrostatik püskürtme sistemleri, elektrik empedans tomografisi (EIT) ve ayrıca kamufraj gibi askeri uygulamalarda kullanılması uzmanlarca öngörülmektedir (Yang vd., 2012).

#### 4.1.3. Projeksiyon Haritalama (Projection Mapping)

Teknoloji tabanlı araştırmanın üçüncü kısmında ise projeksiyon haritalama tekniğine odaklanılmıştır. Projeksiyon cihazları dijital görüntüleri bir nesne veya bir yüzeye “yansıtma” prensibiyle çalışmaktadır. Genellikle video ve ışık yansımalarıyla mekânın atmosferini geçici olarak dönüştürmek için kullanılır (Karayılıanoğlu ve Arabacıoğlu, 2020). Bunu yaparken görsel ve işitsel elemanları birleştirerek fiziksel bir görüntü yansımalarını hedefler (Ekim, 2021).

Arttırılmış Gerçeklik<sup>11</sup> teknolojisine yakın bir mantık taşıyan “Projeksiyon Haritalama” tekniği ise aydınlatılacak nesneyi yakalamak için kameralar ve renklendirmek için de projeksiyon

<sup>10</sup> “Esiste un materiale che rende invisibile oggetti e persone: ecco come funziona”, <https://www.deejay.it/articoli/esiste-un-materiale-che-rende-invisibile-oggetti-e-persone-ecco-come-funziona/>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

<sup>11</sup> Detaylı bilgi için: Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality, Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 6(4), 355-385.

cihazlarına ihtiyaç duyar. Arttırılmış gerçeklikte üst üste bindirilmiş sanal ve gerçek dünyanın tek bir ekran üzerinde bireysel izlenimi söz konusu iken, projeksiyon haritalama tekniğinde herhangi bir ekran ya da gözlük bileşenine ihtiyaç duymadan sonuç ürün çıplak gözle izlenebilmektedir (Grundhöfer ve Iwai, 2018).



**Görsel 7.** Roma Forumu'nda projeksiyon haritalama<sup>12</sup>, L'Atelier des Lumières Sanat Müzesi'nde projeksiyon haritalama.<sup>13</sup>

Konser, moda gösterisi ve festival gibi eğlence sektörüne ilişkin alanlarda, özellikle sahne tasarımlarında bu yöntem sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda tarihi alanlar ve nesnelere üzerinde de sistemin kullanım örnekleri görülmektedir. Örneğin 2018 Roma Forumu'nda anıtların üzerine tarihi olayların görselleri projeksiyon haritalama ile yansıtılarak forumun tarihi canlandırılmıştır (Görsel 7).

Diğer bir örnek olarak Paris'teki L'Atelier des Lumières Dijital Sanat Müzesi'nde benzer bir dijital teknik, sanal bir enstalasyon oluşturmak amacıyla müze iç mekanında kullanılmıştır<sup>14</sup> (Görsel 7).

#### 4.2. Sistem Değerlendirmeleri

Çalışmada incelenen üç yöntem, çeşitli kriterlere göre birer tabloda toplanarak birlikte değerlendirilmeye alınmıştır (Tablo 2, 3).

<sup>12</sup> "Viaggio nella Roma antica. Ai Fori Imperiali, tornano gli spettacoli di Piero Angela", <https://www.exibart.com/express/viaggio-nella-roma-antica-ai-fori-imperiali-tornano-gli-spettacoli-di-piero-angela/>, Erişim tarihi: 21.02.2020.

<sup>13</sup> "How This Paris Art Exhibit Lets You Step Inside a Van Gogh Painting", <http://www.iamthevoluntourist.com/oldbackupdata/paris-art-exhibit-van-gogh-painting/>, Erişim tarihi: 21.02.2020.

<sup>14</sup> "How this Paris Art Exhibit Lets You Step Inside a Van Gogh Painting", <http://www.iamthevoluntourist.com/oldbackupdata/paris-art-exhibit-van-gogh-painting/>, Erişim tarihi: 21.02.2020.

**Tablo 2.** Teknik parametrelerin değerlendirilmesi.

Teknik Parametreler	Projeksiyon Haritalama	Akıllı Cam	Görünmezlik Pelerini
<b>Fiyat aralığı</b>	800 ₺ – 2000000 ₺	250\$/m <sup>2</sup> – 500\$/m <sup>2</sup>	Henüz endüstri boyutuna çıkmadığı için bilinmemektedir.
<b>Avantajları</b>	- Kolay kullanımı - Farklı yüzeylere uygulanabilme - Uzun ömürlü olma	- Kolay kullanım - Uzun ömürlü olma - Yapışkan akıllı film olarak cam yüzeylere sıvanmasına olanak sağlaması	Gerçekçi aynalama imkânı
<b>Dezavantajları</b>	- Uzun süreli kullanımında malzemeye zarar verme ihtimali - Parlak ve çok ışık alan yerlerde kullanım zorluğu - Cihaz maliyeti	- Eğrisel formda kullanıldığında görüntünün bozma ihtimali - Cama entegresinde oluşan yüzey bozuklukları - Yüzey üzerinde kontrolsüz yansımalar. - Aktifleşmesi için sürekli güç gerektirmesi - UV dayanımının düşük olması - Kızılötesi iletimini azaltmada yetersiz kalması	- Standart kullanıcılar tarafından tecrübe edilememesi - Sistemin iki boyutlu yüzeylere henüz cevap verememesi

**Tablo 3.** Temel kriterlerin karşılaştırılması.

Temel kriterler	Projeksiyon Haritalama	Akıllı cam	Görünmezlik pelerini
Yüzey gizleme fonksiyonu bulunması	+	+	+
Yüzeyde bozucu etki yapmaması	+	-	-
Güncel bir teknoloji barındırması	+	+	+
Yapı estetiğine ters düşmemesi	+	-	-
Maliyeti	+	+	?

Araştırma kapsamında incelenen yöntemlerden “akıllı camlar”, gizleme fonksiyonu için yeterli opaklığı sağlamaktadır. Ancak sağlanan opaklık, buzlu cam ya da tam beyaz bir yüzey etkisi oluşturacağı için estetik anlamda mozaik yüzeyle uyumsuz bir izlenim sunacaktır. Ters durum olan şeffaf konumdayken üzerine ışığın düşüş açısına göre parlamalara maruz kalarak mozaik görünümünü engelleyip kullanıcının izlenimini zedelemesi yüksek ihtimaldir. Akıllı camların enerji tüketimi ve dolayısıyla maliyeti Ayasofya gibi özel bir yapı için göz ardı edilebilecek seviyededir. Sistemin çalışması için gereken ısı aralığı olan 21-34 derece, mozaiklerin zarar görmesi anlamında kayda değer bir aralık değildir. Akıllı camların bükülebilir

olan fiziksel niteliği, yarım kubbeye olarak oturtulabilmesine imkân tanımaktadır. Ancak sistemin uygulamasında kubbe üzerine yapılacak tespit işleminin mozaiklere zarar verme ihtimali yüksektir. Bundan dolayı bu sistemin araştırması bu aşamada bırakılmıştır.

“Görünmezlik pelerini” ise henüz deneysel nitelikli bir çalışma olup endüstriyel boyuta çıkamamıştır. Maliyet bilgisine erişilemeyen sistemin geliştirilmesine çeşitli üniversitelerin bünyesinde devam etmektedir. Henüz “yüzey gizleme” fonksiyonuna sahip olmayıp sadece pelerin ardındaki üç boyutlu bir nesneyi belli bir uzaklıktan ve belli bir bakış açısına göre “gizleme” niteliğine sahiptir. Görünmezlik pelerini, literatüre işlevi açısından kazandırılmak amacıyla incelemelerin içine dahil edilmiştir. Fikir ve çalışma prensibi olarak sanat, mimari tasarım, restorasyon-koruma gibi alanlarda ileride kendine oldukça önemli bir yer bulacağı açıktır.

Son incelenen sistem olan “projeksiyon haritalama” ise örneklerinden görüldüğü gibi alanda sık kullanılan optik bir tekniktir. Tüm değerlendirme kriterlerini karşılamakta ve aynı zamanda bilimsel yöntemlerle optimize edilebilmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı makalede detaylarına inilerek araştırmasına devam edilmiştir.

### **4.3. Çözüm Yönelik Araştırma**

Araştırmalara göre projeksiyon haritalama sistemindeki en temel sorunlardan ilki cihazdan yayılan ışığın mozaik yüzey üzerinde bozulmalara sebep olma ihtimalidir. Bunun haklı bir endişe olmasına karşın yapılan literatür taraması ve araştırmalar sonrasında cihazdan yayılan ışığın optimizasyonu ile mozaiklerdeki “gizleme” amacına yönelik kullanılmasının mümkün olabileceği öngörülmüştür.



### Yüzeyin Aydınlık Değerleri:



**Görsel 8.** Apsise bakış yönünde parlaklık dağılımı (17 Eylül 2012, 10:15) ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) (İnanıcı, 2014).

Mozaik yüzey projektörle renklendirileceği için öncelikle yüzeyin üzerindeki ortalama aydınlık değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun sebebi yüzeye gizleme amacıyla düşürülecek olan desenlerin, ancak yüzeyde hali hazırda bulunan ışık değerinin üzerinde bir aydınlatma ile görünür olabileceği “fiziksel” gerçeğidir. Görsel 8’de görüldüğü gibi Ayasofya’nın apsis bölümündeki yarım kubbe, doğal aydınlatma durumunda “30-80” aralığında bir lux değeri taşımaktadır.

### Koruma Açısından İdeal Aydınlatma Değerleri:

Sanat eserlerinin ışıktan korunmasında ışığın yönü, rengi, seviyesi, parlaklığı kadar uygulanacak yüzeyin yapısal bileşenleri, emilimi ve inşa teknikleri de önemlidir (Lucchi, 2018). Bundan dolayı Ayasofya’daki uygulama alanının fiziksel niteliği sorgulanmıştır. Makalenin 2. bölümünde yapılan literatür taramasında uygulama yüzeyinin taş, cam, altın ve gümüş parçacıklarından oluşan bir mozaik olduğu belirlenmiştir. Bu yapılan belirlemeler sonrasında anıtsal nitelik taşıyan yüzeylerin bozulmaya uğramadan aydınlatılabilecekleri limitler araştırılmıştır.

**Tablo 4.** Tarihi eserler için IESNA'nın belirlediği ideal aydınlanma düzeyleri (IESNA, 2000:545).

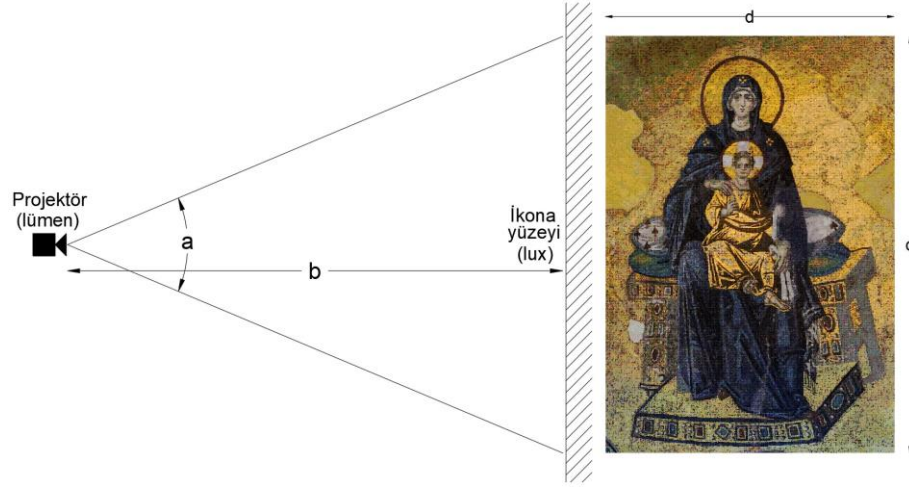
Nesne/yüzey türü	İdeal aydınlık (lux)
El yazmaları, minyatürler ve resimli tarihi kitaplar	30 lux
Halı, minyatür, baskı ve kumaşlar	50 lux
Yağlı veya tempere boyalı eserler, deri, ahşap ve kemik türevleri	150-180 lux
Taş, metal, çelik ve camı nesnelere	300-500 lux

Bilimsel çevrelerce dünya standardı olarak kabul edilen IESNA'ya göre mozaikler için Tablo 4'te görüldüğü gibi "300-500" lux arası bir aydınlanma değeri öngörülmektedir. Çalışma IESNA'nın belirlediği aralık içinde kalınarak ilerlemiştir.

#### **Birimler:**

Bir yüzeyin üzerine düşen ışık yoğunluğu, "lux" cinsinden ifade edilmektedir. Lux, bir "parlaklık" veya "aydınlık" ölçüsü birimidir ve "Candela" ölçü biriminden türetilmiştir. Candela ise bir mumun parlaklığına eşdeğer olan sabit bir değer olarak kabul edilmiştir. Candela bir enerji birimi iken insan gözü tarafından algılanması açısından aynı ışığı ölçen ve "lümen" olarak isimlendirilen eşdeğer bir birimi daha vardır. Bir lux, bir metrekairelik yüzeye yayılan bir lümen ışığa eşittir. (1 lux = 1 lümen/m<sup>2</sup>) Lux, bu ışığın yayıldığı alanı hesaba katar ve yüzeyin parlaklığını etkiler (İsmail vd., 2013). Işık, kaynağından çıktığında yüzeye ulaşana kadar dağılır ve ilerler. Bu yüzden ışığın kaynağından çıkış anındaki değeri ile yüzeye ulaştığı andaki değeri farklılık gösterir.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> "Lux to Lumens Calculator", <https://www.bannerengineering.com/us/en/company/expert-insights/lux-lumens-calculator.html>, Erişim tarihi: 21.02.2021.



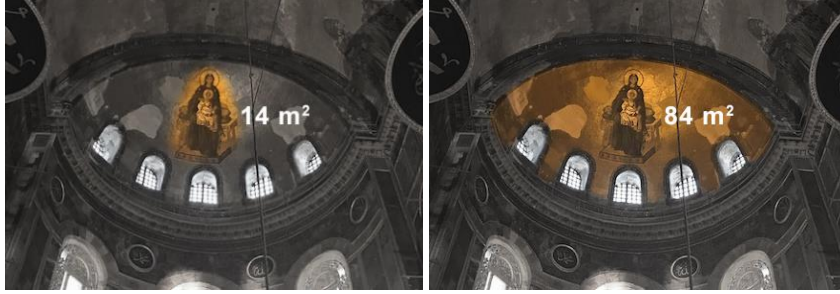
**Görsel 9.** Projektör ile yüzey arasındaki bağıntı (E. Köymen arşivi).

Bu bilgilerden hareketle, projektör ile yansıtacağı yüzey arasında görsel 10'da gösterilen bir bağıntı kurulabilir. Görselde "a" ile gösterilen değer projektör ışığının dağılım açısıdır. "b" ise projektör ile yansıtacağı yüzey arasındaki mesafeyi göstermektedir. Projektörlerin ışık gücü yaygın olarak "lümen" cinsinden ifade edilir. Buradaki lümen değeri, ışığın çıkış anındaki şiddeti anlamına gelir. Işık belli bir mesafeyi belli bir açı ile geçerek bir yüzeye yansırsa bu yüzeyde bir parlaklık oluşturur. Görseldeki "c" ve "d" değerinin çarpımı ile yüzey alanı bulunur. Yüzey alanında oluşan bu parlaklık da lux cinsinden ifade edilebilir. Yüzeyde bozulmaya sebep olup kontrol altına alınması gereken değer budur.

Görsel 9'da gösterilen "c x d" yani gizlenecek olan minyatürün yüzey alanı  $4.5 \times 3.15 = \sim 14 \text{ m}^2$  olarak ölçülmüştür. Burada belirlenen "alan"; projektörün mozaiğe olan uzaklığı (b), yayılım açısı (a) ve lümen değerini etkileyeceği için önemlidir.

### **Gizlenecek Mozaik İçin Alternatif Kapsama Alanları:**

Gizleme işleminin “lokal” ve “tüm yarım kubbe” olarak iki usulde yapılabilmesi mümkündür.



**Görsel 10.** Gizlenecek mozaik için farklı kapsama alanları (E. Köymen arşivi).

Görsel 10'da işaretlendiği gibi birinci durumda sadece ikonanın sınırlarını kapsayacak şekilde 14 m<sup>2</sup>'lik lokal bir alanın gizlenmesi; ikinci durum da ise, 84m<sup>2</sup>'lik bir alanın içine denk gelen tüm yarım kubbenin topyekün gizlenmesi önerilmektedir.

### **Tespit Noktalarının Belirlenmesi:**

Işığın yüzeye düşüş şiddetini belirleyecek diğer önemli bir parametre ise cihazın “tespit” yani yüzeye montaj noktasıdır. Talu'ya göre tarihi doku üzerine eklenmesi planlanan aydınlatma elemanlarının göze çarpmayacak ve tarihi doku ile uyumlu olup zarar vermeyecek noktalara yerleştirilmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için gerektiği durumda ışık kaynaklarının maskelenmesi önerilmektedir (Talu, 2017).

Yüzey üzerinde yapılan incelemelerde bu kriterleri taşıyan üç adet tespit noktası saptanmıştır. Cihaz bu noktalardan hangisine yerleştirilirse, mozaik yüzeye olan uzaklık bağıntısına göre hesaplanan tekrardan yapılması gerekmektedir.



**Görsel 11.** Tespit noktaları (E. Köymen arşivi).

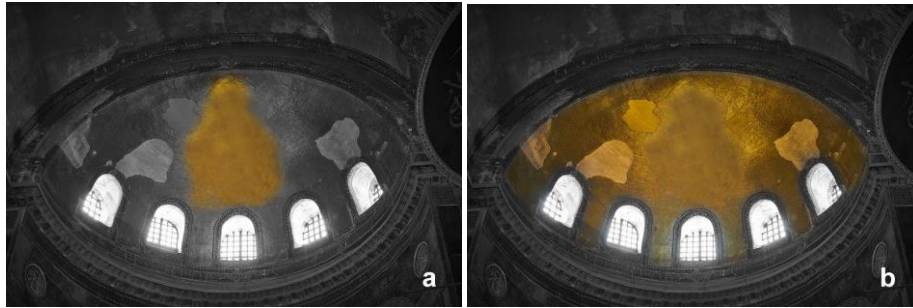
Birinci nokta, apsis yarım kümbesinin kandelilik seviyesi (kedi yolu) olarak düşünülmüştür. Bu bölümde cihazın tespiti için ideal detaylar bulunmaktadır. Bu noktadan mozaik merkeze olan mesafe 6 metredir (Görsel 11).

İkinci tespit noktası olarak bema kemerinin sol bölümündeki metalik korkuluk bölgesi önerilmektedir. Buradan yüzeye olan mesafe yaklaşık 13.7 metredir. Bu nokta, önüne gelen levhanın arkasında kaldığı için doğal olarak gizlenmektedir (Görsel 11).

Önerilen üçüncü tespit noktası da hali hazırda perde sisteminin asılmış olduğu kemer üzerindeki oyuktur. Bu noktanın mozaikle arasında 7.6 metre mesafe bulunmaktadır. Hali hazırda perde sistemi de bu oyuğa asılmıştır (Görsel 11).

#### **Haritalanacak Görseller:**

Projeksiyon haritama tekniği ile mozaik yüzey üzerine düşürülecek görsel için ayrı bir çalışmaya ihtiyaç vardır. Her iki haritalama yaklaşımı için ayrı grafikler türetilmelidir.



**Görsel 12.** Haritalama için grafik çalışmalar (E. Köymen arşivi).

Görsel 12’de lokal (a) ve yarım kubbeye topyekun (b) haritalama için iki ayrı grafik denemesi yapılmıştır. Çalışmada mozaik, altın zemininin devamı olacak şekilde Photoshop programı ile silinmiştir. Böylelikle projekte edilecek desen de ortaya çıkmıştır. Bu grafik çalışmanın en temel “gizleme” yaklaşımı olduğu söylenebilir. Ancak mülakatta Doç. Dr. Hattat Yusuf Bilen, bu bölgenin silinmiş şekilde gösterilmesinin yerine “Ayasofya’nın ruhuna uygun bir tezeynatın” yansıtılmasını önermiştir. Bilen’e göre, Ayasofya’nın Bizans’tan günümüze ulaşmış süslemeleri ya da Osmanlı döneminde yapı içinde tercih edilen “rumî” motifler alternatifler arasına alınabilir (Bilen, 2021).

### Hesaplamalar:

Yukarıdaki belirlemeler üzerine bir lümen/lux dönüştürücüsü<sup>16</sup> kullanılarak, projektörden çıkan aydınlığın birim alan üzerindeki ideal aydınlık şiddetinin alternatif senaryoları tablolar şeklinde aşağıda ifade edilmiştir.

**Tablo 5.** Lokal bölgedeki haritalamanın üç tespit noktasına göre hesaplama tablosu.

LOKAL BÖLGE HESAPLAMA TABLOSU	1. Nokta	2. Nokta	3. Nokta
Noktanın yüzeye olan mesafesi (mt.)	6 mt.	13.7 mt.	7.6 mt.
Dağılan ışığın açısı (°)	~41°	~18°	~32°
Aydınlanan alan (m <sup>2</sup> )	14 m <sup>2</sup>	14 m <sup>2</sup>	14 m <sup>2</sup>
100 lüx için cihazın parlaklık değeri (lümen)	1400	1400	1400
300 lüx için cihazın parlaklık değeri (lümen)	4200	4200	4200
500 lüx için cihazın parlaklık değeri (lümen)	7000	7000	7000

**Tablo 6.** Tüm yarım kubbedeki haritalamanın, üç tespit noktasına göre hesaplama tablosu.

TÜM YARIM KUBBE HESAPLAMA TABLOSU	1. Nokta	2. Nokta	3. Nokta
Noktanın yüzeye olan mesafesi (mt.)	6 mt.	13.7 mt.	7.6 mt.
Dağılan ışığın açısı (°)	~102°	~43°	~32°
Aydınlanan alan (m <sup>2</sup> )	84 m <sup>2</sup>	84 m <sup>2</sup>	84 m <sup>2</sup>
100 lüx için cihazın parlaklık değeri (lümen)	8000	8000	8000
300 lüx için cihazın parlaklık değeri (lümen)	25200	25200	25200
500 lüx için cihazın parlaklık değeri (lümen)	42000	42000	42000

<sup>16</sup> “Lumen Calculator”, <https://www.omnicalculator.com/physics/lumen>, Erişim tarihi: 21.02.2020.

Tablo 5'te lokal olarak gizlenmesi istenen mozağin (Görsel 10) tam alanı olan 14 m<sup>2</sup>'nin haritalanması için üç noktaya göre ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplara göre mozaik üzerinde 100 lux'lük yüzey aydınlığı elde etmek için her bir noktadan 1400 lumenlik bir ışık enerjisinin gönderilmesi gerekmektedir. Aynı şekilde 300 lux için 4200, 500 lux için de 7000 lumen'lik ışık enerjisine ihtiyaç tespit edilmiştir. Bu hesaplamalarda, her bir noktaya yerleştiren projektör cihazının kaynak açısı değişiklik göstermektedir. Buradaki açı, "Throw ratio"<sup>17</sup> olarak isimlendirilen "mesafe/yüzey uzunluğu"na bağlı bir oran üzerinden hesaplanabilir. Makalede bu detaya girilmeyerek sadece dağılan ışık için "açı değeri" önerilmiştir.

Tablo 6'da ise aynı hesaplama "tam yarım kubbe" (Görsel 10) üzerinden yapılmıştır. Aydınlanan alan olan 84 m<sup>2</sup>'nin haritalanmasına yönelik değerleri 100, 300 ve 500 lux için sırasıyla, 8000, 25200 ve 42000 lümen olarak hesaplanmıştır.

#### Değerlendirme:

Yapılan hesaplamalar sonrasında, mozaik zemin üzerine görünür nitelikte bir görselin projeksiyon haritalama tekniği ile ve yüzeyi bozmayacak bir aralıkta düşürülmesi mümkün görülmektedir.

**Tablo 7.** Cihazların pozisyonlarına göre kıyaslanması.

	1. Nokta	2. Nokta	3. Nokta
<b>Yüzeze zarar vermeme</b>	+	+	-
<b>Montaj kolaylığı</b>	+	+	-
<b>Cihazın gizlenebilmesi</b>	-	+	-
<b>Yansıtma kolaylığı</b>	+	-	+

Cihazın 1 numaralı noktaya montajında yüzey korunabilmektedir. Buna karşın bu nokta cihazın gizlenebilmesi açısından dezavantajlıdır. 2 numaralı nokta, yüzeye uzak olmakla birlikte projektörün levha arkasına gizlenebilmesine imkân tanır. 3 numaralı tespit noktası ise erişim zorluğu ve dokuya zarar verme ihtimalinden dolayı diğerlerine göre problemlidir. 1 ve 3. noktalar yüzeyi direk gördüğü için desen yansıtma açısından avantajlıdır. 2 numaralı nokta ise

<sup>17</sup> "Understanding Projector Throw Ratio", <https://guide.lightform.com/hc/en-us/articles/360007255294-Understanding-Projector-Throw-Ratio>, Erişim tarihi: 21.02.2020.

yüzeyi direk görmediğinden, yansıtma açısından dezavantajlıdır. Ancak bu nokta ana kubbe haricinde bema kemerindeki diğer mozaği de görebilmesinden dolayı avantajlıdır (Tablo 7).

**Tablo 8.** Yüzey kapsamı açısından yöntemlerin kıyaslaması.

	Lokal yansıtma	Topyekün yansıtma yöntemi
Yüzeyin ışıkla daha az teması	+	-
Mozaik zeminle tasarımsal bütünlük	-	+
Desenleri yansıtma kolaylığı	+	-
Cihaz fiyatına katkı	+	-

Lokal ve topyekün yansıtma yöntemleri kıyaslandığında lokal yöntemin daha avantajlı olduğu görülmektedir. Tablo 5 ve 6'dan da kıyaslanabileceği gibi tüm yarım kubbenin aydınlatılması için daha yüksek lümen değerine sahip ve dolayısıyla daha yüksek maliyetli projektörler gerekmektedir. Topyekün yöntem yekpare bir haritalama sağlayacağı için estetik bütünlük korunacaktır. Bu durum önemli bir parametre olarak lokal yöntemde dikkate alınmalıdır ve yüzeye yansıtılacak desenlerin geçişleri özenle hazırlanmalıdır. Bölgenin anlık ışık değerlerine uyumlu ve dengeli bir projeksiyon yapılarak yapaylık görünümünden kaçılmalıdır (Tablo 8).

Jack Miller, bir sanat eserinin renginin solmasını önlemek için aydınlatma rengini eserin yansıyan rengine mümkün olduğunca yakın eşleşmesi gerektiğini savunmuştur (Miller, 1993). Eski tarihli bir çalışma olmasına karşın, modern tekniklerin incelendiği yayınlarda hala kaynaklanarak bilimselliğini koruyan bu tespitin, araştırma alanı olan Ayasofya apsisindeki mozaikler için dikkate değer olduğu düşünülmektedir. Yukarıdaki tüm teknik değerlendirmelere karşın, bu yaklaşımla yüzey üzerinde ışık kaynaklı bozulma riski daha da düşürülmüş olacaktır.

Fotoğraf Sanatçısı Murat Gür ile yapılan mülakatta, yüzey üzerine sürekli yansıtılan sabit ışığın yüzeyde bozulmalara sebep olmasını tecrübe ettikleri öğrenilmiştir. Gür mülakatında, yüzey üzerine belli zaman aralıklarında değişen farklı görsellerin yansıtılmasının yüzeyi korumada etkili olabileceğini önermiştir (Gür, 2021).

Antalya müzesi restorasyon uzmanlarından Özgür Gemici ile yapılan mülakatta, mozaik sanatında kullanılan antik malzemelerin genellikle metal, taş ve cam parçalarından



oluşmasından dolayı yağlı boya tablolara karşın ışık açısından daha dayanımlı olduğu vurgulanmıştır. Müzelerde aydınlatmanın zorunlu bir bileşen olduğunu ifade eden Gemici, sanat eserlerini aydınlatırken üzerine düşen ışığın lux değerinin yanında, yüzey üzerinde oluşturduğu “ısınma” faktörüne de dikkat ettiklerini bildirmiştir (Gemici, 2021). Isınma parametresinin matematiksel detaylarına makale kapsamında girilememiştir. Ancak projektörün uygulama yüzeyinden uzakta bulunmasının, ısınmadan kaynaklı zararı da düşüreceği düşünülmektedir. Sistemin uzun süreli açık kalma durumları oluşursa, yüzeyin ısınmaması için uygun lamba veya filtre seçimi ideal bir seçenek olabilir.

Tercih edilen cihaz kapasitesine göre fiyat değişmektedir. Fiyat parametresi, Ayasofya mozaikleri gibi sanat dünyasında niteliği belli olan eserler için önemsenmeyebilir. Ancak bu araştırmanın daha farklı sanat eserleri üzerine koruma yaklaşımı bir projeksiyon için fikir vermesi adına şunlar söylenebilir ki; cihazın yaydığı ışığın yüzeylere zarar vermemesi için düşük lümenli ve doğru orantılı olarak uygun fiyatlı bir model tercih edilebilir. Yukarıdaki analizlerde açıklandığı gibi burada dikkat edilmesi gereken bileşen, ışığın kaynaktan çıkış açısıdır. Açı daraldıkça yüzey üzerine biriken parlaklık (lux) değeri ters orantılı olarak artmaktadır.

Bu çalışmada lokal bir alan seçilerek ortalama değerler üzerinden teori üretilmiştir. Uzmanlar, müze ve türevi yapılarda ışığın, üzerine düşeceği her bir nesne için “tek tek” hesaplanarak uygulanmasını önermektedir (De Chiara ve Crosbie, 2007:329).

Pinilla ve arkadaşları, sanat eserlerinin maruz kaldıkları fotokimyasal hasarı tespit etmek için spektral bir yaşlandırma testi geliştirmişlerdir. Testin dikkat çekici bir sonucu olarak eserlerin “yaşlandıkça” spektral hassasiyetlerinin de arttığını ispatlamışlardır (Pinilla vd., 2016). Makale kapsamında mozaik eserlerin yaşları hesaba katılmamıştır. Ancak bu referanstan hareketle Ayasofya mozaiklerine hasar vermeyen gerçek lux değerinin tespit edilmesi için her bir mozaığe ayrı ve hassas birer spektral yaşlandırma testi yapılmasının gerektiği düşünülmektedir.

Benzer bir yaklaşıma ressam Vozarević'in klasik tekniklerle restore edilemeyen “Untitled” isimli tablosunun projeksiyon haritalama ile sunum sürecini anlatan bir makalede karşılaşılmıştır. Çalışmadaki önemli bir soru, resme gerçekte ne kadar radyasyon gücünün

yayılacağı üzerinedir. Çalışmada boyalardaki pigmentler önce analiz edilmiş ve sonrasında tablo üzerine günde sekiz saatle sınırlı olan kontrollü ve başarılı bir projeksiyon yapılmıştır. Ayrıca projeksiyon sisteminin sadece izleyiciler geldiği zaman otomatik olarak açılması ile ışık zararı minimize edilmeye çalışılmıştır (Aleksić ve Jovanović, 2018). Bu çalışmadaki yaklaşımlar Ayasofya için de modellenebilir. Vozarević tablosunda fotokimyasal açıdan oldukça hassas pigmentlerin bulunmasının yanında Ayasofya mozaiklerinde ağırlıklı olarak taş ve metallerin bulunması süreci kolaylaştıracaktır. Lakin IES standartlarına göre boyama tablolar, mozaiklere göre üç kat daha hassastır. Bunun yanında toplu namaz süreleri açısından günde aralıklı olarak ortalama 2 saat kadar açık kalması yine Vozarević tablosundaki yaklaşıma göre yüzeyin yaklaşık 4 kat daha az ışığa maruz kalması anlamına gelmektedir.

## 5. Sonuç

Bu makalede sanat ve mimarlık tarihi açısından oldukça önemli bir yapı olan Ayasofya'nın hassas yaklaşımlarla defalarca müdahaleler görmüş mozaiklerinden birinin örtülmesi için alternatiflerin uygunluğunu araştırılmaktadır.

Koruma yaklaşımları açısından oldukça hassas ve değerli bir doku üzerinden çalışılacağından dolayı ilk olarak çeşitli kriterler belirlenmiştir. Bu kriterlere göre önerilecek sistemin öncelikle yüzey gizleme eylemi içermesi ve yüzeyde bozulmalara sebep olmaması gerekmektedir. Bunun yanında güncel bir teknolojiye sahip olması, yapının ana karakteristiği ile uyum sağlaması ve temel koruma prensiplerine ters düşmemesi de dikkate alınan diğer kriterlerindedir. Bu ilk belirlemelere göre literatür taramasında onlarca teknolojik yaklaşım incelenmiş ve bunlardan; "Akıllı Cam (Smart Glass)", "Görünmezlik Pelerini (Invisible Cloak)" ve "Projeksiyon Haritalama (Projection Mapping)" olarak üç sistem değerlendirmeye alınmıştır.

Değerlendirme sonrasında birçok teknik parametresi incelenen "Akıllı Cam" sisteminin "gizleme" eylemini yerine getirmesine karşın yüzeye tespit aşamasında mozaik dokuya zarar verebileceği görülmüştür. Diğer incelenen sistem olan "Görünmezlik Pelerini"nin ise yine yüzey gizleme amacına yakın bir fonksiyona sahip olmakla birlikte henüz deneysel boyuttan çıkamadığı fark edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler ve hesaplamalarla birlikte üçüncü sistem

olan “Projeksiyon Haritalama” diğer teknolojilerden öne çıkmış ve çalışma bu sistem üzerine derinleştirilmiştir.

Bu teknolojinin “optik” olması yani zemine fiziksel olarak temas etmemesi en büyük tercih sebebi olmuştur. Sistemin bu avantajının yanında yaydığı ışığın mozaik yüzeye zarar verme ihtimali, koruma yaklaşımları açısından makalenin odaklandığı asıl konu olduğu söylenebilir.

Yüzeye zarar vermeyen ideal projeksiyon yönteminin tespit edilebilmesi için öncelikle odaklanılan mozağin yapısı incelenmiştir. Sonrasında IESNA'nın araştırmaları sonucunda mozaik yüzeyler için ortaya koyduğu ideal aydınlatma değerlerine erişilmiştir ve bu veriler, kubbenin çeşitli zaman aralıklarındaki gerçek aydınlık değerleri üzerinden kıyaslamalar yapılarak yorumlanmıştır. Arkasından projeksiyon cihazının tespiti için üç nokta belirlenmiştir. “Projeksiyon cihazının ışık gücü”, “cihazın yüzeye olan uzaklığı”, “cihazdan çıkan ışığın dağılım açısı”, “yüzey alanı” ve “yüzeyde oluşan aydınlık değeri” üzerinden kurulan beş parametrelili bir denklem ile her üç noktaya göre hesaplamalar yapılmıştır. Sonrasında bu hesaplamaları dikkate alarak üç nokta birbiri ile kıyaslanmıştır. Bu yaklaşımla yüzeye zarar vermeyen en ideal tespit noktası, kullanılacak cihazın gücü ve ışık dağılım açısı ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Optik bilimimin temel ilkeleri üzerine yapılan araştırmalar/hesaplamalar, mozaik sanatının bileşenleri ve yapısı üzerine yapılan incelemeler/mülakatlar ve sanatsal eserlerin ışıktan korunması üzerine yapılan derin literatür taraması sonrasında projeksiyon haritalama tekniğinin doğru hesaplamalarla kullanılması ile yüzeyin korunarak örtülebileceği sonucuna varılmıştır.

Çalışma kapsamında matematiksel olarak ortaya koyulan denklemler ve alınan sonuçlar teorik aşamada kalmış, yerinde test edilememiştir. Önerilen sistemle yerinde uygulamalar yapıp verilerin tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir. Ancak projeksiyon haritalama tekniğinin doğru hesaplamalar ile tarihi dokuda oluşturacağı zararlarının minimize edilebileceği fikrini vermesi adına bu çalışmanın literatüre orijinal bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Araştırma kapsamında mozaik yüzey üzerine yansıtılacak görseller için tasarım detaylarına girilmemiştir. Ayasofya'nın karakteristiğine uygun görsellerin tasarlanması için hat,

tezhip, minyatür, mozaik gibi geleneksel sanatların uzmanlarından destek alınmalıdır. Lakin makalede de değinildiği gibi mimariyle olan estetik uyumun yanında yansıtılacak görsellerin dokusu, yansıtma sıklığı, sabit veya hareketli olması yüzey koruma yaklaşımları açısından da oldukça önemlidir.

Çalışmada incelenen diğer teknolojilerin de çeşitli mimarlık, sanat veya koruma uygulamalarında uygun geliştirmeler ve hesaplamalar ile kullanılabilceği düşünülmektedir. Bu bağlamda makalede detaylandırılarak literatüre kazandırılması hedeflenmiştir.

Ayasofya'nın apsis bölümü üzerindeki yarım kubbe mozaığının örtülmesine odaklanmış olan makale, incelediği yaklaşımlarla aslında tüm antik eserlerin üzerine projeksiyon haritalama tekniğinin uygulanabilmesi için koruma tabanlı genel bir yaklaşım önermektedir.

### **Teşekkür**

Makalenin ortaya çıkmasında ışık ve aydınlatma teknikleri konularındaki danışmanlıklarından dolayı fotoğraf sanatçısı Mustafa Yılmaz ve Murat Gür'e; mozaikler konusundaki bilgi ve desteğini esirmeyen restorasyon uzmanı Özgür Gemici'ye ve süsleme estetiğine katkılarından dolayı Doç. Dr. Hattat Yusuf Bilen'e teşekkürlerimizi sunarız.

**Kaynakça**

Addington, M. ve Schodek, D., (2005), *Smart Materials New Technologies For The Architecture Design Professions*, Amsterdam: Elsevier Ltd.

Akgündüz A., Öztürk, S. ve Baş, Y. (2006). *Kiliseden Müzeye Ayasofya*, İstanbul: Osmanlı Araştırmaları Vakfı Yayınları.

Akgündüz, A. ve Öztürk, S. (2005). *Üç Devirde Bir Mabet Ayasofya*, İstanbul: Osmanlı Araştırmaları Vakfı Yayınları.

Aleksić, M., ve Jovanović, V. (2018). "Non-physical Painting Restoration in Improved Reality", *International Conference on VR Technologies in Cultural Heritage*, Springer, Cham, s.206-214.

Aydın, M. (2002). "Bizans Kilisesinde İkonoklast (Tasvir Kırıcı) Hareketin Kökenleri", *Necmettin Erbakan Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi*, 13(13).

Azuma, R. T. (1997). "A Survey of Augmented Reality. Presence", *Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), s.355-385.

Buhari, Libas, 92, 88; Ebu Davûd, Libas, 48.

Çağlar, B. (2015). "Kariye Camisi'ndeki (Chora Manastırı Kilisesi) Duvar Resimlerinin Koruma ve Onarım Süreçleri Üzerine", *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 1(15), s.45-59.

Dabanlı, Ö. ve Tökmeci, K. (2020), "İstanbul Ayasofya ve Edirne Selimiye Camilerinin Kubbeleri Hakkında Mukayeseli Bir Değerlendirme", *International Hagia Sophia Symposium*, İstanbul: FSM Vakıf Üniversitesi Yayınları, s.613-638.

De Chiara, J. ve Crosbie, M. J. (2007). *Time-Savor Standards for Building Types*, New York: Mc Graw-Hill.

Diker, H. F. (2010). *Belgeler Işığında Ayasofya'nın Geçirdiği Onarımlar*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul: MSGSÜ, Sosyal Bilimler Enstitüsü Sanat Tarihi Programı.

Doğan, S. (2009). "Sultan Abdülmecid Döneminde İstanbul-Ayasofya Camii'ndeki Onarımlar ve Çalışmaları Aktaran Belgeler". *Bilig Dergisi*, 49, s.1-34.

Ekim, B. (2011). "A Video Projection Mapping Conceptual Design and Application: Yekpare", *The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication, Todiad*, s.10-18.

Erkol, E., ve Sayın, S. (2021). "Akıllı Cam Cephe Sistemleri ve Teknolojileri", *Online Journal of Art and Design*, 9(1).

Fetavay-ı Hindiyeye, I, 107.

Geyik, N. E. (2020). "Bizans Tarihinde İkonoklazma Dönemi ve İkonoklazmanın Aya Sofya'ya Etkisi", *International Journal of Social, Political and Economic Research*, 7(3), s.575-590.

Gökçe, G., (2010). "Kubbe Bezemeleri Koruma ve Onarım Uygulamaları: Ayasofya", *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, (4), 48-79.

Grundhöfer, A., ve Iwai, D. (2018). "Recent Advances in Projection Mapping Algorithms, Hardware and Applications", *Computer Graphics Forum* (37,2), s.653-675.

IESNA: Illuminating Engineering Society of North America, (2000) *The IESNA Lighting Handbook, Ninth Edition*, New York: Illuminating Engineering.

Ismail, A. H., Azmi, M. M., Hashim, M. A., Ayob, M. N., Hashim, M. M., ve Hassrizal, H. B. (2013). "Development of a webcam based lux meter", *IEEE Symposium on Computers & Informatics (ISCI)*, s.70-74.

Karapınar, R., (2017). "Bükümlü Nematik Sıvı Kristal Aygıtlar", *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(Ek(Supl.) 1), s.268-275.

Karayılanoğlu, G., & Arabacıoğlu, B. C. (2020). "Digiital Interactive Experiences In Contemporary Art Museums", *The Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, 10(4), s.423-440.

Key, F., İnanan, F. (2020). "İsa'nın Mabede Takdimi Sahnesinin Görsel Anlatım Biçimleri Üzerine Bir Değerlendirme", *Journal of Mosaic Research*, (13), 149-169.

Kinci, A. (2014). *Osmanlı'dan Cumhuriyet'e Ayasofya*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Atatürk İlkeleri ve İnkılâp Tarihi Enstitüsü.

Küçük, M. A., (2019). "İsa'nın Doğumu-İkonografi İlişkisi Üzerine", *Dini Araştırmalar Dergisi*, s.181-212.

Lampert, C. M. (2002). "Large-Area Smart Glass And Integrated Photovoltaics In Photovoltaic and Photoactive Materials-Properties", *Technology and Applications, Springer, Dordrecht*, s.1-10.

Landy, N., ve Smith, D. R. (2013). "A full-parameter unidirectional metamaterial cloak for microwaves", *Nature Materials*, 12(1), s.25-28.

Lucchi, E. (2018). "Review of Preventive Conservation in Museum Buildings", *Journal of Cultural Heritage*, 29, s.180-193.

Miller, J. V. (1993). "Evaluating Fading Characteristics of Light Sources: Research Report", *Seaford: NoUVIR Research*.

Ousterhout, R. G. (2019). *Eastern Medieval Architecture: The Building Traditions of Byzantium and Neighboring Lands*, İngiltere: Oxford University Press.

Pinilla, S. M., Vázquez, D., Fernández-Balbuena, A. Á., Muro, C., ve Muñoz, J. (2016). "Spectral damage model for lighted museum paintings: Oil, acrylic and gouache", *Journal of Cultural Heritage*, 22, s.931-939.

Talu, A. Y. (2017), "Tarihi Binalarda Dış Cephe Aydınlatması", *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 1(20).

Wong, K. V., ve Chan, R. (2014). "Smart Glass And Its Potential in Energy Savings", *Journal of Energy Resources Technology*, 136(1).

Yang, F., Mei, Z. L., Jin, T. Y., ve Cui, T. J. (2012). "DC electric invisibility cloak", *Physical Review Letters*, 109(5), 053902.

Zhang, B., Chen, H., Wu, B. I., Luo, Y., Ran, L., ve Kong, J. A. (2007). "Response Of a Cylindrical Invisibility Cloak to Electromagnetic Waves", *Physical Review B*, 76(12), 121101.

### **İnternet Kaynakları**

"Ayasofya Müzesi ve Mozaikleri", <https://www.tarihiistanbul.com/ayasofya-muzesi-ve-mozaikleri/>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

"Ayasofya", <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ayasofya>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

Eyice, S., "Ayasofya", TDV İslâm Ansiklopedisi, <https://islamansiklopedisi.org.tr/ayasofya#1>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

"Lumen Calculator", <https://www.omnicalculator.com/physics/lumen>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

"Lux to Lumens Calculator", <https://www.bannerengineering.com/us/en/company/expert-insights/lux-lumens-calculator.html>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

"Mozaik", <https://sozluk.gov.tr/>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

"Understanding Projector Throw Ratio", <https://guide.lightform.com/hc/en-us/articles/360007255294-Understanding-Projector-Throw-Ratio>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

<https://www.afsakillicamfilmi.com/>, Erişim tarihi: 21.02.2020.

**Görüşmeler**

Bilen, Y., (2021). Doç. Dr. Yusuf Bilen ile online yapılan görüşme, Isparta: 22 Şubat.

Gemici, Ö., (2021). Özgür Gemici ile online yapılan görüşme, Antalya: 20 Ocak.

Gür, M., (2021). Murat Gür ile online yapılan görüşme, İstanbul: 10 Ocak.

**Görsel Kaynaklar**

Görsel 1. Ayasofya zemin kat planı, "Ayasofya",  
<https://www.kutsalkitap.org/ayasofya/>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

Görsel 2. Apsis yarım kubbesinde bulunan Hz. Meryem Mozaïği,  
Mustafa Yılmaz arşivi.

Görsel 3. Hali hazırda kullanılan perde sistemi,  
Mustafa Kurt arşivi.

Görsel 4. Sıvı kristal akıllı camın çalışma prensibi.  
(Erkol ve Sayın, 2021).

Görsel 5. Akıllı cam sisteminin çeşitli hacimlerde uygulama örnekleri.  
"Itecvision Glass / Cristales Inteligentes", <https://www.itecvision.com/productos/itecvision-glass-cristales-inteligentes/>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

Görsel 6. Görünmezlik pelerininde uygulama örnekleri.  
"Esiste un materiale che rende invisibili oggetti e persone: ecco come funziona",  
<https://www.deejay.it/articoli/esiste-un-materiale-che-rende-invisibili-oggetti-e-persone-ecco-come-funziona/>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

Görsel 7. Roma Forumu'nda projeksiyon haritalama. "Viaggio nella Roma antica. Ai Fori Imperiali, tornano gli spettacoli di Piero Angela", <https://www.exibart.com/express/viaggio-nella-roma-antica-ai-fori-imperiali-tornano-gli-spettacoli-di-piero-angela/>, ve L'Atelier des Lumières Sanat Müzesi'nde projeksiyon haritalama. "How this Paris Art Exhibit Lets You Step Inside a Van Gogh Painting", <http://www.iamthevoluntourist.com/oldbackupdata/paris-art-exhibit-van-gogh-painting/>, Erişim tarihi: 21.02.2021.

Görsel 8. Apsise bakış yönünde parlaklık dağılımı (17 Eylül 2012, 10:15) (cd/m<sup>2</sup>)  
İnanıcı, M. (2014). "Lighting Analysis Of Hagia Sophia", *Annual Of Hagia Sophia Museum*,  
İstanbul: Ayasofya Müzesi Yayınları: XVII, s.135

Görsel 9. Projektör ile yüzey arasındaki bağıntı.  
Mozaik görseli: Erdem Köymen arşivi.



Görsel 10. Gizlenecek mozaik için farklı kapsama alanları.  
Erdem Köymen arşivi.

Görsel 11. Tespit noktaları.  
Erdem Köymen arşivi.

Görsel 12. Haritalama için grafik çalışmalar.  
Erdem Köymen arşivi.