

DUVAR RESİMLERİNİN İNCELENMESİNDE YENİ YAKLAŞIMLAR: MULTİSPEKTRAL GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ

Bengin BİLİCİ GENÇ*

Bekir ESKİCİ**

Evin CANER***

ÖZ

Duvar resmi, tarih boyunca, en erken dönemdeki kaya resimlerinden, günümüz duvar resimlerine kadar uzanan süreçte insanın yaratıcılığının kültürel anlatımı olmuştur. Uygarlık tarihi açısından büyük değer taşıyan, bu kültürel varlıkların korunması, araştırılması ve belgelenmesinde ileri teknolojik yöntemler kullanılmaktadır. Bu tekniklerden biri "multispektral görüntüleme" yöntemidir. Yöntem, sistemindeki farklı dalga boyları sayesinde resim tekniği (fresco, secco vb.), pigmentlerin özelliği, sinopya (hazırlık çizimi), fırça darbeleri, kaybolan yüzeylerin görünürlüğü (UV, IR), onarım geçiren alanlar (rötuş, sansür vb.) gibi verilerin toplanması ile koruma uzmanına 3 boyutlu (3D) belgeleme ve haritalama imkânı sunmaktadır. Multispektral görüntüleme yöntemleri ve bu yöntemlerin koruma biliminde kullanımı ve yararları önemlidir. Uluslararası kullanımı yaygın olan yöntemin ulusal kullanımının yaygınlaşması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Duvar resmi, multispektral görüntüleme, belgeleme, koruma

NOVEL APPROACHES IN THE INVESTIGATION OF WALLPAINTINGS: MULTISPECTRAL IMAGING METHODS

ABSTRACT

Wall paintings have been cultural expressions of human creation throughout history, from the earliest beginnings, such as rock art, extending up to present day murals. Advanced technological methods are used in the protection, research and documentation of these cultural assets, which are of great value in terms of the history of civilization. One of these techniques is the "multispectral imaging" method. The method, thanks to the different wavelengths in its system; by collecting data such as wall painting technique (fresco, secco, etc.), properties of pigments, sketch (preparatory drawing), brush strokes, visibility of disappearing surfaces (UV, IR), areas undergoing repair (retouching, censorship, etc.) provides the conservation expert with 3D documentation and mapping. Multispectral imaging methods and the use and benefits of these methods in conservation science are important. The method, which is widely used internationally, has been aimed to be made widespread in national use.

Keywords: Wall painting, multispectral imaging, documentation, conservation

GİRİŞ

Duvar resimleri, tarih boyunca en erken dönemdeki kaya resimlerinden, günümüz duvar resimlerine kadar uzanan süreçte insan yaratıcılığının kültürel anlatımı olmuştur****. Yazılı dönem öncesi, insanoğlunun sosyal yaşamı hakkında bilgi edindiğimiz duvar resmi, yazılı dönem ve sonrasında gelen uygarlıkların, imparatorlukların inanç biçimlerini, sosyal yaşamlarını, savaşlarını, zaferlerini, sosyal statülerini vb. bilgilerini aktaran tarihi belge niteliği taşımaktadır. Duvar resimleri, ana taşıyıcı, sıva ve boya tabakasından oluşan çok katmanlı yapılara sahiptir (Dikilitaş 2015: 17). Duvar resminde çok katmanlı yapılar genellikle fresco (gerçek, yarı, kuru), secco ve tempera tekniğinde görülmektedir (Weyer vd. 2015: 71-89). Sanatçının izlerini (sinopya, fırça darbeleri vb.) ve kullandığı malzemeleri günümüze kadar taşıyan duvar resmini, belgelemek, korumak ve bozulma sorunlarına yönelik çözümler geliştirmek konservatör-restoratörün asli görevlerinden biridir. Konservatör-restoratör, bu görevi

* Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü Doktora Öğrencisi, (100/2000 YÖKDoktora Bursiyeri), Ankara. e-posta: bilicibengin@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7195-4077>

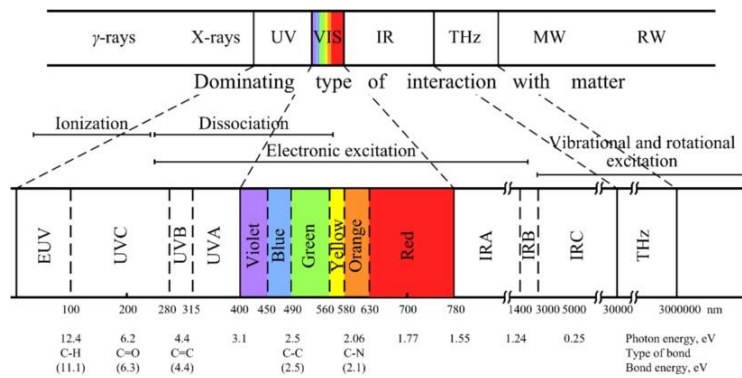
** Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü, Güzel Sanatlar Fakültesi, Ankara. e-posta: b.eskici@hbv.edu.tr. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2352-5080>

*** Pamukkale Üniversitesi, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Denizli. ecaner@pau.edu.tr. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0499-7517>

**** http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0533768001536913431.pdf 30.12.2019

gerçekleştirmek için farklı bilim dalları (fizik, kimya, arkeometri, jeoloji) ile ortak çalışmalar yürütmektedir. Kültürel miras alanında, geçmişten günümüze yürütülen birçok disiplinler arası çalışmanın temeli elektromanyetik radyasyona dayanmaktadır.

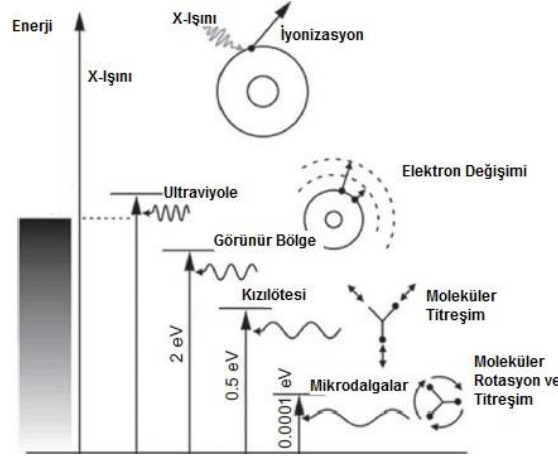
Elektromanyetik radyasyon ilk olarak 1864'te Maxwell denklemlerinde tahmin edilmiş ve varlığı 1888'de Heinrich Hertz tarafından gösterilmiştir (Halkman vd. 2014: 962). Elektromanyetik radyasyon, neşredilen ve taşınan enerjinin elektromanyetik dalgalar halinde yayılması ve iletilmesidir. Elektromanyetik radyasyon, uzayda veya madde boyunca kendiliğinden yayılan bir dalgadır ve normal olarak fazda 90 °'lik bir açıyla ve dalganın veya enerjinin yayılma yönünde salınan hem elektriksel hem de manyetik bileşenlere sahiptir. Elektromanyetik dalgalar boşlukta (yaklaşık olarak) $3,00 \times 10^8$ m/s veya 186000 mil/s hızıyla hareket etmektedir. Elektromanyetik dalganın hızı (ışık hızı) c harfi ile dalga boyları ise genellikle nanometre (nm) birimi ile gösterilmektedir. Elektromanyetik dalgalar, dalga boyu ve frekanslarına göre çeşitlilik göstermektedir (Şekil 1). Bunlar; radyo dalgaları, mikrodalgalar, terahertz radyasyon, kızılötesi radyasyon, görünür ışık, ultraviyole/morötesi, x-ışınları ve gama (γ) ışınlarıdır (Chang 2000: 246-247, Dervić vd. 2019: 513).



Şekil 1. Elektromanyetik Spektrum Bandı(Kaynak: Tuchin 2015: 8)

Çeşitli bilim insanları tarafından keşfedilen elektromanyetik dalgalar, on dokuzuncu yüzyılın ikinci yarısında yapılan deneysel çalışmalar ile analitik spektroskopi boyutunu kazanmıştır. Bu yüzyılda yapılan ölçümler, belirli sıcaklıklardaki cisimlerin yaydığı radyasyon enerjisinin miktarının radyasyonun dalga boyuna bağlı olduğunu göstermiştir. Planck tarafından kuantum olarak adlandırılan bu teoremin, Einstein tarafından açığa kavuşturulması ile spektroskopi bilimi gelişme göstermiştir. Madde ve ışık arasındaki fotoelektrik etkiyi bulan Einstein, elektromanyetik dalgaların bir ışık demeti (foton) olduğunu ileri sürmüştü ve maddedeki elektronları harekete geçirdiğini veya koparabildiğini ifade etmiştir (Kirchoff ve Bunsen 1860: 94-107, Chang 2000: 247-250).

Fotoelektrik etki, *compton* etki ve çift oluşumu gibi etkenler atomun incelenmesine olanak sağlamıştır. Tarih boyunca bilim insanları ve filozoflar tarafından araştırılan atom; proton, nötron (çekirdek) ve elektronlardan oluşan bir yapıya sahiptir (Hacıosmanoğlu 2013:7-15). Elektromanyetik radyasyonun madde ile ilişkisi iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon başlığı altında incelenmektedir. **İyonlaştırıcı radyasyon**; madde içerisinden geçerken enerjisini ortama aktarmak suretiyle, ortamdaki atomları doğrudan veya dolaylı yollarla iyonlaştıran radyasyon türüne denilmektedir. İyonlaştırıcı radyasyon, alfa, beta ve nötron parçacık türü radyasyonlar ile yüksek enerjili morötesi ışınlar, gama ışınları ve x-ışınlarını içeren elektromanyetik dalga özelliğine sahiptir. Madde içindeki atomlardan elektron koparmayan radyasyona ise **“iyonlaştırıcı olmayan radyasyon”** denilmektedir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon düşük enerjiye sahip görünür bölge, kızılötesi ışınlar, ultraviyole ışınlar, radyo dalgaları ve mikrodalgalardan oluşmaktadır (Eren 2014: 9, Erdoğan 2017: 141). Elektromanyetik radyasyonun ışın türleri ve madde arasındaki etkileşimi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Elektromanyetik Radyasyonun Madde ile Etkileşimi(Kaynak: Tanzi vd. 2019: 402)

Elektromanyetik radyasyon, madde ile etkileşime girdiğinde absorpsiyon (soğurulma), emisyon (yayıma), floresans, saçılma, kırılma ve kırınım gibi özellikler göstermektedir. Bu özellikler, aynı zamanda maddenin yapısı hakkında bilgi veren ileri teknik yöntemler ile ölçülmektedir. **Absorpsiyon**; elektromanyetik radyasyon enerjisinin bir kısmının ya da tamamının, üzerinde buldukları veya geçtikleri maddeye aktarılma sürecini ifade etmektedir (Michels ve Freeman 1956: 4). Bu aktarım, *Absorpsiyon Spektroskopisi (Optik, Ultraviyole, Atomik, X-Işını vb.)*, *Ultraviyole ve Görünür Bölge (UV-VIS) Spektroskopisi*, *Infrared (Kızılötesi) Spektrofotometresi*, *Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) Spektroskopisi* gibi yöntemler ile incelenmektedir (Palchoudhury vd. 2015: 157, George vd. 2017: 57-58, Pérez-Juste ve Faza 2015: 19-20, Tanzi vd. 2019: 400-409).

Emisyon; atomların (veya moleküllerin) termal ya da elektriksel olarak uyarılması sonucu absorplanan enerjinin ışın şeklinde geri verilmesidir. Eğer atomlar (veya moleküller) ışın tarafından uyarılacak olursa yapılan emisyon **floresans** olarak adlandırılmaktadır (Çalışır 2008: 19). Floresans, elektromanyetik radyasyonun, elektromanyetik veya partikül olabilen bazı radyasyonlardaki enerjinin, emilmesinin bir sonucu olarak bir madde tarafından yayılması işlemidir. Floresans, uyarma durduktan sonra yaklaşık 10

~ 8 saniye içinde sona eren bir lüminesanstır (Michels ve Freeman 1956: 347). Emisyon temelli ileri teknik yöntemler *Optik Emisyon Spektroskopisi (OES)*, *Atomik Emisyon Spektroskopisi (AES)*, *Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)* gibi yöntemlerden oluşurken, floresans; *X-Işını Floresansı(XRF)*, *Floresans Mikroskopu* gibi yöntemlerden oluşmaktadır (Tanzi vd. 2019: 420-431).

Saçılma, fotonların çarpma kaynaklı yön değişikliğini ifade etmektedir. Bu yön değişiklikleri *Rayleigh*, *Raman*, *Compton* vb. saçılmalar ile ifade edilmektedir (Michels ve Freeman 1956: 347,749). Saçılma kaynaklı yöntemler *İyon Saçılma Spektroskopisi (ISS)*, *Geniş Açılı X-Işını Saçılımı (WAXS)*, *Küçük Açılı X-ışını Açılımı (SAXS)*'nden oluşmaktadır.

Kırılma; bir ışık ışınının veya radyasyonun bir maddeden geçerken bükülerek farklı kırılma indisi göstermesidir. Bu kırılmayı ölçmede *Refraktometre ve Zayıflatılmış Toplam Yansıma Spektroskopisi (ATR)* kullanılmaktadır (Michels ve Freeman 1956: 764-765, Tanzi vd. 2019: 408). **Kırınım**, x-ışınları ışınının bir kristale yönlendirilerek, atomları ve kafes dizilimleri nedeniyle ışınları bir dizi düzlem yüzey gibi yansıtmasıdır. Kırınımı ölçmede *X-Işını Kırınım Spektroskopisi (XRD)* kullanılmaktadır (Michels ve Freeman 1956: 106, Tanzi vd. 2019: 416-417).

Günümüzde kullanılan birçok ileri teknik yöntem elektromanyetik radyasyondaki ışık türü ve madde etkileşimi ile ilişkilidir. İleri teknik yöntem, kültür varlıklarının incelenmesinde büyük bir önem taşımaktadır. Tarihi açıdan ileri teknik yöntem, malzeme karakterizasyonu ile belli bir dönemin teknolojisini aydınlatırken, konservasyon açısından malzemede bozulmaya yol açan kaynağın bulunmasına katkı sağlamaktadır. Duvar resmini incelemeye birden çok ileri teknik yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; kızılötesi kamera (nem-sıcaklık değişimi), *GPR* (temassız radar

yöntemi – taşıyıcı ve duvar resmi arasındaki boşluk ve yüzeye bağlılık durumu) gibi duvar resmi sorununa yönelik iken, malzeme karakterizasyonunun yapılmasında *XRD (X-Işını Kırınım)*, *RS (Raman Spektroskopisi)*, *SEM-EDX (Taramalı Elektron Mikroskobu ve Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi)*, *XRF (X-Işını Floresans)*, *FTIR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)* gibi minimum tahribatlı yöntemler ve *P-XRF (Taşınabilir X-Işını Floresans)*, *Handheld Raman Spektrometre (Taşınabilir Raman Spektrometre)* gibi tahribatsız yöntemlerden oluşmaktadır (Artioli 2012: 266-278; Kaswezski 2018: 1-8; Pierraccini ve Miccinesi 2018: 1-7).

Bu teknikler haricinde, son zamanlarda ön plana çıkan multispektral görüntüleme yöntemleri duvar resimlerinin *in situ* incelenmesine olanak sağlamaktadır. Multispektral ve hiperspektral görüntüleme yöntemleri son 20 yılda hızlı bir gelişme gösteren yenilikçi ve çok yönlü araçlardır (Edwards ve Vandenebeele 2012: 369). Multispektral görüntüleme yeni bir teknik olmamakla birlikte, sürekli gelişen bir yöntemdir (Edwards ve Vandenebeele 2012: 369). Bu yöntemi son zamanlarda yenilikçi kılan *MSI (Multispectral Imaging)* kütüphanesi sayesinde, duvar resmindeki pigmentleri tahribatsız bir şekilde tanımlamasıdır. 1999 yılında ICCROM'un (*International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property*) Roma'da düzenlediği seminerden itibaren duvar resimlerinin incelenmesinde faydalı olarak görülen bu yöntem, 2017 yılında düzenlenen bir komisyonda küresel olarak kabul edilmiştir (Schmid 2000: 77-193, Pamart vd. 2017: 559-565).

Duvar resminin teknik açıdan araştırılması ve belgelenmesine dair tüm süreçleri kapsayan bu yöntem, uluslararası normda sıkça ele alınırken, ulusal çalışmalarda çok fazla görülmemektedir****. Bu makale, uluslararası norm tarafından kullanılması kabul edilen multispektral görüntüleme yöntemlerini, konu ile ilgili uzmanlara aktarmak ve bu yöntemin ulusal çalışmalarda kullanımını yaygınlaştırmak amacı ile hazırlanmıştır.

1. Multispektral Görüntüleme Sistemi ve Yöntemleri

Multispektral veya hiperspektral görüntüleme spektroskopisi, boyanmış bir yüzeyin *VIS*, (Görünür), *UV* (Ultraviyole) ve *IR* (Kızılötesi) aralığında spektral yansıma özelliklerini kaydeden bir yöntemdir***** (Şekil 3). Yöntemin çalışma prensibi temel olarak, fotografik olmayan sensör, optik kısım ve dedektörden oluşmaktadır. Optik kısım; radyasyon toplama ve radyasyon sıralama düzeneğini içermektedir. Teleskopik bir düzenden oluşan bu kısımda mercek ve aynanın yanı sıra, farklı dalga boyu aralıklarındaki radyasyonu ayırmak için ızgaralar, prizmalar ve interferometreler gibi optik cihazlar kullanılmaktadır (Gupta 2003: 75).

Vidikonlar ve geniş süpürge (pushbroom) tarayıcılar gibi bazı durumlarda, lens veya dedektörleri kaplayan uygun bant geçirimli optik filtreler ile spektral ayırma yapılmaktadır. Radyasyon sıralamadansonra, seçilen dalga boyu aralıklarının radyasyonu dedektöre yönlendirilmektedir (Gupta 2003: 75).

Dedektör kısmı, optik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bölümleri içermektedir. Cihazın ana bölümü kuantum veya foto-dedektör ünitesidir (Gupta 2003: 76). Bu ünite, uyarıcı foton dedektör materyalinin elektronik enerji seviyesi ile etkileşime girer ve elektronlar veya yük taşıyıcıları serbest bırakılır. Foto-dedektörler yanıt olarak çok hızlıdır ve elektriksel sinyal çıkışının yoğunluğu, belirtilen bir enerji aralığında meydana gelen fotonların yoğunluğu ile orantılıdır. Bu bölümde iki temel kuantum dedektörü türü kullanılmaktadır. Bunlar: foto-emisyonlu dedektörler ve foto-iletken

* **** Multispektral görüntüleme yöntemleri uluslararası makalelerde yöntem adı ile anılırken, bazı araştırma merkezlerinde fırça darbeleri, eskiz (sinopya), rötuş gibi onarıma ait belgeleme çalışmalarında ise teknik fotoğrafçılık olarak ifade edilmiştir. Bu makalede yöntem, bütün yönleri ile ele alınmıştır.

***** Kubik 2007: 203. Literatürde sıklıkla karışımına bu iki yöntemin kullanım amacı ve çalışma prensibi benzerdir. Her iki yöntemi birbirinden ayıran nokta hiperspektral sensörlerin dar dalga boylarına sahip bantlar, multispektral sensörlerin geniş dalga boylarına sahip bantlar içermesidir. Ayrıntılı bilgi için bkz: Ferrato, 2012: 5.

dedektörleridir. Bu dedektörü soğutmada sıvı helyum ve azot kullanılmaktadır (Gupta 2003: 76). Multispektral görüntüleme sisteminin çalışma prensibi bu dedektörlerden oluşurken, fotoğraf makinasına ait prensibinde geniş dalga boyu tepkisine sahip ve yüksek çözünürlüklü bir CCD dedektörü kullanılmaktadır. Sistem saha kullanımı için tasarlandığından, dizüstü bilgisayar tarafından kontrol edilebilen ve termostatik olarak soğutulan küçük bir portatif CCD dedektör olarak tercih edilmiştir. Dedektör için temel kriterler, inceleme ve odaklanma için gerçek zamanlı spektral görüntüleme, yüksek spektral çözünürlük ve aralık, düşük karanlık akım^{*****}, uzun pozlama sürelerini önlemek için yüksek verim ve hassasiyetten oluşmaktadır (Balas vd. 2003: 332-333). CCD, filtre tekerleri ve bilgisayar teknolojisi gibi diğer ekipmanlarla sorunsuz bir şekilde ara yüze bağlanabilmektedir (Guntupalli ve Grant 2004: 63-64).

CDD dedektör haricinde, aydınlatma, optik, filtre ve işletimden (MSI) oluşan yöntem, incelenen yüzeyin halojen lambalar gibi geniş bantlı kaynaklarla sürekli ışınlanması ve dar spektral aralıklarla geriye saçılan radyasyonun uygun bir cihazla tespit edilmesi üzerine kuruludur. Daha spesifik olarak, serideki her görüntü, görüntülenen nesnenin spektral bir bant genişliği içindeki optik dalga boyları için yansıtıcılığı temsil etmektedir. Veriler, spektrumun UV ve NIR aralığı boyunca farklı dalga boylarınakarşılık gelen çok sayıda görüntü şeklindedir (Melessanaki vd. 2001: 2338-2345).

Bu görüntü şekli reflektörden çıkan ışının, dalga boyuna, yansımaya, soğurulmasına, saçılmasına ve emisyonuna bağlı olarak değişiklik gösterdiği gibi incelenen yüzeyin geometrisine, kırılma indisine ve fiziksel yapısına göre de değişiklik göstermektedir (Mairinger 2000: 42; Turner ve Bentley 1997: 86-99). Bunun nedeni pigment türlerinin, pürüzsüz ve pürüzlü yüzeylerde reflektörden çıkan ışını farklı şekilde yansıtmasıdır. Pürüzsüz bir yüzeyde reflektörden çıkan ışın yüzeyde paralel olarak kalıp düzenli bir yansıma sağlarken, pürüzlü yüzeyde ışın rastgele dağılmakta ve dağınık bir yansıma vermektedir. Yansımanın bir kısmı, daha büyük parçacıkların yüzeylerinde, kırınım (ışığın daha büyük parçacıklar etrafında bükülmesi) ve saçılmaya (ışık parçacıklarının içinde asılı küçük parçacıklar ile çarpışmalar yoluyla sapması) uğrayarak boya katmanında kırılmaktadır. Dağınık saçılma miktarı dalga boyuna bağlıdır. Pigment partikülleri seçici olarak renk görünümüne neden olan radyasyonun belirli dalga boylarını emer ve bunun sonucunda çoklu yansıma oluşturmaktadır. Radyasyonun boya katmanına nüfuz etme derinliği, dalga boyuna bağlıdır, daha uzun dalga boyu radyasyonu (NIR aralığında) resminzemin katmanına kadar yayılmaktadır (Kubik, 2007: 203). Farklı dalga boylarına sahip VIS, IR, NIR ve UV ile incelemelerin yapıldığı bu yöntemde duvar resminde eskiz, rötuş ve bozulmaların tespiti yapılırken aynı zamanda 18 bant filtre [(merkez dalga boyu (nm)): 405, 430, 450, 467, 480, 500, 532, 560, 580, 610, 640, 671, 700, 730, 760, 840, 860, 920] ile pigmentlerin spesifik absorpsiyon veya bükülme noktalarına göre tanımları da yapılmaktadır^{*****}.

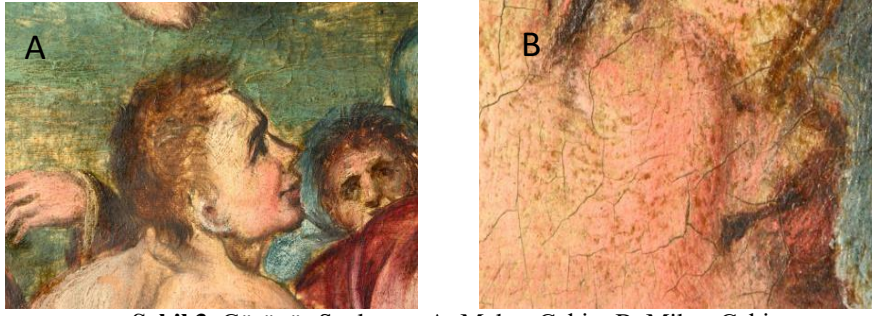
1.1. Görünür İnceleme (Visible/VIS)

Görünür inceleme, 400 ve 700 nm aralığında, yüksek dijital sensör çözünürlüğü sayesinde duvar resimlerinde makro ve mikro çekimleri yaparak belgelemede ve detayları görmeye (yüzeyde bulunan çatlak vb.) kullanılmaktadır^{*****} (Şekil 3).

* ***** Karanlık akım, elektrotlar üzerinde herhangi bir radyant akı olayı olmadığında (tam karanlık) fotoemisif ve fotoiletken dedektörlerde (kızılötesi) akan bir akımdır. Michels ve Freeman 1956: 214.

***** <https://chsopensource.org/multispectral-imaging-system/> 17.12.2019

* ***** Giacometti vd. 2012: 302; Pamart vd. 2017: 559



Şekil 3. Görünür Spektrum A. Makro Çekim B. Mikro Çekim
(Kaynak: URL1)

1.2. Yan Işık İnceleme (Raking Light/RAK)

Yan ışık ile incelemede iki ayrı ışık kaynağı kullanılmaktadır. Bu kaynaklardan ilki görünür ışık aralığı, diğeri ise kızılötesi (IR) aralığıdır (Cosentino vd. 2014: 25-31). Her iki yöntemde ışık duvar resmi yüzeyine eğik açılarla gelmektedir. Bu inceleme; duvar resim tekniği, araç-gereçler (firça vb.), koruma durumu ve geçirdiği onarımlar hakkında bilgi edinmek için kullanılmaktadır (Pamart vd. 2017: 559, Weyer vd. 2015: 263) (Şekil 4 ve 5).



Şekil 4. Duvar Resim Tekniğini RAK: Görünür Işık İle Yan Işık ve IR-RAK: Kızılötesi Işık ile Yan Işık İnceleme(Kaynak: Cosentino vd. 2014: 28)



Şekil 5. Duvar Resmi Yüzeyinde Fırça Darbeleri (Görünür Işık Aralığında Yan Işık Kullanımı)
(Kaynak: Cosentino vd. 2014: 29)

1.3. Kızılötesi İnceleme (Infrared/ IR)

Kızılötesi ışığı, genel olarak 700 nm ile 1 mm dalga boyu aralığında tanımlanır ve yakın, kısa, orta, uzun ve uzak elektromanyetik spektrum bantlarına göre dalga boyları değişiklik gösterir (Dietz vd. 2011: 33; Hof 2003: 41; Theophanides 2014: 1-3). Yakın kızılötesi “near infrared (NIR)” şeklinde tanıma sahip olup bandı 700-1400 nm ve dalga boyu 0,7 – 2,5 µm aralığındadır (Dietz vd. 2011: 33; Theophanides 2014: 2). Kısa dalga boyu kızılötesi, “short wave infrared (SWIR)”, tanıma sahip olup bandı 1400-3000nm ve dalga boyu 1,4 – 3 µm, orta dalga boyu kızılötesi “mid-wave infrared (MIR)”, şeklinde tanıma sahip olup bandı 3000 nm - 1 mm, dalga boyu ise 2,5 – 25 µm’dir (Dietz vd. 2011: 33; Theophanides 2014: 2).

Uzun dalga boylu kızılötesi “long wave infrared (LWIR)” tanıma sahip olup bandı 3000 nm – 1 mm, dalga boyu ise 8 – 15 µm’dir. Uzak kızılötesi “far infrared (FIR)” şeklinde tanımlanıp elektromanyetik spektrum bandı 3000 nm – 1 mm olup, dalga boyu 25 – 300 µm’dir (Dietz vd. 2011: 33; Theophanides 2014: 2). Multispektral kızılötesi görüntüleme genellikle farklı sayıda piksel (64 64 ila 1024 1024 piksel) ve farklı spektral algılama aralığına (1 ila 12 mm) sahip çeşitli malzemelere (InGaAs, InSb, HgCdTe ve QWIP) dayalı FPA’lar* kullanılmaktadır (Tran, 2003: 135). Bu pikseller kızılötesinin geneldalga boyunda ya da kızılötesi bölgede yer alan yakın, kısa, orta, uzun ve uzak dalga boylarında kullanılmaktadır. Duvar resimlerin incelemesinde kızılötesine ait çeşitli dalga boylarının kullanılmasının nedeni, pigmentlerin farklı absorpsiyon özelliklerinin olmasıdır. Bu özellik pigmentlerin karakterizasyonunu belirlediği gibi aynı zamanda duvar resim tekniğini (çizim, kömür tozu uygulaması vb.) tanımlamada da kullanılmaktadır (Daffara ve Fontana, 2011: 691-695; Fontana vd. 2007: 1-15; Liang vd. 2010: 189-191). Duvar resmini incelemeye en çok kullanılan kızılötesi bölge dalga boyları NIR ve SWIR’dır (Bendada vd. 2003: 88-99; Pelagotti vd. 2008: 6-9; Pronti vd. 2019: 2276-2284).

Kızılötesi bölge dalga boyları haricinde multispektral yöntemlerde söz konusu ışın, numune yüzeyine yansıtılması veya kullanım amacına göre sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar; kızılötesi (Infrared / IR), kızılötesi geçirme (Infrared Transmitted / IRT), kızılötesi yanlış renk (Infrared False Color / IRFC), kızılötesi floresans (Infrared Fluorescence / IRF) ve kızılötesi yansıtma (Infrared Reflectography / IRR)’dır (Cosentino 2016: 1-6).

Kızılötesi (IR): Bazı sanatçılar, duvar resmini oluştururken ikinci kat sıvaya (arriccio) hazırlık çizimi (sinopya) yapmaktadır. Hazırlık çizimi, bazen fırça ile bazen de sert bir kılavuzun üstüne kömür tozunun uygulanmasından oluşur. Bu çizimin üstünde son kat sıva (intonaco) yer aldığından boya tabakası hasar görmediği sürece gözle görülmesi pek mümkün değildir (Weyer vd. 2015: 73-77). Çok katmanlı bir sıva tabakasından oluşan duvar resminin oluşum sürecini görebilmek için kızılötesi ışığa ihtiyaç vardır (Şekil 6). Hazırlık çiziminde karbon (C) bazlı boya radyasyonu kuvvetle emdiği için, resimden yansıyan kızılötesi ışığın koyu renkli olması bize bu teknik hakkında bilgi verilmesini sağlamaktadır (Hain 2003: 9). Bu teknik bilgi, duvar resmindeki dönem ekinin ayırt edilmesini kolaylaştırmaktadır (Pronti vd. 2019: 2276-2284).

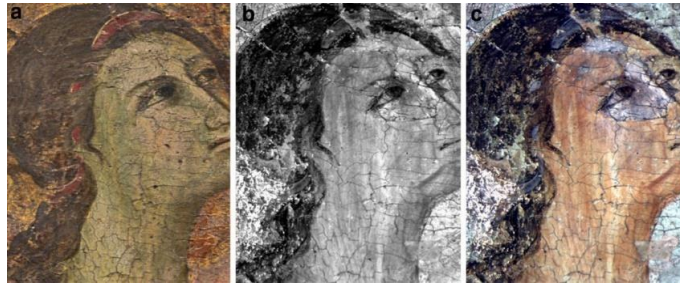
* ***** Odak düzlem dizisi (Focal-plane array/FPA), her dalga boyunda ayrı bir görüntü sağlayan cihazdır. Spektral ayırım FPA'nın kendisi tarafından sağlandığından, filtre radyometresinin karmaşıklığı önlenir. Dizi aynı anda tüm dalga boylarında görüntüleri toplamak ve sınıflandırmak için kullanılmaktadır. Genellikle görünür ve kızılötesi dalga boyları arasında ayırım oluşturan bu düzlem, VIS, NIR/SWIR, MWIR, LWIR dalga boyları arasında ayırımı sağlamaktadır. Ayrıntılı bilgi için için bkz: McAdoo 2001: 60-63, Rienstra ve Ballard 1998: 235-239.



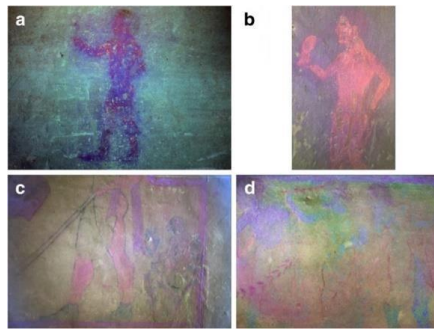
Şekil 6. Hazırlık Çizimi (Kızılötesi NIR Aralığı)(Kaynak: URL2)

Kızılötesi Geçirme (IRT): Bu yöntem daha çok tuval ve kâğıt üzerinde ön çizim uygulamasını belirlemede kullanılmaktadır (Cosentino 2016: 4).

Kızılötesi Yanlış Renk (IRFC): Kızılötesi yanlış renkli görüntü, incelenen resmin VIS ve IR görüntülerini dijital olarak AIC PhD yöntemi* ile kalibre etmesi sonucu oluşur (Cosentino 2016: 4-5; Delaney vd. 2016: 9). IRFC, resimde kullanılan orijinal pigmentler ve rötuşların (onarım) tespitinde kullanılmaktadır (Delaney vd. 2016: 9) (Şekil 7). Son yapılan çalışmalara bakıldığında bu yöntemin UV gibi, kaybolmaya yüz tutmuş duvar resimlerinin algılanmasında kullanıldığı görülmektedir (Şekil 8)



Şekil 7. Duvar Resminde Rötuş Yapılan Yer ve Orijinal Alanlar A: Görünür B: Kızılötesi C: Kızılötesi Yanlış Renk (Gri Alan Rötuş) (Kaynak: Delaney vd. 2016: 9)

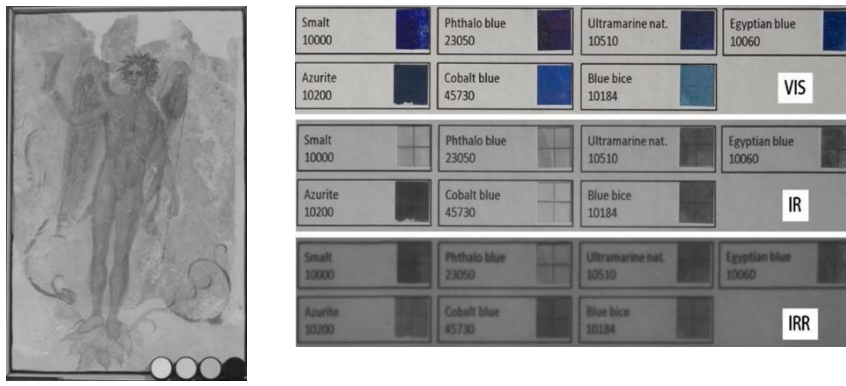


Şekil 8. Kaybolmaya Yüz Tutmuş Duvar Resminin IRFC Görüntüsü(Kaynak: Legnaioli vd. 2013: 6)

* ***** Amerikan Koruma Enstitüsü (AIC) tarafından fotografik dokümantasyon için açıklanan hedefler AIC PhD olarak tanımlanmaktadır. AIC Fotodokümantasyon hedefleri, fotografik referans standartlarının yanı sıra görüntü ve yapay kimlik bilgilerini dahil etmenin kolay ve verimli bir yolunu sağlamak için kullanılmaktadır. Bu yöntem, beyaz dengesini ve pozlama ile ışık ayarını ve standardizasyonunu kolaylaştırmaktadır. <https://www.culturalheritage.org/docs/default-source/resource-guides/aic-photodocumentation-targets-instructions.pdf?sfvrsn=3> 20.10.2020

Kızılötesi Floresans (IRF): Bazı moleküller ve mineraller (mineral pigmentleri) kızılötesi floresans özelliği göstermektedir. Bu yöntem, bir ultraviyole ışık huzmesinin görünür ışık emisyonunu tetiklediği ultraviyole floresanına benzemektedir. Kızılötesi floresans durumunda, görünür ışığın ışını bir kızılötesi emisyon üretmekte ve pigmentler bu şekilde incelenmektedir. Kızılötesi floresans sergileyen pigmentler: Mısır mavisi, kadmiyum kırmızısı, kadmiyum sarısı ve kadmiyum yeşilidir (Cosentino, 2016: 5-6).

Kızılötesi Yansıtma (IRR): 1960'lı yılların sonundan itibaren kızılötesi yansıtıcı, resimlerin tahribatsız analizleri için temel bir tanı aracı olarak kullanılmış, hazırlık çizimi (sinopya) ve rötuş gibi temel özelliklerin görüntülenmesine olanak sağlamıştır (Daffara ve Fontana 2011: 691). Kızılötesi yansıtma NIR bandında olup, InGaAs kamerası aracılığı ile kullanılmaktadır (Cosentino 2014: 8, Daffara ve Fontana 2011: 691). Son zamanlarda bu yöntem NIR bölgesi üzerinde 2.500 nm'ye kadar olan pigmentlerin değişken yansıma özellikleri ve resim katmanlarını analiz etmede kullanılmaktadır (Daffara ve Fontana 2011: 691). Bu yöntem özellikle kobalt bazlı pigmentler ve organik bağlayıcıların tanınmasında kullanılmaktadır (Şekil 9). IRR'de kobalt bazlı pigmentler ve organik bağlayıcılar kızılötesi bandında genellikle daha az saydam görünmektedir (Cosentino 2014: 8; Dyer vd. 2013: 4.).



Şekil 9. Sol Görsel: IRR ve Organik Bağlayıcı, Sağ Görsel: IRR ve Kobalt Bazlı Pigmentler (Kaynak: Dyer vd. 2013: 4; Cosentino 2014: 7)

1.4. Ultraviyole İnceleme (UV)

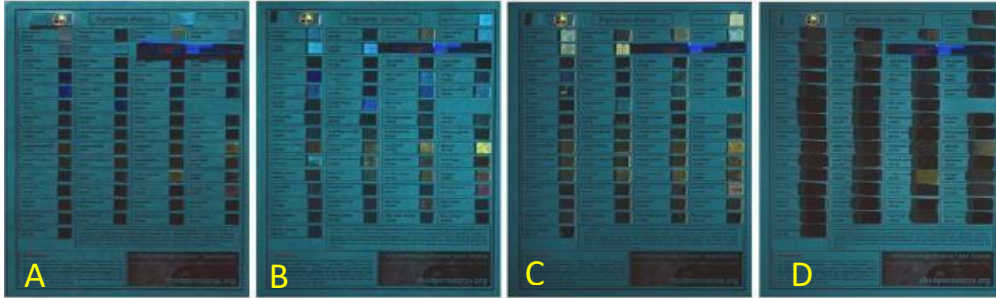
UV / VIS spektral bölgesi, 190 - 400 nm UV aralığı ve 400 - 780 nm görünür aralığı (VIS) kapsamaktadır (Sablinskas 2002: 63). Multispektral görüntüleme incelemede ultraviyole ışın; ultraviyole floresans (*Ultraviolet induced fluorescence/ UVF*), ultraviyole yansıtma (*Reflected ultraviolet / UVR*) ve ultraviyole yanlış renk (*False Colour Ultraviolet / UVFC*) olarak adlandırılmaktadır (Pamart vd. 2017: 559 – 560).

Ultraviyole Floresans (UVF): Floresans, elektromanyetik radyasyon ultraviyole ışığı ile ışınlanan pigment gibi bazı maddelerin görünür renkte ışık yaydığı bir tür lüminesanstır (Hain 2003: 11). Ultraviyole floresans yöntemi ise UV radyasyonu ile aydınlatılan yüzeyin görünür bölgedeki (400-700 nm) ışık emisyonunun görüntüsünü kaydetmede kullanılmaktadır (Dyer vd. 2013: 4). Bu görüntü, organik bağlayıcılar ve pigmentler gibi lüminesans sonucu ışıldayan malzemelerin dağılımını araştırmak için kullanılmaktadır (Cosentino 2015a: 58; Dyer vd. 2013: 4). Özellikle yumurta ve keten tohumu yağı gibi organik bağlayıcılar yoğun mavi-beyazımsı ışık yaymaktadırlar (Cosentino 2015b: 292) (Şekil 10 ve 11). Fresco tekniğinde yapılmış bir duvar resmi organik malzemeler gibi emisyonuna sahip olmadığı için aynı lüminesans özelliği göstermemektedir (Cosentino 2015b: 292). UVF ile incelen duvar resminde lüminesansın varlığı veya yokluğu o duvar resminin organik bağlayıcı ile secco tekniği ya da fresco tekniğinde yapıldığı hakkında net bilgi vermemektedir. İncelenen her materyalin korunma/bozulma durumu değişiklik gösterdiği için lüminesansın olmadığı bir yüzeyde organik malzemenin yokluğundan söz etmek hatalı olacaktır (Dyer vd. 2013: 4). Bu tür durumlarda incelenen duvar resminin başka tanı yöntemleri ile desteklenmesi gerekmektedir.

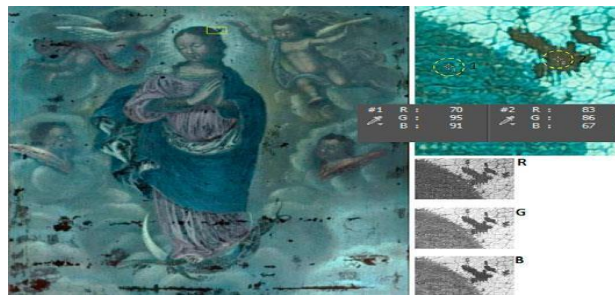
UVF yöntemi literatürde ayrıca duvar resmindeki rötuşların tespitinde (Şekil 12), ve pigmentlerin tanımlanmasında kullanılmaktadır (Cosentino ve Stout 2014: 93; Dyer vd. 2013: 4). Pigment tanımlanması için Cosentino, UVF fotoğrafçılığının her zaman ek bir teknik olarak görülmesi gerektiğini, çünkü bu yöntemin sadece UV ile indüklenen malzemelerin görünür floresansı hakkında niteliksel bilgi sağladığını ifade etmiştir (Cosentino, 2015a: 58).



Şekil 10. VIS: Görünür Bölge, UVF: Ultraviyole Floresansı Acı Sant'Antonio'daki (Sicilya) Ana Kilise'nin Haç Şapeli'ndeki Fresconun UVF Sonucu Secco Tekniğine Ait Floresansı Kaynak: (Cosentino, 2015a: 58)



Şekil 11. Duvar Resminde Kullanılan Farklı Bağlayıcı Türlerinin Ultraviyole Floresansı A: Arap Zamkı B: Tempera C: Yağ D: Fresco (Kaynak: Cosentino, 2015b: 292)



Şekil 12. Duvar Resmindeki Rötuşların UVF İle Tespiti (Kaynak: Cosentino ve Stout 2014: 93)

Ultraviyole Yansıtma (UVR): Bu yöntem boya yüzeylerinin üzerinde görünür olmayan UV yansımalarını yakalamak veya belirli pigmentlerin tespitinde kullanılmaktadır (Pamart vd. 2017: 559). Ultraviyole yansıtma ışığı, duvar resminin yüzeyindeki boya tabakası ile etkileşime girdiğinden, sıvanın alt katmanlardaki boya katmanı (sinopya, üstüne boyama, rötuş vb.) hakkında bilgi vermemektedir (Cosentino 2014: 58-61). Bu nedenle UVR görüntüsü en üst pigmente özgü bilgi sağlamaktadır. Cosentino tarafından farklı bağlayıcılarla yapılan çalışmada çeşitli pigmentlerin UVR

yansıması incelenmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Farklı Bağlayıcı Türlerine Göre Çeşitli Pigmentlerin UVR Sonucu(Kaynak: Cosentino, 2015b: 295)

Organik bağlayıcıların incelemesi sonucunda arap zankının, yumurta kullanılan tempera tekniğinden ve keten tohumu yağından UV ışığı daha fazla absorbe ettiği için parlak bir görüntüye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Fakat bu farklılığın, bağlayıcıların birbirinden ayırt edilmesinde yeterli olmayacağı düşünülmüştür (Cosentino, 2014: 58-61). Fresco tekniğinde bazı farklılıkların gözlemlendiği bu araştırmada, her pigmentin (örn: titanyum beyazı) ayırt edici bir özellik sergilemediği tespit edilmiştir (Cosentino, 2015: 292-295).

Ultraviyole Yanlış Renk (UVFC): Kızılötesi yanlış renk (IRFC) benzerlik gösteren bu yöntem, görünür bölgedeki görüntüyü, kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) renk bileşenlerine bölerek incelenen malzemenin karakteri hakkında bilgi sağlar (Dyer vd. 2013: 4; Fisher ve Kakoulli 2006: 8; Rogge ve Lough 2013: 242) (Şekil 14). Bu yöntem özellikle beyaz renkli pigmentlerin farklılığını tespit etmede kullanılmaktadır (Fisher ve Kakoulli 2006: 8).



Şekil 14. Ultraviyole Yanlış Renk(Kaynak: URL3)

1.5. Pigmentlerin Tanımlanması

Multispetkral görüntüleme yönteminde, pigmentler iki şekilde tanımlanmaktadır. İlk yöntem, farklı dalga boylarında incelenen pigmentlerin absorpsiyonlarının parlaklık ve koyuluk derecesine göredir. İkinci yöntem ise MSI kütüphanesinde tanımlı olan pigmentlerin spektral banttaki özelliğidir.

-Farklı Dalga Boylarına Göre Pigmentlerin Absorpsiyon Özellikleri

Bu yöntem pigment kartında yer alan materyallerin, farklı dalga boylarındaki absorpsiyon özelliklerini tanımlamada kullanılmaktadır. Cosentino tarafından yapılan araştırmada, 54 tarihi pigment arap zankı bağlayıcısı ile kâğıt yüzeyine sürülerek UV ve IR absorpsiyon özellikleri incelenmiştir (Cosentino, 2014: 1-12).

UV ve IR ışını ile inceleme sonucunda pigmentler parlak ve karanlık olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Yanlış renk incelemede ise pigmentler genellikle: mor, siyah, kırmızı, mavi ve pembe özellik göstermiştir (Şekil 15). Farklı ışın (yansıtma, floresans) özelliklerinin denendiği bu çalışmada bazı pigmentlerin absorpsiyon göstermediği sonucuna varılmıştır.

Şekil 15: Prusya Mavisinin Kızılötesi ve Kızılötesi Yanlı Renkteki Absorpsiyon Özelliği (Kaynak: Cosentino,



2014: 6)

Pigmentlerin tanımlanması için hazırlanan kartlar, farklı bağlayıcı türlerine göre hazırlandığı için hem pigment hem de duvar resim tekniği hakkında uzmanlara bilgi sağlamaktadır (Cosentino, 2015b: 287-298).

-MSI Kütüphanesi

MSI (*Multispectral Imaging*) kütüphanesi, pigment kartında tanımlanan materyallerin spektrum verilerinden oluşur ve incelenen nesnelere pigmentleri bu veriler doğrultusunda tanımlar^{*****}. Kütüphanede pigmentlere ait verilerin oluşturulması için 18 banttan oluşan farklı dalga boyları (merkezdalga boyu nm: 405, 430, 450, 467, 480, 500, 532, 560, 580, 610, 640, 671, 700, 730, 760, 840, 860, 920) ile incelemeler yapılmıştır ve pigmentlerin spesifik emilim veya bükülme noktaları kaydedilmiştir^{*****}. Bazı pigmentlerin spektral banttaki tespiti Tablo 1'de gösterilmiştir^{*****}.

Tablo 1. Bazı Pigmentlerin Spektral Banttaki Dalga Boyları

Renk	Pigment	Dalga Boyu
	Titanyum beyazı	405 nm
	Litopon	670 ve 725 nm
	Prusyan mavisi	450 ve 700 nm
	Çivit	760 ve 840 nm
	Kobalt mavisi	525 nm
	Azurit	405 ve 480 nm
	Ultramarin	405 ve 480 nm
	Malakit	500 ve 525 nm
	Viridian	760 nm
	Kobalt yeşili	532 nm
	Krom oksit yeşili	405 nm
	Vermillion (zincifre kırmızısı)	600 nm
	Kırmızı kurşun oksit	575 nm
	Alizarin	600 ve 610 nm
	Kök boya	600 ve 610 nm
	Karmin	630 ve 640 nm
	Orpiment (sarı zırnık)	532 nm
	Safran	532 nm
	Kurşun oksit sarısı	532 nm
	Massicot	450 nm

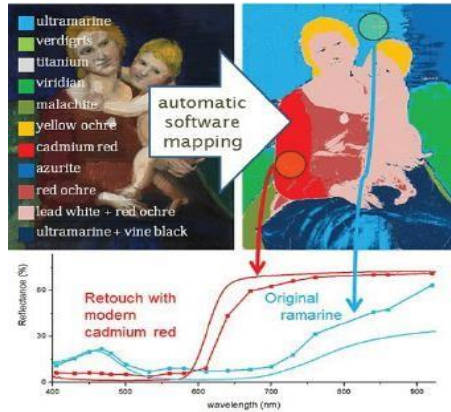
MSI görüntüleri, genellikle “tam spektrumlu”, ultraviyole-görünür kızılötesi fotoğrafçılık (yaklaşık 360 ile 1100 nm arasında) için modifiye edilmiş bir Nikon D800 DSLR (36 MP, CMOS sensör) dijital kamera ile elde edilmektedir (Cosentino, 2014: 2). Bu yöntemde, incelenen nesnenin spektral banttaki görüntüleri alınır ve görüntüler kaydedilip kalibre edildikten sonra, yansıma görüntü küpüne yüklenir. Bu küp, X ve Y eksenlerindeki her görüntünün piksellerini temsil ederken, Z boyutu her spektral görüntünün dalga boyunu göstermektedir. MSI analizi, yansıtma spektroskopisi kavramlarına dayanmaktadır. MSI ile pigmentler bir noktadan ziyade geniş alanlarda tanımlanabilir ve

* ***** Multispektral kütüphanesi, İtalya’da bulunan Kültürel Miras Bilim Merkezi’nde Antonello olarak isimlendirilmiştir. Ayrıntılı bilgi için bkz: <https://chsopensource.org/multispectral-imaging-system/> 08.01.2020.

* ***** <https://chsopensource.org/multispectral-imaging-system/> (27.12.2019)

* ***** <https://chsopensource.org/multispectral-imaging-system/> (27.12.2019)

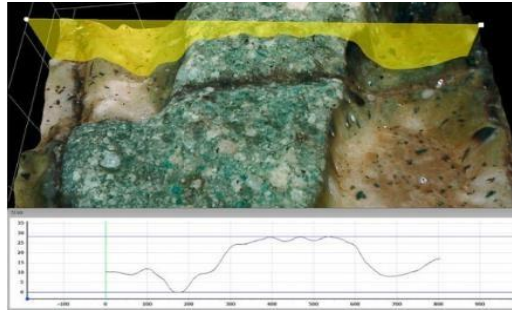
haritalandırılabilir*^{*****}. Bu yöntem noktasal ve geniş alanda çalışma imkânı sunması ile duvar resimlerindeki pigmentlerin tahribatsız bir şekilde tanımlanmasını sağlamaktadır (Şekil 16).



Şekil 16. MSI Kütüphanesine Göre Pigmentin Tanımlanması(Kaynak: URL4)

1.6. Üç Boyutlu Multispektral Görüntüleme (3D)

Multispektral 3D algılama sistemi, farklı görüntüleme sensörlerini ara yüz kullanarak (lazer tarayıcı, RGB, SfM vb.), sisteminde tanımlı olan dalga boyları (IR, UV, VIS vb.) sayesinde duvar resimlerindeki deformasyonların (parça kaybı, çatlak, soyulma) istatistiksel veriler doğrultusunda 3 boyutlu belgelenmesini ve haritalandırılmasını sağlamaktadır (Grifoni, 2017: 41-72) (Şekil 17).



Şekil 17. Parça Kaybının Mikro 3D Yüzey Fotoğrafı(Kaynak: URL5)

Duvar resimleri; araştırmacılara, ele aldığı konular ile insanların sosyal yaşamı ve inancı, kullandığı malzemeler ile de dönem teknolojisine ait bilgi sağlamaktadır. Bu tarihi belgenin okunurluğu, uzmanların tespitine göre değişiklik göstermektedir. Duvar resimlerini incelemede ortak bir görüşe ve veriye sahip olabilmek için multispektral görüntüleme yöntemlerine ihtiyaç vardır. Multispektral görüntüleme yöntemleri koruma uzmanına;

- Sinopya (Hazırlık Çizimi)
- Fırça Darbeleri
- Kaybolan Yüzeylerin Görünürlüğü (UV, IR)
- Tarihi Hasarlar (Üstüne Boyama, Sansür vb.)
- Onarım Geçiren Alanlar (Rötuş vb.)
- Duvar Resim Tekniği (Fresco, Secco vb.)
- 3D Belgeleme ve Haritalama
- Pigmentlerin Karakterizasyonu hakkında bilgi sağlamaktadır.

Malzeme karakterizasyonun tespiti bazen koruma uzmanının ulaşabildiği alanlarla (örn: örtü elemanı) sınırlı kalmaktadır. Pigmentlerin sanat eserlerinde tanımlanması spektroskopi yöntemlerin sunduğu

* ^{*****} <https://chsopensource.org/multispectral-imaging-system/> (27.12.2019)

analitik kabiliyeti sağlamasa da spektral görüntülemenin kullanımı geniş alanların hızlı bir şekilde incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntem, kaybolan alanları görünür kılmaları ile konservasyon ve restorasyon işlemleri esnasında uzmana doğru bir yaklaşım sunmaktadır. Aksi takdirde gelişmiş güzel onarımlar geri dönüşü olmayan tahribata yol açmaktadır. Multispektral görüntüleme yöntemleri, tahribatsız olma özelliği ile birçok alanda (yağlı boya, ahşap, tekstil, el yazması vb.) kullanılmaktadır. Kullanıldığı alana ve amaca göre değişiklik gösteren yöntemin, eserleri koruması için ulusal çalışmalarda yaygınlaşması ve her malzeme türüne göre planlama yapılarak bu güncel yöntemlerden faydalanılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Artioli, G. (2012). *Science methods and cultural heritage; An Introduction To The Application Of Materials Science To Archaeometry And Conservation Science*, Oxford University Press, New York.
- Balas, C. vd. (2003). “A novel hyper-spectral imaging apparatus for the non-destructive analysis of objects of artistic and historic value” *Journal of Cultural Heritage* 4, 330–337.
- Bendada, A. vd. (2015). “Subsurface imaging for panel paintings inspection: A comparative study of the ultraviolet, the visible, the infrared and the terahertz spectra” *Opto-Electronics Review* 23 (1), 88–99.
- Chang, R., Soydan, A. B., & Aroğuz, A. Z. (2000). *Fen ve mühendislik bölümleri için kimya*. Beta Basım Yayım Dağıtım AŞ.
- Cosentino, A. (2014). “Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method” *Heritage Science* 2014, 2:8, 1-12.
- Cosentino, A., Stout, S. (2014). “Photoshop and Multispectral Imaging For Art Documentation” *e-Preservation Science* 11, 91-98.
- Cosentino, A. vd. (2014). “Technical photography for mural paintings: the newly discovered frescoes in Aci Sant’Antonio (Sicily, Italy)” *Conservar Património* 20, 23-33.
- Cosentino, A. (2015a). “Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination” *Conservar Património* 21, 53-62.
- Cosentino, A. (2015b). “Effects Of Different Binders On Technical Photography And Infrared Reflectography Of 54 Historical Pigments” *International Journal Of Conservation Science Volume 6, Issue 3, July-September*, 287-298.
- Cosentino, A. (2016). “Infrared Technical Photography For Art Examination” *e-Preservation Science* 13, 1-6.
- Çalışır, F. (2008). *Atomik absorpsiyon spektrofotometresinde bazı eser elementlerin tayin öncesi çeşitli yöntemlerle ayrılması ve zenginleştirilmesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi (Yayınlanmamış Doktora Tezi), İstanbul.
- Dikilitaş, G. (2005). *Duvar resimlerinin bozulmasına neden olan etkenler ve koruma uygulamaları*. Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.
- Daffara, C., Fontana, R. (2011). “Multispectral Infrared Reflectography to Differentiate Features in Paintings” *Microscopy and Microanalysis* 17, 691–695.
- Dervić, K., Šinik, V., Despotović, Ž., Bjelica, M., & Kerleta, V. (2013, October). Radiation of electromagnetic fields at radio frequencies. In *III International Conference „Ecology of Urban Areas* (pp. 649-656).
- Dietz, C., Catanzariti, G., Martinez, A. J. (2011). “Infrared reflectography using 3D laser scanning”. *E-conservation magazine* 18, 32-42.
- Dyer, J., Verri, G., Cupitt, J. (2013). *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo induced Luminescence modes: A User Manual*, The British Museum, 2013.
- Delaney, John K. vd. (2016). “Visible and infrared imaging spectroscopy of paintings and improved reflectography”, *Heritage Science*, 4:6, 1-10.
- Edwards, H., Vandabeele, P. (2012). *Analytical Archaeometry Selected Topics*, RSC Publishing.
- Fischer, C., Kakoulli, I. (2006). “Multispectral and hyperspectral imaging 15all15he15gies in conservation: current research and potential applications”, *Reviews In Conservation* Number 7, 3-16.
- Eren, S. (2014). *EMR (Elektromanyetik Radyasyon) koruma amaçlı bikomponent polyester iplik üretimi*. Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Bursa.
- Erdoğan, M. (2017). İyonlaştırıcı Radyasyon ve Korunma Yöntemleri. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 43(2), 139-147.

- Fontana, R. vd. (2007). “Multi-spectral IR reflectography” In: *O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology*. International Society for Optics and Photonics, 1-15.
- Ferrato, L. (2012). Comparing hyperspectral and multispectral imagery for land classification of the lower don river. Toronto, Master of Spatial Analysis in the Program of Spatial Analysis, Canada.
- Gupta R. P. (2003). *Multispectral Imaging Systems*. In: *Remote Sensing Geology*, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Guntupalli, R., Grant, J. (2004). CCD Cameras tune in to scientific imaging, *Photonics Spectra* 38, 63-64.
- Giacometti, A. vd. (2012). Cultural heritage destruction: Documenting parchment degradation via multispectral imaging. *EVA*, 301-308.
- George, G., Wilson, R., & Joy, J. (2017). *Ultraviolet spectroscopy. spectroscopic methods for nanomaterials characterization*, 55–72.
- Grifoni, E. (2017). *Automated multispectral 3D image-based modeling for cultural heritage applications*. Dottorato Di Ricerca In Scienze Chimiche.
- Halkman, H. D., Yücel, P. K., & Halkman, A. K. (2014). Non-thermal processing| microwave, *Encyclopedia of Food Microbiology*, Volume 2.
- Hain, M., Bartl, J., Jacko, V. (2003). Multispectral analysis of cultural heritage artefacts. *Measurement Science Review*. Volume 3, Section 3, 9-12.
- Hof, M. (2003). “Basics of optical spectroscopy”, *Handbook of Spectroscopy (Vol.1.)*, (Ed. G. Gauglitz and T. Vo-Dinh), Weinheim, Germany: Wiley-VCH., 39-47.
- ICOMOS, (2003). Duvar resimlerinin korunması - Restorasyonu için ICOMOS ilkeleri, http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0533768001536913431.pdf 30.12.2019.
- Kubik, M. (2007). “Hyperspectral Imaging: A new technique for the non-invasive study of artworks” *Physical Techniques In The Study Of Art, Archaeology And Cultural Heritage Volume 2*, (Ed. Dudley Greagh, David Bradley), Elsevier, 199-259.
- Kaswezska, L. (2018). “Wall Paintings and Environment”, *Historic Churches*, <https://www.buildingconservation.com/articles/wallpainting/wallpainting.html> 08.01.2020.
- Liang, H. vd. (2010). “A SWIR hyperspectral imaging system for art history and art conservation”, IX Congreso Nacional Del Color. Alicante, 189-192.
- Legnaioli, S. vd. (2013). “Recovery of archaeological wall paintings using novel multispectral imaging approaches” *Heritage Science* 2013, 1:33, 1-9.
- Michels, W. C., & Freeman, I. M. (1956). The international dictionary of physics and electronics. *PhT*, 9(12), 28.
- Mairinger, F. (2000). “The infrared examination of paintings”. *Radiation in Art and Archeometry Eds. DC Creagh, DA Bradley, Elsevier*, 40-55.
- McAdoo, J. A. (2001, February). Concepts and applications for multispectral/hyperspectral focal plane array (FPA) technology. In *Hyperspectral Remote Sensing of the Land and Atmosphere* (Vol. 4151, pp. 60-67). International Society for Optics and Photonics.
- Melessanaki, K. vd. (2001). “Laser induced breakdown spectroscopy and hyperspectral imaging analysis of pigments on an illuminated manuscript”, *Spectrochimica Acta Part B*. 56, 2337–2345.
- Rienstra, J., & Ballard, M. (1998, March). Multispectral focal plane assembly for satellite remote sensing. In *1998 IEEE Aerospace Conference Proceedings (Cat. No. 98TH8339)* (Vol. 5, pp. 233-241). IEEE.
- Professor Kirchoff, & Professor Bunsen. (1860). IX. Chemical analysis by spectrum-observations. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 20(131), 88-109.
- Pelagotti, A. vd. (2008). “Multispectral Imaging Of Paintings: A Way To Material Identification”, *IEEE Signal Processing Magazine*, 1-6.
- Palchoudhury, S., Baalousha, M., & Lead, J. R. (2015). *Methods for Measuring Concentration (Mass, Surface Area and Number) of Nanomaterials. Frontiers of Nanoscience*, 153–181.
- Pérez-Juste, I., & Faza, O. N. (2015). Interaction of radiation with matter. *Structure Elucidation in Organic Chemistry*.
- Pamart, A. vd. (2017). “Multispectral photogrammetric data acquisition and processing for wall paintings studies”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W3, 559-566.
- Pierraccini, M., Miccinesi, L. (2018). “No-contact GPR for investigating painted walls, II Ground

Penetrating Radar (GPR): Conference Paper, June, 1-7.

Pronti, L. vd. (2019). “Post-processing of VIS, NIR, and SWIR multispectral images of paintings. New discovery on the drunkenness of noah, Painted by Andrea Sacchi, Stored at Palazzo Chigi (Ariccia, Rome)”, *Heritage* 2, 2275–2286.

Rogge, C., Lough, K. (2013). “Fluorescence fails: the color of UVA-induced visible fluorescence of tintype varnishes does not discriminate between varnish materials”, AIC & ICOM-CC Photographs Conservation Joint Meeting in Wellington, New Zealand, 239-247.

Schmid, W. (2000). *GRADOC-Graphic documentation systems in mural painting conservation: research seminar, Rome 16-20 November 1999, ICCROM*.

Sablinskas, V. (2003). “Instrumentation”, Handbook of spectroscopy (Vol.1.), (Ed. G. Gauglitz and T. Vo-Dinh), Weinheim, Germany: Wiley-VCH.

Turner, Gerald P. A., Bentley, J. (1997). *Introduction to paint chemistry and principles of paint technology*. CRC Press.

Tuchin, V. V. (2015). Tissue optics and photonics: biological tissue structures. *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*, 1(1).

Tanzi, M. C., Farè, S., & Candiani, G. (2019). Techniques of analysis. *Foundations of Biomaterials Engineering*, 393–469

Weyer, A. vd. (2015). *EwaGlos-European illustrated glossary of conservation terms for wallpaintings and architectural surfaces*. Printed in Eu, Peterberg-Germany.

İNTERNET KAYNAKLARI

URL1 <https://driart.com/multispectral-imaging-diagnostics/> 24.12.2019

URL2 <https://driart.com/multispectral-imaging-diagnostics/> 24.12.2019

URL3 <https://driart.com/multispectral-imaging-diagnostics/> 26.12.2019

URL4 <https://chsopensource.org/multispectral-imaging-msi/> 27.12.2019

URL5 <https://driart.com/multispectral-imaging-diagnostics/> 28.12.2019

<https://chsopensource.org/multispectral-imaging-system/> 27.12.2019 - 08.01.2020.

<https://www.culturalheritage.org/docs/default-source/resource-guides/aic-photodocumentation-targets-instructions.pdf?sfvrsn=3> 20.10.2020

Extended Abstract

Wall paintings have been cultural expressions of human creation throughout history, from the earliest era, extending up to present day. Multispectral imaging methods are used widely in the field of conservation science for the investigation of historical materials and their documentation. Multispectral or hyperspectral imaging spectroscopy is a method that records the spectral reflectance properties of a painted surface in the range of VIS, (Visible), UV (Ultraviolet) and IR (Infrared). Optical part: this includes radiation-collecting optics and radiation-sorting optics. Detector part: this primarily includes devices which transform optical energy into electrical energy. The heart of the device is a quantum or photo-detector unit. While the working principle of the multispectral imaging system consists of these detectors, a high resolution CCD detector with a wide wavelength is used in the principle of the camera. Since the system is designed for field use, it is preferred as a small portable CCD detector that can be controlled by a laptop and thermostatically cooled. It can be connected to the interface without any problems with other equipment such as CCD, filter wheels and computer technology. Apart from the CDD detector, the method consisting of lighting, optics, filter and operation (MSI) is based on continuous irradiation of the studied surface with broadband sources such as halogen lamps and detection of backscattered radiation with narrow spectral intervals with a suitable device. More specifically, each image in the series represents the reflectivity of the displayed object for optical wavelengths within a spectral bandwidth. The data are in the form of a large number of images corresponding to different wavelengths across the spectrum's UV and NIR range. This image shape varies depending on the wavelength, reflection, absorption, scattering and emission of the beam coming out of the catadioptr, as well as the geometry, refractive index and physical structure of the surface under examination. This is because the pigment types reflect the beam from the reflector differently on smooth and rough surfaces. A smooth surface gives regular reflection, also called specular reflection, in which incident parallel rays remain parallel after reflection. An uneven surface gives diffuse reflection, since the reflected rays are scattered randomly and not in parallel. Some of the radiance is refracted into

the paint layer, where it undergoes further reflection by surface facets of larger particles, diffraction (bending of light around larger particles), and scattering (diffusion or deflection of light particles by collisions with small particles suspended in the paint layer). The amount of diffuse scattering is wavelength dependent. Pigment particles selectively absorb certain wavelengths of the radiation, which gives cause to their colour appearance. Multiple reflection, diffraction, scattering, and self-shadowing may occur. The penetration depth of the radiation into the paint layer depends on its wave length, with longer wavelength radiation penetrating to a greater extent, even down to the painting's ground layer in the NIR range. In this method, where VIS, IR, NIR and UV examinations with different wavelengths are performed, sketches, touch-ups and distortions are detected in the wall painting. Visible region; It is used in documenting details (cracks on the surface, etc.) by taking macro and micro shots in wall painting thanks to its high digital sensor resolution between 400 and 700 nm. Two different light sources are used for raking light examination. The first of these sources is the visible light range and the other is the infrared (IR) range. In both methods, the light comes to the wall painting surface with oblique angles. This examination; It is used to learn about wall painting technique, tools and materials (brush, etc.), protection status and repairs. Infrared light is generally defined in the range of 700 nm to 1 mm and its wavelength varies according to the near, short, medium, long and far electromagnetic spectrum bands. In the multispectral method, apart from the infrared zone wavelengths, the beam in question is classified according to its purpose of reflection or use. These; infrared (IR), infrared transmitted (IRT), infrared false color (IRFC), infrared fluorescence (IRF) and infrared reflectography (IRR). Infrared light; it is used for preparation drawing, retouching, wall painting technique and detection of lost areas. The UV / VIS spectral region includes the 190 - 400 nm UV range and the 400 - 780 nm visible range (VIS). Ultraviolet light in multispectral imaging examination; It is called ultraviolet induced fluorescence (UVF), reflected ultraviolet (UVR) and false color ultraviolet (UVFC). Ultraviolet light; it is used for preparation drawing, retouching, wall painting technique, identification of pigment and detection of lost areas. In addition, this method identifies the pigments in the examined objects in accordance with these data, based on the spectrum data of the materials defined in the pigment card, thanks to the MSI (Multispectral Imaging) library. The multispectral 3D detection system, using the different imaging sensors interface, provides 3D documentation and mapping of deformations in the wall painting in accordance with the statistical data thanks to the wavelengths defined in the system. According to the information given in the literature, multispectral imaging methods are needed in order to have a common view and data in examining the technique, material and repair of wall paintings in conservation science.

