



**Kültürel Mirasın Dostları Derneği - KUMID  
(Friends of Cultural Heritage - FOCUH)**

**Kanada Konservasyon Enstitüsü (CCI) Notları**

**«Önleyici Koruma»**

# MORÖTESİ İŞİNİMİN ÖLÇÜLMESİ N2/2

Yazarlar:  
Jean Tétreault

Çevirenler:  
Dr. Fatma Banu Çakan  
Dr. Murat Çakan



Kültürel Mirasın Dostları Derneği - KUMID

(Friends of Cultural Heritage - FOCUH)

Kanada Konservasyon Enstitüsü (CCI) Notları "Öneleyici Koruma" 2015 N2/2

# Morötesi Işınımın Ölçülmesi

**Yazan:** Jean Tétreault

© Government of Canada, Canadian Conservation Institute, 2015

ISSN 1928-1455

**Yayının İngilizce Özgün Adı:** "Measurement of Ultraviolet Radiation " CCI Notes N2/2, (2015)

**Özgün Yayın Yeri:** <https://www.canada.ca/content/dam/ci-icc/documents/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/2-2-eng.pdf?WT.contentAuthority=4.4.10>

Türkçe Dijital Yayın Künyesi:

**Türkçe Dijital Yayın ISBN:** 978-9944-0824-9-5 **Yayıncı:** Kültürel Mirasın Dostları Derneği (KUMID )

**Yayıncı Sertifika No:** 48037

**Türkçe Dijital Yayın Yeri:** <http://kumid.net/proje/16/kanada-konservasyon-enstitusu-cci-notlaridijital-yayin-turke-tercume-c-kumid-2020>

**Türkçeye çeviren:**

**Doç. Dr. Fatma Banu Çakan,** KUMID Yönetim Kurulu Üyesi, İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Taşınabilir Kültür Varlıkları Koruma ve Onarım Bölümü

**Dr. Öğr. Üyesi Murat Çakan,** KUMID Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul,

**Editör -Yayına Hazırlayan:** Saadet Güner, KUMID Yönetim Kurulu Başkanı

**Yayına Hazırlayan:** Deniz Serbest, Arkeolog, KUMID, Gönüllü Çalışanı

**CCI Türkçe Tercüme Onayı:** TÜRKÇE tercümenin yayın ve telif hakları Kültürel Mirasın Dostları Derneği KUMID 'e (Friends of Cultural Heritage-FOCUH) CCI tarafından 25/06/2020 tarihinde verilmiştir. Tüm Hakları Saklıdır. Kaynak gösterilmeden kullanılamaz.

Ücretsiz © KUMID, 2020-Türkçe Tercüme

# Morötesi Işınımın Ölçülmesi

## Morötesi (UV) Işınım

Bir koleksiyon üzerine düşen morötesi ışınımı asgari düzeye indirmek malzemelerin rengi ve yapısı üzerinde oluşabilecek kümülatif (birikmeli) zarar açısından önemlidir. Bu not, morötesi ışınımı ölçmenin farklı yöntemlerini tartışmakta ve morötesi ışınımın bir koleksiyon üzerindeki potansiyel etkisini tahmin etmek için rehber görevi görmektedir. UV hasarı ve bir ışık kaynağından gelen UV'nin nasıl filtrelenmesi gerektiğine dair daha fazla bilgi için CCI Notları 2/1 *Morötesi Filtreler*'e başvurunuz.

## Morötesi Işınımın Nicelleştirilmesi

UV ışınımın ölçülmesinde iki bilinen yol vardır: Bir kaynak tarafından salınan ışığı UV enerjisiyle karşılaştırmak veya bir cismin yüzeyine aldığı UV enerjisinin mutlak değerini ölçmek.

### *Bağıl ölçüm*

UV'nin bağıl ölçümü esas olarak kültürel mirası koruma alanında kullanılır ve diğer alanlarda çalışan uzmanlar tarafından nerdeyse hiç bilinmez. Bağıl ışınım bir yüzeyin aldığı UV enerji miktarının aynı ışık kaynağından gelen görünür ışınımına (lümen) oranıdır. Bu ölçümler alınırken, UV metrenin ışık kaynağına doğru bakması gerektiği unutulmamalıdır. Bağıl ışınım değeri, ışık şiddetinden bağımsız olmak üzere, aydınlatıcılar arasındaki UV içeriğinin hızlıca karşılaştırılmasını sağlar. Tablo 1 farklı kaynaklar tarafından yayılan olası UV aralıklarının birimini lümen başına mikrowatt ( $\mu\text{W}/\text{lümen}$ ) cinsinden göstermektedir. En fazla UV içeriğine sahip ışık kaynakları güneş ve yüksek yoğunluklu deşarj lambalarıyken, en düşük UV içeriğini ise LED (light emitting diode) ışık kaynakları verir. Son birkaç on yılda, teknolojideki ilerleme neticesinde, floresan lambalardan yayılan UV miktarı ciddi biçimde düşmüştür. Tablo 1'de verilen UV aralığı floresan tüp lamba değerlerini içermektedir.

**Tablo 1. Farklı ışık kaynaklarından yayılan tipik bağıl UV seviyeleri** (Michalski 2011 ve Saunders 1989'dan güncellenmiş ve adapte edilmiştir).

Işık kaynakları	Bağıl UV seviyeleri ( $\mu\text{W}/\text{lümen}$ )
Akkor, geleneksel (tungsten lambası)	60-80

Akkor, quartz halojen	100-200
Floresan, uzun tp	30-150
Floresan, kompakt	70-150
HID (yüksek yoğunluklu değarj) lambaları	160-700
Beyaz LED	Genellikle 1'in altı
Gün ışığı (dış ortamdan odaya giren ışık)	300-600

### *Mutlak lm*

Mutlak lm cismin birim alanı üzerine düşen UV enerjisinin miktarını metrekaire başına miliwatt (mW/m<sup>2</sup>) cinsinden verir. Bu, cismin gelecekteki durumunu tahmin edebilmek adına gereken UV dozunu tanımlamak için yararlıdır (ışığın dozunu ölçmeye benzer şekilde). Mutlak bir ölüm yaparken, UV metre cismin yüzeyine paralel konumda olmalıdır. Uygun konumlandırma enstrümanının birçok kaynaktan gelen UV ışınımını görmesine imkn tanır.

### *Bağıl ve mutlak UV seviyeleri arasındaki korelasyon*

Bağıl ve mutlak UV seviyelerine birbirine dönüştürmek kolaydır. UV ve ışık ölümleri ölüm enstrümanı cismin yüzeyine paralelken alınır ve ışık Şiddeti lüks cinsinden ifade edilir. Bağıl bir UV değeri mutlak forma aşağıdaki denklem kullanılarak dönüştürülebilir:

$$UV_{mutlak} = \frac{L \times UV_{bağıl}}{1000} \quad \text{Denklem 1}$$

Denklem 1'de L ışık Şiddeti (lüks) lümen/m<sup>2</sup>'dir. UV<sub>bağıl</sub> µW/lümen cinsinden bağıl UV değeriyken, UV<sub>mutlak</sub> ise mW/m<sup>2</sup> cinsinden ifade bulur.

rnek:

Bir tablonun yüzeyi 100 lüks ile aydınlatılırken ve bağıl UV lmnde 75 µW/lümen değeri elde edilmiŐe, tablonun aldığı mutlak UV 100 x 75/1000=7,5 mW/m<sup>2</sup>'dir.

### *Tavsiye edilen azami UV seviyeleri*

#### **Bağıl UV (UV<sub>bağıl</sub>)**

Thomson (1978) tipik bir tungsten lamba tarafından yayılan UV'nin gün ışığından yaklaŐık 6 kat daha az olduğunu bildirdi. Bunun ardından, müzelerdeki ışık kaynakları için tungsten lambasının UV içeriğinin (~75 µW/lümen) st sınır olarak kullanılmasını önerdi ve söz konusu değerin altında herhangi bir filtrelemeye gerek bulunmadığını belirtti. Thomson bu sınır değeri daha azaltmayı özellikle istemedi çünkü insanların yanlıŐlıkla ampullerin önüne plastik filtreler koyup yangın çıkarmasından korkuyordu.

Thomson ayrıca ışığa karşı yüksek ve orta derecede hassasiyeti bulunan cisimler için ışık seviyelerinin düşük tutulması konusunda uzmanları uyardı (yüksek hassasiyete sahip cisimler < 50 lüks, orta hassasiyete sahip cisimler < 200 lüks). Saunders (1989) daha sonra, piyasada bulunan UV filtrelerinin iyi performansını ve ısıya dayanıklılığını dikkate alarak UV<sub>bağıl</sub> için 10

$\mu\text{W}/\text{lümen}$ 'lik bir alt sınır önerdi. Her ne kadar mümkün olan en düşük UV değerini kullanmak arzu edilen bir durum olsa da kabul edilen her iki değer de konservasyon literatüründe bulunmaktadır. Ancak genel uygulama pratiği  $75 \mu\text{W}/\text{lümen}$  civarındadır. Normal gün ışığından kaynaklı UV'yi azaltmak için etkili filtrelerin kullanılması önemlidir. Bu konuda daha fazla bilgi için CCI Notları 2/1 *Morötesi Filtreler*'e bakılmalıdır.

### **Mutlak UV ( $UV_{\text{mutlak}}$ )**

Koleksiyonlar için UV'ye maruz kalma çerçevesinde de azami mutlak UV seviyesinin belirlenmesi önemlidir. Tablo 2 müzelerde rastlanan iki ışık seviyesi için çeşitli bağıl UV tavsiyelerini ve bunlara karşılık gelen mutlak UV değerlerini sıralamaktadır.  $UV_{\text{bağıl}}$  ışık şiddetinden bağımsızdır ve her aydınlatıcı için ışığın kesri (lümen) olarak UV içeriğinin karşılaştırmasını ortaya koymaktadır. Lüks seviyesi arttıkça, mutlak UV de doğru orantılı olarak artar. Bu durum 50 lüks ve 200 lüks senaryolarında açıkça görülmektedir (lüks 4 kat arttığında, mutlak UV de aynı oranda artmaktadır).  $10 \text{ mW}/\text{m}^2$ 'lık bir  $UV_{\text{mutlak}}$  izin verilebilecek bir değer olarak tavsiye edilebilir; çünkü bu değer bir cismin tungsten lambasından alabileceği UV seviyesine yakındır. Daha da önemlisi, bu etkili bir UV filtresi altında düşük ışık şiddetine sahip gün ışığına da benzer bir durumdur.

**Tablo 2. Bağıl ve mutlak UV seviyeleri için farklı tavsiyeler ve senaryolar\***

Tavsiyeler ve ışık kaynakları	$UV_{\text{bağıl}}$ ( $\mu\text{W}/\text{lümen}$ )	50 lükste $UV_{\text{mutlak}}$ ( $\text{mW}/\text{m}^2$ )	200 lükste $UV_{\text{mutlak}}$ ( $\text{mW}/\text{m}^2$ )
Thomson'un tavsiyesi	75	3,8	15
Saunders'ın tavsiyesi	10	0,50	2,0
Gün ışığı (açık gök <sup>1</sup> )	500	25	100
Geleneksel tungsten lamba	75	3,8	15
Gün ışığı, %90 UV filtreleme**	50	2,5	10
Geleneksel tungsten lamba, %90 UV filtreleme**	7,5	0,38	1,5

\*Bir Elsec UV metreyle ölçülen UV değerleri  
 \*\*%90 etkinlik bir Elsec UV metre ile yapılan ölçümde tespit edilen UV kesme performansına dayandırılmaktadır.

Kültürel mirasın korunması alanında, bağıl ve mutlak UV değerleri genellikle İngiltere'de bulunan Littlemore Scientific tarafından üretilen Elsec UV metre ile yapılmaktadır. UV fotodiyodun (ışık yayan diyot) hassasiyeti  $\sim 340\text{-}380 \text{ nm}$  bandındadır. Diğer cihazlarla kaydedilen veriler tavsiye edilen değerlerle karşılaştırma için düzeltmeye gerek duyabilirler. Taşınabilir Elsec UV metrenin ölçüm aralığı ideal olmasa da pratik uygulamalar için oldukça uygundur ve geniş çapta kullanılmaktadır.

### **Mutlak ağırlıklı UV ( $UV_{mutlak-ağ}$ )**

UV'ye maruz kalma çerçevesinde daha detaylı bir değerlendirme yapmak için, farklı dalga boylarının ( $\lambda$ ) malzemelerle potansiyel tepkimesine bakmak mümkündür. Zarara uğraması muhtemel cisimleri kaplamak için malzeme satın almadan önce bu noktaya dikkat etmek önemlidir. Kısa dalga boylarının organik malzemelerin yapısına daha fazla zarar verdiği bilinmektedir. 1951'de, Ulusal Standartlar Bürosu (National Bureau of Standards) farklı dalga boylarının asitli kâğıt üzerinde oluşturduğu fotokimyasal zarar seviyelerini açıkladı. Michalski (1987), Feller (1994), Andradı ve ekibi (1998) ve Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (CIE 2004) daha sonra içinde boya maddelerinin de olduğu çeşitli malzemelerin uğradığı zarar ve dalga boyu ilişkisine dair örnekleri derlediler. Her malzeme, kendine özgün enerji emme karakteristikleri yoluyla ışınım ile ilişki kurmaktadır. Bu yüzden, zarar tahminleri çok geneldir.

Bir zarar fonksiyonu  $D(\lambda)$  CIE (2004) ve Uluslararası Standardizasyon Kurumu (ISO 2003) tarafından UV ve ışığın cisimler üzerindeki tepkimesini ampirik olarak temsil etmek için kabul edildi. Bu kabul suluboyaların ve yağlıboyanın ışık etkisi altında renk değiştirmesi üzerinden yapıldı. Fonksiyon zararı  $\lambda=300$  nm'deki zarara oranla, aşağıdaki denklem uyarınca normalize etmektedir.

$$D(\lambda) = \exp[-0,0115(\lambda - 300)]$$

**Denklem 2**

Ağırlıklı UV değeri hasar fonksiyonunun ve her dalga boyundaki mutlak UV'nin ( $UV_{mutlak}(\lambda)$ ) çarpımının entegre edilmesiyle hesaplanır. Hasar fonksiyonu hasarın 300 nm'de 1 olacağı şekilde normalize edilmiştir. Bu, bir cismin aldığı toplam ağırlıklı mutlak değer aşağıdaki gibi tanımlanmasına izin verir:

$$UV_{mutlak,ağ} = \sum_{\lambda=300}^{400} UV_{mutlak}(\lambda) D(\lambda)$$

**Denklem 3**

Denklem 3'le elde edilen değer birimi  $mW/m^2$ 'dir. Denklem 3'ün formu birer dalgaboyluk aralıklarla elde edilen  $UV_{mutlak}$  ölçümleri ile oluşur. Cam ve birçok plastik malzeme 300 nm'nin altındaki dalga boylarını etkin biçimde filtrelemektedir. Bu yüzden, entegrasyon 300 nm ile görülebilir ışınımın başladığı 400 nm arasında yapılmaktadır. Farklı senaryolardan elde edilen bazı  $UV_{mutlak, ağ}$  değerleri Tablo 3'te gösterilmektedir. Gün ışığının  $UV_{mutlak, ağ}$  değerini aynı şartlarda tungsten lambanıyla karşılaştırdığımızda (ışık şiddeti ve UV filtrelemesi), gün ışığının tungsten'e nazaran 10-13 kat daha zarar verici olduğu açığa çıkar.

**Tablo 3. CIE (2004) zarar fonksiyonuna dayalı farklı senaryolar için 300-400 nm arası ağırlıklı mutlak UV seviyeleri (mW/m<sup>2</sup>)**

Işık kaynakları	50 lükste UV <sub>mutlak, ağ</sub>	200 lükste UV <sub>mutlak, ağ</sub>	500 lükste UV <sub>mutlak, ağ</sub>
Gün ışığı*	23	92	230
Gün ışığı*, %30 UV filtreleme** (adi cam)	17	67	170
Gün ışığı*, %90 UV filtreleme**	2,9	12	29
Gün ışığı*, %99,5 UV filtreleme**	0,051	0,2	0,51
Geleneksel tungsten lamba	1,9	7,7	19
Adi camlı geleneksel tungsten lamba, %30 UV filtreleme**	1,3	5,3	13
Geleneksel tungsten lamba, %90 UV filtreleme**	0,29	1,2	2,9
Geleneksel tungsten lamba, %99,5 UV filtreleme**	0,0044	0,018	0,044
*Gün ışığı: Ottawa'da mavi gökyüzü, öğleden sonra erken saatler, Mayıs 2013 **30, 90 ve 99,5 verimler bir Elsec UV metre ile yapılan ölçümde tespit edilen UV kesme performansına dayandırılmaktadır.			

Müzelerdeki bağıl ve mutlak UV seviyelere ilişkin gözden geçirilmiş olan tavsiyelerin üzerine inşa etmek üzere UV<sub>mutlak, ağ</sub> için 10 mW/m<sup>2</sup> değeri önerilmektedir. Eğer endişe esas itibariyle renk kaybı yerine malzeme yapısının bozunmasıyla ilişkiliyse, Denklem 2 yerine aşağıda yer alan değiştirilmiş denklem kullanılabilir:

$$D(\lambda) = \exp[-0,03(\lambda - 300)]$$

**Denklem 4**

Gazete, ahşap, kauçuk ve boya gibi farklı malzemelerin bozunması bu fonksiyonu daha iyi izler çünkü uzak-UV (300 nm'ye doğru) malzemenin fiziksel yapısını yakın-görülür banda nazaran daha fazla etkiler. Neyse ki, uzak-UV sıkça kullanılan malzemeler tarafından rahatlıkla filtrelenebilir. Denklem 4'teki ampirik hasar fonksiyonu literatürdeki farklı çalışmaların bir araya getirilmesiyle oluşmuştur (Tétreault 2013). Hangi fonksiyonun

kullanılacağı açık değilse, en sık kullanılan ve en muhafazakâr fonksiyon olduğundan dolayı boyar maddelerle ilgili fonksiyon (Denklem 2) tercih edilmelidir.

UV ışınımının dalga boyuna bağlı toplam tepkiselliğinin değerlendirilmesi büyük ihtimalle cisimler üzerindeki etkisinin değerlendirilmesinde izlenecek en doğru yoldur. Ancak, bu yöntem aynı zamanda uygulaması zor bir yöntemdir; çünkü özel enstrümanlara gereksinim duyar (entegre edici bir küreyle donatılmış bir spektrofotometre). Bu teknolojiye erişim ileriki yıllarda kolaylaşabilir. Ancak bu arada, bazı kısa yollar önerilebilir. Eğer amaç solar ışınımdan gelen UV'nin etkisini ortaya çıkartmaksa, ISO 9050:2003, *Binalarda Cam-Işık Geçirgenliğinin Tespiti, Solar Doğrudan Geçirgenlik, Toplam Solar Enerji Geçirgenliği, Morötesi Geçirgenlik ve İlgili Pencere Faktörleri* 'nde adı geçen normalize edilmiş bağıl solar spektral dağılım kullanılabilir (bu bilgi Standart'ta bulunan Tablo 2'den bulunabilir). Denklem 2

$$UV_{mutlak,ağ} = \cos\varphi \sum_{\lambda=300}^{400} S(\lambda) D(\lambda) T(\lambda) \quad \text{Denklem 5}$$

Denklemini meydana getirmek amacıyla değiştirilir. Denklem 5'te  $S(\lambda)$  gün ışığı spektral güç dağılımı ve  $T(\lambda)$  üretici tarafından sağlanan kaplayıcı şeffaf malzemenin UV geçirgenliğini temsil eder. Eğer geliş açısı,  $\varphi$ , önemli bir değere sahipse, ışınım şiddetinde bir azaltma dikkate alınmalıdır.  $\varphi = 0$  olduğunda enerjinin yüzeye dik geldiğine ve  $\cos(0^\circ)=1$  olduğuna dikkat edin. Aynı zamanda, üreticiden belirli bir ışık kaynağına ait spektrumu talep etmek de mümkündür. Bunu yaparken doğru lümen sayısına ayarlama yapmak konusunda hazırlıklı olmalısınız (ör: 50 lüks=50 lümen/m<sup>2</sup>). Ağırlıklı mutlak UV seviyelerinin 200 lüksteki (Tablo 3) açık Ottawa gökyüzü<sup>1</sup> ile karşılaştırması için solar dağılım  $S_{(\lambda)}$  (ISO 9050'den) 31 ile çarpılmalıdır.

## UV'ye Maruz Kalma Sonucunda Oluşan Zararı En Aza İndirmek

UV enerjinin cisimler üzerindeki zarar verici etkisini azaltmanın iki temel yolu vardır. Bu yollardan ilki cismin maruz kaldığı UV seviyesini günün herhangi bir saatinde azaltmaktır. Bu, düşük UV içeriği bulunan bir ışık kaynağı seçmek suretiyle (bkz. Tablo 1), ışık şiddetini azaltarak ve UV enerjisini filtreleyerek (bkz. CCI Notları 2/1 Morötesi Filtreler) yapılabilir. İkinci yöntem basit olarak maruz kalma süresini sınırlandırmaktır. Her iki yöntem de toplam UV dozunu (UV dozu=**alınan UV enerjisi** x **maruz kalma süresi**) ışığı dimmerlar (ışık azaltıcı cihazlar) vasıtasıyla azaltmaya (ışık dozu=**lüks** x **maruz kalma süresi**) benzer bir şekilde azaltmayı amaçlar.

UV seviyesini bir cismin aldığı ışık ve UV dozlarını zaman içerisinde kayıt altında tutan bir veri toplayıcısı vasıtasıyla kaydetmek mümkündür. Aydınlanma salınıyorsa, ışınımı zaman içerisinde kaydetmek fayda sağlayacaktır. Bu tür bir salınım hem gün ışığı hem de elektrik aydınlatması kaynaklı olabilir.



Unutmayınız ki, solar ışınım, açık bir gökyüzünden<sup>1</sup> bile geliyor olsa, çok fazla UV yayar. Tersine, sıklıkla kullanılan beyaz LED'ler önemli miktarda UV yaymazlar. Çok sayıda almadan evvel, diğer lamba türleri için teknik literatüre göz atmakta fayda bulunur. Birçok uygulama için 90 veya üzeri ve renk sıcaklığını kontrol edecek kadar düşük (CCT 3500 K'in altında) için bir Renk Renderlama İndeksi (CRI-Renksele Geriverim İndeksi)) bulmaya çabalayın. Aydınlatmanın kalitesi ve cismin yüzeyine UV yayımını kontrol etmek için farklı lambalarla deneyler yapın. Sonuçta, önemli olan cismin kendi ortamında ne kadar bir UV ışınımına maruz kaldığının belirlenmesidir.

## Sonuç

İster mutlak ister bağıl isterse mutlak ağırlıklı olarak temsil edilsin, tavsiye edilen azami UV, müze uzmanlarına UV'nin koleksiyon üzerindeki zararlı etkisini asgari seviyeye çekmeleri konusunda rehberlik edebilir. Bu değerler, cisimlerin ışınımına karşı hassasiyetlerindeki ortaya çıkan yeni gelişmeler, teknolojideki ilerlemeler ve koruma ile sürdürülebilirlik arasındaki dengenin dayatacağı yaptırımların ışığı altında ileriki yıllarda değişebilir. Risk değerlendirmesi açısından, UV ışınımı ile malzemeler arasındaki potansiyel tepkimelerin nicel hale getirilmesine yönelik çalışmalar için ilgi artmaktadır. Bu, cismin olası hasarı hakkında bilgi verebilecek ağırlıklı mutlak UV'nin ölçülmesi veya cisimler tarafından alınan UV'nin ölçülmesi yoluyla başarılabilir. Her iki durumda da organik malzemeler için seviyeyi 10 mW/m<sup>2</sup>'nin altında tutmakta fayda bulunmaktadır.

## Dip Notu

<sup>1</sup> "Açık gökyüzü" terimi güneşe karşı öğle vakti açık gökyüzünü tarifler. Kuzey Yarımküre'de, güneş güneydeyken açık gökyüzü gökyüzünün kuzeyinde bulunur. Alternatif olarak, Güney Yarımküre'de ise güneş kuzeydeyken açık gökyüzü gökyüzünün güneyinde yer alır.

## Referanslar

Andrady, A.L., S.H. Hamid, X. Hu and A. Torikai. "Effects of Increased Solar Ultraviolet Radiation on Materials." *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 46 (1998), pp. 96–103.

CIE (International Commission on Illumination). *CIE 157:2004. Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation*. Vienna, Austria: CIE, 2004.

Feller, R.L. *Accelerated Aging: Photochemical and Thermal Aspects*. Research in Conservation. N.p.: The J. Paul Getty Trust, 1994.

International Organization for Standardization (ISO). *ISO 9050:2003. Glass in Building – Determination of Light Transmittance, Solar Direct Transmittance, Total Solar Energy Transmittance, Ultraviolet Transmittance and Related Glazing Factors*. 2nd ed. Geneva, Switzerland: ISO, 2003.

National Bureau of Standards (NBS). *Preservation of the Declaration of Independence and the Constitution of the United States*. NBS Circular 505. Washington, DC: NBS, 1951.

Saunders, D. *Ultra-Violet Filters for Artificial Light Sources*. National Gallery Technical Bulletin 13. London, UK: The National Gallery, 1989, pp. 61–68.

Saunders, D., and J. Kirby. “Wavelength-dependent Fading of Artists’ Pigments.” In A. Roy and P. Smith, eds., *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research. Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress*. London, UK: International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 1994, pp. 190–194.

Tétreault, J. *Damage Function Based on UV Spectrum for Different Materials*. CCI Report 125877. Ottawa, ON: Canadian Conservation Institute, 2013.

Tétreault, J. *Ultraviolet Filters*. CCI Notes 2/1. Ottawa, ON: Canadian Conservation Institute, 2015.

Thomson, G. *The Museum Environment*. 1st ed. London, UK: Butterworths, 1978.