



TEKSTİL ÜRÜNLERİNDE SOLAR GEÇİRGENLİK

Sinem YELKOVAN¹, Erhan KENAN ÇEVEN² ve Gizem KARAKAN GÜNAYDIN^{3*}

¹Tekstil Mühendisliği Bölümü / Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye

²Tekstil Mühendisliği Bölümü / Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye

³Moda Tasarım Programı, Buldan Meslek Yüksekokulu, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye

*ggunaydin@pau.edu.tr Başlıca yazarın mail adresi

Özet – Güneş bütün canlılar için vazgeçilmez bir hayat kaynağı olması yanında dünyadaki canlıların günlük yaşamını da etkilemektedir. Güneşin sahip olduğu farklı dalga boyunda ışınlar ve bu ışınların değişik güçteki etkileri sayesinde çeşitli biyolojik olaylar başlamakta, sürmekte ve hızlanıp yavaşlamaktadır. Güneşten dünya üzerine gelen radyasyon; insan gözünün gördüğü görünür radyasyon (ışık), ısı olarak ciltte hissedilen infrared radyasyon (ışık) ve görünmeyen, hissedilmeyen ve en tehlikeli olan ultraviyole radyasyon olarak sayılabilmektedir. Ultraviyole radyasyon; 315-400 nm dalga boyu aralığında bulunan UVA ışınlarından (dalga boyu en uzun ve enerjisi en az olan ışınlar), 280-315 nm dalga boyları arasında bulunan UVB ışınlarından (enerji ve dalga boyu açısından ortada yer alan) ve 280’den daha az dalga boyuna sahip UVC ışınlarından (dalga boyu en kısa ve enerjisi yüksek ve oldukça tehlikeli olan ışınlar) oluşmaktadır. Günümüzde enerji kaynaklarının kısıtlı hale gelmesi güneş ışığı, rüzgâr vs. gibi kaynaklardan maksimum düzeyde faydalanabilme imkanı sunan malzemelerin kullanımı ve yaygınlaştırılmasını zorunlu kılmıştır. Bu kapsamda tekstil ürünlerinin solar geçirgenlik özelliklerinin araştırılması da literatürde büyük önem taşımaktadır. Işık bir tekstil yüzeyine temas ettiğinde ışığın bir kısmı yüzey tarafından absorbe edilmekte, bir kısmı yüzey içerisinden geçip gitmekte, bir kısmı da yansımaktadır. Kumaşların ışığa karşı göstermiş oldukları bu davranışı etkileyen lif yapısı ve özellikleri, iplik yapısı ve özellikleri, (eğirme türü, iplik türü, büküm, numara), kumaş geometrisi (sıklık, örgü, gramaj, kalınlık), kumaş yüzeyi (tüylülük, pürüzlülük), örgü ve desen tasarımı, gözeneklilik (porozite), örtü faktörü (kompaktlık) gibi pek çok parametre vardır. Bu çalışmada tekstil ürünlerinde solar geçirgenlik kavramı, solar geçirgenliği etkileyen kumaş parametreleri ve solar geçirgenlik ölçüm cihazları genel hatlarıyla tanıtılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Solar Geçirgenlik, Solar Radyasyon, UV Işık, Kumaş Yapısı

I.GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynaklarının kısıtlı hale gelmesi, farklı kaynaklardan faydalanmaya yönelik çalışmaların hızlanmasını sağlamıştır. Bu kapsamda tekstil ürünlerinin solar geçirgenlik özelliklerinin araştırılması büyük önem taşımaktadır.

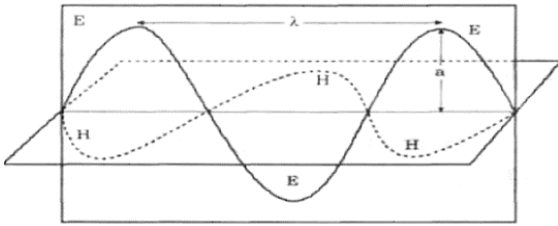
Konut ve iş yeri şeklinde kullanılan binalarda harcanan enerji dünyada tüketilen toplam enerjinin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. Binalardaki pencereler, ısıtma -soğutma amaçlı kullanılan

enerjinin kaybolmasına yol açabilmektedir. Uygun cam ve çerçeve sistemlerinin kullanılmasına ilave olarak enerji tasarrufuna katkı sağlayacak tekstil sistemlerinin de kullanılması önemlidir.

Elektromanyetik Radyasyon ve Elektromanyetik Dalga

Elektromanyetik radyasyon uzayda çok büyük bir hızla yayılan bir enerji şeklidir. Elektromanyetik dalgalar, dalga boylarına veya enerjilerine göre çok geniş bir alana yayılırlar.

Klasik fizikte dalgalar; elektromanyetik dalgalar ve mekanik dalgalar olarak ikiye ayrılmaktadır. Dalga denildiğinde akla ilk denizde oluşan harektir. Denizde oluşan bu dalga mekanik dalga olarak adlandırılmaktadır. Bir taşın suya düşmesi ile oluşturduğu bir dalga, suyun üzerinde bulunan bir topu yer değiştirmeden hareket ettirir. Top, bulunduğu yerde düşey olarak salınmakta ve su ilerlememektedir. Burada yer değiştiren su değil yüzeyindeki düzensizliktir. Suda oluşan dalga enerji taşır ama suyu taşımaz. Yine ses dalgaları da enerji taşır, havayı taşımaz.

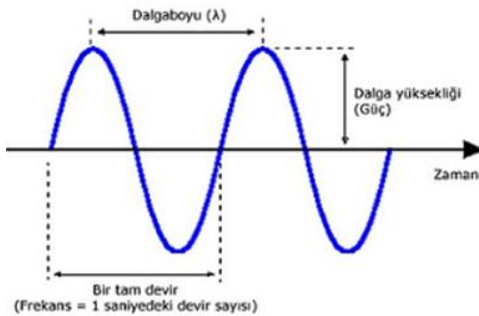


Şekil 1. Elektromanyetik dalga, elektrik vektörü (E) ve Manyetik vektör (H) [1]

Işık ise bir elektromanyetik dalga örneğidir. Elektromanyetik dalga, elektrik ve manyetik bileşenlerden oluşmaktadır. Bu iki bileşen birbirine ve hareket yönüne dik titreşim yapmaktadır. Enerji aktarımında yalnızca elektrik bileşeni etkilidir [1].

Dalga Boyu (λ)

Bir dalga örüntüsünün tekrarlanan birimleri arasında mesafedir. Dalga boyu (λ) sembolü ile gösterilmektedir. Frekans ile ters orantılıdır yani dalga boyu uzadıkça frekans azalmaktadır. Dalga boyu, metre (m), santimetre (cm), milimetre (mm), mikrometre (μm), nanometre (nm), angström (Å) gibi birimlerle ifade edilmektedir. Birimler arasında 1 cm = 104 μm = 107 nm = 108 Å ilişkisi vardır.



Şekil 2. Dalga boyu ve frekans ilişkisi [18]

Frekans (ν)

Frekans bir olayın birim zamanda hangi sıklıkla, kaç defa tekrarlandığının ölçümüdür, matematiksel ifadeyle çarpmaya göre tersi ise periyot olarak adlandırılmaktadır. Birimi (s⁻¹)'dir ve hertz (Hz) olarak tanımlanmaktadır.

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

*Eşitlikte c= hız ve λ= dalga boyunu ifade etmektedir.

Periyot (P)

Birbirini takip eden iki dalga tepesinin belli bir noktadan geçmesi için gerekli süredir. Birimi sn. dir.

Dalga Sayısı (ν̄)

Birim uzunluktaki dalga sayısıdır. Birimi (cm⁻¹)'dir. Dalga sayısı 1/λ olarak tanımlanmaktadır.

Genlik (a)

Bir dalgada maksimumun yüksekliği veya minimumun derinliğidir. Işının şiddeti veya parlaklığı genliğin karesi (a²) ile orantılıdır.

Hız (c)

Işının birim zamanda aldığı yol hızı vermektedir. Dalganın dalga boyuyla frekansının çarpımı o dalganın hızını belirlemektedir.

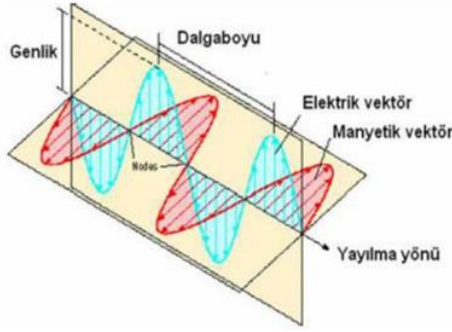
Fotonlar

Foton, ışık veya diğer elektromanyetik radyasyon türlerini temsil eden bir parçacıktır. Bir elektromanyetik ışının madde ile etkileşmesini anlamak için ışının kütlesi olmayan, dalga hareketi yaparak ilerleyen foton adı verilen taneciklerden oluştuğu kabul edilmiştir. Bu durumda fotonun enerjisi frekansı ile orantılıdır.

$$E = h \cdot \nu \text{ veya } E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

*Eşitlikte: E= fotonun enerjisi, ν= frekans ve h= plank sabiti (6,634x10⁻³⁴ j/s), λ= dalga boyu ve c= hız olarak ifade edilmektedir.

Bir ışın elektrik ve manyetik olmak üzere iki alana sahiptir. Bu alanlar sinüsoidaldır yani ışının yayılma yönüne ve birbirlerine diktir. Bir ışının maddeyle ilişkisi, bu iki alan vasıtasıyla olmaktadır.



Şekil 3. Elektromanyetik ışınım [1]

Bir madde üzerine ulaşan ışın, bu maddenin atom veya molekülleri ile etkileşime girmektedir. Bu etkileşim sonucunda ışın ya maddeden geçerek ilerlemekte ya da madde tarafından soğurulmakta, yansımakta veya saçılmaktadır. Işın ile madde arasındaki etkileşimler şunlardır:

- ✓ Işının kırınımı
- ✓ Işının kırılması
- ✓ Işının yansımaları
- ✓ Işın saçılması
- ✓ Işın polarizasyonu
- ✓ Işın emisyonu (yayılması)
- ✓ Işın absorpsiyonu (soğurulması) [1]

Işının Kırınımı (Difraksiyon)

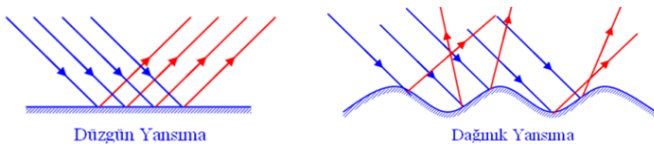
Fizikte kırınım; "Işık, ses ve radyo elektrik dalgalarının karşılaştığı bazı engelleri dolanarak geçmesi." anlamında kullanılmaktadır.

Işının Kırılması

Saydam bir ortamdan başka bir saydam ortama geçerken ışınların bir kısmı yansınarak geldiği ortama dönerken bir kısmı da ikinci ortama doğrultusunu ve hızını değiştirerek geçmektedir. Işın ikinci ortama geçerken doğrultu değiştirmesine ışının kırılması adı verilmektedir.

Işının Yansımaları

Farklı iki ortamın ayrılma yüzeyine gelen bir ışığın diğer ortama geçemeyerek geri dönmesine yansımaları adı verilmektedir. Işık pürüzlü yüzeylerde dağınık, pürüzsüz yüzeylerde düzgün yansımaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Işının düzgün ve dağınık yansımaları [1]

Işının Saçılması

Işının bir ortamdan geçerken tanecikler tarafından alıkonulup tekrar geri salınması olayına saçılmaları denir. Saçılmada gelen ışığın dalga boyu ile madde içindeki tanecik çapı önemlidir.

Işının Polarizasyonu

Işık kendi doğrultusunda hareket ederken aşağı yukarı, sağa sola hareket etmektedir. Polarize eden, yani kutuplaştıran filtreler ise ışığın sadece bir yönde titreşen dalgalarının geçmesine izin vermektedir. Işığın böyle tek yönlü titreştirilmesine polarizasyon (kutuplaştırma) adı verilmektedir.

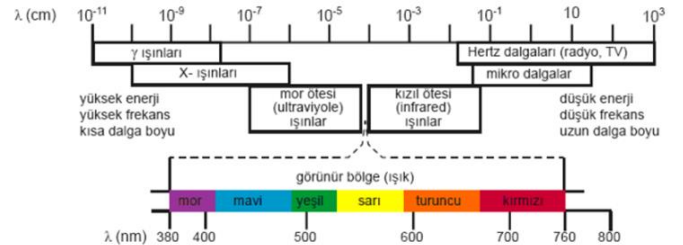
Işının Emisyonu (Yayılması)

Gaz halindeyken belli bir enerji ile uyarılan atom veya moleküllerdeki elektronlar uyarılmış halde kalmayıp hemen ilk durumlarına döner ve bu sırasında belli bir ışın yayar. Yayılan bu ışının enerjisi uyarılmış elektronun bulunduğu enerji düzeyi ile ilk enerji düzeyi arasındaki enerji farkına eşittir.

Işının Absorplanması

Çeşitli dalga boylarında ışın içeren bir demet, saydam bir ortamdan geçirilirse içinden bazı dalga boylarının kaybolduğu görülür. Buna ışının absorplanması adı verilmektedir [1].

Tüm elektromanyetik dalgaları içeren dizilime elektromanyetik tayf (spektrum) adı verilmektedir [1] Bu spektrum kısa dalga boyundan uzun dalga boyuna göre; Gama ışınları, X-ışınları, Ultraviyole ışınları, Görünür (visible) ışınları, Kızıl ötesi ışınlar (infrared) ve Radyo dalgaları olarak sıralanmaktadır.



Şekil 5. Elektromanyetik spektrum [1]

Gama Işınları

Bu ışınlar en kısa dalga boyuna ancak en yüksek frekanslara ve en büyük foton enerjisine sahiptir.

Gama ışınları ayrıca “iyonize radyasyon” olarak da adlandırılmaktadır.

X-Işınları

Gama ışınları daha uzun dalga boyuna, daha düşük frekans ve enerjiye sahiptir. Çeşitli materyallerin içinden geçebildiklerinden organ ve kemiklerin görüntülenmesi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ultraviyole (Mor Ötesi) Işıklar

Ultraviyole (UV) dalgaları görünür ışıktan daha kısa dalga boyuna sahiptir. Bu nedenle bu dalga boylarını insan gözü görememektedir. Ultraviyole radyasyon (UVR) yayan birkaç yapay kaynak olmasına rağmen bu radyasyon türünün en önemli kaynağı güneştir. Güneş 100–400 nm dalga boyu (λ) aralığında UV radyasyonu yaymaktadır. UV radyasyonunda kendi içerisinde UV-C (100–280 nm), UV-B (280–315 nm) ve UV-A (315–400 nm) olmak üzere 3 kısma ayrılmaktadır.

UV-A Işıkları

UV-A ışınının dalga boyu 320-400 nm arasındadır. UV ışınları içerisinde enerjisi en düşük ancak dalga boyu en yüksek olan ışınlardır. Düşük seviyelerde UV-A radyasyonu ozon tabakası tarafından emilmekte ve güneş tarafından yayılan radyasyonun %95'e kadarı dünya yüzeyine ulaşmaktadır. Elektromanyetik spektrumda dalga boyu azaldıkça enerji artmaktadır. En uzun dalga boyuna sahip olan UV-A ışınları görünür ışık dalgalarına kıyasla daha fazla enerji içermesine rağmen diğer UV ışınlarına göre daha tehlikesizdir. UV-A ışınları UV-B ve UV-C ışınlarından daha az enerji içermesine rağmen bu ışınlar derinin altına geçebilmekte ve ozon tabakası tarafından tutulmadıklarından dolayı yüksek oranda yeryüzüne ulaşabilmektedir. UV-A ışınları ciltte zaten var olan melaninin kalorik etkisine ve hızlı pigmentasyonuna neden olmakta ve uzun süre maruz kalınması durumunda UV-B radyasyonuna benzer kronik ve yan etkiler üretmektedir ([2], [4]).

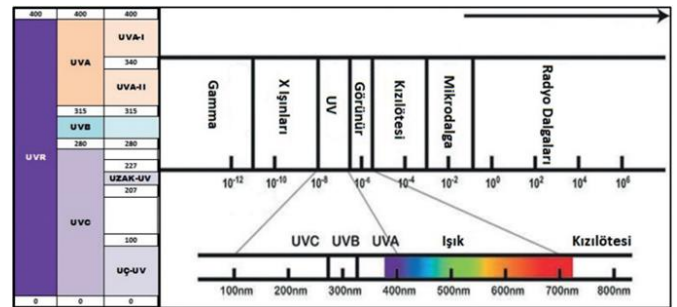
UV-B Işıkları

UV-B ışınının dalga boyu 280-315 nm arasındadır. UVB radyasyonu kısmen ozon tabakası tarafından emilmekte ve güneş tarafından yayılan toplam radyasyonun %5'i olarak dünya yüzeyine ulaşmaktadır. Bu tür radyasyonun insanlar üzerindeki ani etkileri, D vitamini sentezi için

gereklili olan kalorik ve anti-raşitik etkileri ürettiği için faydalıdır. Bununla birlikte bu radyasyona aşırı derecede maruz kalındığında; cilt yanıklarının oluşması, cilt kalınlığının artması ve cildin erken yaşlanmasına neden bulunan melanin oluşumunun artması gibi birçok olumsuz durum oluşabilmektedir. Ayrıca bu radyasyonun cilt kanseri ve bağışıklık sistemini etkileyen hücrelerin DNA'sındaki hasar da dahil olmak üzere çok tehlikeli kronik etkileri de bulunmaktadır [2].

UV-C Işıkları

UV-C ışınının dalga boyu 200-280 nm arasındadır. Bu ışınlar dalga boyu en kısa enerjisi en yüksek olan ışınlardır. Bu ışınlar çok enerjik olduğundan potansiyel olarak en fazla zararlı olanlardır [3]. Ancak UVC ışınlarının çok büyük bir kısmı stratosferde ozon tabakası tarafından soğurulduğu için bu ışınlar dünya yüzeyine erişmemektedir. Küresel ısınmanın artması ve bunun sonucu olarak ozon tabakasında meydana gelen incelmeyle birlikte güneş kaynaklı UVC ışınlarının dünya yüzeyine ulaşması canlıların yaşamını devam ettirmesi için büyük tehlike oluşturacaktır. Ayrıca bu ışınlar; ark kaynağı yapılırken, boya kurutma işlemlerinde, fotolitografi, solaryum, dermatoloji, dişçilik, plastik sertleştirme ve led ya da cıva lambalarının çalışması sırasında yapay olarak da üretilmektedir. Bu ışınlar koruyucu önlemler alınmadan hiçbir şekilde maruz kalınmamalıdır. Deri veya göz ile teması sonucunda kansere yol açmaktadır ([2], [4]).



Şekil 6. Elektromanyetik spektrumda UV-A, UV-B ve UV-C bölgelerinin yeri [4]

Görünür (Visible) Bölge Işıkları

Görünür bölge ışınları 400-700 nm arasındaki alanı kapsamaktadır. Bu ışınlar adından da anlaşılacağı üzere insan gözüyle görülebilmektedir. Görünür ışığın farklı dalga boyları, gökkuşağının renkleri olarak görülen; kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi, çivit mavisi ve mordur. Kırmızı renk en uzun dalga

boyuna (yaklaşık 700 nm) sahipken, mor renk en kısa dalga boyuna (380 nm) sahiptir.

Kızıl Ötesi Işıklar (Infrared)

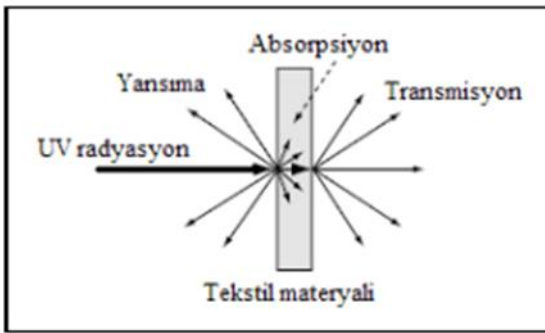
Kızılötesi ışınların aralığı 1 mm ile 750 nm arasındadır. Dünya'ya ulaşan elektromanyetik radyasyonun önemli bir kısmından sorumludur. Bu ışınlar insan gözü ile görülemez ancak sıcaklık olarak hissedilebilmektedir. Uzak kızılötesi, orta kızıl ötesi ve yakın kızıl ötesi olarak 3 gruba ayrılmışlardır.

Radyo Dalgaları

Bu ışınlar en uzun dalga boyuna ancak en düşük frekansa sahiptir. Bu dalgalar radyo haberleşmesinde, televizyonda ve radarda kullanılmaktadır.

Tekstil Ürünlerinde Solar Geçirgenlik

Ultraviyole radyasyon tekstil kumaşına ulaştığında UV ışık dağılımı için birkaç olası yol vardır. Bunlar yansıma, emilme (absorbsiyon) veya transmisyonudur. Gelen radyasyonun bir kısmı lifler tarafından emilir, yani farklı bir enerji formuna dönüştürülür. Bir diğer kısmı ise lifler ve iplikler arasındaki boşluklardan doğrudan kumaşa geçer ve bu kısım 'aktarma' olarak adlandırılır. Bazı radyasyonlar ise lifler tarafından yansıtılır veya saçılır, bu da diğer lifler tarafından emilmezse iletilen radyasyona katkıda bulunabilir.



Şekil 7. UV radyasyonun yansıması, absorpsiyon ve transmisyonu [5]

Kumaştan geçen radyasyonun miktarı spektral geçirgenlik (TL) olarak bilinmektedir. Gelen ışının küçük bir kısmı dağılmadan kumaşın içinden geçmekte, ancak daha büyük bir kısmı malzeme içinde dağılmakta ve gelen ışından farklı bir yönde çıkmaktadır.

Solar Geçirgenliğin Ölçülmesi

Tekstil malzemelerinin UV ışınlarından koruma özellikleri in vitro yöntem (spektrofotometrik yöntem) ve in vivo yöntem (veya laboratuvar/insan derisi yöntemi) olmak üzere iki yöntem ile test edilmektedir. In vitro yöntem ultraviyole koruma faktörü (UPF), in vivo yöntemde ise güneş koruma faktörü (SPF) olarak isimlendirilmektedir. UPF değeri tekstil malzemelerinde kullanılan bir terimken, SPF değeri UV koruyucu kremlerde kullanılan bir terimdir.

In vitro yöntemde deneklere gereksinim bulunmamakta ve ölçüm birkaç saniye içinde kolayca gerçekleştirilebilmektedir. Yöntemin nesneliği ve tekrarlanabilirliği in vivo yöntemle göre çok daha fazladır çünkü sonuç, uzmanın görsel gözlemine veya her denneğin cilt tipine bağlı değildir. İnsan denekler üzerinde yapılan in vivo testler, kumaşlı ve kumaşsız bir test denegi için minimum eritem dozunun belirlenmesine dayanmaktadır. In vivo yöntemde ise, ölçülen SPF değeri büyük ölçüde her bireyin cilt tipine bağlıdır ve bu nedenle güvenilir sonuç alabilmek için çok sayıda insan denek gereksinimi vardır. Ayrıca uzman personelin önemli bir hataya yol açmadan, ciltte kızarmasının meydana geldiği anı tam olarak belirlemesi gerekmektedir. Bu faktörlerin, yöntemin hızı, tekrarlanabilirliği ve nesneliği üzerinde olumsuz bir etkisi vardır ([2], [8]).

In Vivo Yöntem:

Güneş Koruma Faktörü (SPF):

Güneş koruma faktörü (SPF), güneş ışığının yan etkilerine karşı bir maddenin sağladığı koruma derecesidir. Güneşten koruyucu maddenin kullanılması ile oluşan eritemin (güneşe maruz kalma sonucu oluşan cilt kızarıklığı) oluşmaya başladığı zamanın, koruyucu madde kullanılmadan ortaya çıkan eritemin başlangıç zamanına oranı ile hesaplanmaktadır [6].

Ultraviyole Koruma Faktörü (UPF):

Bir kumaşın UV ışınlarına karşı ne ölçüde direnç sağladığı ultraviyole koruma faktörü (UPF) ile tanımlanmaktadır. UPF, giysi tarafından tamamen

maruz kalan UV birimlerinden bloke edilen ultraviyole ışık birimleri olarak tanımlanabilmektedir. Normalde 15-24 arası bir UPF derecesi iyi, 25-40 arası çok iyi ve 40-50+ arası mükemmel olarak kabul edilmektedir. Giysinin UV engelleme yeteneği, kullanılan malzeme türü, iplik parametreleri, kumaş yapısı, uygulanan apreler ve renk gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [7].

UPF, bir kişinin giysi ile korunmamış cildinde UV ışınları ile oluşan kızarıklığın, giysi ile korunmuş deride ne kadar sürede oluşabileceğini ve böylelikle kişinin güneş altında ne kadar daha uzun süre kalabileceğini belirtmektedir. Bir kumaşın UPF'sinin belirlenmesinde üç faktör vardır. Bunlar;

- **Kumaşın Spektral Geçirgenliği:** Her UV dalga boyunda kumaşın içinden geçen enerji miktarıdır.
- **Güneşin Spektral Işınımı:** Her dalga boyu için dünya yüzeyine gelen güneş enerjisi miktarının bir fonksiyonudur.
- **Eritim Etki Spektrumu:** Her bir dalga boyu için cilt üzerinde oluşan UV radyasyon etkisinin değer spektrumudur ([2], [5]).

UV koruma faktörü havada etkili olan UV ışınlarının ortalamasının (ED), kumaştan geçerek etkili olan UV ışınlarının ortalamasına (ED_f) oranı ile hesaplanmaktadır.

$$UPF = \frac{ED}{ED_f} = \frac{\sum_{\lambda=290}^{\lambda=400} E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=290}^{\lambda=400} E(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda}$$

*Eşitlikte; E(λ) eritem etki spektrumu, S(λ) güneşin spektral ışınımını (W m⁻²nm⁻¹), Δ(λ) nm cinsinden ölçülen dalga boyu aralığını, T(λ) kumaş örneğinin spektral ortalama geçirgenliğini ve λ nm cinsinden dalga boyunu ifade etmektedir.

In Vitro Yöntem:

Spektrofotometre ile Ölçüm:

Kumaşların solar özellikleri spektrofotometre cihazı ile ölçülmektedir. Bu cihazlar 280-2500 nm dalga boyu aralığında ölçümler yapmaktadır. Teste başlamadan önce ölçülen parametreye göre (transmitans, absorbans ve reflektans) doğrulama ölçümleri (base-line) alınmaktadır. Ölçüm sonuçlarına göre de standartlar ve denklemler

yardımla aşağıda yer alan veriler elde edilmektedir.



Şekil 8. Spektrofotometre Ölçüm Cihazı

Görünür Işık Geçirgenliği (Visible Light Transmittance) (T_v):

Görünür spektrum (toplam aydınlatma) olarak adlandırılan 380-780 nm dalga boyunda kumaştan yayılan ışığın toplam yüzdesidir. Görünür geçirgenlik (T_v) ve görünür yansımaya (ρ_v), bir cam yüzeye dikey olarak gelen görünür ışık demetinin, iletilen veya yansıyan ışığın gelen demetine oranını ifade eder.

$$T_v (\%) = \frac{\sum_{\lambda=380}^{780} D_{\lambda} \cdot \tau(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} D_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot \Delta\lambda}$$

Görünür Işık Yansımaları (Visible Light Reflectance) (R_v):

Kumaş tarafından yansıtılan ışığın oranıdır.

$$R_v (\%) = \frac{\sum_{\lambda=380}^{780} D_{\lambda} \cdot \rho(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} D_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot \Delta\lambda}$$

Solar Geçirgenlik (Solar Transmittance) (T_s):

Kumaştan iletilen güneş enerjisinin oranıdır. Yüzde oranının düşük çıkması kumaşın solar enerjiyi azaltmada iyi performans gösterdiği anlamına gelmektedir.

$$T_s (\%) = \frac{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_{\lambda} \cdot \tau(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda}$$

Solar Yansımaları (Total Solar Reflectance) (R_s):

Kumaş tarafından yansıtılan güneş radyasyonunun oranıdır. Yüzde oranının yüksek çıkması kumaşın güneş enerjisini yansıtmada iyi performans gösterdiği anlamına gelmektedir.

$$R_s (\%) = \frac{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_{\lambda} \cdot \rho(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_{\lambda} \cdot \Delta\lambda}$$

Solar Absorbans (Total Solar Absorption) (A_s):

Kumaş tarafından emilen güneş radyasyonunun oranıdır. Yüzde oranının düşük çıkması kumaşın çok az solar enerji absorbladığı anlamına gelmektedir.

- $A_S (\%) = 1 - (T_S + R_S)$

UV Geçirgenlik (Tuv):

- $T_{UV} (\%) = \frac{\sum_{\lambda=380}^{780} U_{\lambda} \cdot \tau(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} U_{\lambda} \cdot \Delta\lambda}$

*Eşitliklerde; Görünür Işık Geçirgenliği (Tv), Görünür Işık Yansıtma (Rv) Solar Geçirgenlik (Ts), Solar Absorbans (As), Solar Yansıtma (Rs), Kaynağın Spektral Güç Dağılımı (D_{λ}), Spektral Geçirgenlik $\tau(\lambda)$, Fotopik Görme İçin Spektral Işık Verimliliği $V(\lambda)$, Dalga Boyu Aralığı ($\Delta\lambda$), Spektral Yansıtma $\rho(\lambda)$, Solar Radyasyonunun Bağlı Spektral Dağılımı (S_{λ}), Küresel Güneş Radyasyonunun UV Kısmının Bağlı Dağılımını (U_{λ}) ifade etmektedir.

Toplam Solar Geçirgenlik (g)

Toplam solar geçirgenlik, doğrudan güneş ışığı geçirgenliği ile camın içeriye doğru ikincil ısı transfer faktörünün toplamı olarak hesaplanmaktadır.

- $g = T_e + q_i$

*Eşitlikte; g; Toplam Solar Geçirgenlik, T_e = Direkt solar geçirgenlik, q_i =Sekonder Isı Transferi Faktörü olarak ifade edilmektedir.

Gölgeleme Katsayısı (Shading Factor)

Gölgeleme katsayısı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır. Formülde yer alan 0,87 değeri, 3 mm ila 4 mm nominal kalınlıktaki şeffaf düz camın toplam enerji geçirgenliğine karşılık gelir.

- $SC = \frac{g}{0,87}$

*Eşitlikte; SC= Gölgeleme Katsayısı, g= Toplam Solar Geçirgenlik olarak ifade edilmektedir.

Kumaş Özelliklerinin Solar Geçirgenliğe Etkisi

Tüm giysiler bir dereceye kadar UV koruması sağlamaktadır. Giysilerin UVR'yi azaltmadaki etkinliğini birkaç faktör belirlemektedir. Giysi tasarımına ek olarak, giysi yoluyla UV iletimini etkileyen kumaş özellikleri arasında bileşim (elyaf

tipi), yapı (dokumanın sıklığı), ağırlık ve kalınlık yer almaktadır. Renk ve diğer işleme teknikleri (ağartma, UV emicilerin kullanımı), giysinin UVR'yi bloke etme yeteneklerini ve ayrıca ıslaklık, esneme, ısı veya kimyasal işlemler gibi kullanım ve aşınma ile ilgili diğer parametreleri de etkileyebilmektedir. Bu parametrelerin (elyaf, iplik, kumaş, işleme teknikleri ve terbiye işlemleri) etkileşimi ayrıca UVR altında giysi davranışının anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, örtme faktörü, kumaş sıklığı veya kumaş açıklığı gibi çeşitli terimlerle tanımlanabilen kumaş açık gözenekliliği ve fizikokimyasal elyaf türü, UV koruma kabiliyetini etkileyen anahtar parametrelerdir.

Kumaşın Bileşiminde Bulunan Liflerin Etkisi

Selülozik liflerin (pamuk, keten, viskon) kimyasal yapılarında çift bağ bulunmadığından bu lifler düşük içsel UV absorpsiyon kapasitesine sahiptir ve bu liflerden yapılan tekstil kumaşları nispeten düşük UV koruma özellikleri sağlamaktadır. Bununla birlikte, doğal selüloz liflerindeki doğal pigmentler, pektin ve mumlar, henüz boyanmamış durumdaki kumaşların ultraviyole koruma faktörü (UPF) üzerinde olumlu bir etkiye sahip olan UV emiciler olarak işlev görmektedir. Polyester gibi konjuge aromatik polimer zincir sistemi içeren yapay liflerin UV absorpsiyonunda daha etkili olduğu bulunmuştur [8].

Kumaşın Bileşiminde Bulunan İpliklerin Etkisi:

İplik tüylülüğü, iplik yüzeyinden çıkıntı yapan liflerden kaynaklanmaktadır. İplik üzerindeki tüyler kumaş gözeneklerini kapatmakta ve UV ışığını engellemektedir. Bu nedenle ipliğin tüylülüğünün azaltılması kumaşın UV geçirgenliği arttırmaktadır. Büküm miktarının artmasıyla gözenekliliğin azalması nedeniyle ipliğin kompaktlığı ve sıklığını arttırmaktadır. Buda kumaşın içinden geçen ışık miktarının artması anlamına gelmektedir.

Kumaş Örgü Tipinin Etkisi:

Çözü ve atkı ipliklerinin kesişim noktalarının dağılımı kumaşın solar özelliklerini etkilemektedir. Aynı sayıda çözgü ve atkı ipliği kesişim noktası olan homojen örgülerde (bezayağı, panama) kumaşın homojen bir davranış sergilediği görülmektedir.

Saten dokuma kumaşların düz ve dimi dokuma kumaşlara kıyasla daha iyi UV koruması sağlamıştır. Bunun sebebinin saten dokumalarda ipliklerin birbirine geçme noktasının özel düzenlenmesi, kumaşın daha yüksek örtme faktörüne sahip olması ve dimi ve düz dokumaya kıyasla daha farklı gözenek yapısına sahip olmasıdır [9].

Kumaş Örtme Faktörünün Etkisi:

Örtme faktörü yüksek kumaşlar daha küçük gözeneklere sahiptir. Örtme faktörü arttıkça ışığın ipliklerin ve liflerin arasından geçişi azalmaktadır. Örtme faktörü iplik özelliklerine, sıklığa ve kumaş örgü yapısına bağlıdır. Kumaş örtü faktörü aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır [10].

- $K_1 = \frac{3,3 \times n_1}{\sqrt{Nm_1}}$
- $K_2 = \frac{3,3 \times n_2}{\sqrt{Nm_2}}$
- $K_f = K_1 + K_2 - \frac{(K_1 \times K_2)}{28}$

*Eşitlikte: K_f = Örtme faktörü, K_1 = Çözgü örtme faktörü, K_2 =Atkı örtme faktörü, n_1 =Çözgü sıklığı, n_2 = Atkı sıklığı, Nm_1 = Çözgü iplik numarası, Nm_2 = Atkı iplik numarasını ifade etmektedir.

Kumaş örtme faktörü; kalınlık, yoğunluk, birim alan başına kütle, dokuma ve kullanılan ipliğin tipi gibi parametrelerin optimal bir kombinasyonunu içermelidir.

Kumaş Gözenekliliğinin Etkisi:

Kumaşın gözenekli yapısı iplik yapısı, iplik sıklığı, ipliklerin bükümü, iplik tüylülüğü, kalınlık, örgü tipi gibi faktörlere bağlıdır. İplik sıklığı ve kalınlığının artması kumaş gözenekliliğini azaltmaktadır. Kumaş gözenekliliği de kumaşların solar özelliklerini etkilemektedir. Kumaş toplam gözenekliliği aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

- $(\epsilon) = \frac{V_{gözenek}}{V_{kumaş}} \times 100 = \left(1 - \frac{\rho_{kumaş}}{\rho_{elyaf}}\right) \times 100$
- $(\epsilon) = \left(1 - \frac{M_{kumaş}}{T_{kumaş} \times 1000 \times \rho_{elyaf}}\right) \times 100$

formülü ile hesaplanmaktadır.

*Eşitlikte: $V_{gözenek}$ = gözenek hacmi (cm^3), $V_{kumaş}$ = kumaş hacmi (cm^3), $\rho_{kumaş}$ = kumaş fiziksel yoğunluğu (g/cm^3), ρ_{elyaf} = elyaf fiziksel yoğunluğu (g/cm^3), $M_{kumaş}$ = metrekaire cinsinden kumaş ağırlığı (g/m^2), $T_{kumaş}$ = Dokuma kumaşın kalınlığı (mm) olarak ifade edilmektedir.

Kumaşın Nem İçeriğinin Etkisi:

Kumaşların sahip olduğu nem miktarı kumaşların solar özelliklerini etkileyen bir parametredir. Kumaş nemli olduğunda daha düşük UPF değeri göstermektedir. Kumaş boşluklarındaki su ışığın kırılmasını azaltmakta ve bu nedenle nemli kumaşın ışık geçirgenliği artmaktadır [5].

Kumaş Kalınlığı ve Sıklığının Etkisi:

İnce ipliklerle üretilen kumaşların daha düşük örtücülüğe sahip olması nedeniyle aynı kumaş yapısındaki kalın ipliğe göre daha fazla gözenek içermektedir. Yani kumaş kalınlığı azaldıkça kumaş solar geçirgenliği artmaktadır. Gevşek yapılı ince kumaşlar, daha sıkı dokuya sahip kumaşlara nazaran düşük miktarda koruma sağlamaktadır.

Kumaş Bitim İşlemlerinin Etkisi:

Kumaşlara uygulanan boyama işlemleri kumaşların UV ışınlarını emme kapasitesini etkilemektedir. Örneğin daha koyu renklere sahip kumaşlar daha açık olanlara kıyasla daha iyi UV koruma özelliği göstermektedir. Boyama dışında, kumaşlara UV absorblayıcı maddelerin apliance edilmesi de kumaşların UV koruma özelliğini arttırmaktadır. Ancak kumaşlara uygulanan bazı bitim işlemleri (hidrofilleştirme, ağartma, haşıl sökme gibi) sonrası kumaş geçirgenliğinin arttığı ve UV korumasının azaldığı görülmüştür [5].

Solar Özellikler İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Yıldırım ve ark (2017) çalışmalarında, atkı ipliği sisteminin değiştirilmesinin kumaşların solar ve ışık özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kumaşların solar özellikleri UV/VIS/NIR Shimadzu UV-3600 (380-2500 nm dalga boyunda) test cihazında ölçülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre, Ne numaralı sistemde birim uzunluktaki atkı ipliği sayısı artırıldığında ve iplik lineer yoğunluğu

azaltıldığında güneş geçirgenliği azalmakta ve yansıma artmaktadır. İplik tüylülüğünün artması da güneş spektrumunun IR kısmındaki geçirgenliği azaltmaktadır.

Duran, S ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan çalışmada, perdelik kumaşların kalınlığının ve kumaş renginin ışık geçirgenliğine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara göre; artan sıklığın kumaş gramaj ve kalınlık değerini arttırdığı, böylelikle kalınlığı artan kumaşın da ışık geçirgenliği değerini düşürdüğü görülmüştür.

Morsümbül (2018) çalışmasında kumaş yapısı, renklendirme ve fotokromik boya aplikasyonun UV koruma üzerine etkisini incelemeyi hedeflemiştir. Kumaş yapılarına göre kıyaslama yapıldığında, en yüksek UPF değeri interlok kumaşta çıkmıştır. İnterlok kumaşı ribana ve süprem kumaş takip etmiştir. Kumaşlarda kullanılan ipliklerin numarası incelendiğinde UPF değerinde düşüş meydana gelmiştir. Renklendirme ve boya konsantrasyonun artmasıyla UPF değerinde artış gözlenmiştir.

UV ışınlarını absorbe eden bazı kimyasal maddelerin kumaşa eklenmesi ile UV koruma sağlayan kumaşların elde edilmesi mümkündür. Bu konuda yapılan bir çalışmada; benzofenon içeren çeşitli ultraviyole absorbe edici maddeler hazırlanmış ve ultraviyole koruma faktörünün ve boyaların ışık haslıklarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre absorbe edici maddelerin eklenmesinin ışık haslıklarını ve ultraviyole koruma faktörünü iyileştirdiği görülmüştür. Ayrıca UV absorbe edici maddelere bir sülfonik asit grubunun eklenmesinin UPF'yi arttırmak için çok faydalı olabileceği öne sürülmüştür (**Oda, H. 2021**).

Akaydın, M ve ark (2009), çalışmalarında ham, hidrofilleştirilmiş, optik kasar işlemi uygulanmış, çeşitli renklerde boyama işlemine tabi tutulmuş, farklı konsantrasyonlarda UV absorblayıcı madde applike edilmiş, değişik konstrüksiyonlara sahip %100 pamuklu örme kumaşların UV geçirgenlik özellikleri incelenmiştir. Çalışma elde edilen verilere göre, ham örme kumaşların UPF değerinin hidrofilleştirme işlemi uygulanmış kumaşlara göre

daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin ham kumaşların sahip olduğu vaks, yağ ve pektin gibi maddelerin apre işlemi sonrası uzaklaştırılmasıdır. Örme kumaşların gramajı arttıkça UPF değerinin arttığı görülmüştür. Kumaşların boyanmasıyla birlikte UV ışınlarına karşı koruyucu özelliklerin arttığı, geçirgenliklerin azaldığı görülmüştür. Koyu renkli kumaşların açık renkli kumaşlara göre daha iyi UV koruma sağladığı tespit edilmiştir.

Grancarić ve ark (2005) çalışmalarında, farklı kumaş yapılarının ultraviyole koruma faktörü (UPF) üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, kumaş sıklığı arttıkça kumaş yüzey kütlesi ve kumaşın örtü faktörü arttığı bunun da UV-A ve UV-B iletimini azalttığı ve UV korumayı artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Bezayağı dokuma ile üretilen numunelerin twill ve saten dokumaya göre daha iyi UV koruma sağladığı görülmüştür. Kumaş dokuma tipinin yanı sıra çözgü ve atkı sıklığı, iplik yapısı ve iplik inceliğinin UV korumada önemli bir role sahip olduğu belirtilmiştir.

Celen, R ve Ulcay, Y (2020) çalışmalarında baryum titanat/poliester bikomponent ipliklerden üretilen dokuma kumaşların elektromanyetik kalkanlama ve solar özellikleri incelenmiştir. Üç farklı oranda baryum titanat (% 1, 2 ve %3) ve üç farklı kumaş yapısı (1/1 düz, saten ve özel dokuma) kullanılmıştır. Dalga boyu 280 ile 2500 nm arasında olduğunda baryum titanat katkısı ile dokuma kumaşların ultraviyole, görünür ve solar geçirgenlik değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Geçirgenlik değerlerinin aksine baryum titanat katkısı ile kumaşların görünür ve solar yansıma değerlerinin arttığı görülmüştür.

Gabrijelčić H ve ark (2009) çalışmalarında kumaş örtü faktörünün ve kumaş renginin UV geçirgenlik ve ultraviyole koruma faktörü (UPF) üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre %5'ten daha az yüzey açıklığına sahip yapılar mükemmel koruma sağlarken (50'nin üzerinde UPF), %10'dan az yüzey açıklığına sahip yapılar iyi ila çok iyi arasında koruma sağlamaktadır (20'nin üzerinde bir UPF).

Kurban, N.S (2008), çalışmasında değişik örgü konstrüksiyonlarda ham, optik ve şeker kasarlanmış, açık-koyu renklere boyanmış ve farklı konsantrasyonlarda UV absorblayıcı madde aplike edilmiş %100 pamuk örme kumaşların UV geçirgenlik ve ultraviyole koruma faktörleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda ham kumaşların kasarlanmış kumaşlara nazaran daha yüksek UPF değeri gösterdiği görülmüştür. Bunun sebebinin ham kumaşların içinde bulunan yağ, vaks ve pektin gibi maddelerin kasarlama işlemi sonrası uzaklaştırılmasıdır. Kumaş gramajının arttırılmasıyla birlikte UPF değerinin arttığı görülmüştür. Kumaşların boyanmasıyla birlikte UV koruma artmakta ve geçirgenlik azalmaktadır.

Karasu, S (2020) çalışmasında eriyikten çekim yöntemiyle % 0;0,3; 0,6; 1,0; 1,4; 2,0; 2,4 titanyumdioksit katkılı 7 farklı polyester iplikler (POY) ve bu ipliklerden yalancı büküm metodu ile tekstüre iplikler (DTY) elde edilmiş ve üretilen ipliklerin UV geçirgenlik ve termal davranışını gibi bazı performans özelliklerini incelemiştir. Polyester ipliklerde titanyum dioksit oranının artmasının kumaşların termal iletkenlik katsayısını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Erdem ve ark (2010) yaptıkları çalışmalarında, nano-partikül katkılı filamentlerin üretim yöntemleri hakkında bilgi vermek ve çeşitli nano-partiküllerin polipropilen filamentleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına bakıldığında TiO₂ katkılı tüm liflerin UV koruma faktörlerinin 50+ üstüne çıktığı saptanmıştır. Dolayısı ile liflerin UV koruma dereceleri sınıflandırmaya göre mükemmeldir. UV geçirgenlik sonuçları incelendiğinde PP/TiO₂ nano-kompozit liflerin UVA ve UVB geçirgenliklerinin %100 PP liflerine göre çok düşük olduğu görülmüştür. Lif içerisindeki TiO₂ oranı arttıkça her iki bölgedeki UV geçirgenliği daha da azalmaktadır.

II. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Teknik tekstil ürünleri içerisinde koruyucu tekstillerle ilgili çalışmaların yoğun olarak devam ettiği gözlemlenmektedir. Koruyucu tekstiller içerisinde önemli bir yere sahip olan radyasyon ve UV koruyucu tekstillerin tasarımında katkılı lif iplik

ve bunlardan mamul kumaşların kullanıldığı görülmektedir. Bu tasarımların geliştirilebilmesi için solar geçirgenlik, solar absorpsiyon, solar reflektans gibi temel kavramların bilinerek kumaş konstrüksiyonu ile test çıktılarının ilişkilendirilebilmesi önemlidir. Bunun yanında katkılı lif üretim teknolojilerinin ve kumaş kaplama teknolojilerinin de gelişimi takip edilmelidir.

Günümüz koşullarında elektromanyetik radyasyon kaynaklarının artması ve bunun yanında ozon tabakasındaki seyrelmeler nedeniyle UV ışınlarına maruziyetin artış göstermesi göz önünde bulundurulduğunda tüketicilerin kıyafet tercihlerinde koruma özellikli ürünlere olan ilgilerinin de artması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]T.C Milli Eğitim Bakanlığı, Spektrofotometre, Kimya Teknolojisi Ders Notları, p. 92, Ankara, 2012.
- [2] Albaga I and Riva A. In vitro measurement of the ultraviolet protection factor of apparel textiles, Coloration Technology.. vol. 118, pp. 53-58, 2002.
- [3] Kurban, N.S. Pamuklu Örme kumaşlarda UV ışınlarının geçirgenliğinin ölçümü ve değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ocak. p.83, 2008.
- [4] Genişoğlu, M. Sofuoğlu, S.C, and Toksoy, M. Kapalı hacimlerde ve iklimlendirme sistemlerinde ultraviyole ışınım ile dezenfeksiyon teori ve pratik, UV ışınımın insan sağlığına etkileri, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayın vol.40, pp.61-70, 29-30 Mayıs 2021.
- [5] Akaydın, M. İkiz, Y, and Kurban S.N. Pamuklu örme kumaşlarda UV ışınlarının geçirgenliğinin ölçümü ve değerlendirilmesi, Tekstil ve Konfeksiyon, vol. 3, pp.212-217, 2009.
- [6] Morsümbül, S. UV koruyucu tekstil malzemelerinin geliştirilmesinde fotokromik boyaların kullanım olanakları, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, p.220, 2018.
- [7] Haleem, N., Ibrahim, S., Hussain, T., Jabbar A., Malik, M.H., Malik Z, A. 2014. Determining the light transmission of woven fabrics through different measurement methods and its correlation with air permeability, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 9 (4), pp.76-82, 2014.
- [8] Stankovic, S.B. Popovic, D. Poparic G.B, and Bizjak, M. Ultraviolet protection factor of gray-state plain cotton knitted

fabrics, *Textile Research Journal*, vol. 79 (11), pp.1034-1042, 2009.

[9] Gabrijelčić, H. Urbas, R. Sluga F, and Dimitrovski K. Influence of fabric constructional parameters and thread colour on uv radiation protection, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, January/March, vol. 17, No. 1 (72), 46-54, 2009.

[10] Akgün, M. Alpay, H.R, and Becerir, B. Kumaş yapısal parametreleri ile reflektans değerleri arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 17 (1), pp. 93-106, 2012.

[11] Yıldırım, K., Kanber, A., Karahan, M, and Karahan, N. The solar properties of fabrics produced using different weft yarns, *Textile Research Journal*, vol. 88 (13), pp.1543-1558, 2018.

[12] Duran, S. Akaç, N. K, and Dülek, Y. Dekoratif dokuma perdelerin ışık geçirgenliği özelliklerinin incelenmesi. 8th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 23-25 October 2020 (ISITES2020 Bursa-Turkey), pp.530-537, 2020.

[13] Oda, H. Development of UV absorbers for sun protective fabrics, *Textile Research Journal*, vol. 81(20), pp. 2139-2148, 2011.

[14] Grancarić, A.M. Penava, Z, and Tarbuk, A. UV protection of cotton-the influence of weaving structure, *VI. Symposium "Contemporary Technologies and Economic Development"*, Leskovac, October, pp.21-25, 2005.

[15] Celen, R. Ulçay, Y. Investigation of electromagnetic shielding and solar properties of woven fabrics made by barium titanate/polyester bicomponent yarns. *Tekstil ve Konfeksiyon*, vol. 30(4), pp. 251-261, 2020.

[16] Karasu, S. Farklı oranlarda titanyum dioksit kullanılarak elde edilen polyester iplik ve kumaş özelliklerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, 2020

[17] Erdem, N. Erdoğan, U.H, and Akşit, A. Nano-kompozit polipropilen filamentlerin üretimi ve özellikleri, *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, vol.15 (69), pp.14-24, 2008.

[18] 2023 Wikipedia website. [Online]
https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_radyasyon