

Titanyum Nanoparçacık Katkılı Polyamid Kumaşların Fiziksel, Elektromanyetik ve Optik Özelliklerinin Araştırılması

Banu YILMAZ AKYÜREK*¹ ORCID 0000-0003-3526-5343

İlhami İLHAN¹ ORCID 0000-0003-3165-531X

Ali MARALCAN² ORCID 0009-0004-8416-4877

¹Mersin Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Tekstil ve Moda Tasarımı Bölümü, Mersin

²Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çerkezköy Meslek Yüksekokulu, Tekstil Teknolojisi Bölümü, Tekirdağ

Geliş tarihi: 30.08.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: YILMAZ AKYÜREK, B., İLHAN, İ., MARALCAN, A., (2023). Titanyum Nanoparçacık Katkılı Polyamid Kumaşların Fiziksel, Elektromanyetik ve Optik Özelliklerinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 827-840.

Öz

Bu çalışmanın hedefi, lif çekimi sırasında polimere titanyum (Ti) nanopartikül katkılama yoluyla elde edilen Poliamid 6 (PA6) ipliklerin ve bu ipliklerden üretilen dokuma kumaşların fiziksel, elektromanyetik ve optik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Çalışma kapsamında; farklı oranlarda (%0,05-0,10-0,15) Ti nanopartikül katkılanmış PA 6 nanokompozit tekstüre iplikler (70 denye, kesitte 24 filament) üretilmiş ve deneysel olarak karakterize edilmiştir. Kontrol kumaş üretimi için Ti katkılanmamış standart PA 6 multifilament iplik de üretilmiştir. Sonuç olarak, Ti nanopartikül katkılama, PA 6 multifilament ipliklerin ve dokuma kumaş örneklerinin mekanik özellikleri üzerinde düşük seviyede anlamlı bir etki göstermiştir. Uygulanan Ti katkılama oranlarının, kontrol kumaşa göre katkılanmış kumaş örneklerinin elektromanyetik koruma etkinliği (EMSE) değerleri üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Uygulanan oranlarda Ti katkılama, kumaş örneklerinin optik geçirgenliğini azaltma yönünde etki etmiş, dalgaboyu büyüdükçe bu etki artma eğilimi göstermiştir. Uygulanan katkılama oranları optik soğurma üzerinde pozitif yönde bir etki göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: PA 6, Titanyum, Nanokompozit, Elektromanyetik girişim, Optik özellikler

Investigation on Physical, Electromagnetic and Optical Properties of Titanium Nanoparticles Doped Polyamide Fabrics

Abstract

The aim of this study is to investigate the effect of titanium (Ti) nanoparticle doping on the physical, electromagnetic and optical properties of Polyamide 6 (PA 6) yarns and woven fabrics produced from these yarns. In this context, PA 6 nanocomposite textured yarns (70 denier, 24 filaments in cross section) doped with Ti NPs in different ratios (0.05%-0.10-0.15) were produced and experimentally characterized.

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Banu YILMAZ AKYÜREK, banuyilmaza@mersin.edu.tr

Standard PA 6 multifilament yarn without Ti doped was produced for the production of control fabrics. As a result, it was concluded that Ti nanoparticle doping has a low-level significant effect on the mechanical properties of PA 6 multifilament yarn and woven fabric. It was determined that the applied Ti doping ratios did not significantly affect the electromagnetic shielding efficiency (EMSE) values of the doped fabric samples compared to the control fabric. At the applied rates, Ti doping had a decreasing effect on the optical transmittance of the fabric samples, and this effect tended to increase as the wavelength increased. The applied doping ratios increased the absorption rate.

Keywords: PA 6, Titanium, Nanocomposite, Electromagnetic interference, Optical properties

1. GİRİŞ

Günümüzde, polimerden filament elde edilmesi sırasında eriyik içerisine nanopartikül ilavesi yöntemiyle Tekstilde kullanılan liflere farklı fonksiyonlar kazandırmak ve var olanları ileri seviyeye taşımak sıklıkla üzerinde çalışılan konular arasındadır Polimere nanopartikül ekleme yöntemi, nanoteknoloji biliminin tekstil teknolojisi alanında uygulanmasına önemli bir göstergesidir. ISO (International Organization for Standardization) standartları, nanoteknolojiyi “Tekil atomlar, moleküller ya da belli bir hacime sahip malzemelerden farklı olarak, boyut ve yapıya dayalı özellik ve fenomenlerden yararlanmak adma, maddenin nano ölçekte düzenlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla bilimsel bilginin uygulamaya geçirilmesidir.” biçiminde tanımlamaktadır [1]. Burada nano ölçeğin bilimsel ifadesi, 1-100 nm aralığıdır. Nanomalzeme ise standart bir malzemenin nanoteknoloji yardımıyla yeni özellikler kazandırılmış veya var olanların değiştirilmiş hali olarak tanımlanır. Yapay (kimyasal) polimerlere nanoparçacıklar katıldıktan sonra lif çekimiyle nanokompozit malzeme elde edilmektedir [2].

Tekstilde nanoteknoloji uygulamaları başlıca üç grup altında toplanabilir:

Nanokompozit iplikler: Lif çekimi sırasında polimer formundaki matriks içerisine nanoparçacıkların eklenmesi yoluyla nanokompozit iplik üretimi yapılabilmektedir. Katkılamanın yanısıra ince film kaplama yöntemi ile de nanokompozit iplik elde etmek mümkündür.

Bitim işlemleri: Sol-gel, plazma gibi kimyasal ya da fiziksel kaplama, emdirme vb. yöntemler

kullanılarak kumaş yüzeyine nano malzemelerin muamele edildiği terbiye işlemleridir [3].

Nanolif üretimi: Elektro eğirme gibi yeni gelişen teknolojiler sayesinde nano ölçekte çapa sahip lifler, iplikler ve dokular elde edilebilmektedir.

Elektromanyetik girişim (EMI) ve ultraviyole (UV) koruması günümüzde önemli bir sorun olup bu sorunun çözümüne yönelik etkili ürünler geliştirmek amacıyla önemli miktarda araştırma yapılmaktadır. Bu bağlamda, insan sağlığı ve hassas cihazlar üzerinde olumsuz etkileri bulunan bu radyasyonlardan korunma sağlayacak tekstil ürünleri büyük ilgi görmektedir. Ayrıca, giyilebilir elektronikler son dönemde moda ve eğlence, elektronik, medikal, koruma, spor, fitness, ulaşım gibi pek çok sektörden yoğun talep görmektedir. Bu nedenle, içinde bulunduğumuz modern çağda elektronik cihazların kullanımı her geçen gün yoğunlaşmakta olup, bu elektronik cihazların yaydığı radyasyon her geçen daha fazla artmaktadır. Bunun yanı sıra küresel ısınmanın da etkisi ile insanlar her geçen gün daha fazla UV radyasyonuna maruz kalmaktadırlar. Bu durum insan sağlığı üzerinde çok ciddi olumsuz etkiler yapmaktadır. Dolayısıyla, EMI ve UV koruyucu ürünler geliştirme üzerine çalışma yapmak önem taşımakta olup oldukça fazla sayıda çalışma yapılmaktadır. Özellikle tekstil malzemeleri, erişilebilirlik, düşük maliyet, hava geçirgenlik, esnek yapıya sahip olması vb. özellikleri nedeniyle EMI ve UV koruma için ideal bir seçenek oluşturmaktadır [4-7].

Bu çalışma kapsamında, polimer matriks (PA 6) içerisine nanoparçacıklar (%99,9 Ti, 30-50 Nm) katılarak yumuşak eğirme yöntemi kullanılarak elementler elde edilmiş ve bu katkılı iplikler daha sonra atkıda kullanılarak dokuma kumaş

örneklerine dönüştürülmüştür. Çalışmada; ipliklere Ti nanopartikül katkılanmanın bu ipliklerden üretilen kumaşın elektromanyetik girişim ve optik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak hedeflenmiştir. Son yıllarda, nanoteknoloji yardımıyla kumaşlara üstün özellikler kazandırmayı amaçlayan bilimsel çalışmalara daha sık rastlanmaktadır. İnsan sağlığı ve hassas cihazlar üzerinde olumsuz etki yapan elektromanyetik girişim ve optik etkileşimlerden kaynaklı olumsuz etkileri azaltacak veya bertaraf edecek tekstil malzemeleri geliştirmeyi amaçlayan çok sayıda bilimsel çalışma mevcuttur. Konuya ilişkin yapılmış, literatürde rastlanan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Nanoteknoloji, 1-100 nm boyutunda nanopartiküller (NP) içeren çeşitli nanomateryallerin sentezi ve geliştirilmesiyle ilgilenen yeni bir bilim dalıdır [8]. Son yıllarda elektronik, çevre bilimi, insan üremesi, ilaç ve tıp gibi çeşitli alanlarda NP'lerin kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca mekanik endüstride, enerji üretiminde ve yeni özelliklere sahip malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadırlar [9]. Cu, Zn, Ti, Mg, Au ve Ag gibi metaller kullanılarak farklı metalik nano yapılar sentezlenmektedir [10]. Titanyum nanoparçacıkları (Ti NP'ler), mekanik güçleri, biyouyumlulukları ve uzun kullanım geçmişi nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir metaldir [11]. Titanyumun en önemli özelliklerinden birisi korozyona karşı olağanüstü dirençli bir element olmasıdır [12]. Titanyum dioksit (TiO₂), nanopartiküller, nanoteller ve nanofiberler formunda en yaygın kullanılan yarı iletkenlerdir [13]. TiO₂ NP'leri büyüleyici optik, elektriksel ve fotokatalitik özellikleri, ekonomik olmaları, güvenlikleri, kirleticileri filtreleme yetenekleri, kimyasal stabilite ve toksik olmamalarından dolayı önemli bir uygulama potansiyeline sahiptir. TiO₂ NP'lerin tekstillere (lif, iplik, kumaş vb.) eklenmesi birçok yeni ve geliştirilmiş özellikler sunmaktadır. Ayrıca, güç tutuşur tekstillerin imalatında da TiO₂ NP'ler kullanılmaktadır [14]. Ayrıca TiO₂'in çekici bir antibakteriyel madde olduğu kanıtlanmıştır. Yapılan önceki bir çalışma, TiO₂'in çeşitli testlerde çeşitli Gram-pozitif ve Gram-negatif bakterilere karşı güçlü antifungal ve antibakteriyel aktiviteler

sergilediğini ortaya çıkarmıştır [15]. Radetić 2013 yılında yaptığı çalışmada, TiO₂ nanopartikülleri fotokataliz yöntemi ile uyguladığı kumaşların kendi kendini temizleme özelliklerinin yanı sıra UV koruma özelliklerinin de geliştiğini aktarmıştır. [16]. Bununla beraber, Batur ve Akyıldız 2021 yılında, lif üretimi esnasında TiO₂ nanopartikül katkıladıkları polietilen tereftalat liflerinin (PET) mekanik özelliklerinde ve kristallenme davranışlarında fotokatalitik etki yardımıyla kendi kendine temizlenme özelliği kazandırılabilceğini belirlemişlerdir [17].

Felipe ve arkadaşları (2022) azot katkılı grafen kuantum (N-GQD) ve titanyum dioksit (TiO₂) nanopartiküller ile kapladıkları pamuklu kumaşın fotoluminesans ve anti-UV özelliklerini incelemişlerdir. UV koruma değerlendirmesine göre her iki malzemenin de mükemmel UV emici olduğu ve ultraviyole koruma faktörünün (UPF) nanokaplama yapılmış pamuklu kumaşlarda kullanılan konsantrasyonlara oldukça bağlı olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, TiO₂, N-GQD ve TiO₂/N-GQD ile nanokaplanmış olan pamuklu kumaşa +50'lik bir UPF değeri elde edildiği, buna ilaveten UV radyasyonuna karşı koruma etkinliğinin sağlandığı ve UPF'de hiçbir değişiklik olmadan 20 yıkama döngüsüne kadar dayanım sağlandığı belirtilmiştir [18]. Zhu ve arkadaşları ise 2004 yılında yaptıkları çalışmada, PA6/Nano-TiO₂ kompozit ipliklerin üretimi ve lif yapılabilme yöntemlerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, yüzeyi değiştirilmiş TiO₂'in kümelenme eğiliminin azaldığını ve elde edilen PA6 nanopartikül katkılanmış ipliklerin kopma mukavemeti, modül ve uzama değerlerinin artış gösterdiğini kanıtlamışlardır. [19]. Kumartaşlı 2021 yılında yaptığı çalışmada nano zeoliti farklı oranlarda poliester polimere ekleyerek kompozit iplik elde etmiştir. Nano zeolitin üretilen ipliklerde ve bu ipliklerden dokunan kumaşlarda bazı iplik ve kumaş özellikleri üzerindeki etkileri araştırmıştır. Elde edilen sonuçlar oldukça ilgi çekicidir. UV koruyuculuk ve ses yutumu seviyesinin nanopartikül katkılama sayesinde arttığı, ısı iletkenlik değerinde azalma olduğu ve güç tutuşurluk özelliğinin ise değişmediği gösterilmiştir [20]. Attia ve arkadaşları, PA/PES ve yün kumaşlara, TiO₂ ve

ZnO nanopartiküllerle kaplayarak, kumaş örneklerinin UV koruyuculuğunun, fiziksel özelliklerinin, su iticilik ve antibakteriyel aktivitesinin iyileştirilebileceğini 2016 yılında yaptıkları çalışmayla göstermişlerdir. Wu ve arkadaşları (2017) nano boyuttaki Cu, Fe ve TiO₂ nanopartikül (NP) katkısı ile besledikleri ipek böceklerinden elde ettikleri ipek lifleri üzerine yaptıkları çalışmalarında, özellikle Cu katkılanmış ipek ipliğinin mukavemet/uzama değerlerinin kontrol ipliğine göre sırasıyla %89 ve %36 oranında daha yüksek elde edildiğini göstermişlerdir.

TiO₂ sıklıkla kullanılan nanomalzemelerden birisi olduğu halde literatürde %100 titanyum nanopartiküllerin kullanılan benzer bir bulgu görülmemiştir.

2. YÖNTEM

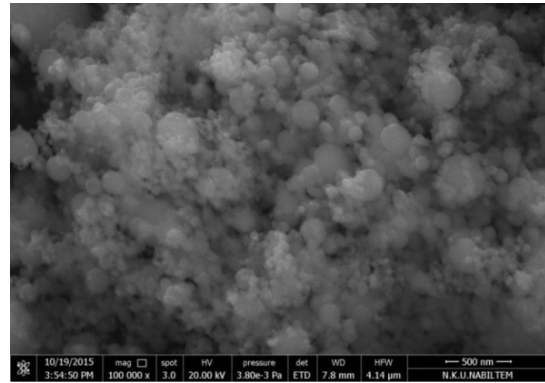
2.1. Materyal

Hammadde: PA 6 filamentleri, sentetik lifler içerisinde en kullanım alanı oldukça geniş liflerden birisidir. Bu lifler; giyim (elbise, kadın ve çocuk çorabı, özellikle bayan iç giyim, deniz kıyafetleri, mayo, korse, , gömlek, bluz, astar gecelik), ev tekstili (halı, kilim, yatak örtüsü), endüstriyel tekstiller (paraşüt bezi, emniyet kemeri, filtre kumaşları, kayışlar, çadır, yağmurluk, şemsiye bezi, balık ağı, dikiş ve nakış iplikleri, otomobil lastiği takviyeleri, otomotiv döşemelikleri) alanlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Böylesine geniş kullanım alanı bulunan ve yüksek katma değere sahip olan ürünlerin eldesinde sıklıkla kullanılan PA6 liflerinin, yüksek mukavemetli, sıkışmaya dirençli, yumuşak tutumlu, kolay renklendirilebilir olması, canlı renkler elde edilebilmesi, kolay işlenebilir olması, yüksek nem alma özelliği, çözücülere ve bazlara karşı dayanıklı olması gibi avantajlarına karşın UV ışınlarına karşı direncinin az olması, kuvvetli asit oksitleyici maddelerden etkilenmesi gibi olumsuz yönleri de vardır. Bu olumsuz özellikleri kullanım alanını daraltmaktadır. Örnekte; UV ışınlarına karşı dayanıksız olması sebebiyle perde olarak kullanılamamaktadır. Çizelge 1’de PA 6 liflerinin karakteristik özellikleri sunulmuştur.

Çizelge 1. PA6 liflerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri [23]

Erime sıcaklığı	212-220°C
Kopma mukavemeti	2,5-5 cN/dtex
Uzama oranı	%35-55
Yoğunluk	1,14 g/cm ³
Rutubet	%4
Asitlere karşı direnç	Düşük
Bazlara karşı direnç	İyi
Mikroorganizma dayanımı	İyi
UV ışınlarına direnç	Düşük

Katkı Malzemesi: %99,9 Metal Titanyum (30-50 Nm); alerji riski olmaması, insan sağlığına zararlı toksik madde içermemesi ve ağır metal olmamasının yanısıra yüksek mukavemete sahip olması nedeniyle endüstride kullanılmaktadır. Şekil 1’de Ti NP’lerin SEM görüntüsü sunulmuştur.



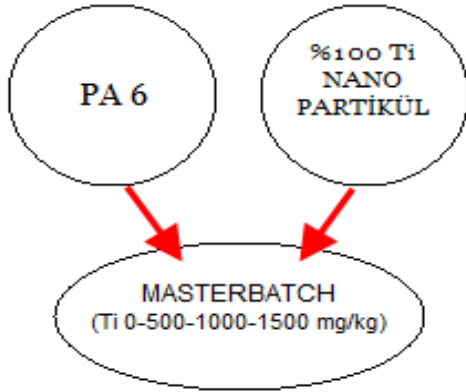
Şekil 1. Ti nanopartiküllerin SEM görüntüsü

2.2. Yöntem

2.2.1. Ti Nanopartikül Katkılı İplik ve Kumaş Üretimi

Yapay lif çekimi sırasında, polimer eriyik veya çözeltisine karıştırılan renklendirici pigmentler veya özel bir işlev sağlayacak yardımcı kimyasal veya fiziksel maddelere ve/veya bu şekilde elde edilen ciplere “masterbatch” adı verilmektedir. Masterbatch üretimi, SETAŞ Kimya Sanayi A.Ş. tarafından, işletme şartlarında çift vidalı ekstrüder kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nanopartiküller cips üretimi sırasında dozajlama sistemi ile polimer

eriyiğine dahil edilmiştir. PA6 polimer eriyiğine üç farklı oranda (500-1000-1500 mg/kg) metal bazlı (%99,9) Ti NP'ler dozajlı olarak katkılanmak suretiyle NP katkılı polimer tanecikleri (masterbatch cipsi) elde edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Ti NP katkılı masterbatch cips [24]

Eriyikten çekme sürecinde, önceden üretilmiş olan Ti NP katkılı tanecikler (cips) polimer eriyiğine karıştırılarak kesitinde 24 adet filament bulunan PA6 multifilament iplik örnekleri üretilmiştir. Nihai ipliklerdeki NP oranları ağırlıkça %0,05 - %0,10 ve %0,15 olacak şekilde 3 seviye şeklinde uygulanmıştır. Bunun yanında, kontrol iplik örneği olarak, NP katkılanmaksızın standart bir PA6 ipliği de üretilmiştir. Lif çekimi sonrasında multifilament iplik örnekleri, yumuşatma, büküm, fiksaj prosesi kullanılarak tekstürize edilmiş ve nihayet POY (Partially Oriented Yarn) iplik elde edilmiştir. Şekil 3'te tekstüre edilmiş bir iplik örneğinin genel görünümü sunulmuştur.



Şekil 3. Kesitinde 24 filament bulunan Ti katkılanmış PA 6 tekstürize iplik [24]

İplikler üretildikten sonra iplik testleri yapılmış ve daha sonra iplik örnekleri dokuma kumaşa dönüştürülmüştür. Numune iplikler yalnızca atkı yönünde kullanılmak üzere dokuma kumaş örnekleri 1/3 S dimi örgüsüyle üretilmiştir. Çözümlü ipliği olarak Ne 48/2 %100 yün ipliği kullanılmıştır. Çizelge 2'de çalışmanın deney planı ve numune kodları verilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan deney tasarımı

Kodu	Kumaş cinsi	Ti katkı oranı
Kontrol	Dokuma	% 0,00
1	Dokuma	% 0,05
2	Dokuma	% 0,10
3	Dokuma	% 0,15

2.2.2. Fiziksel Testler

Üretilen dört farklı iplik örneğine, doğrusal yoğunluk ve mukavemet/uzama testleri uygulanmıştır. Mukavemet/uzama testleri Proser Tenso Tester cihazında İngiliz test standardı BS 1932'ye göre gerçekleştirilerek mukavemet (g/denye) ve uzama (%) değerleri ölçülmüştür. Ti NP katkılanmak suretiyle üretilen iplik örnekleri dokuma sırasında yalnızca atkı olarak kullanıldığı için, mukavemet (kg-f) ve uzama (%) testleri yalnızca atkı yönünde uygulanmıştır. Testler James Heal Titan test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Testler, BS 2576 kodlu İngiliz standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Nanopartikül eklenerek elde edilen multifilament ipliklerin içindeki nanopartiküllerin dağılımını ve liflerin önceden belirlenmiş bazı özelliklerindeki

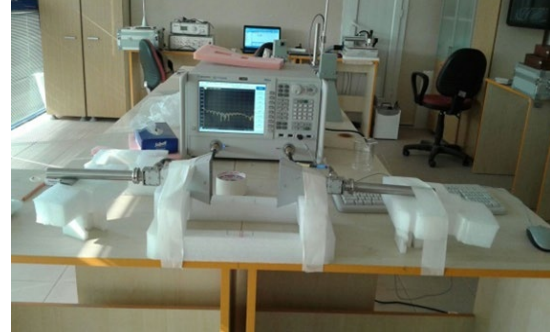
değişimi incelemek amacıyla kumaş örneklerine SEM-EDX cihazında görsel analiz de uygulanmıştır.

2.2.3. Yüzeysel Elektriksel Özdirenç Ölçümü

Kumaşın yüzeysel elektriksel özdirenç, iletkenliğinin bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Çalışmada uygulanan metal nanoparçacık ilavesinin üretilen kumaşların iletkenlikleri üzerindeki etkisini anlamak için yüzeysel özdirenç ölçümleri yapılmıştır. Numunelerin yüzeysel özdirençleri, “ELME MULTIMEG Megaohmmeter” cihazıyla ölçülmüştür. Ölçümlerde elektrotlar arası mesafe 20 cm olarak uygulanmış ve kumaşın farklı yönleri için ölçümler yapılmış, bu değerlerin ortalaması dikkate alınmıştır. Ölçüm sonuçları, tüm örneklerin yüzeysel özdirenç değeri 2×10^{12} ohm/kare’den fazla olduğunu göstermiştir. Bulgular, tüm kumaş örneklerinin yalıtkan sınıfına girdiğini ve çalışmada kullanılan oranlarda Ti NP katkılamasının kumaş örneklerinin iletkenliği üzerinde herhangi bir etki yapmadığını ortaya koymuştur.

2.2.4. EMI Ölçümü

Elektromanyetik testlerde, serbest uzay (free space) ölçüm metodu kullanılmıştır. Kaynak taramasında, bu yöntemin tekstil ile çeşitli kompozit malzemelerin elektromanyetik koruma etkinliği (EMSE, electromagnetic shielding effectiveness) ölçümlerinde sıklıkla tercih edildiği görülmektedir. EMI ölçümleri, N5224A PNA Microwave Network Analyzer cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sırasında, örnek kumaş cihazda bulunan karşılıklı iki antenin arasına, tam orta noktaya yerleştirilmiştir. Antenler aynı eksen üzerine konumlandırılmıştır (Şekil 4). EMSE, numune malzeme var iken ve yok iken ölçülen elektrik alanı veya güç yoğunluğu arasındaki oranın logaritmik bir şekli olarak tanımlanmaktadır. EMSE değerleri 1 nolu eşitlik kullanılarak dB cinsinden hesaplanmıştır. Eşitlikte; E, elektrik alan yoğunluğunu, H, manyetik alan şiddetini, P, güç yoğunluğunu, “0” alt simgesi, numune olmadan ölçümü, “T” alt simgesi, numune var iken ölçümü temsil etmektedir [5].



Şekil 4. EMI ölçümü için kullanılan Mikrodalga Network Analiz cihazının bir görseli

Ölçümler, 3–18 GHz frekans aralığında yapılmıştır. Bu aralık belirlenirken, haberleşme frekans bandlarını (uydu haberleşme, yeni nesil kablosuz haberleşme vb.) kapsamaya gözetilmiş ve kullanılan cihazın teknik kapasitesi dikkate alınmıştır.

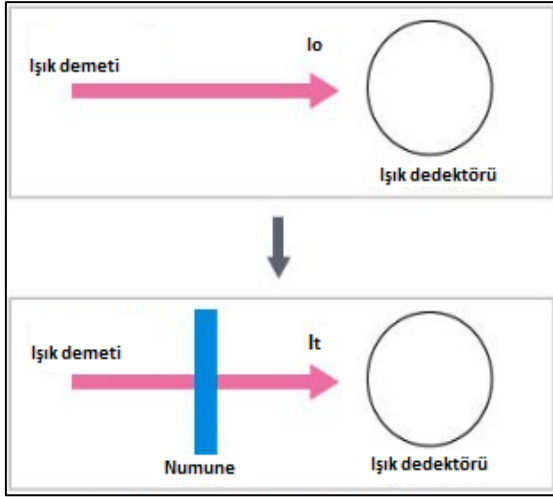
$$EMSE_T = 20 \cdot \log \left| \frac{E_0}{E_T} \right| = 20 \cdot \log \left| \frac{H_0}{H_T} \right| = 10 \cdot \log \left| \frac{P_0}{P_T} \right| \quad (1)$$

Çizelge 2’de verilen kumaş örneklerine ek olarak, 3-1 kodlu kumaşlar ve 3-2-1 kodlu kumaşlar EMI ölçümü sırasında üst üste konularak ölçüm de yapılmıştır. Bunun amacı, üretim sırasındaki katkı oranı artırmadığından, bu yöntemle daha yoğun Ti nanopartikül katkı oranı sağlayarak performans artışı elde edilip edilemeyeceğini araştırmaktır.

2.2.5. Optik Ölçümler (UV-VIS-NIR)

Tüm kumaş örneklerine, UV (morötesi), VIS-görünür bölge (~450-700 nm arası) ve NIR (yakın kızılötesi) bölgeleri için optik geçirgenlik ve soğurma (absorpsiyon) testleri uygulanmıştır. Bu testler UV-VIS-NIR Spektrofotometresi kullanılarak yapılmıştır. Test sırasında, cihazın karanlık kabini içerisinde kumaş örneklerine 300-1200 nm dalgaboyu aralığında ışık gönderilmekte, ışığın örnek tarafından soğurulma ve karşıda bulunan alıcıya iletilme oranları (%) ölçülmektedir. Şekil 5’te açıklandığı gibi, ışık demetinin yoğunluğu, örnek yok iken (I_0) ve örnek var iken (I_t) ölçülmektedir. Sonrasında, 2 nolu eşitlik kullanılarak UV geçirgenlik değeri (T) hesaplanmaktadır.

$$T (\%) = I_0 / I_t \cdot 100 \quad (2)$$



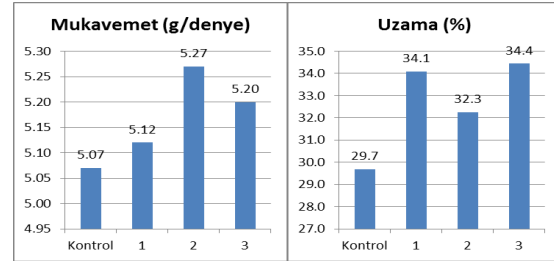
Şekil 5. UV-VIS-NIR spektrofotometresinin çalışma prensibi [24]

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. İplik Mukavemeti ve Uzama Testleri

Kesitinde 24 filament bulunan iplik örneklerine uygulanan mukavemet/uzama testi sonuçlarına göre; Ti nanopartikül (NP) katkılanmış iplik örneklerinin mukavemeti, NP katkı oranının artması ile kontrol ipliğine nazaran hafif bir artış göstermiştir. Benzer şekilde, NP katkılanmış ipliklerin uzama değerleri de katkılama yapılmamış olan kontrol iplik örneklerine nazaran bir miktar artış göstermiştir (Şekil 6). Bulgular ışığında, %100 Ti NP katkılama uygulamasının PA6 ipliklerin mukavemet/uzama değerleri üzerinde düşük seviyede olumlu etki yaptığı söylenebilir. Ancak bu olumlu etkinin doğrusal bir seyir izlemediği, %0,10'luk Ti NP katkısından sonra mukavemette bir miktar azalma olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni, Ti NP miktarının artmasıyla belli bir noktadan sonra aglomerasyon meydana gelmesi ve katkı maddesi ile matriks arasındaki arayüzey bağlarının zayıflamaya başlaması olduğu düşünülmektedir. Uzama grafiğinde, mukavemet ile uzama arasında ters bir orantı olduğu gözlenmektedir. Bu durum, mukavemet artışını sağlayan faktörlerin (kristal yapının artması, rijit

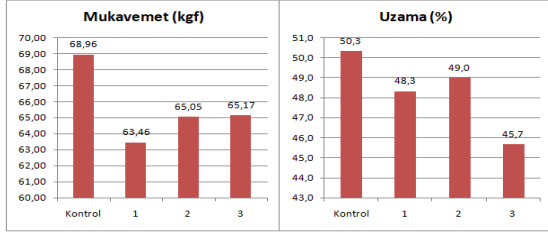
yapı vb.) uzama üzerindeki olumsuz etkisinden kaynaklanabilir.



Şekil 6. Üretilen iplik örneklerinin mukavemet ve uzama değerleri [24]

3.2. Kumaş Örneklerine Uygulanan Mukavemet/Uzama Testleri

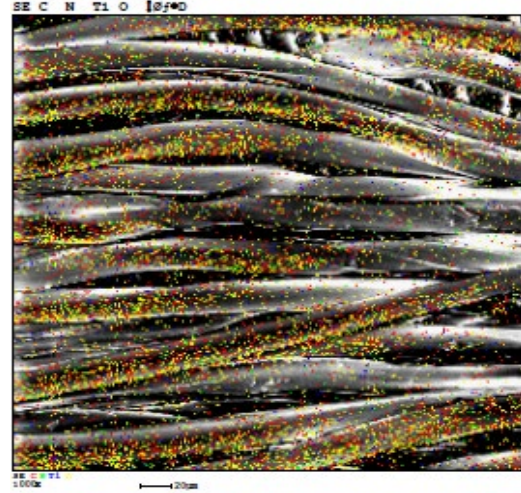
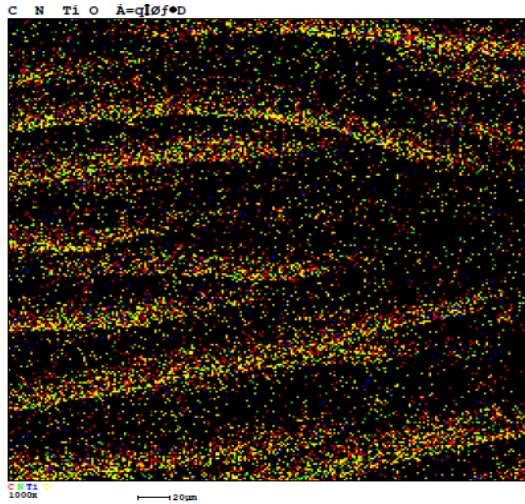
Çalışmada, dokuma kumaşlara atkı doğrultusunda uygulanan mukavemet ve uzama testlerinin sonuçları değerlendirildiğinde, Ti NP katkılanmış atkı iplik örnekleri ile dokunmuş kumaşların mukavemet değerlerinin, Ti NP katkılama oranının artması ile düşük seviyede arttığı söylenebilir. Fakat, katkılanmış ipliklerle dokunan tüm kumaşların mukavemet değerleri, katkılanmamış kontrol iplikleri ile dokunmuş olan kontrol kumaşına nazaran daha düşük seviyededir (Şekil 7). Ti NP katkılanmış tüm iplik örneklerinin mukavemet değerleri kontrol ipliğine nazaran daha yüksek iken (Şekil 6) aynı ipliklerle dokunan kumaş örneklerine ait mukavemet değerlerinin kontrol kumaşinkine nazaran daha düşük (Şekil 7) olduğu belirlenmiştir. Bu durum, kumaşın özgün geometrisi ve katkılanan Ti nanopartiküllerin ipliğin kesme kuvvetlerine karşı direncini olumsuz etkilemesi nedeniyle ortaya çıkmış olabilir. Öte yandan, Ti NP katkılama oranının artması ile kumaşın uzama değeri azalma eğilimi göstermiştir. Ti NP katkılanmış tüm iplik örneklerinin uzama oranları kontrol ipliğinkine nazaran daha fazla iken, aynı ipliklerle dokunan Ti katkılanmış kumaşların uzama oranları kontrol kumaşinkinden daha az bulunmuştur. Yine bu durum, kumaşın özgün geometrisi ve Ti NP katkılama nedeniyle ipliklerin kesme kuvvetlerine karşı direncinin azalması sonucu ortaya çıkmış olabilir.



Şekil 7. Üretilen numune kumaşların atkı yönünde mukavemet/uzama grafikleri [24]

3.3. Kumaş SEM Görüntüleri

Katkılanmış Ti nanopartiküllerin lif içinde ve yüzeyinde nasıl dağıldığını incelemek için üretilen dokuma kumaşların SEM-EDX cihazında analizleri yapılmıştır (Şekil 8). Analiz sonuçları Şekil 8'de sunulmuş olup ipliği ve kumaşı oluşturan liflerin üzerine dağılan Ti NP'lerin belli noktalarda oligomerizasyon nedeniyle kümelenmediği ve düzgün bir dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Oligomerizasyonun gerçekleşmesi yani NP'lerin kümelenerek gruplar oluşturması ve birbirine bağlanması durumunda, bu gruplar arasındaki mesafelerin açılması ve iletkenliğin olumsuz etkilenmesi, kümeleşme sonucunda matris-katkı arasındaki arayüzey bağlarının bozulması gibi istenmeyen durumlar meydana gelebilmektedir. NP dağılımının homojen olmaması ve iletkenliğin azalması da optik özellikler üzerinde doğrudan olumsuz etkiler göstermektedir.

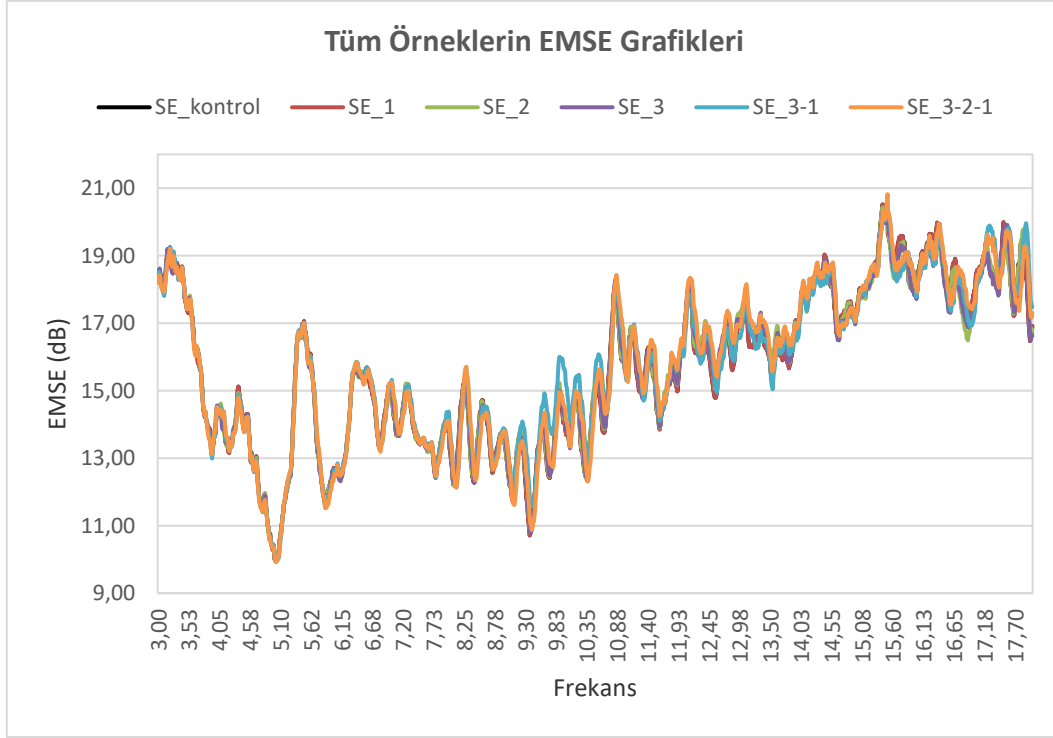


Şekil 8. Kumaş numunelerinde atomların dağılımının görüntüsü [24]

3.4. EMI Ölçüm Sonuçlarının Analizi

Kompozit bir malzemenin elektromanyetik koruma verimliliği (EMSE), katkılanan maddenin cinsi, matris malzemenin iletkenlik, dielektrik, en boy oranı gibi pek çok özelliğine bağlıdır.

Çoğunlukla, liflerin yapısını teşkil eden polimerler yalıtkan olduğundan EMSE değerleri üzerine doğrudan bir etki yapmamaktadır, fakat katkılanan maddenin iletkenlik seviyesini etkilemek suretiyle dolaylı bir etki yapması söz konusu olabilir. Katkılanan nanopartiküllerin matris malzeme içinde dağılımı ise, işlem şartlarına, polimer matrisin yüzey gerilimine, kristalleşme düzeyine, polarizasyonuna ve molekül ağırlığına bağlı olmaktadır [25]. Yapay liflere nanopartikül katkılama önemli kısıtlardan birisi katkı oranının artmasıyla lifin fiziksel özelliklerinin ve üretim kalitesinin olumsuz etkilenmesidir. Bu durum çalışmada gerçekleştirilen lif üretimi sırasında gözlemlenmiştir. Katkı oranının artırılmasıyla katkılanan maddeden beklenen etkinin de artması doğal olarak beklenir, fakat katkılama oranını artırma seviyesi katkılanan nanopartiküller ile polimer matris arasında zayıf bağlar olması nedeniyle sınırlanmaktadır. Bundan dolayı, lif çekim sürecinde problemler artmakta ve katkılama oranı arttıkça lifin mekanik özellikleri negatif yönde etkilenmektedir.



Şekil 9. Ölçülen tüm örneklere ait EMSE grafiklerinin karşılaştırılması

Bu nedenle, çalışma kapsamında gerçekleştirilen lif çekimi sürecinde, başlangıç olarak daha yüksek NP katkı oranları uygulanmış olsa da, standart üretim süreçlerinde uygulanan 275 °C’de ve basınç değerlerinde sağlıklı lif çekimi yapılamadığından katkılama oranları azaltılmıştır. Çünkü yapılan değişik sıcaklık ve basınç değerleri ile çok sayıda deneme yapılmasına karşın düzelerde sağlıklı ve düzgün filament akışı elde edilememiştir. Elektromanyetik girişim testine tabi tutulan tüm örnekler için EMSE değerleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 9’da grafik halinde sunulmuştur. Sonuçlar analiz edildiğinde; genel olarak katkılanmış numunelerin EMSE değerlerinde kontrol kumaşa göre anlamlı bir artış olmadığı söylenebilir. Yalnızca 9,64-10,23 GHz Aralığında 3 ve 1 nolu örneklerin EMSE performansı üzerinde çok küçük bir olumlu etki yaptığı gözlenmektedir. Bu sonucun, liflere katkılanan Ti NP miktarının EMSE değerlerini artıracak seviyede olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha etkili sonuçlar elde etmek için NP katkı oranını artırmak

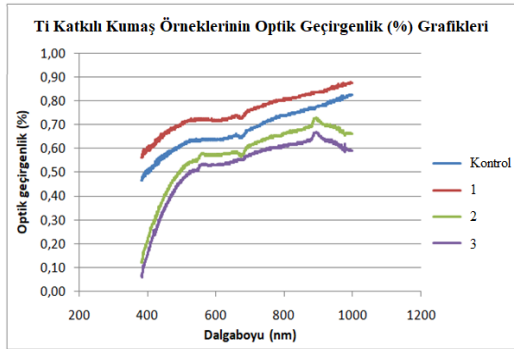
üzere PA üretim prosesinde geliştirici çalışmalar yapmak ve/veya PA matriks yerine polyster ya da polipropilen matriks kullanmak düşünülebilir. Nanopartikül miktarının ve dağılımının yeterli düzeyde olmaması iletkenliği ve elektromanyetik dalgalar ile girişim yaratma potansiyelini azaltmaktadır.

3.5. Optik Ölçüm Sonuçlarının Analizi

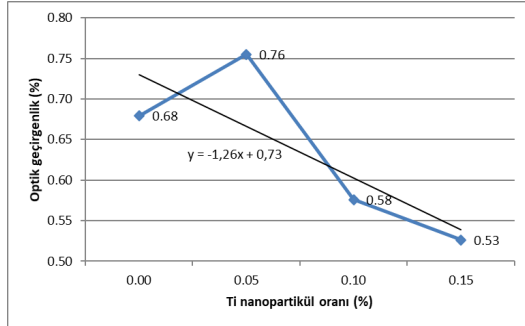
3.5.1. Optik Geçirgenlik Analizi

Dokuma kumaş örneklerine ait optik geçirgenlik grafikleri, Şekil 10’da sunulmuştur. Bu grafikte, katkılanan Ti NP oranındaki artışın optik geçirgenlikte bir azalmaya neden olduğu açıkça görülmektedir. Tüm örnekler için grafikler, dalgaboyu yükseldikçe optik geçirgenlikte de artış eğilimi olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak; PA 6 filament liflerine Ti NP katkılama, liflerin ve bu liflerden üretilen kumaşların optik geçirgenlik özelliğini azaltma yönünde etki göstermiş, dalgaboyu yükseldikçe söz konusu etki seviyesinde

artış eğilimi belirlenmiştir. Ti NP oranı arttıkça özellikle %0,10 ve %0,15 seviyesinde düşük dalgalı boylarında (400-450 nm) geçirgenlik etkinliğinin daha büyük artışlar gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu etki çok daha düşük de olsa 900-1000 nm dalgalı boyu aralığında da gözlenmektedir.



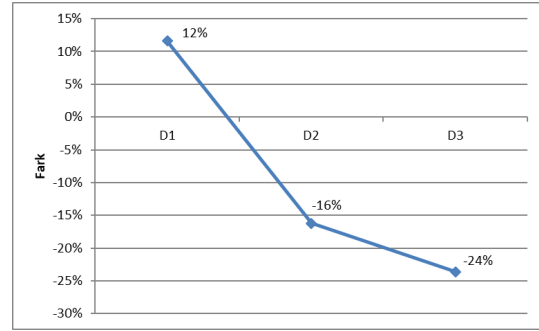
Şekil 10. Kumaş örneklerine ait optik (UV-VIS-IR) geçirgenlik grafikleri



Şekil 11. Ti NP katkı oranı ile optik geçirgenlik değeri arasındaki ilişki

Ti NP katkı miktarına bağlı olarak kumaş numunelerinin optik geçirgenlik seviyesindeki değişimi analiz etmek ve çalışmada kullanılan katkı oranlarından farklı değerlerden yola çıkarak optik geçirgenlik tahmini yapabilmek için, Şekil 10'da sunulan veriler yardımıyla Şekil 11'deki grafik çizilmiştir, iki değişken arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon modeli sunulmuştur. Optik geçirgenlik değerleri tüm dalgalı boylarına ait değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Şekil 11'deki grafik Ti NP katkı oranındaki artış ile optik geçirgenlik değeri arasında negatif doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Grafikte sunulan

regresyon eşitliğinin ileride yapılacak çalışmalarda katkı oranından yola çıkarak optik geçirgenlik seviyesinin tahmin edilmesinde faydalı olması beklenmektedir.



Şekil 12. Ti NP katkılanmış örneklerin optik geçirgenlik değerlerinin kontrol kumaşından farkları

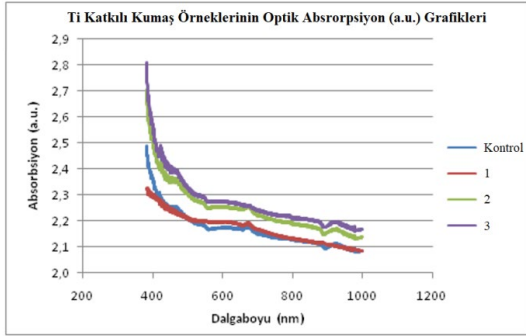
Şekil 12'de sunulan grafik, Ti katkılanmış kumaş örneklerinin optik geçirgenlik değerlerinin kontrol kumaşından farklarını göstermektedir. Ti NP katkı oranının artmasıyla optik geçirgenlik seviyesinde doğrusal olarak azalma olduğu görülmektedir. En düşük optik geçirgenlik değerini Ti NP katkı oranı % 0,15 olan 3 kodlu örnek sağlamış ve bu örnekte kontrol kumaşına göre % 24'lük bir azalma gerçekleşmiştir.

Kristal yapıya sahip polimer malzemelerin ışık geçirgenlik seviyesi, malzemenin boyutuna, şekline, yerleşim düzenine, eşyönsüzlüğüne ve yapısındaki kristalitlerin düzenine bağlı olmaktadır. Işık geçirgenlik düzeyinin, ışığın saçılması ve filtrelenmesine bağlı olarak ölçülmesi, polimer malzemenin yapısal karakterizasyonunu sağlamaktadır [26]. Bundan dolayı, kontrol kumaş örneğinin sağladığı optik koruma seviyesinin, kumaşı oluşturan liflerin yapısındaki kristal bölgelerin bir sonucu olduğu söylenebilir.

3.5.2. Optik Soğurma Analizi

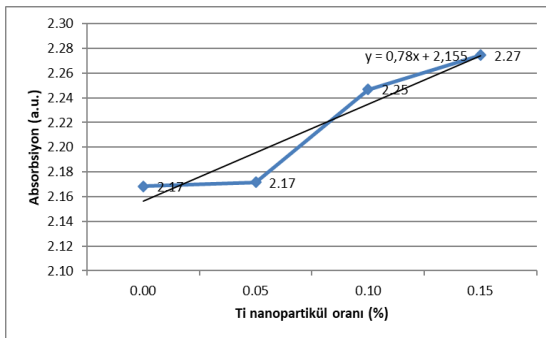
Şekil 13'teki grafik tüm kumaş örneklerinin optik soğurma (absorbsiyon) değerlerinin dalgalı boyuna göre değişimini göstermektedir. Grafikte, tüm örneklere ait soğurma değerlerinin düşük dalgalı boylarında en yüksek seviyede iken, dalgalı boyu arttıkça başlangıçta hızlı sonra gittikçe

yavaşlayan bir eğimle azalmaktadır. Genel olarak, Ti NP katkı oranının artmasının, optik soğurma değerini artırma yönünde etki etmektedir. Ti NP katkı oranı en yüksek olan 3 kodlu numune en yüksek soğurma değerini sağlamıştır.



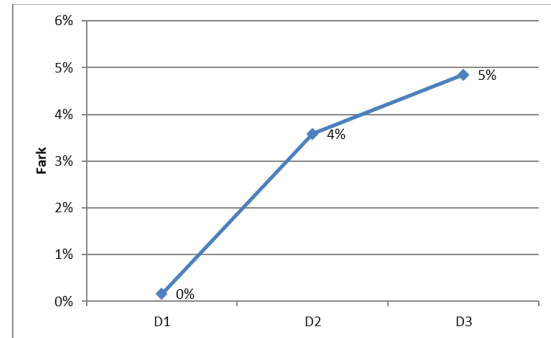
Şekil 13. Kumaş örneklerinin optik (UV-VIS-IR) soğurma değerlerinin değişimi

Ti NP katkı oranının optik soğurma ile ilişkisini ortaya koymak ve farklı katkı miktarları için optik soğurma değerlerini tahmin edebilmek amacıyla Şekil 14'teki grafik çizilmiştir. Grafikteki soğurma değerleri tüm dalga boylarına ait değerlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Grafik, Ti NP katkı oranı ile soğurma değerleri arasında pozitif doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Tahminlemede kullanılabileceği düşünülerek, regresyon eşitliği de grafikte verilmiştir. Veriler, % 0,05 oranında Ti NP katkısının kontrol kumaşa nazaran soğurma üzerinde neredeyse hiç etki yapmadığını, fakat %0,10 ve % 0,15 katkılama oranlarının soğurma değeri üzerinde belirgin oranda pozitif etki yaptığını göstermektedir.



Şekil 14. Ti nanopartikül katkı oranı ile optik absorpsiyon değerleri arasındaki ilişki

Şekil 15'deki grafik, Ti NP katkılanmış kumaş örneklerinin kontrol örneğine nazaran soğurma değerlerindeki farklarını göstermektedir. Grafikten, Ti NP katkılama miktarının artmasıyla soğurma değerlerinde doğrusal bir artış olduğu anlaşılmaktadır. Veriler, kütlece % 0,15 Ti NP katkısı ile optik soğurma değerinde kontrol kumaşına göre %4,8'lik bir artış sağlandığını göstermiştir.



Şekil 15. Ti NP katkılanmış örneklere ait soğurma değerlerinin kontrol kumaşına göre farkları

4. SONUÇ

Günümüzde, tekstil ürünlerine elektromanyetik girişimden koruma, yüksek mukavemet, ısı yalıtımı, antibakteriyel özellik, iletkenlik vb. işlevsel özellikler kazandırmak ve bu özellikleri geliştirmek, tekstil malzemelerinin kendine özgü yapısı nedeniyle, çok çalışılan konular arasındadır. Bu kapsamda, yapay lif çekimi esnasında, polimer eriyiği ya da çözeltisi içerisine çeşitli oranlarda NP katkılanması yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntem nanoteknoloji biliminin tekstil alanındaki başlıca uygulamalarından biridir. Bu çalışma kapsamında, %100 metal Ti nanopartiküllerin lif çekimi sırasında PA 6 filamentleri içerisine katkılanmasının bu lifler ve ipliklerden dokunmuş kumaşların mekanik özellikleri ile kumaşın elektromanyetik ve optik koruma özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İpliklere uygulanan fiziksel testler, Ti NP katkısının iplik örneklerinin mukavemet/uzama değerlerini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. Kumaş örneklerine

uygulanan fiziksel testler ise, en yüksek mukavemet değerini kontrol kumaşı sağlasa da, NP katkı oranındaki artışın kumaş mukavemetini düşük seviyede pozitif yönde etkilediğini göstermiştir. %0,05 ve %0,15 oranındaki düşük seviyelerde Ti NP katkılama, PA6 filament iplik örneklerinin mukavemet/uzama özellikleri üzerinde olumlu etki yapmıştır. NP katkı oranındaki artış kumaş mukavemetinde az da olsa artış sağlamıştır. Kontrol ipliğinin mukavemeti, NP katkılı ipliklerin mukavemetinden daha düşük olmasına rağmen, kontrol ipliği ile (atkıda) dokunan kontrol kumaşın diğerlerine göre daha yüksek mukavemet sağladığı görülmüştür. Bunun, atkı atma ve yerleştirilmesi esnasında kontrol ipliğinin diğer ipliklere göre farklı davranmasından (kumaş geometrisi) ve metal Ti NP katkılamasının ipliklerin kesme kuvvetlerine karşı direncini düşürmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. İplik ve kumaş uzama değerleri için de aynı durum gözlenmiştir. Öte yandan, SEM görüntülerinden, kumaş ve lifler üzerinde oligomerizasyonun olmadığı ve Ti NP'lerin düzgün dağılım gösterdiği anlaşılmıştır. Nihayet, Ti NP katkılamasının PA 6 filament iplik ve bu ipliklerden dokunmuş kumaş örneklerinin mekanik özellikleri üzerinde düşük düzeyde anlamlı bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır. EMI ölçüm verilerinin analizi; çalışmada uygulanan oranlarda Ti NP katkılamasının, kumaşların EMSE değerlerinde kontrol kumaşa nazaran anlamlı iyileşme sağlamadığını göstermiştir. PA 6 lif çekimi esnasında daha yüksek oranda NP katkısı, üretim ve kalite problemlerine neden olmuştur. İleride katkılama oranlarının artırılmasına yönelik çalışmalar yapılması önerilebilir. Optik ölçüm sonuçları analiz edildiğinde ise uygulanan Ti katkılama, kumaşın optik geçirgenliği üzerinde negatif yönde etki yapmış, dalgaboyu büyüdükçe bu etki artış eğilimi göstermiştir. Ti NP katkısı, optik soğurma değeri üzerinde pozitif yönde etki göstermiş ve en yüksek soğurma değeri, Ti katkısı en yüksek olan 3 kodlu numune ile elde edilmiştir. %0,15 Ti NP katkısı, kontrol kumaşa göre kumaşların optik geçirgenliğini %24, optik soğurma düzeyini ise %5 artırmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (Proje no: FYL-2015-4405) tarafından desteklenmiştir. Ayrıca, yazarlar katkıları nedeniyle, Elasteks Elastik İplikler San. ve Tic. A.Ş., Yünsa Yünlü Sanayi ve Tic. A.Ş.'ne teşekkür ederler.

6. KAYNAKLAR

1. International Organization for Standardization, ISO. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:80004:-1:en>. Erişim Tarihi: Mayıs 2018.
2. Greßler, S., Simkó, M., Gázsó, A., Fiedeler, U., Nentwich, M., 2010. Nano-Textiles. NanoTrust Dossier. Nr. 015en-December 2010.
3. Chaudhari, S.B., Shaikh, T., Pandey, P., 2013. A Review on Polymer TiO₂ Nanocomposites. International Journal of Engineering Research and Applications, 3(5), 1386-1391.
4. Akram, S., Ashraf, M., Javid, A., Abid, H.A., Ahmad, S., Nawab, Y., Nosheen, A., 2023. Recent Advances in Electromagnetic Interference (EMI) Shielding Textiles: A Comprehensive Review. Synthetic Metals, 294, 117305.
5. İlhan, İ., Esen, M., Karaaslan, M., Akyürek, B. Y., 2023. Investigation of EMI and UV-IR Shielding Properties of Wool And Cotton/Elastane Nanocomposite Fabrics. J Coat Technol Res., 20, 1407-1422.
6. İlhan, İ., Esen, M., Karaaslan, M., Akyürek, B. Y., Çelikel, Ö., 2023. Investigation of EMI and UV-IR Shielding Properties of Kevlar and Polyester/Elastane Nanocomposite Fabrics Coated By ECR and Evaporation Methods. The Journal of the Textile Institute, 1-14.
7. Pakdel, E., Wang, J., Kashi, S., Sun, L., Wang, X., 2020. Advances in Photocatalytic Self-Cleaning, Superhydrophobic and Electromagnetic Interference Shielding Textile Treatments. Advances in Colloid and Interface Science, 277, 102116.
8. Jeevanandam, J., Barhoum, A., Chan, Y.S., Dufresne, A., Danquah, M.K., 2018. Review on Nanoparticles and Nanostructured Materials:

- History, Sources, Toxicity and Regulations. *Beilstein J. Nanotechnol.*, 9, 1050-1074.
9. Martinez-Gutierrez, F., Olive, P.L., Banuelos, A., Orrantia, E., Nino, N., Sanchez, E.M., Ruiz, F., Bach, H., Av-Gay, Y., 2010. Synthesis, Characterization, and Evaluation of Antimicrobial and Cytotoxic Effect of Silver and Titanium Nanoparticles. *Nanomed. Nanotechnol. Biol. Med.*, 6, 681-688.
 10. Jamkhande, P.G., Ghule, N.W., Bamer, A.H., Kalaskar, M.G., 2019. Metal Nanoparticles Synthesis: An Overview on Methods of Preparation, Advantages and Disadvantages, and Applications. *J. Drug Deliv. Sci. Technol.*, 53, 101174.
 11. Jorge, J.R.P., Barao, V.A., Delben, J.A., Faverani, L.P., Queiroz, T.P., Assunção, W.G., 2013. Titanium in Dentistry: Historical Development, State of the Art and Future Perspectives. *J. Indian Prosthodont. Soc.*, 13, 71-77.
 12. Schabes-Retchkiman, P.S., Canizal, G., Herrera-Becerra, R., Zorrilla, C., Liu, H.B., Ascencio, J.A., 2006. Biosynthesis and Characterization of Ti/Ni Bimetallic Nanoparticles. *Opt. Mater.*, 29, 95-99.
 13. Kumari, M., Perera, C.S., Dassanayake, B.S., Dissanayake, M., Senadeera, G.K.R., 2019. Highly Efficient Plasmonic Dye-Sensitized Solar Cells with Silver Nanowires and TiO₂ Nanofibres Incorporated Multi-Layered Photoanode. *Electrochim. Acta*, 298, 330-338.
 14. Ochiai, T., Fujishima, A., 2012. Photoelectrochemical Properties of TiO₂ Photocatalyst and Its Applications For Environmental Purification. *J. Photochem. Photobiol. C Photochem. Rev.*, 13, 247-262.
 15. Dicastillo, C.L., Correa, M.G., Martínez, F.B., Streitt, C., Galotto, M.J., 2020. Antimicrobial Effect of Titanium Dioxide Nanoparticles. In *Antimicrobial Resistance-A One Health Perspective*; IntechOpen: London, UK.
 16. Radetić M., 2013. Functionalization of Textile Materials with TiO₂ Nanoparticles. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 16, 62-76.
 17. Batur, Z., Akyıldız, H.İ., 2021. Polietilen Teraftalat (PET) Liflerde Katkılanan TiO₂ Konsantrasyonunun Fotokatalitik Kendini Temizleme Özelliklerine Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 24(1), 121-129.
 18. Felipe B.H.S., Cabral R.L.B., Ladchumananandasivam R., Zille A., Kim S., Fechine P.B.A., Nascimento J.H.O., 2022. Nanocoating on Cotton Fabric with Nitrogen-Doped Graphene Quantum Dots/Titanium Dioxide/PVA: An Erythematous UV Protection and Photoluminescent Finishing. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 2435-2450.
 19. Zhu, M., Xing, Q., He, H., Zhang, Y., Chen, Y., Pötschke, P., Adler, H., 2004. Preparation of PA6/ Nano Titanium Dioxide (TiO₂) Composites and Their Spinnability. *Macromol. Symp.*, 251-261.
 20. Kumartaşlı, S., 2021. Nanopartikül Takviyeli Pet Polimeri Esaslı Nanokompozit Fonksiyonel Lif Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, Türkiye, 84.
 21. Attia, N.F., Moussa, M., Sheta, A.M.F., Taha, R., Gamal, H., 2017. Effect of Different Nanoparticles Based Coating on the Performance of Textile Properties. *Progress in Organic Coatings*, 104, 72-80.
 22. Wu, G., Song, P., Zhang, D., Liu, Z., Li, L., Huang, H., Zhao, H., Wang, N., Zhu, Y., 2017. Robust Composite Silk Fibers Pulled Out of Silkworms Directly Fed with Nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 533-538.
 23. Seventekin, N., 2003. *Kimyasal Lifler*. E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, İzmir, 134.
 24. Maralcan, A., 2018. Nanoparçacık Katkılı Poliamid 6 Lifi Üretimi ve Kumaş Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana, Türkiye, 82.
 25. Mohanty, A. K., Ghosh, A., Sawai, P., Pareek, K., Banerjee, S., Das, A., Voit, B., 2014. Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of MWCNT Filled Poly(ethersulfone) and Poly(etherimide) Nanocomposites. *Polymer Engineering & Science*, 54(11), 2560-2570.

26. Clough, S., Rhodes, M.B., Stem, R.S., 1967.
The Transmission of Light by Films of
Crystalline Polymers. Journal of Polymer
Science: Polymer Symposia, 18(1), 1-32.