



**UZAK KIZIL ÖTESİ IŞINLARI YANSITICI
PİGMENT KAPLAMALI KUMAŞ YAPILARININ
GELİŞTİRİLMESİ**

Emre FİDAN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UZAK KIZIL ÖTESİ IŞINLARI YANSITICI
PİGMENT KAPLAMALI KUMAŞ YAPILARININ
GELİŞTİRİLMESİ**

Emre FİDAN
0009-0000-0300-8292

Prof. Dr. Mehmet KANIK
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2024
Her Hakkı Saklıdır

Yüksek Lisans Tezi

UZAK KIZIL ÖTESİ IŞINLARI YANSITICI
PİGMENT KAPLAMALI KUMAŞ YAPILARININ
GELİŞTİRİLMESİ
Emre FİDAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Mehmet KANIK

Soğuk iklim giysileri yeterli termal koruma sağlamak üzere ısı yalıtımı yapabilen materyal kullanılarak genelde hareket serbestisini kısıtlayan tarzda katmanlı yapılardan oluşturulmaktadır. Hava boşluğu olan doğal veya sentetik elyaf kullanımı ve birden fazla kat veya katman oluşturma, ya da dıştan bir enerji kaynağı kullanılarak ısıtma yapan giysiler kullanılan başlıca yöntemlerdir. Dış ortam sıcaklığı düştükçe giysi hacim kazanarak hareket serbestisini zayıflatmakta ve engellemektedir. Giysi ağırlığının artması da performansı olumsuz yönde etkilemektedir. Dış mekandaki zorlu soğuk şartlar altında görev icra eden asker, gemici, madenci ve benzeri gibi mesleklerdeki çalışanlar, soğuk ortamda spor yapanlar ve doğduğu coğrafya itibarıyla dünyanın daha soğuk iklimlerinde yaşayan insanlar için bu giysilerin performansları yaşamsaldır. Tüm bu tekstiller genellikle ısı transferini konveksiyon ve kondüksiyon prensiplerine bağlı kalarak yapacak şekilde tasarlanmakta ve üretilmektedir ancak bedenden ısı kaybının büyük bir kısmı ışıınım yoluyla kaybedilmektedir. Bu nedenle dıştan gelen ve içten üretilen ısıyı absorblayarak geri yansıtabilen yapıların geliştirilmesi bahsedilen katmanlı yapılar yerine daha ergonomik ve etkin giysilerin üretilmesine yol açacaktır.

Bu tez çalışmasında polyester (polietilen teraftalat) ve poliamid polimerinden elde edilen dokuma kumaşların yüzeylerine insan bedeni ışıması dalga boyunda absorblama yaptığı bilinen iki farklı metal oksit (SiO_2 ve Al_2O_3) kullanılarak farklı konsantrasyonlarda kaplamalar yapılmıştır. Ayrıca, referans olması açısından piyasadan temin edilen ticari bir ürün içeren kaplamalar ve hiçbir dolgu maddesi içermeyen kör kaplamalar da yapılmıştır. Yapılan fiziksel ve ısı performans testleri yardımıyla metal oksit kaplamaların etkinlikleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Işıınım, emisivite, kızılötesi, tekstil kaplama,
2024, xvii + 87 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DEVELOPMENT OF FAR INFRARED RAY REFLECTIVE PIGMENT COATED FABRIC STRUCTURES

Emre FİDAN

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet KANIK

Cold climate clothing is generally made of layered structures that hinders freedom of movement by using thermal insulation materials to provide appropriate thermal protection. The methods employed are to utilise of natural or synthetic fibers with an air gap and the creation of multiple layers, or heating clothes using an external energy source. As the external temperature decreases, the clothing gains volume, thus may weakens and hinders freedom of movement. Increasing clothing weight also negatively effects performance which is vital for workers in professions such as soldiers, sailors, miners and others who work under harsh cold outdoor conditions, those who do sports in cold environments, and people who live in colder climates due to their geography. All these textiles generally considered to lose heat through convection and conduction, which neglects the heat loss by radiation. For this reason, developing layers manipulating their character againts radiation may lead to the production of more suitable materials for clothing.

In this thesis, woven fabrics made of polyester (polyethylene terephthalate) and polyamide were coated with two different metal oxides (SiO_2 and Al_2O_3) known to absorb human radiation wavelengths in different concentrations. In addition, a commercial product and blind coatings without any functional material were also made. The performance of metal oxide coatings were evaluated using physical and thermal tests.

Key words: Radiation, emissivity, infrared, textile coating
2024, xvii + 87 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana yol gösteren, tez konumun uygulanması aşamasında kendimi geliştirmek istediğim tekstil yüzeylerinin kaplanması alanında kazandığım deneyim için ve bu tezi bitirmemde büyük emeği olan değerli hocam Prof. Dr. Mehmet Kanık'a teşekkürlerimi sunarım.

Kaplama patları hazırlamasındaki öneri, yönlendirme ve desteği için Dr. Gizem Manasoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Pat hazırlama, kaplama yapma, kalenderleme ve fikseleme işlemleri sırasında yardımını aldığım Sema Fındıklı'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ölçüm yapmak üzere laboratuvar imkanlarının kullanılmasına izin veren Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Bölümü Başkanı Prof. Dr. Gökhan Sevilgen ve ölçümler sırasında destek olan bölüm araştırma görevlisi Sayın Berkay Tahirağaoğlu'na teşekkürlerimi sunarım

Çalışmalarımı gerçekleştirdiğim ve olanaklarından yararlandığım Nirmal Tekstil Tasarım Danışmanlık Sanayi ve Ticaret Limited Şirketine, Avrupa Pasifik Tekstil Anonim Şirketine, KVS Tekstil Limited Şirketine ve değerli çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca beni yüreklendiren ve desteklerini hep hissettiğim tüm bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalar sırasında onlara ayırmam gereken zamandan tasarruf etmeme rağmen desteklerini esirgemeyen eşim Fatma Fidan'a ve aileme, beni yüreklendiren arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Emre FİDAN
.../.../.....

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ..	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Konfor...	2
2.2. Giysi Konforu	3
2.4. Kondüksiyon Yoluyla Isıl Yönetim	7
2.4.1. Malzeme tabanlı tasarım	7
2.4.2. Yapı tabanlı tasarım	10
2.5. Konveksiyon Yoluyla Isıl Yönetim	16
2.5.1. Yüzey konstrüksiyonu değişimi	16
2.5.2. Etkiye duyarlı malzemeler	17
2.6. Nem Taşınımıyla Isıl Yönetim.....	17
2.7. Işınım Yoluyla Isıl Yönetim	20
2.8. Siyah Cisim ve Emisivite	20
2.9. Elektromanyetik Spektrum	22
2.10. Infrared Bölge	24
2.11. FIR'ın Biyolojik Etkileri,	24
2.12. Işınım Kontrolü Yapararak Isı Kontrolü Yapan Tekstiller	25
2.13. FIR Yayınımı Yapan Bileşikler (Pigmentler/Biyoseramikler)	34
2.14. Pigment Katkılı FIR Işınımı Yapan Tekstiller	35
2.15. Kaplama	44
2.16. Kaplama Makineleri.....	45
2.17. Kaplama Metotları	47
2.18. Bıçaklı Kaplama Metodu	47
2.19. Kaplama Reçetesi Kimyasalları	49
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	51
3.1. Materyal	51
3.1.1. Kumaş	51
3.1.2. Kaplama kimyasalları.....	52
3.1.3. Dolgu malzemeleri	52
3.2. Yöntem.....	52
3.2.1. Stok patının hazırlanması	53
3.2.2. Kaplama patının hazırlanması.....	53
3.2.3. Kaplama, kurutma, kalandırlama ve fiksaj	56
3.2.4. Kumaşların birim alan ağırlıkları ve aktarılan madde ölçümü.....	57
3.2.5. Taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi	58
3.2.6. Kumaşların FTIR analizi.....	58
3.2.7. Kumaşların serbest halde ısı tutum ölçümleri.....	59
3.2.8. Kumaşların soğuk ortamda ısıtma altında ısı tutumu ölçümleri	60
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	62
4.1. Birim Alan Ağırlığı Sonuçları.....	62
4.2. Aktarılan madde miktarları	63

4.3. SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi.....	65
4.4. FTIR Analizlerinin Değerlendirilmesi	66
4.4.1. SiO ₂ Kaplamalı PET Kumaşların FTIR Değerlendirilmesi	67
4.4.2. SiO ₂ Kaplamalı PA Kumaşların FTIR Değerlendirmesi.....	69
4.4.3. Al ₂ O ₃ Kaplamalı PET Kumaşların FTIR Değerlendirilmesi	70
4.4.4. Al ₂ O ₃ Kaplamalı PA Kumaşların FTIR Değerlendirilmesi	71
4.4.5. SiO ₂ -Al ₂ O ₃ Karışım Kaplamalı PET-PA Kumaşların FTIR Değerlendirilmesi ...	72
4.4.6. FTIR Genel Değerlendirme.....	73
4.5. Dolgu Maddelerinin Serbest Soğuma Halinde Performans Değerlendirmesi	74
4.5.1. PA kumaşın tek dolgulu performans değerlendirilmesi	74
4.5.2. PET kumaşın tek dolgulu performans değerlendirilmesi	75
4.5.3. PA ticari ürünün tek cins dolguya göre değerlendirilmesi.....	76
4.5.4. PET ticari ürünün tek cins dolguya karşı performans değerlendirilmesi	77
4.5.5. PA kumaşın Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ karışımlı performans değerlendirilmesi	78
4.5.6. PET kumaşın Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ karışımlı performans değerlendirilmesi	78
4.6. Kumaşların Soğuk Ortamda Isıtma Altında Performans Değerlendirmesi.....	79
5. SONUÇ.....	80
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
α	Absorbans (Emicilik)
C	Celcius
Λ	Dalga boyu
ε	Emisivite
Q	Isı miktarı
λ_{tepe}	Maksimum dalga boyu
M	Mikro
Mm	Mikrometre
ρ	Reflektans (Yansıtıcılık)
$^{\circ}$	Derece
Σ	Stefan-Boltzman sabiti
τ	Transmitans (Geçirgenlik)
B	Wien yer değıştirme kanunu sabiti
Γ	Yüzey gerilimi

Kısaltmalar	Açıklama
Al_2O_3	Aliminyum oksit
BN	Boron Nitrit
CVD	Chemical vapour deposition
ZnO_2	Çinko oksit
Fe_2O_3	Demir oksit
FDM	Faz değıştiren malzeme
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektropi
RQ	Gül quartz
AgNW	Gümüş nano tel
ACCNL	Gümüş selüloz karbon nanotüp laminat
HEM	Hematit
IR	Infrared
CaO	Kalsiyum oksit
NCF	Kaplanmamış kumaş
CNT	Karbon nano tüp
K	Kelvin
ROCH	Kırmızı aşıboyası
RIP	Kırmızı jasper
RCD	Kırmızı kalsedon
Km	Kilometre
KKD	Kişisel koruyucu donanım
GN	Lal taşı
LBL	Layer by layer

MNG	Magnetit
M	Metre
Mm	Milimetre
NCF	NCF
Nm	Nonometre
OBS	Obsidiyen
MIR	Orta infrared
IR-B	Orta infrared
PVD	Phiysical vapour deposition
BNCF	Pigmentsiz pat ile kaplanmış kumaş
PE	Polietilen
PET	Polietilen terafitalat
PPS	Polifenilen sülfüt
PSA	Polisülfonamit
PTFE	Politerrafloretillen
PU	Poliüretan
PVA	Polivinilalkol
EVA	Polivinilasetat
PDA	Polydopamin
PI	Polyimid
Cm	Santimetre
cP	sentipoise
SiO ₂	Silisyum dioksit
Na ₂ O	Sodyum oksit
ŞHM	Şekil hafızalı malzeme
LDH	Tabakalı çift hidroksit
SEM	Taramalı elektron mikroskop
Thz	Terahertz
TiO ₂	Titanyum dioksit
TM	Turmalin
UV	Ultraviyole
UPF	Ultraviyole koruma faktörü
CIE	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu
ISO	Uluslararası Standartlar Komisyonu
FIR	Uzak infrared
IR-C	Uzak infrared
3D	Üç boyutlu
NIR	Yakın infrared
IR-A	Yakın infrared

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Beden ortam arasındaki ısı transferi mekanizması.....	4
Şekil 2.2. a) İnsan bedeninden ısı kaybı yolları b) Giysi konforu..... döngüsü.....	5
Şekil 2.3. Isı yönetimi mekanizmaları.....	6
Şekil 2.4. Şekil verilmiş gözenekli elyaf.....	10
Şekil 2.5. Farklı kesit elyaf ve 3M thinsulate.....	11
Şekil 2.6. İçi boşluklu elyaf eldesi	12
Şekil 2.7. Kesitli elyaf kullanarak doku içine hava hapsetmek.....	13
Şekil 2.8. Kesit şekli ile hapsedilebilecek hava miktarını.....	13
Şekil 2.9. Nafion çalışma mekanizması.....	14
Şekil 2.10. Farklı aerojel yapılar.....	15
Şekil 2.11. Aspen şirketi tarafından üretilen silica esaslı aerojel.....	16
Şekil 2.12. Yüzey, sıvı ve gaz arasındaki kuvvet ilişkisi.....	19
Şekil 2.13. Farklı ısılardaki siyah cisimlerin maksimum yoğunlukta tepe dalga boyu.....	23
Şekil 2.14. Elektromanyetik spektrum.....	23
Şekil 2.15. Çift Yüzlü tekstilin şematik gösterimi.....	26
Şekil 2.16. İki modlu tekstilin morfolojisi ve emisivite karakterizasyonu.	26
Şekil 2.17. Üç katlı iki modlu Janus membranın elde edilmesi.....	27
Şekil 2.18. LDH membran ısıtma modunda.....	28
Şekil 2.19. LDH membran soğutma modunda.....	29
Şekil 2.20. Geleneksel ve nanofotonik tekstilin şematik karşılaştırılması ve nanofotonik tekstil eldesi şematik gösterimi.....	30
Şekil 2.21. Nanofotonik tekstil test düzeneği ve ısı performans görselleri	31
Şekil 2.22. IR ışıınımı özelliğinin ayarlanabilirliği, düşük maliyetli metal alternatifler.....	31
Şekil 2.23. Lamine membran eldesinin şematik gösterimi.....	32
Şekil 2.24. Kutup ayısı postu ve ACCNL çalışma şekillerinin şematik gösterimi.....	33
Şekil 2.25. Dış ortam performans değerlendirme.....	33
Şekil 2.26. Farklı boyuttaki turmalin mineralin emisivite grafiği.....	35
Şekil 2.27. Seramik katılmış ipliklerden elde edilen tekstil yüzeylerinin kullanım alanları.....	36
Şekil 2.28. Celliant ürün çalışma mekanizması.....	37
Şekil 2.29. Seramik katkılı ve katkısız giysilerin IR kamera altında görünümü.....	39
Şekil 2.30. Mineral ısı tutma kapasitesi.....	41
Şekil 2.31. Mineral katkılı PU film etme metodu.....	42
Şekil 2.32. Seramik katkılı numunelerin SEM görüntüleri.....	43
Şekil 2.33. PU ve PU/Al ₂ O ₃ filmlerin reflektans, transmittan ve emisivite grafikleri.....	43
Şekil 2.34. PU ve PU/SiO ₂ filmlerin reflektans, transmittan ve emisivite grafikleri.....	43
Şekil 2.35. PU ve PU/TiO ₂ filmlerin reflektans, transmittan ve emisivite grafikleri.....	44
Şekil 2.36. Kaplama makinası şematik gösterim.....	46

Şekil 2.37.	Kaplama bıçağının kumaşa göre pozisyonları.....	48
Şekil 2.38.	Kaplama bıçak çeşitleri.....	48
Şekil 2.39.	Silindir üstü bıçak şematik gösterim.....	49
Şekil 3.1.	Ataç marka MX-01 karıştırıcı.....	55
Şekil 3.2.	Brookfield RVT vizkozimetre cihazı.....	56
Şekil 3.3.	Ataç marka GK40-RKL laboratuvar tipi kaplama makinası....	57
Şekil 3.4.	Polteks marka kalender.....	57
Şekil 3.5.	Shimadzu marka FTIR cihazı.....	58
Şekil 3.6.	Lutron BTM-59.....	59
Şekil 3.7.	Ölçüm çerçevesi.....	60
Şekil 3.8.	Ölçüm düzeneği.....	60
Şekil 4.1.	1000 kez büyütülmüş yüzeyler ve kesit görüntüler.....	65
Şekil 4.2.	2000 kez büyütülmüş yüzeyler ve kesit görüntüler.....	65
Şekil 4.3.	SEM parçacık boyutu ölçümleri (x2000).....	65
Şekil 4.4.	Hesaplama yoluyla bulunan ortalama referans absorbands değeri	67
Şekil 4.5.	Ham, ticari SiO ₂ kaplamalı PET kumaşların absorbands grafiği...	68
Şekil 4.6.	Ham, ticari SiO ₂ kaplamalı PA kumaşların absorbands grafiği....	69
Şekil 4.7.	Ham, ticari Al ₂ O ₃ kaplamalı PET kumaşların absorbands grafiği..	70
Şekil 4.8.	Ham, ticari Al ₂ O ₃ kaplamalı PA kumaşların absorbands grafiği	71
Şekil 4.9.	Ham, ticari SiO ₂ ve Al ₂ O ₃ karışıklı PET kumaşların absorbands grafiği.....	72
Şekil 4.10.	Ham, ticari SiO ₂ ve Al ₂ O ₃ karışıklı PA kumaşların absorbands grafiği.....	73
Şekil 4.11.	PET kumaşta dolgu maddesinin absorbandsa oransal etkisi.....	73
Şekil 4.12.	PA kumaşta dolgu maddesinin absorbandsa oransal etkisi.....	74
Şekil 4.13.	PA kumaşın Al ₂ O ₃ soğuma eğrisi.....	75
Şekil 4.14.	PA kumaşın SiO ₂ soğuma eğrisi.....	75
Şekil 4.15.	PET kumaşın Al ₂ O ₃ soğuma eğrisi.....	76
Şekil 4.16.	PET kumaşın SiO ₂ soğuma eğrisi.....	76
Şekil 4.17.	PA kumaşta 100g/kg Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ ile ticari ürün soğuma eğrisi.....	77
Şekil 4.18.	PET kumaşta 100g/kg Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ ile ticari ürün soğuma eğrisi.....	77
Şekil 4.19.	PA kumaşın 25g/kg Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ ile 50g/kg Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ karışıklı soğuma eğrisi.....	78
Şekil 4.20.	PET kumaşın 25g/kg Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ ile 50g/kg Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ karışıklı soğuma eğrisi.....	778
Şekil 4.21	Soğuk ortamda ısıtma altında PET kaplamalı yüzeylerin termal görüntüleri.....	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Farklı tekstillerin emisivitesi.....	22
Çizelge 2.2.	ISO 20473'e göre infrared spektrumunun alt bölümlenmesi	24
Çizelge 2.3.	CIE S 017:2011'e göre infrared spektrumun alt.....	24
Çizelge 2.4.	Turmolin'in farklı partikül büyüklüğü ile elde edilen.....	35
Çizelge 2.5.	Ölçülen emisivite değerleri.....	38
Çizelge 2.6.	Numune fiziksel özellikleri.....	38
Çizelge 2.7.	Numune karışım oranı ve emisivite özellikleri.....	38
Çizelge 2.8.	Seçilen doğal minerallerin bileşenleri.....	40
Çizelge 2.9.	Mineral katkısı oranına göre emisivite değişimi.....	40
Çizelge 2.10.	Mineral ekli PU filmlerin fiziksel özellikleri.....	42
Çizelge 3.1.	Polyamid kumaş teknik özellikleri.....	51
Çizelge 3.2.	Polyester kumaş teknik özellikleri.....	51
Çizelge 3.3.	Kaplama kimyasalları.....	52
Çizelge 3.4.	Kullanılan dolgu maddeleri ve konsantrasyonları.....	53
Çizelge 3.5.	Stok patı reçetesi.....	53
Çizelge 3.6.	Farklı konsantrasyonlarda Al ₂ O ₃ kaplama patı reçetesi.....	54
Çizelge 3.7.	Farklı konsantrasyonlarda SiO ₂ kaplama patı reçetesi.....	54
Çizelge 3.8.	Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ karışımı kaplama patı reçetesi.....	54
Çizelge 3.9.	Kör pat ve ticari ürün kaplama patı reçetesi.....	55
Çizelge 4.1.	PA kaplamalı birim alan kumaş ağırlıkları.....	62
Çizelge 4.2.	PET kaplamalı kumaş ağırlıkları.....	62
Çizelge 4.3.	Dolgu maddesi karışım haline olan kumaşların ağırlıkları.....	63
Çizelge 4.4.	PA kumaş üzerine aktarılan madde miktarları.....	64
Çizelge 4.5.	PET kumaş üzerine aktarılan madde miktarları.....	64
Çizelge 4.6.	Dolgu maddesi karışım halinde olan kumaşlara aktarılan madde miktarları.....	64
Çizelge 4.7.	Soğutmalı ortamda işlem sonu termal kamera yüzey sıcaklıkları.....	79

1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki canlıların yaşam şekilleri çoklukla içinde bulunulan coğrafya koşulları tarafından belirlenmektedir. Ortalama sıcaklığın düşük olduğu kış ayları daha az hareket edilen ve genellikle daha sıcak dönemlerde biriktirilen enerjinin (gıdanın) tüketildiği bir bekleme dönemi olarak geçirilmektedir. İnsanlar dışındaki canlılar halen bu döngüye uygun davranmaya devam etmekle birlikte insanlar çok farklı nedenlerle soğuk iklimlerde bulunmayı istemekte veya bulunmak zorunda kalmaktadırlar. Kış sporları yapanı ya da izleyicisi olmak, yaşam alanı kutup dairelerine yakın olduğu için yılın büyük bir kısmında düşük sıcaklıklarla bulunmak zorunda kalmak, yine nüfusun büyük kısmının yaşadığı insanlığın gereksinimi olan tarım, madencilik ve sanayi üretiminin yapıldığı kışları sert orta kuşak ülkelerinde bulunmak, güneş ısısının alınamadığı ve gece gündüz ısı farkının yüksek olduğu ortamlar bu duruma örnek verilebilir.

İnsanlık, elindeki önce doğal sonra yapay hammadde ve malzemelerle bu zorlu koşullara dayanacak giysileri üretmeyi başarmıştır. Başlangıçta çok katmanlı ağır ve hareket imkânını sınırlayan tarzdaki bu giysilerin genel özelliği kullanılan dolgu malzemelerinin ve kumaşların büyük kısmının ısı iletkenlik katsayısı düşük ve aralarında hava boşluğu oluşturacak tarzda kıvrımlı yapılara sahip iplikler ile üretilmeleridir. Gelişen malzeme ve teknolojinin etkisiyle benzer ısı korunumu prensiplerini esas alan daha hafif, harekete izin veren ve kişiyi yormayan bir şekle bürünmekle birlikte; insanı soğuktan daha iyi koruyabilen, daha hafif, daha çok harekete izin veren giysi yapımına uygun kumaşların geliştirilmesine dönük arayışlar devam etmektedir.

Kumaş yüzeyine ince bir katman şeklinde düşük gramajda aktarılabilen ısı yansıtma özellikli pigmentler soğuk iklimde kullanılabilecek kumaşlar için güncel geliştirme alanlarından biridir. Bu çalışmada insan bedeninin ürettiği ve ışıyım yoluyla yaydığı ısıyı soğuran ve ardından geri yansıtan pigmentleri içeren kaplamalı sentetik kumaşların etkinlikleri ve potansiyelleri incelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Giysiler öncelikle insanları yaşanan ortamın ısı, ıslaklık, ışınım gibi hemen aklımıza gelen olumsuz etkilerinden korunmasını sağlamalıdır. Bir yandan gelişen teknolojilerin talebiyle farklı ve daha zorlu ortamlardaki görevler sırasında kullanılan giysiler, bir yandan hobi olarak yaptığımız spor ve benzeri aktiviteler için kullanılan giysiler, diğer taraftan gündelik yaşam sırasında kullandığımız giysilerin tamamının kullanılma sürelerince yapılan aktiviteyi mümkün kılacak fonksiyonları sağlamaları beklenmekte ve bu fonksiyon özellikleriyle birlikte estetik özellikleri de taşınması talep edilmektedir. Bireyler olarak yaşamdaki konfor seviyemizi yükseltme çabalarımızla birlikte 7/24 üzerimizde taşıdığımız giysilerin fonksiyon ve estetik özellikleriyle birlikte bu konfor talebine yanıt verebilmesi bir yandan tüketicinin kendini iyi hissetmesi, üreticinin ise rakiplerden konfor parametresi ile pozitif ayrışması açılarından önem kazanmıştır. Giysi konforu kullanıcıların giysi seçimindeki ana kriterlerden biri haline gelmiştir. “Günümüz kullanıcıları sadece iyi gözüken değil iyi de hissettiren giysilerle ilgilenmektedirler” (Li 2010).

2.1. Konfor

Konfor rahatsızlık vermeyen bir durum olarak tanımlanabilir. Konforu neyin bozabileceğini tanımlamak konforu kavramak açısından daha kolay olmaktadır. Bu nedenle konfor algısının nötr olduğu birçok araştırmacının ortak fikridir. Kişinin hava sıcaklığı, rüzgar hızı, gürültü, ışık, nem gibi çevresel faktörlerle ilgili bir uyarıyla bu nötr durumundan çıkarak hissettiği olumsuz duygu konforu yok edecektir (Kadolph 1998). Giysi, bu faktörlerden gelen uyaranlar ile giyen kişi arasında yarattığı etki nedeniyle kişiye bağlı konfor duygusunu etkilemektedir.

Kişinin konfor değerlendirmesinde etkili ve birbirleriyle etkileşim halinde öne çıkan süreçler Li'ye (2010) göre dört başlık altında toplanmaktadır.

- Fiziksel Süreçler. Bunlar katlar arasında ısı ve nem taşınımı, beden ve giysi arasındaki etkileşim, giysinin ışığı absorblaması veya yansıtması gibi bedene dönük uyaran oluşturan süreçlerdir.

- Fizyolojik Süreçler. Bedenin fizyolojik durumu ve kritik koşullar altında hayatta kalmasını belirleyen ısı dengesi ve bu ısı dengesi sağlamak üzere verdiği tepkileri, bedenin giysi ve ortamla ilişkisini içermektedir.
- Nörofizyolojik Süreçler. Duyular aracılığıyla beden, giysi ve ortam etkileşimi sonucu hissedilen sinyalleri içermektedir.
- Psikolojik Süreçler. Duyular yordamıyla elde edilen veriyi geçmiş deneyimler ışığında değerlendirerek öznel algılar oluşturan süreçlerdir. Beyin konfor algısını statü, önyargılar ve tercihler çerçevesinde oluşturmaktadır.

2.2. Giysi Konforu

Giysi konforu Oğlakçıoğlu ve Marmaralı'ya (2013) göre fizyolojik, psikolojik, nörofizyolojik ve fiziksel etkilerin insan bedeninin çevresi ile olumlu uyumu olarak tarif edilebilir. Dört ana başlık altında incelenmektedir:

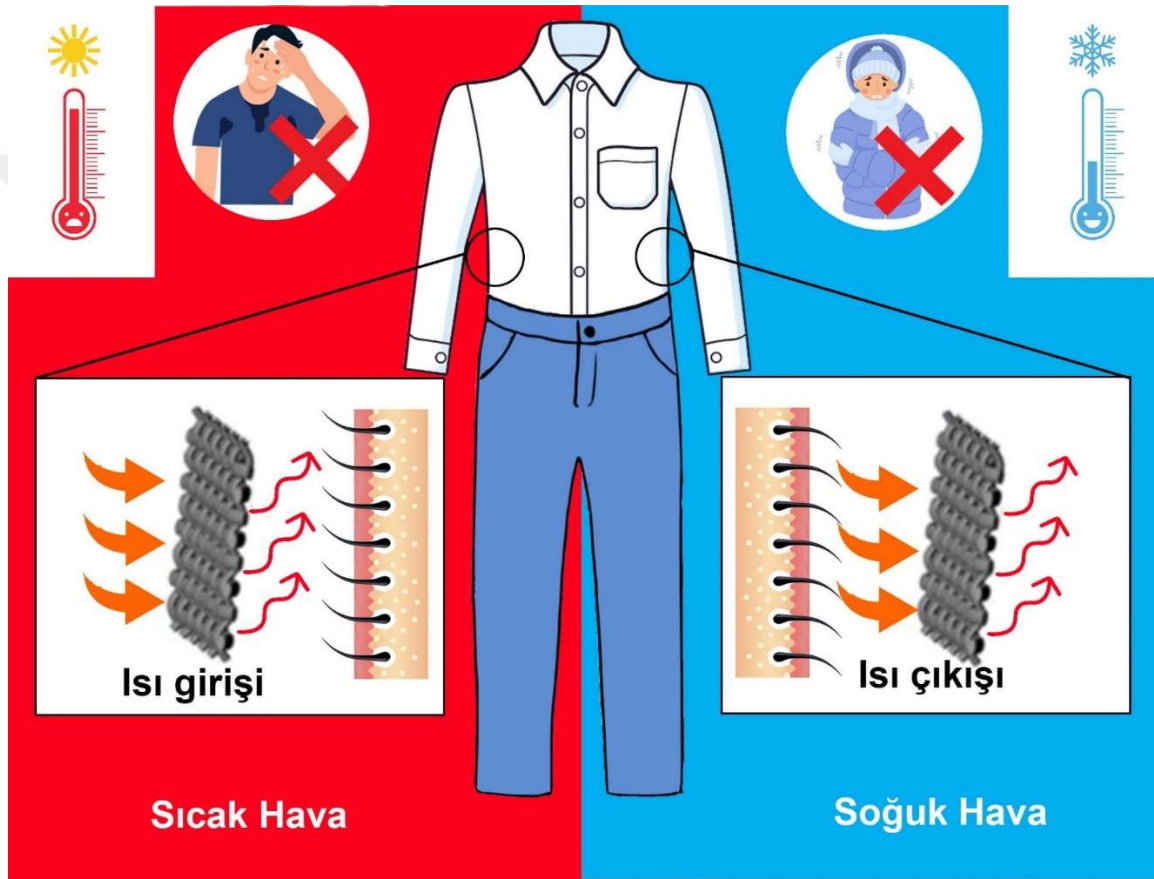
-Duyusal konfor; Cilt ile tekstil materyali teması ile ortaya çıkan duyguların değerlendirilmesine dayanmaktadır. Olumlu duyusal konfor için materyalin temas sırasında yumuşaklık, kayganlık gibi negatif olmayan bir duygu üretmesi, kaşıntı ve alerji yapmaması, deriye yapışmaması gerekir.

- Psikolojik konfor; Psikolojik konfor, öz güvenle yakından ilgili olup modaya uygunluk ve çevre tarafından beğenilme önemli kriterleridir. Yaşanılan çevre, (kültür / iklim / tarih /ekonomi) yaş, cinsiyet gibi bir çok faktörden etkilenmektedir.

- Beden hareketi konforu; giysinin hareket serbestliğine izin vermesi, istendiğinde vücudun şeklini alması ve vücuda fazla yük bindirmemesi durumunda vücut hareketi konforundan söz edilebilir. Giysinin bedene oturuşu, zorlanma altında esnemesi ve esnemenin geri dönmesi vücut hareketi konforu açısından önem taşımaktadır.

- Isıl konfor; çevre koşulları ve aktivitelere göre değişen fazla vücut ısını ve nemi transfer ederek vücudun ısı ve nem dengesini koruyan giysiler ısı açıdan konforlu olmaktadır. Giysilerin dolayısıyla tekstil materyallerinin ısı ve nem geçirgenlik özellikleri ile giysilerin bedenle mekanik etkileşimine bağlıdır.

Bedeni ısıl dengede tutmak ve konforu sağlayabilmek için 34 °C üzeri ve 10 °C altı ısılarda farklı metotları kullanan tekstil yüzeyleri ve giysilere ihtiyaç duyulmaktadır. Yaz mevsiminde dış ortamda ısı çevreden insan bedenine transfer olmaktadır ki, bu beden ısını yükseltir ve rahatsızlığa yol açar. Bu durumda dışarıdan gelen bu ısıyı bloklamak gerekir ancak bloklama artan ısıyla ortaya çıkan terin dışarıya transferine de izin vermelidir. Kış mevsiminde dış ortamda ise ısı insan bedeninden ortama transfer edilir. Bu kez bloklama dışarı yönlü bu ısı transferini engelleyecek şekilde olmalıdır.



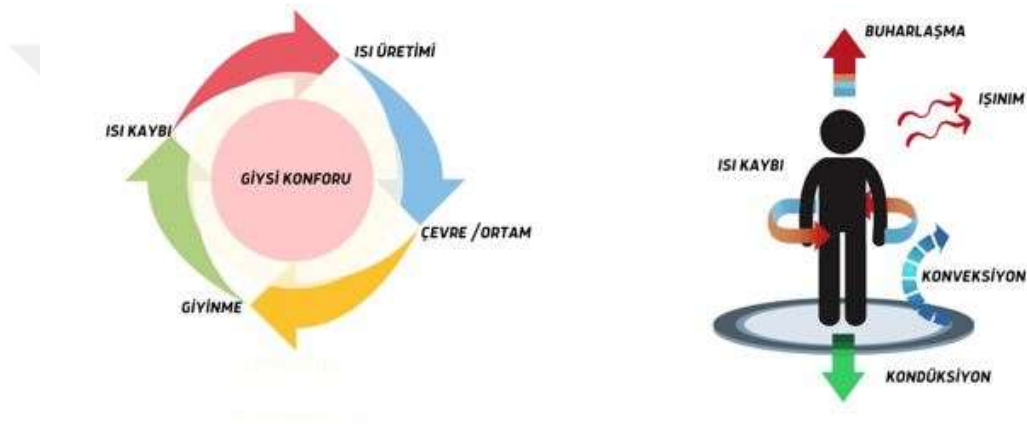
Şekil 2.1. Beden ortam arasındaki ısı transferi mekanizması (Peng ve ark. 2019)

İnsan beden metabolizmasının ürettiği ısınnın bedenden ortama yayılan ısıya eşit olduğu durumda kişi kendini konforlu hissedecektir. Böyle bir termal denge durumu için birim çıplak insan beden yüzeyi başına termal eşitlik denklemi yazılabilir.

$$\Delta S = M - W - R - C - E - RES \quad (2.1)$$

Denklemden, M (W/m²) insan bedeni enerji metabolizma oranını, W (W/m²) harici yolla mekanik olarak yapılan işi, R (W/m²) giysili bedenin dış yüzeyinden ortamla ışınnım

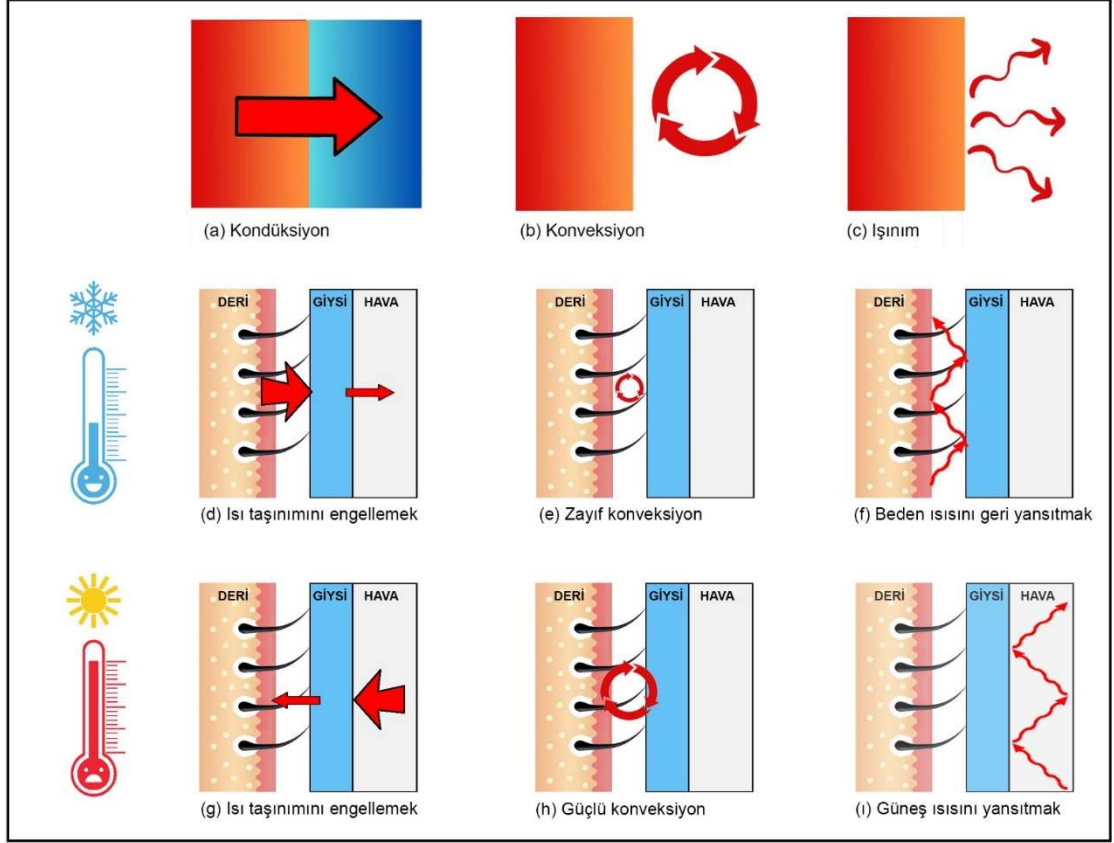
yoluyla yapılan ısı değişimini, C (W/m^2) insan bedeni ve çevre arasındaki konveksiyon yoluyla ısı değişimini ve E (W/m^2) buharlaşma yoluyla deriden kaybedilen ısıyı temsil etmektedir. Bedenin termal dengede olması ısı deposunun sıfıra eşit olması ($\Delta S=0$) demektir. Eğer bir ısı kazanımı varsa $\Delta S > 0$ olacak, beden ısısı yükselecektir. Tam tersine $\Delta S < 0$ olduğunda ise beden ısısı düşecektir. Burada formülü sadeleştirmek için W ve RES soluk boruları yoluyla olan ısı transferi ihmal edilebilir. Formül bize çevre ile insan bedeni arasında ısı alışverişinin genel olarak kondüksiyon, konveksiyon, radyasyon ve buharlaşma yoluyla olduğunu göstermektedir (Holmeér 2005, Zhu ve Feng 2021).



Şekil 2.2. İnsan bedeninden ısı kaybı yolları (solda) ve giysi konforu döngüsü (sağda) (Zhu ve Feng 2021)

İnsan bedeni ve giysi arasında mikro iklimi sahip ince bir hava boşluğu bulunmaktadır (Li ve Holcombe 1998). Bu boşluktaki ısı ve nem insanlardaki konfor seviyesini belirlemektedir. En konforlu deri ısısı $33,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak bilinmektedir, bu sıcaklıktan aşağı ve yukarı yönlü $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik sapmalarda insanlar çevresel bir değişiklik hissetmemektedir. Ancak bu sapma $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'yi geçtiğinde kişi kendini çabucak rahatsız hissetmektedir. Ayrıca iç beden (çekirdek) ısısından $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ aşağı yada yukarı yönlü sapmalar ölümcül olabilmektedir (Epstein ve Moran 2006).

Kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon yoluyla havanın sıcak yada soğuk olmasına bakmaksızın deri mikro iklimini $33,4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tutmaya yarayan ileri ısı yönetimi malzemeleri geliştirebilmek için altı adet strateji önerilmektedir (Peng ve ark. 2019).



Şekil 2.3. Isı yönetimi mekanizmaları: a) termal kondüksiyon, b) termal konveksiyon, c) termal ışınım. Soğuk havada giysi: d) kondüksiyonu azaltır, e) konveksiyonu minimize eder, f) ışınımı geri yansıtır. Sıcak havada giysi: g) dışarıdan gelen havayı engeller, h) konveksiyonu artırır, i) dışarıdan gelen ısı ışınımını yansıtır (Peng ve ark. 2019)

Beden ile çevre arasındaki ısı farkı kondüksiyon, konveksiyon ve ışınım ile transfer edilen enerji miktarını ve yönünü belirlemekte ve kuru ısı transferi olarak adlandırılmaktadır.

Buna ek olarak kuru ısı transferi yerine deri yüzeyi ile çevre arasındaki su buharı basıncı farkına dayalı nem taşınımıyla ısı yönetimi yapan malzemeler de bulunmaktadır. Çok kanallı elyaflar geleneksel yuvarlak kesitli elyaflara göre daha büyük bir yüzey alanına sahip oldukları için çok daha çabuk kurumaktadırlar. Örneğin Dupont mühendisleri tarafından geliştirilen ve daha sonra Lycra Company'ye satılan Coolmax® markalı polyester iplikler normal yuvarlak kesitli polyesterlere göre %20 daha fazla yüzey alanına sahiptir.

2.4. Kondüksiyon Yoluyla Isıl Yönetim

Kondüksiyon, enerjinin yüksek enerjili partiküllerden düşük enerjili partiküllere doğru bir madde içerisinde akmasıdır. Katılarda latis içerisindeki moleküllerin titreşimi ve serbest elektronların enerji taşınımı ile; sıvı ve gazlarda ise moleküllerin rastgele hareketi sırasındaki çarpışma ve difüzyonları ile meydana gelir (Kayataş 2023). İnsan bedeni ve çevre arasında istenmeyen ısı transferini engellemek için genellikle düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemelerin kullanılmasına dayanır.

2.4.1. Malzeme tabanlı tasarım

Düşük ısı iletim katsayısına sahip malzeme ilk seçenek olsa da, iç mekan kullanımlarında ısı transferini arttırmak için yüksek ısı iletim katsayısına sahip malzemeler kullanarak soğuma sağlamak da mümkündür. Bu amaçla kullanılabilen malzemeler inorganik, organik yapıda veya faz değiştiren özel malzemeler olabilir.

- İnorganik Malzemeler:

Bu grupta cam, bazalt, asbest, seramik ve karbon elyafı sayılabilir. Cam elyafı ağırlığına göre çok geniş bir yüzey alanına sahip olduğu için ısı iletim katsayısı oldukça düşüktür. Isıl yalıtım malzemesi olarak aleve ve suya dayanım ve kimyasal stabilite özelliğiyle dokusuz yüzey ve dokuma kumaş olarak uzun zamandır kullanılmaktadır.

Bazalt elyafı volkanlardan çıkarılan kayalardan elde edilmektedir. Cama nazaran yüksek ısıda yumuşamaz ve yüksek ısıya dayanıklı yalıtım malzemesi olarak ya da yüksek ısı karşısında çalışılan işlerde koruyucu giysi olarak kullanılabilir (Basaltex.com 2023-c).

Seramik elyaflar oksit ve oksit olmayan olarak ikiye ayrılabilir. Oksit olanlar uzun ve kısa elyaf olarak 1970’li yıllardan beri ticari olarak üretilmektedirler. Genellikle alümina (Al_2O_3) ve alümina silika ($Al_2O_3-SiO_2$) dan oluşmaktadırlar. Yüksek ısıda battaniye ve mat şeklinde yalıtım malzemesi, yangından korunum için tekstil olarak, keçe ve contalarda bu özelliğine ek olarak düşük ısı iletim katsayısı ve ısı şoku dayanımı ile öne çıkmaktadır (Yalamaç vd., 2017).

Asbest, Grekçede söndürülemez anlamına gelmektedir. Ucuz ve çok bulunması nedeniyle geniş kullanım alanı bulmakla birlikte her iki tipinin de kanserojen olması nedeniyle

kullanımı sınırlandırılmıştır. Sıra dışı termal kararlılığı ve yüksek kopma mukavemeti faydalı fiziksel özelliklerinin başında gelmektedir. Yaklaşık 1450 °C’de erimektedir. İnce liflere ayrılabilir, iplik eğrilebilir ve yüzey oluşturulabilir. Sinema perdeleri, çatı kaplaması, oto freni kaplaması, itfaiye personeli giysisi, gibi yüksek ısıya maruz kalınan birçok alanda kullanım yeri bulmuştur (Nayak, 2016).

Tüm bu düşük termal kondüktif malzemeler ile yapılan giysiler sert kırılğan bir yapıda olup ürüne dönüşmeleri zor, pahalı ve elde edilen ürün giyim için ağır olmaktadır. Bu tarz giysiler normal insanlardan çok, metalürji fırında çalışan işçiler, astronotlar ve itfaiye personeli tarafından kullanılmaktadır.

Bu kullanım zorluklarını aşmak için Abbas ve arkadaşları (2017) Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 ’i nano boyuta getirip pamuk elyaf üzerine kaplama yapmıştır. Oluşan yüzeyin normal pamuğa göre ısı iletiminin %19,1 ile %44,5 arasında düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak düşük haslık ve nano parçacıkların geri salınımı gibi sorunların çözülmesi gerekmektedir.

Düşük ısı iletkenliğine sahip malzemeleri liflerin üzerine kaplamak yerine diğer bir yaklaşım da elyafları yüksek ısı iletkenliğine sahip grafit, karbon nano tüp ve boron nitrit (BN) ile kaplayarak ısı iletimini arttıracak yönde malzemeler üretmektir. İlgili bir çalışmada Gao ve arkadaşları (2017) sıralı BN nano tabakaları polivinil alkol (PVA) ile karıştırarak giysinin ısı yayımını arttırarak kişinin serinlemesini sağlamışlardır. Üç boyutlu (3D) bir yazıcı kullanarak büyük ölçekli BN/PVA kompozit elyafını imal etmişlerdir. BN nano tabakalar PVA elyafı arasında oldukça düzgün sıralandığı için ısı çabucak insan bedeninden ortama transfer edilmektedir. Ancak bu tarz bir kullanım ortam sıcaklığı beden sıcaklığından düşük olan ortamlar için çalışmaktadır. Aksi durumda ısı ortamdan insan bedenine transfer edilmektedir. Kullanım alanı daha çok içeride çalışan ve bedenlerini örtmek zorunda olan doktor hemşire gibi çalışanlara uymaktadır.

- Organik Malzemeler:

İçlerinde bifenil yapılar taşıyan organik malzemeler düşük termal iletkenliğe sahip olduğu için ısıl yönetim amaçlı giysi imalatına uygundur. Bu grupta Polyimid (PI), Polifenilen sülfid (PPS) ve meta-aramid (Nomex) bulunmaktadır. PI lifleri için ticari markalar olarak

P84®, Yilun®, Suplon™ vb. sayılabilir. Pahalı ve üretimleri zor olmakla birlikte polyester ve akriliğe göre daha yüksek camlaşma sıcaklığına (350-375 °C) ve çok daha yüksek erime sıcaklığına sahiptir. Aromatik yapıları nedeniyle düşük tutuşurluk özelliklerine sahip olduğu için, fırınlarda, uzay araçları ve astranot kıyafetlerinde, sıcak gaz filtrasyonu, termal izolasyon gerektiren yerlerde kullanılmaktadır (Polymerdatabase 2008) P84® ekotex belgeli ve deriye temasında problem olmayan bir tarafta yoğun ısı yalıtımı yaparken diğer taraftan nefes alabilen bir malzemedir. Koruyucu giysi olarak kapşon eldiven ya da kişisel koruma (KKD) amaçlı yüksek seviyeli teknik tekstillerde bileşen olarak kullanılabilir (Evonik 2023).

Polyfenilen sülfid (PPS) elyafları yüksek performanslı oldukça iyi kimyasal ve ısı dayanımına, yüksek boyutsal stabiliteye, düşük nem emilimine, asit, alkali ve organik çözücülere karşı yüksek hidroliz dayanımına sahiptir. PPS erime noktası 285 °C olup 190 °C'de uzun süreli kullanıma dayanıklıdır. Ticari üreticileri Celanese, Evonik ve Toray'dır. Kullanım yeri yüksek ısı filtrasyon kumaşları, konveyör ve kurutucu bantları, koruyucu yelekler ve KKD tekstillerdir (Polymerdatabase 2008). Nomex, meta-aramid sınıfı bir elyaf olup Dupont firmasının ürünüdür. Kullanım yerleri arasında çorap, ayakkabı, pantolon, içlik, kapşon, balaklava maske, askeri giysiler ve yüksek ısı karşısında çalışılan işlerde kullanılan koruyucu giysiler bulunmaktadır.

- Faz Değiştiren Malzemeler (FDM):

Termal enerji depolama türleri ısı yöntem (duyulur ısı ve gizli ısı depolama) ve kimyasal yöntem olarak ikiye ayrılır. Bu depolama türleri arasında gizli ısı depolama, yüksek enerji kapasitesi ile ısı enerjisi depolamadaki en etkin yöntemlerden biridir. Faz değiştirme sırasında yani dar bir ısı aralığında önemli miktarda ısıyı soğurabilmesi ve ortama geri verebiliyor olmaları, faz değiştiren maddelerin iyi bir ısı depolama kaynağı olarak dikkat çekmelerine ve bu maddelerin tekstil malzemelerinde, gıdaların taşınmasında, medikal ve elektronik cihazlarda, binalarda ısı kontrolün sağlanması amacıyla kullanılmasına yol açmıştır (Kuru ve Aksoy 2012, Kanlı vd. 2021).

FDM'leri elyaf, kumaş ve giysilere applike etmenin en genel yöntemi olarak paket, enkapsülasyon ve infiltrasyon yaklaşımları olabilir. FDM'ler düşük termal iletkenliklerine rağmen sınırlı termal depolama yapabilirler ve aktif oldukları süreler

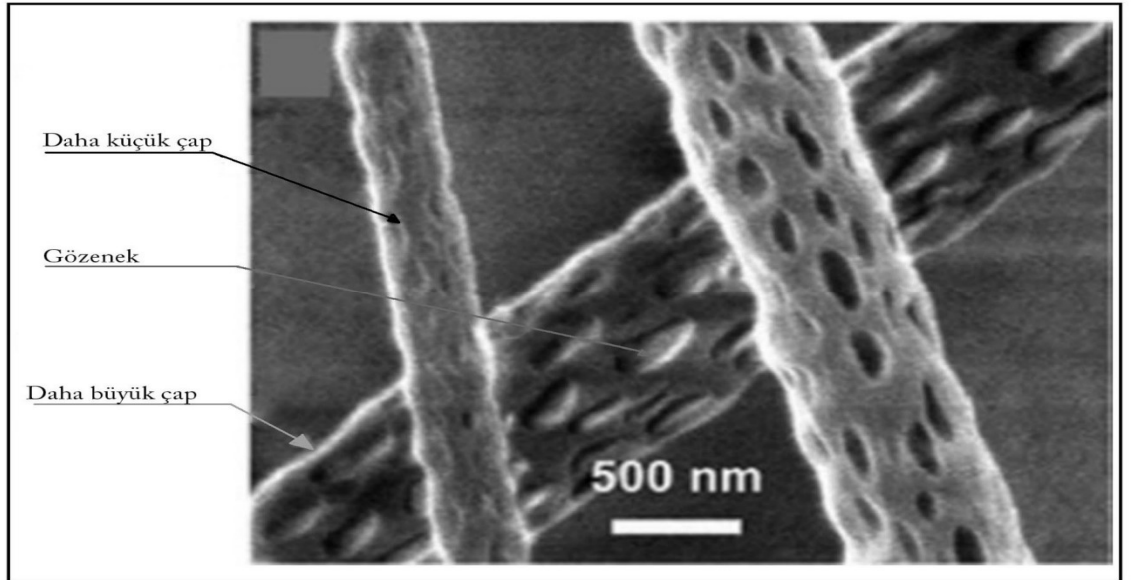
sınırlıdır. Bu nedenle daha çok iç mekan kullanımları, ya da kısa süreli kullanımlar için uygundur.

2.4.2. Yapı tabanlı tasarım

Bu yöntemde amaç kumaş/giysi içine mümkün olan en çok miktarda en düşük ısı iletim katsayısına sahip olan havayı hapsetmektir. Bu amaçla geleneksel olarak kat sayısını arttırılmakta, ya da içinde havanın hapsedilebileceği boşluklar olan doğal kuş tüyü gibi malzemeler ile kat araları doldurulmaktadır. Ancak bu durumda hacim artmakta, hareket serbestisi azalmaktadır. Bu çok katmanlı yapı yerine şekilli elyaflar, içi boş elyaflar veya şekil hafızalı malzemeler ile yapı değiştiren kumaşlar kullanılarak ürün içinde düşük ısı iletkenlikli hava hapsedilerek yalıtkanlık sağlanmaktadır.

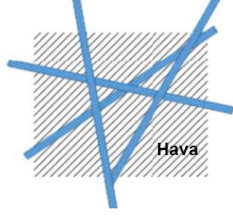
- Şekil Verilmiş Elyaflar:

Bu yöntemde amaç, çapı yeni geliştirilmiş teknolojilerle 1-100 nm boyutunda ultra ince nano elyaf yaparak yüksek hacimlilik sağlayıp, hacim içinde mümkün olan en yüksek hava miktarını hapsetmektir. Nano boyuttaki bu gözeneklilik, nem buharının çıkışına izin vermektedir (Huang vd. 2003).

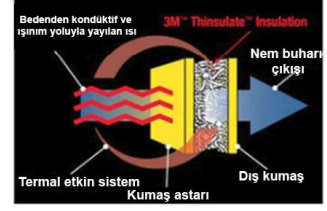
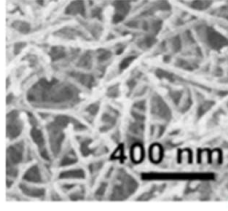


Şekil 2.4. Şekil verilmiş gözenekli elyaf görseli (Huang vd. 2003)

(a) Ultra ince elyaf



(b) 3M Thinsulate elyaf yapısı



(c) İçi boşluklu elyaf



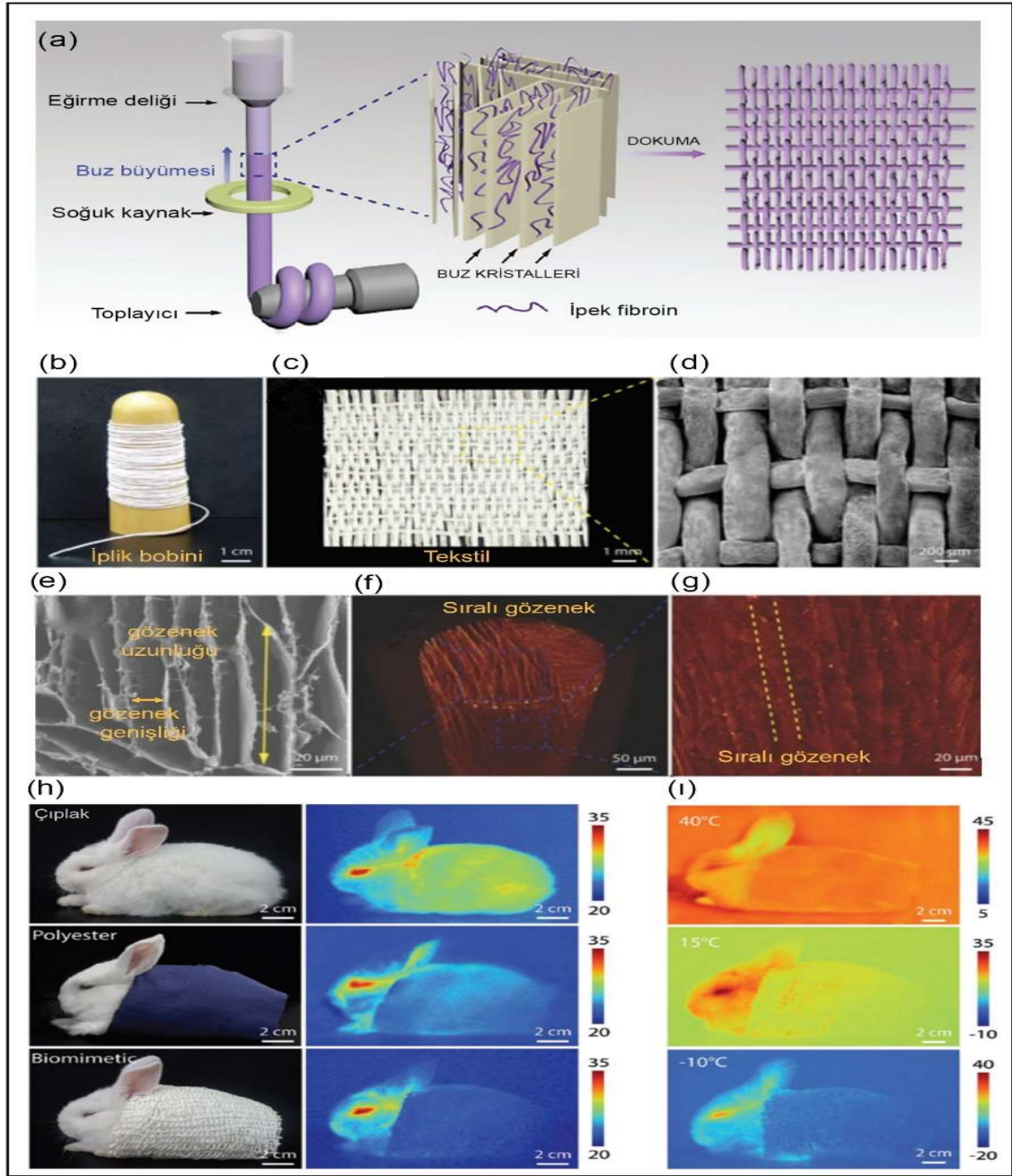
(d) Şekli elyaf



Şekil 2.5. Farklı kesitte lifler ve 3M Thinsulate lifleri (Peng vd. 2019)

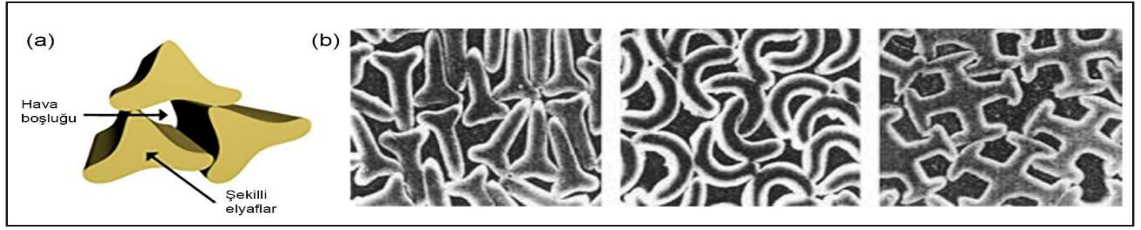
3M™ Thinsulate™ 1988 yılında 3M firması tarafından üretilmiştir. Sıcak tutan, ince hafif ve sağlam bir üründür. Kalınlığına göre sıcak tutma oranı daha düşük hacimli hareket serbestisi veren giysiler yapımına yardımcı olmaktadır (Şekil 2.5 b). Kaz tüyünün yüksek izolasyon kapasitesine rağmen fiyatlarının yüksekliği yayılımına engel olduğundan endüstri geleneksel liflerin kesitlerini değiştirmeye çalışmış ve çoklu gözenekli yapıları içi boş elyaflar üretilmiştir (Şekil 2.5 c).

Cui ve arkadaşları kutup ayısı tüyüne benzetmeye çalışarak içinde boşluklu yapılar olan ve sıcak kalmaya yarayan etkin kişisel termal tekstiller geliştirmişlerdir (Şekil 2.6 a-d). Dondurarak çekim tekniği ile düzenli boşluklu yapılar olan kesintisiz büyük ölçekli elyaf imalatı gerçekleştirmiştir (Şekil 2.6 e-g). Bu tür biyomimetik elyafla dokunmuş tekstiller mükemmel termal yalıtım, iyi nefes alabilirlik ve giyilebilirlik sağlamaktadır (Şekil 2.6 h-i).



Şekil 2.6. İçi boşluklu elyaf eldesi (dondurarak çekim metodu ile) (Peng vd. 2019)

Daha sonra kesit alanı şekli değiştirilmiş liflerin içlerinde hava hapsedmek üzere daha etkin bir yöntem olduğu bulunmuştur (Şekil 2.7 a-b). Düze profilleri farklılaştırılarak kesitleri değişik şekillerde elyaflar üretilmiştir. Profilli liflerin paketlenmesi zor olduğu için oluşturdukları boşluklar arasında hava hapsederek hacimli tekstiller üretilmektedir.



Şekil 2.7. Kesitli elyaf kullanarak doku içine hava hapsetmek (Peng vd., 2019)

Wang ve arkadaşları hapsedilecek hava miktarı ile elyafın kesit şekli arasında teorik bir hesaplama metodu geliştirmişlerdir. Şekil 2.8’de görülen CV_{r^2} kesit düzleminde her açısıl boşluktaki sıralı alan değişimi katsayısını ifade etmektedir. γ ise elyaf kesit çevresi karesinin kesit alanına oranıdır. CV_{r^2} ve γ eğer kesit yuvarlak ise sıfıra eşittir. Düşük değerler elyaf arasında az hava tutulabileceğini göstermektedir. Tablo bize üçgen şekilli liflerin boşluklarında en fazla hava tutabildiğini göstermektedir (Wang vd. 2012).

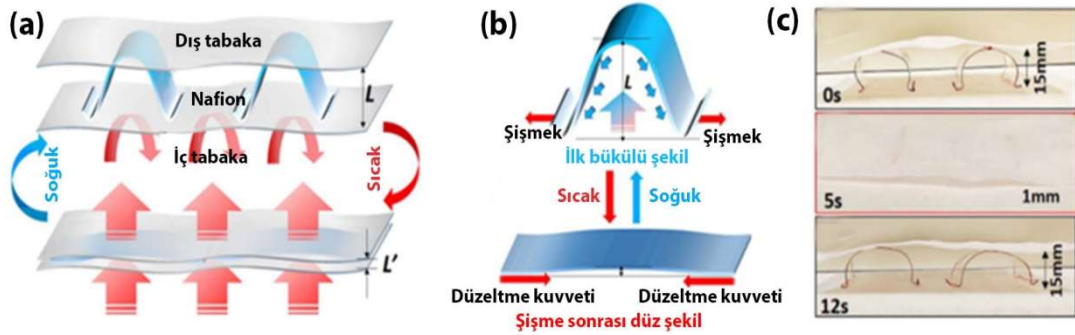
Kesit şekli	 1	 2	 3	 4	 5	 6
CV_{r^2}	0.2705	0.2747	0.2794	0.3065	0.3154	0.3306
γ	0.1115	0.1819	0.6298	0.5134	1.6678	0.3208
Kesit şekli	 7	 8	 9	 10	 11	 12
CV_{r^2}	0.3565	0.3971	0.4066	0.4108	0.4980	0.5099
γ	0.5021	0.5025	0.2587	0.8411	0.5116	0.6539
Kesit şekli	 13	 14	 15	 16	 17	 18
CV_{r^2}	0.6265	0.6397	0.7063	0.7210	0.7249	0.7299
γ	0.3432	0.8014	0.4109	0.5070	0.6930	0.8630
Kesit şekli	 19	 20	 21	 22	 23	 24
CV_{r^2}	0.7348	0.8029	0.8765	0.9263	1.2908	1.4430
γ	0.8705	0.6775	1.9621	0.6435	2.7109	1.5452

Şekil 2.8. Kesit şekli ile hapsedilebilecek hava miktarı (Z. Wang vd., 2012)

- Şekil Hafızalı Malzemeler İle Ayarlanabilir Yapılar:

Bu tip malzemeler mekanik deformasyon sonucu oluşmuş geçici yapının bir dış etki ile kalıcı yapıya dönebildiği yapılar olarak tanımlanabilir. Bu dış etki ısı, nem, pH, ışık vb. olabilir. İlk uygulamalardan biri şekil hafızalı bir alaşımdan (Nitinol) yaylar iki pamuk kumaş arasına yerleştirilmiştir. Oda sıcaklığında yaylar düzdür ve katmanlar arasında küçük bir boşluk ve hava vardır. Isı yükselince yaylar açılır ve katmanlar birbirinden ayrılır ve hava boşluğu büyür ve izolasyon artar. Bu ilk deneyde ısı düşüncü yaylar kapanmadığından elle kapatılıyordu (Van Langenhove vd., 2005).

Bunun dışında özellikle nem ile şekil hafızalı malzemeler (ŞHM) ile benzer yapılar geliştirmek mümkündür. Başlangıç konumunda iki tabaka arasında yay konumundaki Nafion malzeme hacmi arttırarak ısı yalıtımı yapmaktadır (Şekil 2.9 a). Mikro klimada ter yoluyla artan rutubet nedeniyle Nafion malzeme düzleşir ve bu şekilde azalan hacim ve hava nedeniyle izolasyon azalır ve dışarıya ısı transferi artar (Şekil 2.9 b). Nem azaldıkça Nafion tabaka ilk yay şekline döner (Zhong vd., 2017).



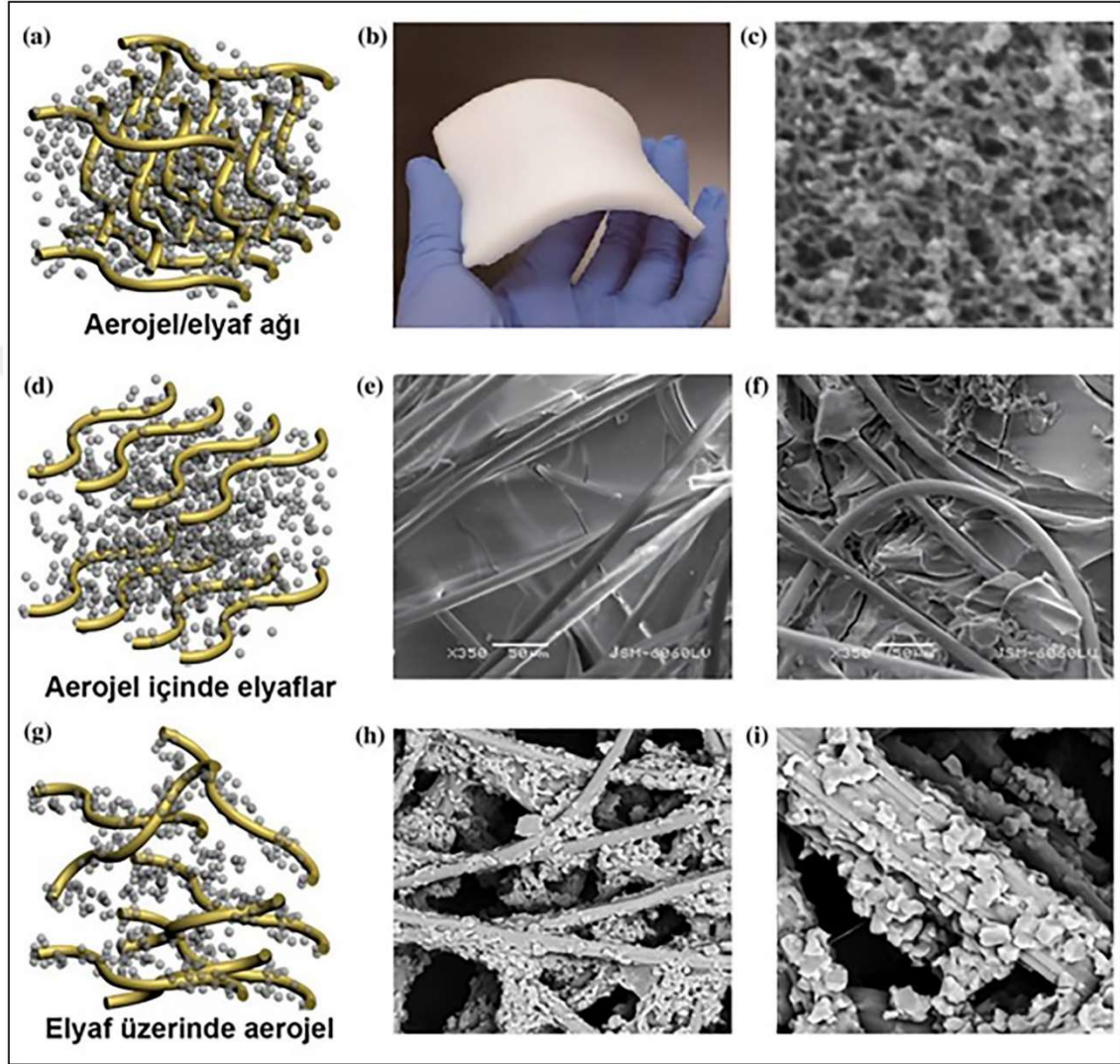
Şekil 2.9. Nafion çalışma mekanizması (Peng vd., 2019)

- Hava İle Doldurulmuş Gözenekli Yapılar:

Aerojel düşük ağırlıklı, genellikle saydam, düşük ısı iletkenlikli ($\sim 0,015 \text{ W/mK}$), nano ölçekte yüksek gözenekli (%90), yüksek yüzey alanlı ($600 \text{ m}^2/\text{g}$) bir malzemedir (Hayase vd. 2014).

Aerojelden ısı transferi küçük kontak yüzeyinden olabildiği için mükemmel bir termal izolasyon sağlamaktadır. Elyafı aerojel ile birleştirebilmek için karışım sentezleme, emdirme, çektirme, kaplama ve laminasyon yöntemleri kullanılabilir. Bu metotlar ile üç

değişik yapı üretilir. Bu yapılar aerogelin doğrudan elyaf boşluklarına sentezlendiği (Şekil 2.10. a), aerogelin elyafla güçlendirildiği (Şekil 2.10. d) veya aerogelin doğrudan elyafın üstüne kaplandığı (Şekil 2.10 g) durumlardır (Peng vd 2019).



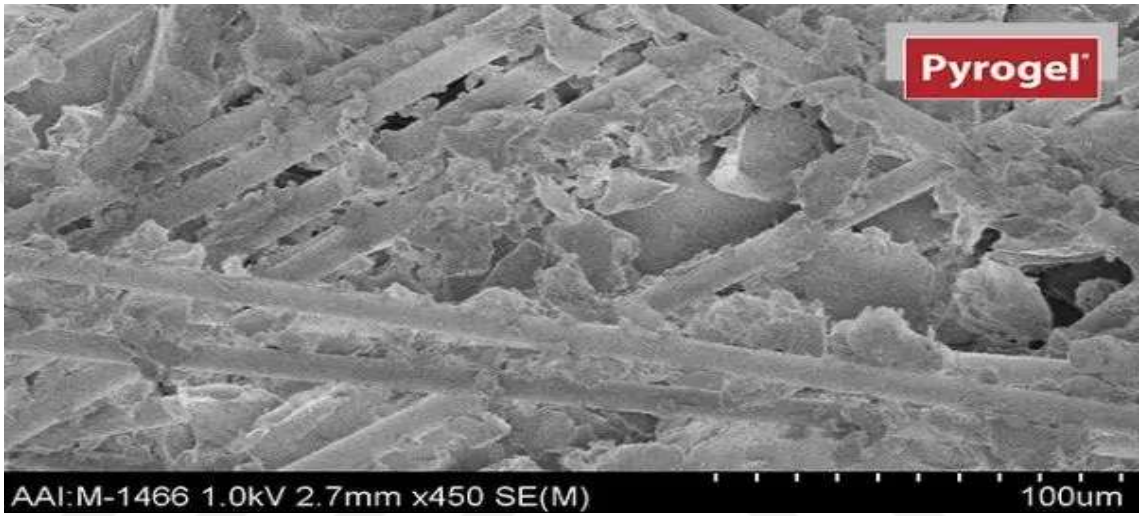
Şekil 2.10. Farklı aerogel yapılar (Peng vd. 2019)

Jiang ve arkadaşları ise alüminyum hidroksit aerogeli polisülfonamide (PSA) elyaf ile birleştirerek termal izolasyonunu ve alev dayanıklılığını geliştirmişlerdir. İlk PSA kumaşa göre termal iletkenlik 0,0513 ten 0,0301 W/mK'e düşmektedir.

Shaid ve arkadaşları iki yüzölümlü farklı aerogel katmanları olan bir yapı tasarlamışlardır. Ortama bakan yüz silika aerogel ile kaplı iken deriye bakan yüz modifiye FDM/aerogel

kompozit tozları ile işlenmiştir. 250 C°'ye 10 cm uzaklıkta bırakılan yüzeyin ısısı yavaşça yükselmiş ve 55C°'de sabitlenmiştir (Shaïd vd., 2016).

Jabari ve arkadaşları polyester dokusuz yüzeye bıçakla yüksek izolasyon nitelikli aeojel ile doplanmış polyvinil klorür kaplayarak yeni hafif bir ürün geliştirmişlerdir. Silika aeojel doplanmış kumaşın termal iletkenliği 0,205 den 0,152 W/mK'e düşmüştür. Pyrogel® 2250 ve Spaceloft® 3251 aeojel içeren dokusuz yüzey esaslı iki ticari üründür.



Şekil 2.11. Aspen şirketi tarafından üretilen silica esaslı aeojel (Aspen Aerogels 2023)

Aeojelin katı kısmı tüm hacminin %3'ü iken kalan %97'si mikroskobik gözeneklerde bulunan havadır. Malzeme düşük yoğunluklu olup çok yüksek izolasyon özelliği bulunmaktadır.

2.5. Konveksiyon Yoluyla Isıl Yönetim

Bu alanda iki temel yöntem üzerinde çalışılabilir. İlki geleneksel metod diyebileceğimiz iplik inceliği, cm deki iplik sıklığı ve örgü ile gerçekleştirebileceğimiz, diğeri ise etkiye duyarlı malzemeler ya da bir başka söyleyişle şekil hafızalı malzemeler (ŞHM).

2.5.1. Yüzey konstrüksiyonu değişimi

Düşük sıklık ve gözenekli örgü yapısında deri ile ortam arasında doğrudan bir temas olduğu için bedenden ortama daha çok ısı yayılacak, tersi bir durum olduğunda yüksek

sıklık ve sıkı örgülerde konveksiyona izin vermeyen ısıl yapı oluşacaktır. Farklı ortamlardaki koşullara uyumlu olmadığı için ısı yönetimi kabiliyeti düşüktür.

2.5.2. Etkiye duyarlı malzemeler

ŞHM malzemeler ile nem ve ona bağlı olarak ısıya bağlı yapılar oluşturarak ısıl yönetim yapılabilir. Bunlardan biri bölüm 2.4.2.'de bahsedilen Nafion ürün olup ter ve ısı ile düzleşmekte; dolayısıyla izolasyonu azaltarak serinlemeyi sağlamaktadır. Ters durumda ise kendi ilk yay yapısına dönerek izolasyonu arttırmaktadır (Şekil 2.9. a-c).

2.6. Nem Taşınımıyla Isıl Yönetim

Nem giysiden iki ayrı ana mekanizma ile transfer edilebilir. Eğer buharlaşma gerçekleşmişse bunlar difüzyon, emme, soğurma, bırakma, konveksiyon ve yoğunlaşma iken; sıvı formunda ise ıslanma ve kılcal damarlar yoluyla emme (kapilarite) şeklinde gerçekleşmektedir.

Difüzyon su buharı moleküllerinin elyaf ve iplik boyunca var olan hava boşluklarında mikro iklimi daha fazla nem transferine izin verecek şekilde kuru tutmak için yaptıkları gelişigüzel hareketlerin kinetik enerjisinden kaynaklanmaktadır.

Lif üzerindeki bağlı su tekrar buhar olarak salınırken, emilim sırasında şişen elyafın ısıyla birlikte buharlaşma ısını alı ve bu şekilde bölgesel ısının düşmesine yol açar. Emme ve bırakma (sorption-desorption) mikro iklimi koruma açısından önemlidir. Eğer tekstil yüzeyini oluşturan elyaf higroskopik ise terleyen deriye yakın bölgedeki su buharını emer ve kumaş hareketine bağlı olarak bağlı nemin düşük olduğu havaya bırakır (Barnes ve Holcombe, 1996).

Tekstil yüzeyleri içinde hareket eden su buharı soğrulduğunda (absorblama) yoğunlaşma ve şişme ısı ortaya çıkar ve bu bölgesel sıcaklığı artırır. Doğal elyaflarda bu soğurma miktarları sentetiklere göre daha yüksektir (Cui vd., 2020).

Konveksiyon yoluyla nem transferi eğer yüzey nemli havanın kuru havayla değişmesine izin verecek şekildeyse bu durumda nemli sıcak hava ortamdan dışarı taşınarak ısı transferi gerçekleştirilmiş olur.

Yoğuşma, giysi-deri arasındaki boşlukta oluşur. Beden dinlenme konumundayken terleme ve buna bağlı buharlaşma yoktur. Ancak aktivite arttıkça buharlaşma yoluyla üretilen ısıyı uzaklaştırarak beden ısısı dengede tutulur. Buhar konsantrasyonu doymuş buhar konsantrasyonunu geçmediği sürece ısı giysi gözeneklerinden geçen buhar aracılığıyla transfer edilir, ıslaklık önlenir, soğuma sağlanır. Buhar konsantrasyonu doyum noktasına ulaştığında yoğuşma gerçekleşir, ortama ısı salınır ve o bölgede ısı artışı olur. Giysi geçirgenliğinin düşük olduğu bölgelerde yoğuşma daha çok olacaktır (Lotens vd., 1995).

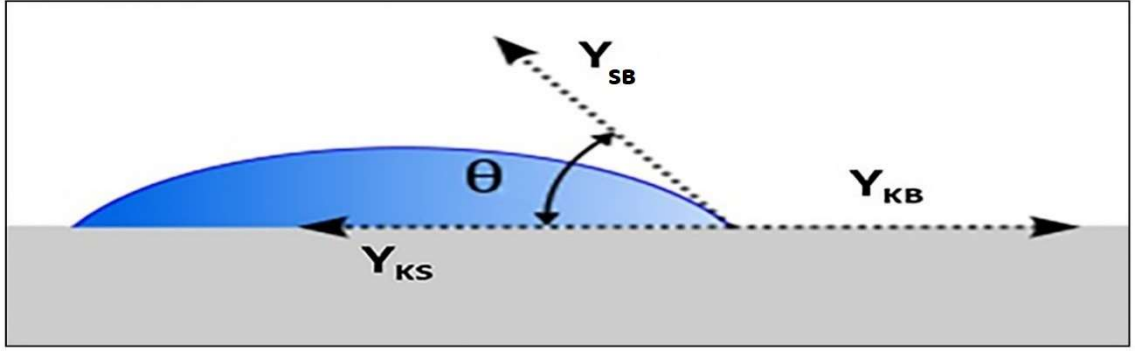
Islanma sıvının tekstil yüzeyinde yayılımında ilk adımdır. Tekstil yüzeyi-hava arayüzü yerini tekstil yüzeyi-sıvı arayüzü alır. “Sıvı su, gözenekli tekstillerde iki sıralı ardışık işlemle transfer edilmektedir: Islanma (wetting) ve emilme (wicking). Lifleri ıslatamayan bir sıvı emilemez ve bu nedenle önce ıslanmanın gerçekleşmesi gerekmektedir” (F. Wang, 2017). “Bu işlem sırasında nem molekülleri liflerin gözeneklerine, amorf bölgelerin içine transfer edilmeden önce lifleri ıslatmaya başlarlar. Sıvının elyaf yüzeyinde yayılımı, yani ıslatabilirliği, sıvı içindeki kohesiv güçlerin kendi aralarındaki etkileşim ile sıvı ile elyaf arasındaki adhesiv güçlere dayanmaktadır” (Petrulyte ve Baltakyte 2008).

Elyafın ıslanabilirliğini belirleyen ana etmen yüzey gerilimidir. Bu yüzey enerjisinin bir indikatörü olup uzunluk başına kuvvet şeklinde (mN/m, dyn/cm) birimlendirilir. Islanabilmek için katının yüzey enerjisinin sıvının yüzey enerjisinden küçük olması gerekir (F. Wang, 2017). Islanma, katı/hava ara yüzeyinin katı/sıvı ara yüzeyi ile yer değiştirmesidir. Sıvının katıyla ve aynı zamanda buharla teması esnasında dengede bulunan kuvvetler arasındaki ilişki Young Denklemi (2.2) ile verilmiştir:

$$\gamma_{KB} - \gamma_{KS} = \gamma_{SB} \cdot \cos\theta \quad (2.2)$$

γ : yüzeyler arasındaki gerilimler

θ : denge halinde katı yüzeyle bu yüzeyle temas halindeki sıvı yüzey arasındaki temas açısıdır.



Şekil 2.12. Yüzey, sıvı ve gaz arasındaki kuvvet ilişkisi (van Oss, 2008)

K, B ve S indisleri sırasıyla katı, buhar ve sıvıyı temsil eder. γ_{SB} terimi ve $\cos\theta$ adhezyon gerilimi veya özgül ıslanabilirlik olarak tanımlanır. Denklem (2.2) yalnızca düz, homojen su geçirmez ve deforme olmayan yüzeyler üzerinde dengedeki bir damla için geçerlidir. Sıvı ve katı maddeler arasındaki tutunma ise Dupre eşitliği ile tanımlanmaktadır.

$$W_A = \gamma_{KB} + \gamma_{SB} - \gamma_{KS} \quad (2.3)$$

Adhezyon ve temas açısı arasındaki ilişki iki eşitliğin kombine edilmesiyle türetilmektedir.

$$W_A = \gamma_{SB} \cdot (1 + \cos\theta) \quad (2.4)$$

$\theta = 0$	$> \cos 0 = 1$	$> W_A = 2 \gamma_{SB}$	Tamamen ıslanma
$\theta = 180$	$> \cos 180 = -1$	$> W_A = 0$	Islanma yok

Emilme elyaflar arasındaki boşluklar ıslanınca başlar. Buna kapilar ıslanmada denebilir. Sıvının yüzey gerilimine bağlı olarak elyaf ya da yüzeydeki tüp benzeri dar kanalların (boşlukların) içinde hareket etmesine kapilarite denir. Burada, sıvı molekülleri arasındaki kohezyon kuvveti, sıvı ile bulunduğu boşluk cidarı arasındaki adhezyon kuvvetinden küçükse kılcallık hareketi oluşur. Akışın yönü, basınç farkını azaltmaya, dengelemeye yöneliktir. Basınç farkı sıfır olduğunda akış durur. Sıvı akışı küçük kapilar yarıçapta, büyük yarıçapa göre daha hızlı olmaktadır. Kapilar yükselme mekanizmaları nedeniyle, büyük gözeneklerden küçük gözeneklere yükseklik arttıkça sıvı taşınır. Sıvı düşük kılcal basınç bölgesinden yüksek kılcal basınç bölgesine transfer olur. Sıvı tüm boyutlardaki gözeneklerde kapilar hareketine başlar, fakat büyük çaplı gözeneklerde sadece belirli bir

düzeye kadar yükselebilir ve daha sonra küçük çaplı gözeneklere transfer olur. Eğer gözenekler ve kılcallar dolmuyorsa, rutubet hareketi gerçekleşmez (Aksoy ve Kaplan 2011).

Kapilar basıncın büyüklüğü Laplace eşitliği ile verilmektedir.

$$P = \frac{2\gamma_{SB}}{R_C} \cos\theta \quad (2.5)$$

R_C kapilar tüp çapı, P bu çaptaki kapilar basınç, γ_{SB} sıvı buhar kesitindeki gerilim, θ kontak açısıdır.

2.7. Işınım Yoluyla Isıl Yönetim

Termal ışıınım mutlak sıfırın ($-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$) üzerindeki cisimlerde gerçekleşir. Madde içindeki atom çekirdeğinde proton ve nötronlar ile atom dış çeperindeki elektronlar stabil duruma geçmek için elektrondaki fazla olan yüklerden kurtulmak üzere hareket ederler ve bu hareketin kinetik enerjisi termal enerjiye dönüşerek konveksiyon ve kondüksiyonda olduğu gibi maddesel bir ortama ihtiyaç duymadan farklı dalga boylarında yayılır. Boşlukta ışık hızında ilerler. Güneş ışıınımı, x-ışınları, radar ve radyo dalgaları gibi elektromanyetik ışıınımdır ve kütlesi yoktur. Işınım sırasında transfer edilen ısı cisimlerin bulunduğu ortam tarafından yutulmadığı için ortam ısısı değişmez. Ancak ilerleyen aşamalarda ısınan cisimlerin ortamla ilişkisi nedeniyle ortam ısısı değişebilir (Nuclear, <https://www.nrc.gov>).

2.8. Siyah Cisim ve Emisivite

Cismin uzayda yaydığı ışıınım başka bir cisme çarptığında üç farklı durum gelişebilir: Enerjinin bir kısmı yansiyabilir, cisim tarafından absorbe edilebilir ya da cismin içinden geçerek yoluna devam edebilir. Gelen enerji I ile ifade edilirse yansıyan enerji (R), absorblanan enerji (A) ve geçiş yapan enerji (T) toplamı I değerine eşit olmaktadır.

$$I = R + A + T \quad (2.6)$$

Eşitliğin her iki yanını I ile bölünürse

$$1 = \frac{R}{I} + \frac{A}{I} + \frac{T}{I} \quad (2.7)$$

elde edilir. R/I değeri reflektans (ρ), A/I değeri absorptans (α) ve T/I değeri transmittans (τ) olarak isimlendirilmektedir. Bu üç durumun birbiriyle ilişkisi Kirschoff Kanunu ile verilmektedir.

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2.8)$$

Bir cisim üzerine gelen tüm ısıyı yutarsa yansıma ve geçirgenlik katsayıları sıfıra eşittir. Böyle bir durumda $\alpha = 1$, $\rho = \tau = 0$ olur. Üzerine gelen tüm farklı dalga boylarındaki enerjiyi emebilen ideal cisme siyah cisim denir. Siyah cisim aynı zamanda emdiği tüm enerjiyi yayabilen bir cisimdir. Bu durumda siyah cisim için yayma gücü ϵ_s (emisivite) ile yutma gücü α_s birbirine eşit olur ($\epsilon_s = \alpha_s = 1$). Diğer tüm cisimlerin emisivitesi aynı sıcaklık ve dalga boyundaki siyah cisme oranla verilmektedir ve değerlerin tümü 1 den küçüktür (Yeşilata, 2019).

Cisim üzerine gelen tüm ışınımı yansıtıyorsa $\rho = 1$ olur ve bu cisme beyaz cisim adı verilir. Gazlar genellikle ışınımı absorblamadıkları ve yansıtmadıkları için $\tau = 1$ olup saydam cisim olarak adlandırılmaktadır. Diğer cisimler, örneğin tekstil yüzeyleri gri cisimler olarak adlandırılmaktadır (BTÜ, 2023 <https://depo.btu.edu.tr/dosyalar/makine/Dosyalar/7.Deney>). Cisimlerin aynı şekilde tekstillerin bu özellikleri üzerinde yapılabilecek değişiklikler yüzeyin termal kapasitesini değiştirme potansiyeline sahiptir. Burada ρ , malzemenin cinsine ve yüzeyin pürüzlülüğüne bağlıdır. α ve τ ise cismin fiziksel özelliklerine bağlıdır.

Bir cisimden ortama yayılan ışınımın ısı akış miktarını bulmak için Stefan-Boltzman formülü kullanılır.

$$q = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2.9)$$

Burada q ışınımın gerçekleşen ısı akış miktarını, σ Stefan-Boltzman katsayısını ($5.670374419 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} . \text{T}^{-4}$), ϵ cismin emisivitesini, T ise Kelvin biriminden cismin ısını ifade etmektedir.

İki cisim arasındaki ışınlama gerçekleşen ısı transferi miktarı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$q_i = \sigma \frac{(T_{teks}^4 - T_{ort}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{teks}} + \frac{1}{\varepsilon_{ort}} - 1} \approx \sigma \varepsilon_{teks} (T_{teks}^4 - T_{ort}^4) \quad (2.10)$$

ε_{teks} , tekstil yüzey emisivitesini, ε_{ort} ortam emisivitesini (yaklaşık değer 1), T_{teks} tekstil yüzey ısını, T_{ort} ortam ısını temsil etmektedir. Formülden anlaşılacağı üzere ε_{teks} ve T_{teks} üzerinde kontrol sağlanabilirse örneğin her iki değer büyütüldüğünde q_i büyüyecek ve bedenden ısı kaybı artacaktır. Tam tersi durumda ise ısı kaybı azalacak ve beden ısınmaya başlayacaktır. Bilinen geleneksel tekstillerin emisivite ortalaması 0,8 civarında verilmektedir. Bu tekstillerin yapı taşlarının benzerliği nedeniyle verilen bu değerden sapmalar az olmaktadır. Çoğu durumda geleneksel tekstiller için ayarlanabilir böyle bir durum yerine sabit bir ısı transfer katsayısı olmaktadır (P.-C. Hsu vd. 2017).

Çizelge 2.1. Farklı tekstillerin emisivitesi (Mark T. Mason 1967)

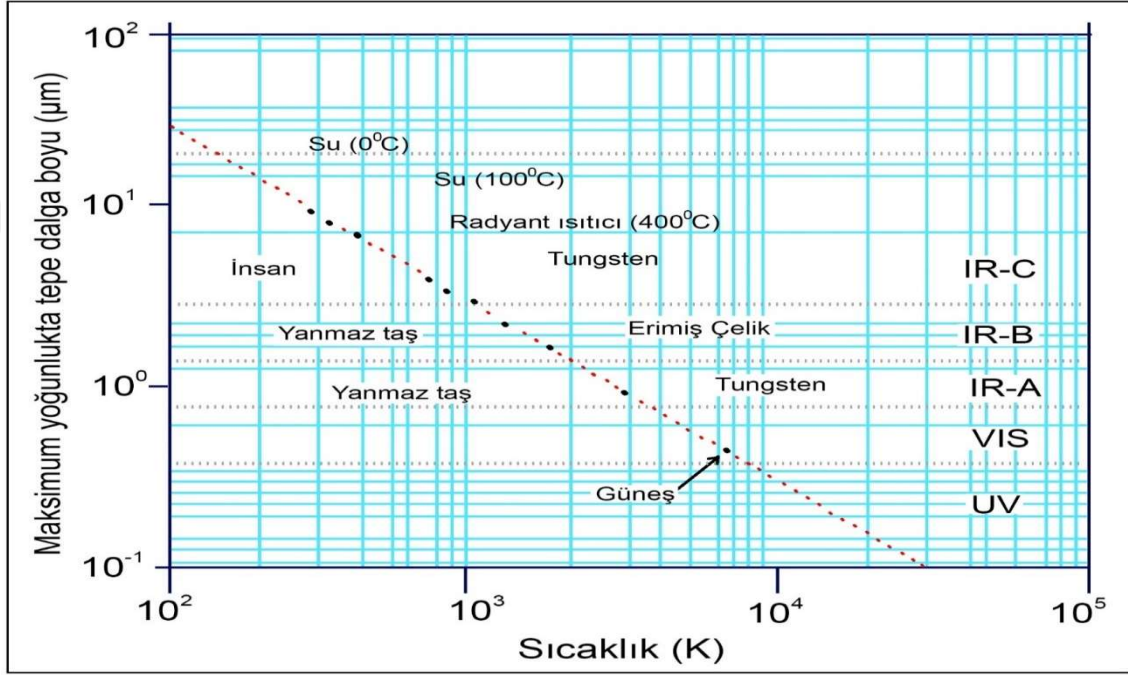
Materyal	Emisivite
Pamuk kumaş	0,77
Yün kumaş	0,78
Naylon	0,85

2.9. Elektromanyetik Spektrum

Belirli bir sıcaklıktaki siyah cisim sıcaklığına bağlı olarak belirli bir frekansta ve şiddette ışınlama yapar. Işınlama yaparken oluşturduğu spektruma Planck Spektrumu denir. Bu tarz bir spektrumda sıcaklık arttıkça frekans daha yüksek değere, dalga boyu ise daha küçük dalga boyuna doğru hareket eder. Wien yer değiştirme kanununa göre frekans dalga boyu ile ters orantılı, ancak siyah cismin sıcaklığıyla doğru orantılıdır. Dalga boyunun tepe noktası

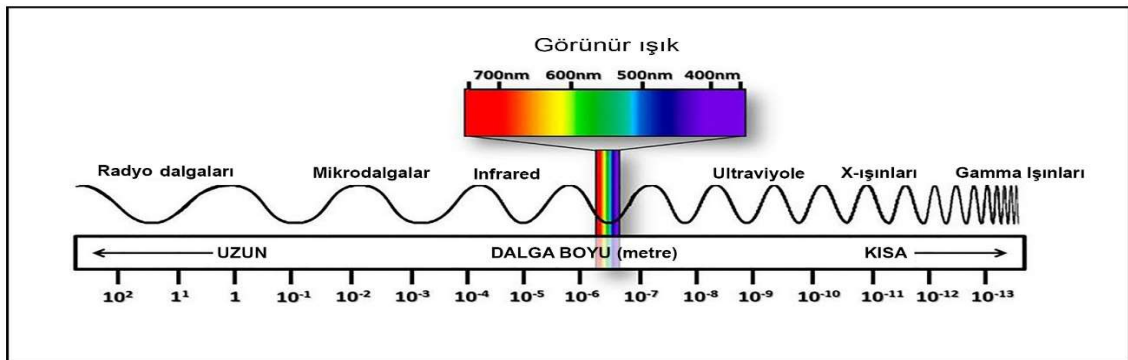
$$\lambda_{tepe} = \frac{b}{T} \quad (2.11)$$

formülüyle hesaplanır. Wien yer değiştirme kanunu sabiti $b = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m.K}$, T ise Kelvin cinsinden ışıyım yapan cismin sıcaklığıdır. Örneğin 300 K’de standart bir ortamda siyah cismin ışıyımı infrared bölgede maksimum dalga boyu $9,7 \mu\text{m}$ iken 6000 K’de güneşin maksimum dalga boyu $0,48 \mu\text{m}$ olur ve spektrumun görülebilir mavi kısmına düşer. Aynı şekilde deri ısı 33°C ($306,15 \text{ K}$) olan insan bedeni ışıması tepe noktası $9,4 \mu\text{m}$ civarında olmaktadır.



Şekil 2.13. Farklı ısılardaki siyah cisimlerin maksimum yoğunlukta tepe dalgaboyu

Elektromanyetik spektrum 10^{-6} nm Gamma ışınlarından 100 km dalga boyundaki radyo dalgalarına kadar büyük bir alanı kapsar.



Şekil 2.14. Elektromanyetik spektrum (Florida Atlantic University 2023)

2.10. Infrared Bölge

Infrared (IR) bölge ise görünen ışıkla mikrodalga arasındaki bölgede bulunmaktadır. ISO 20473 standardına göre üç bölüme ayrılmaktadır.

Çizelge 2.2. ISO20473'e göre Infrared spektrum alt bölümlenmesi

Tanım	Dalga boyu (μm)
Yakın Infrared (NIR)	0,78-3
Orta Infrared (MIR)	3,0-50
Uzak Infrared (FIR)	50-1000

Ayrıca Uluslararası Aydınlatma Komisyonuna (CIE) göre ise IR ışınları Çizelge 2.3'teki şekilde sınıflanmaktadır.

Çizelge 2.3. CIE S 017:2011'e göre Infrared spektrum alt bölümlenmesi

Tanım	Dalga boyu	Foton enerjisi (THz)
Yakın Infrared / IR-A	0,7-1,4 μm	215-430
Orta Infrared / IR-B	1,4-3,0 μm	100-215
Uzak Infrared / IR-C	3,0μm-100μm	3-100

İnsan derisi oldukça iyi bir infrared yayıcıdır. Deri emisivitesi $\epsilon=0,98$ dir (Steketee, 1973). 1.33-16.67 μm aralığında ışınlam yapar (Yu vd., 2012) ve pik noktası 9,6 μm'dir (Mark T. Mason 1967). Bu aralık ISO sınıflandırmasına göre orta infrared (MIR), CIE sınıflandırmasına göre ise uzak infrared (FIR) olarak adlandırılmaktadır. Tekstil alanında şimdiye dek yapılmış çalışmaların bir çoğunda bu bölgeden ağırlıklı olarak CIE sınıflamasına bağlı olarak FIR olarak bahsedildiğinden tezin ilerleyen kısmında FIR terimi kullanılacaktır.

2.11. FIR'ın Biyolojik Etkileri,

FIR ışınlam termal ve biyolojik olarak iki tür etki gösterir. İlkinde absorbe edildiği bölgedeki termoreseptörler aracılığıyla ısı olarak hissedilen ve emildiği yerdeki bölgesel sıcaklığı arttıran etki; diğeri ise hücrelerdeki su molekülleri tarafından absorbe edilen ve molekül bağlarını etkilediği durumdur (He vd., 2023). Moleküler seviyede

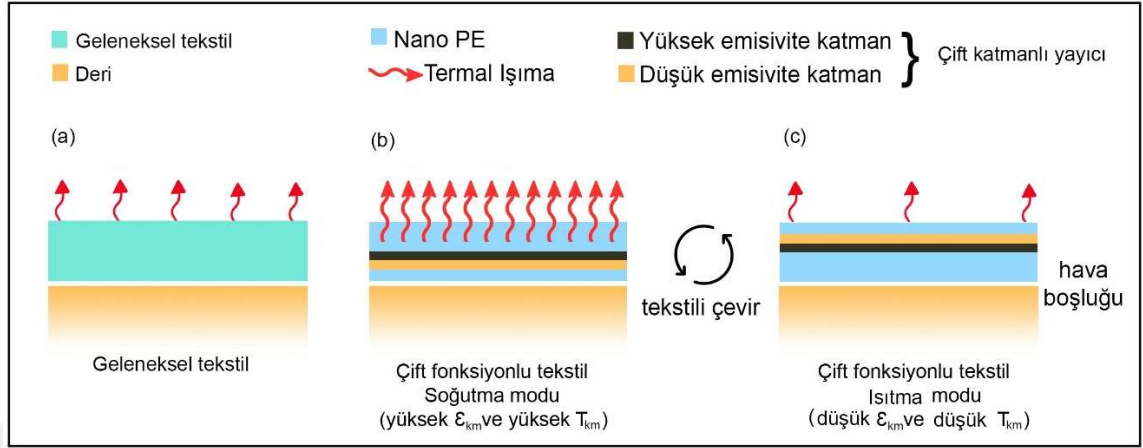
elektromanyetik ışınlam ile canlı hücre ilişkisi iki temel mekanizma üzerinden gerçekleşir. İlki biyolojik bir hücrenin içindeki ve dışındaki elektrik potansiyelinin yer değiştirilmesiyle, diğeri adenosin trifosfat (ATP) formunda enerji üreten mitokondriyel metabolizma ile etkileşim yoluyla. Hem dışarıdan alınan, hem de beden tarafından üretilen FIR derinin 4-7 cm altına kadar nüfus edebilir ve genellikle hafif bir ısı şeklinde hissedilir. Bu enerji miktarı su molekülleri de dahil olmak üzere molekülleri oluşturan bağlarda dönme ve titreşim yapmaya ve rezonansa girmeye yeterlidir. FIR sadece deri ısınıp arttırmakla kalmaz doğru kan akışını hızlandırır ve uygun şekilde kullanıldığında bazı rahatsızlıkların tedavisinde kullanılabilir (Vatansever ve Hamblin 2012).

FIR terapi yaklaşımı bölgesel doku ısınıp yükselterek damarların açılmasını sağlamak ve kan sirkülasyonunu istenen bölgelerde mikro düzeyde arttırmaya dayanır. Burada amaç sirküle eden kanla birlikte dokuya oksijen ve besin sağlamak, atıkları uzaklaştırmaktır (Dyer 2011). FIR'ın kardiyovasküler rahatsızlık frekansının düşürülmesi, yara iyileşmesinin hızlandırılması, cilt yaşlanmasının baskılanması gibi biyolojik faydalar sağladığı gösterilmiştir (Y. H. Hsu vd. 2019). FIR terapileri ile kandaki oksijen miktarı artırılabilir, deri ve kas dokusu gençleştirilebilir, yorgunluk sonrası toparlanma ve hızlı iyileşme sağlanabilir, sinir sistemi fonksiyonları geliştirilebilir, deri dokusunda lipidler azaltılabilir, metabolizma güçlendirilebilir, kan sirkülasyonu güçlendirilebilir, yumuşak dokuya oksijen ve besin gönderimi artırılabilir, lenf sirkülasyonu ile birikmiş toksinler uzaklaştırılabilir ve kaslar gevşetilebilir (Dyer, 2011). FIR terapileri için FIR saunaları, FIR ışın cihazları ve FIR keramikler yada bileşikler ile işlem görmüş tekstiller en çok bilinen ve kullanılan yollardır.

2.12. Işınlam Kontrolü Yaparak Isı Kontrolü Yapan Tekstiller

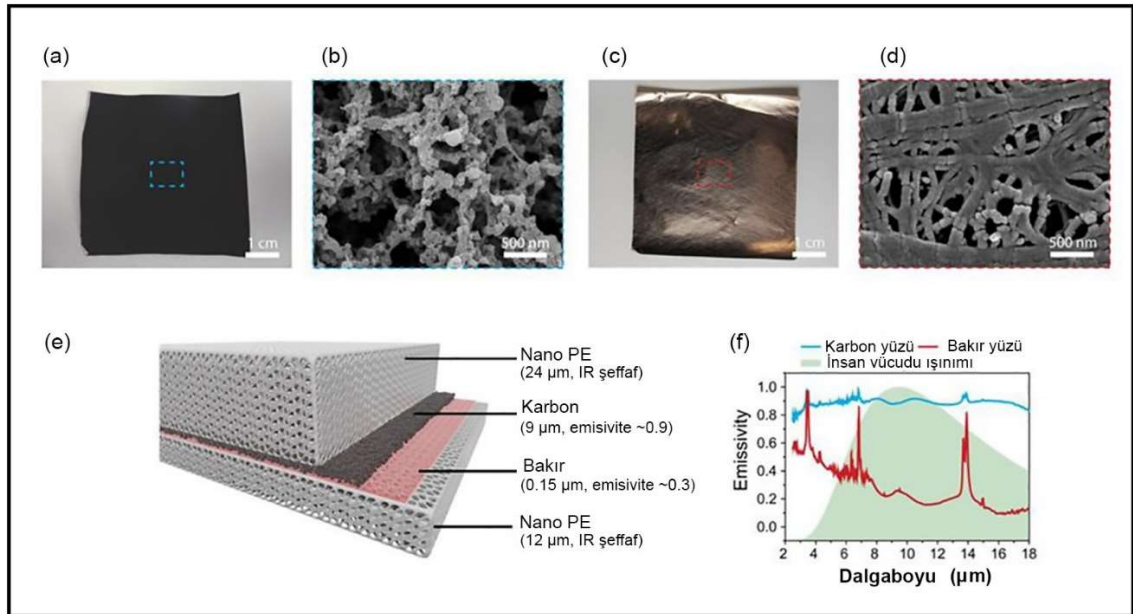
Hsu ve arkadaşları (2017) soğutma ve ısıtma amaçlı, yani çift kullanımlı bir tekstil yüzeyi geliştirmişlerdir. Amaç, Bölüm 2.8.'de verilen formüle bağlı olarak tekstil yüzeyinin emisivitesi ve sıcaklığı üzerinde oynanarak ısıtma veya soğutma fonksiyonlarını aktif hale getirilebilmektir. Çift yüzlü kullanıma uygun, içinde yayıcı gömülü IR geçirgen nano gözenekli PE katmanlı ısınma ve soğutma amaçlı çift taraflı bir yapı bulunmaktadır. Serinletme tarafında yüksek emisiviteli karbon yüz dışa bakarken, düşük emissiviteli bakır katman deri tarafına bakmaktadır. Deriden gelen ışınlam engelle uğramadan dış

tarafındaki yüksek emisiviteli tabaka aracılığıyla ortama transfer edilmektedir. Isıtma modunda tekstil ters-yüz edilmekte deri ışıması deriye geri yansıtılmaktadır.



Şekil 2.15. Çift yüzlü tekstilin şematik gösterimi (P.-C. Hsu vd. 2017)

Yüksek emisiviteli yüzey için insan beden ışıması dalga boyunda yüksek absorblama katsayısına sahip 9 μm kalınlığında karbon, 12 μm kalınlığındaki nano polietilen (PE) üzerine kaplanmış; düşük emisiviteli kısımda ise yüksek reflektanslı metal bir malzeme olarak bakır 0,15 μm kalınlığında nano PE üzerine yerleştirilmiştir. Kalınlık karbon tarafta 24 μm , bakır tarafta 12 μm olarak ölçülmüştür. Emisivite, transmitans ve reflektans ölçülerek hesaplanmış ve karbon yüz $\epsilon=0,894$, bakır yüz $\epsilon=0,303$ olarak tespit edilmiştir.

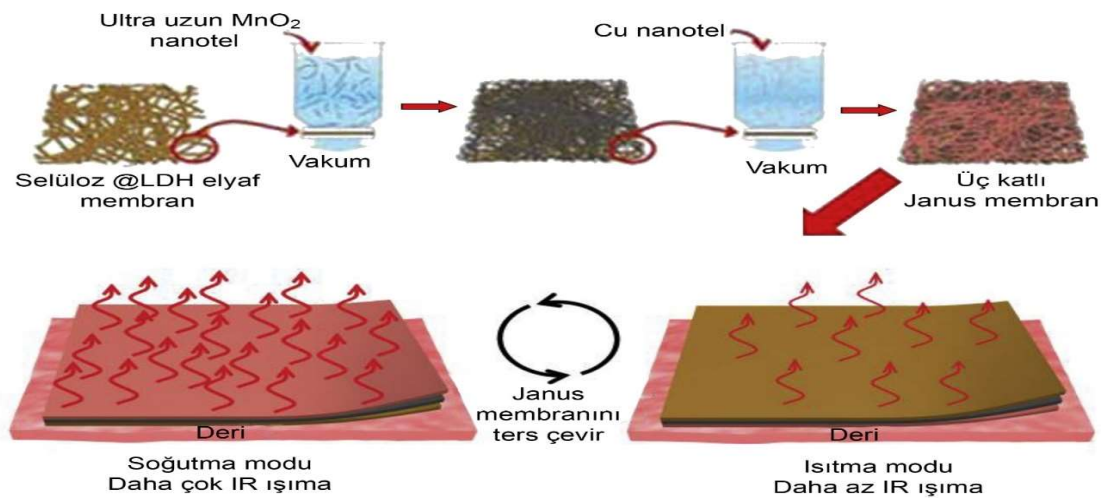


Şekil 2.16. İki modlu tekstilin morfoloji ve emisivite karakterizasyonu

a)Yüksek emisiviteli karbon kaplı nanoPE. b)Karbon kaplamanın yüksek emisivite için iyi olan gözenekli yapısını gösteren taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüsü. c) Bakır kaplı nanoPE. d) Bakır kaplı nanoPE yüzeyin MIR a uygun düzgün yüzey görüntüsü. Gözenekler ve hava ve buhar geçişi için açık. e) İki modlu tekstilin katmanlı yapısı. f) Karbon ve bakırın emisiviteleri (P.-C. Hsu vd. 2017)

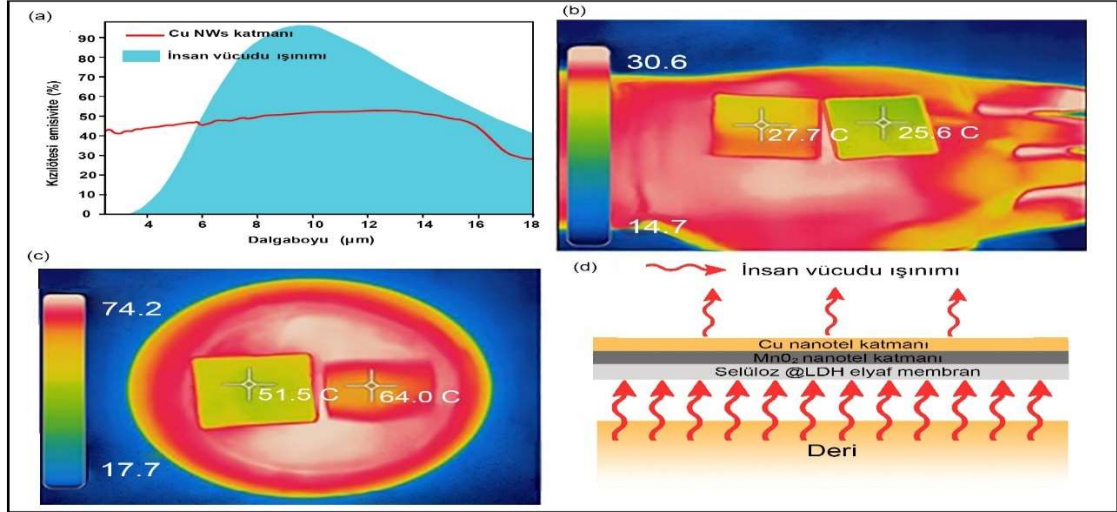
Elde edilen yüzeyler 22 °C’de sabit tutulan oda içinde metabolizma tarafından üretilen enerjiyi temsil eden 51 W/m² gücündeki elektrikli ısıtıcı üzerine konularak test edilmiştir. Bu halde ısıtıcı yüzeyindeki sıcaklık deri sıcaklığını temsilen 31 °C olarak ölçülmüştür. Yüzey üzerine konvansiyonel örme bir kumaş konduğunda sıcaklık 36,9 °C çıkmıştır. Konvansiyonel tekstilin yerine soğutma modundaki katman konduğunda yani yüksek emisiv kısım dışa geldiğinde sıcaklık 33,8 °C’ye düşmüştür. Yüzey üzerine karbon kaplamalı yüzey konduğunda ise sıcaklık 40,3 °C’ye çıkmıştır. Her iki kullanım durumu arasındaki 6,5 °C sıcaklık farkı sadece elde edilen yüzeyin farklı iki yüzeyini kullanarak elde edilmiştir.

Benzer şekilde Yue ve arkadaşları (Yue vd., 2019) Janus tip yani çift taraflı orta taşıyıcı katman selüloz elyaf üzerine tabakalı çift hidroksit (LDH) membran olacak şekilde vakum filtreleme metodu kullanarak bir yüze ultra uzun mangandioksit (MnO₂) nanotel ve üzerine bakır (Cu) nano tel olacak şekilde bir membran elde etmişlerdir. Düşük emisiviteli Cu nanotel yüz dışarıya bakarken ısıtma, yüksek emisivite taraf yani selüloz LDH membran dışarıya bakarken soğutma sağlamaktadır.



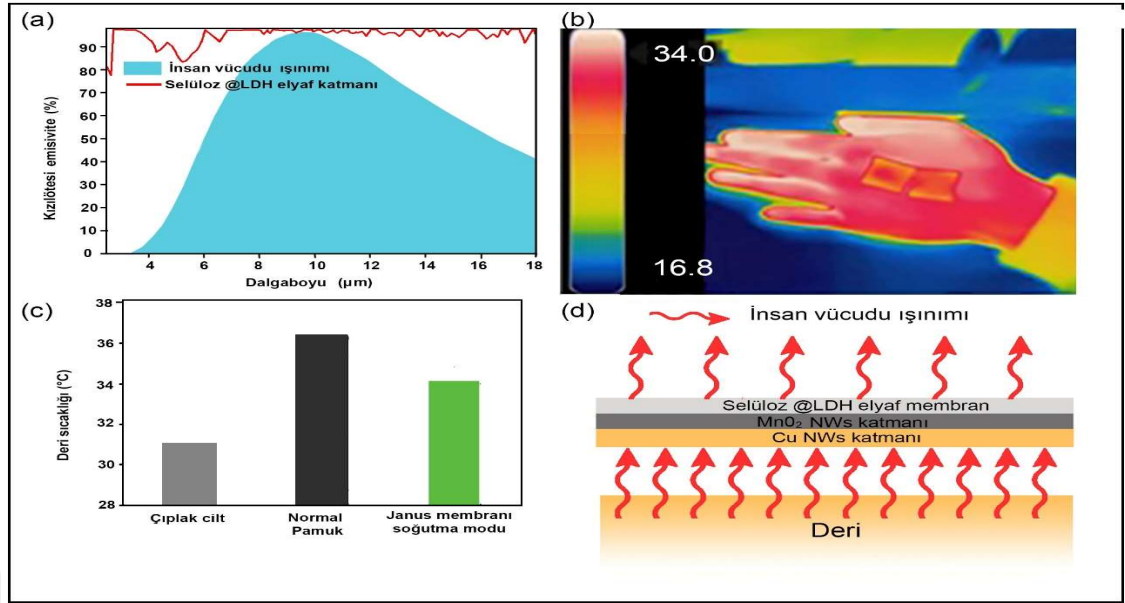
Şekil 2.17. Üç katlı iki modlu Janus membranın elde edilmesi (Yue vd., 2019)

Soğuk ortamda bedenden ısı kaybı büyük oranda ışıınım yoluyla ve giysinin dış yüzeye bakan kısmından olmaktadır, bu nedenle ısı akışını azaltmanın yolu ışıınım miktarını azaltmaktan geçmektedir. Normal pamuk tekstillerin emisivite $\epsilon=0,895$ olup bu kontrolü sağlamaktan uzaktır. 2-18 μm dalga boyunda emsivitesi 0,3-0,5 arasında olan Cu nanotellerin insan bedeni ışıınımı altında ağırlıklı ortalama ile emisivitesi 0,436 olarak hesaplanmıştır. Bu değer pamukla karşılaştırıldığında oldukça düşüktür.



Şekil 2.18. LDH membran ısıtma modunda a)Cu nanotel ve insan bedeni ışıınımı b)Çıplak el üzerinde pamuk ve Cu nanotel membran c) Sıcak plaka üzerinde pamuk ve Cu nanotel membran d)Katmanlı yapının şematik gösterimi (Yue vd. 2019)

Selüloz LDH membran emisivitesi insan derisi emisivitesine yakın olup ağırlıklı ortalama ile 0,973 olarak hesaplanmıştır. Sıcak ortamda, emisivitesi 0,895 olan pamuğa göre içerideki ısıyı ortama transfer etmektedir.

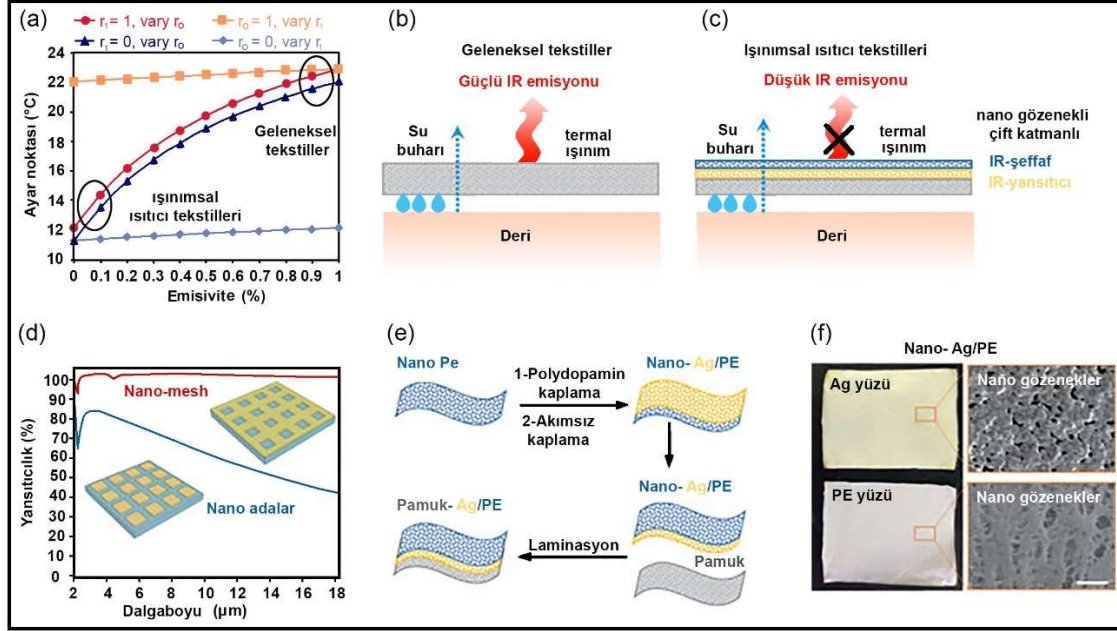


Şekil 2.19. LDH membran soğutma modunda a)33 °C’de beden ve selüloz LDH membran ışıınımı b)Çıplak el üzerine pamuk ve selüloz LDH membran üste gelecek şekilde IR kamera görüntüsü c)Sabit sıcaklık altında çıplak deri, pamuk ve selüloz membran ın bulundukları ısılar. d) Selüloz membran üstte durumun şematik gösterimi (Yue vd. 2019).

Sonuç olarak Janus membran kullanım yönüne göre ışıınımla ısı kaybını etkili bir şekilde azaltmış ya da artırmıştır. Yapılan diğer testlerle süper hidrofilite, nefes alabilirlik ve antibakteriyel aktivite gösterdiği de tespit edilmiştir.

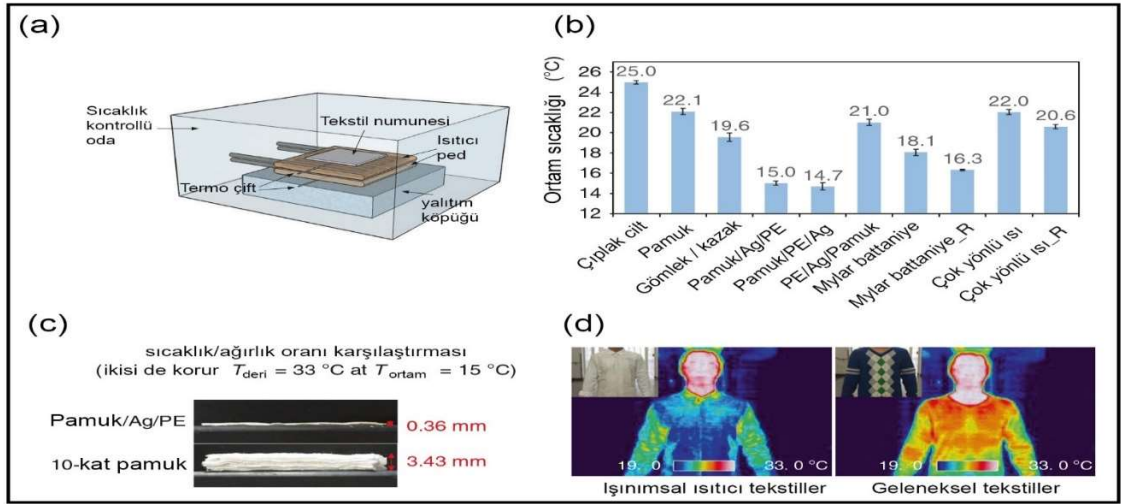
Cai ve arkadaşları (2017) birçok ticari firma tarafından ticarileştirilen ve giysi iç yüzeyine reflektif bir tabaka kaplanmasına dayanan uygulamaların yeterince etkin olmadığını tespit ederek, giyim konforundan feragat etmeden iç yüzeyde reflektif yüzey yerine dış yüzeyde çok düşük emisiv IR özellikler kazandırılmış nanofotonik yapılu bir tekstil geliştirmişlerdir. 12 μm kalınlığındaki gözenekli yapıdaki nano PE yüzey önce polydopamin (PDA) ile muamele edilerek, hidrofobik özellikleri Ag’ün yüzeye kuvvetlice yapışması için hidrofilik hale getirilmiş ve arkasından akımsız kaplama yöntemiyle üzerine Ag kaplanmıştır. Kaplama süresi üzerinde oynanarak Ag tarafta 50-300 μm boyutunda gözenekler oluşması sağlanmıştır. Yüzey PE olup üzerindeki nano- gözenekli yapı boyutu IR dalga boyundan küçük, ancak su buharı geçişine izin verecek kadar büyüktür ve bir yüzü tamamen reflektif metalize yapıdadır. Metalize olmayan tarafta IR emisivitesi 0,101 olarak ölçülmüştür. Oluşan yüzey giysi dış tabakasına reflektif katman arada kalacak şekilde lamine edildiğinde yapılan ölçümlerde pamuğa, gümüş nanotele

(AgNW), Omni-Heat'e, Mylar battaniyeye göre sırasıyla 7.1 °C, 0.9 °C, 0.1 °C, 4 °C sabit tutulan 33 °C ye göre daha düşük ortam sıcaklığı gereksinimi göstermiştir.

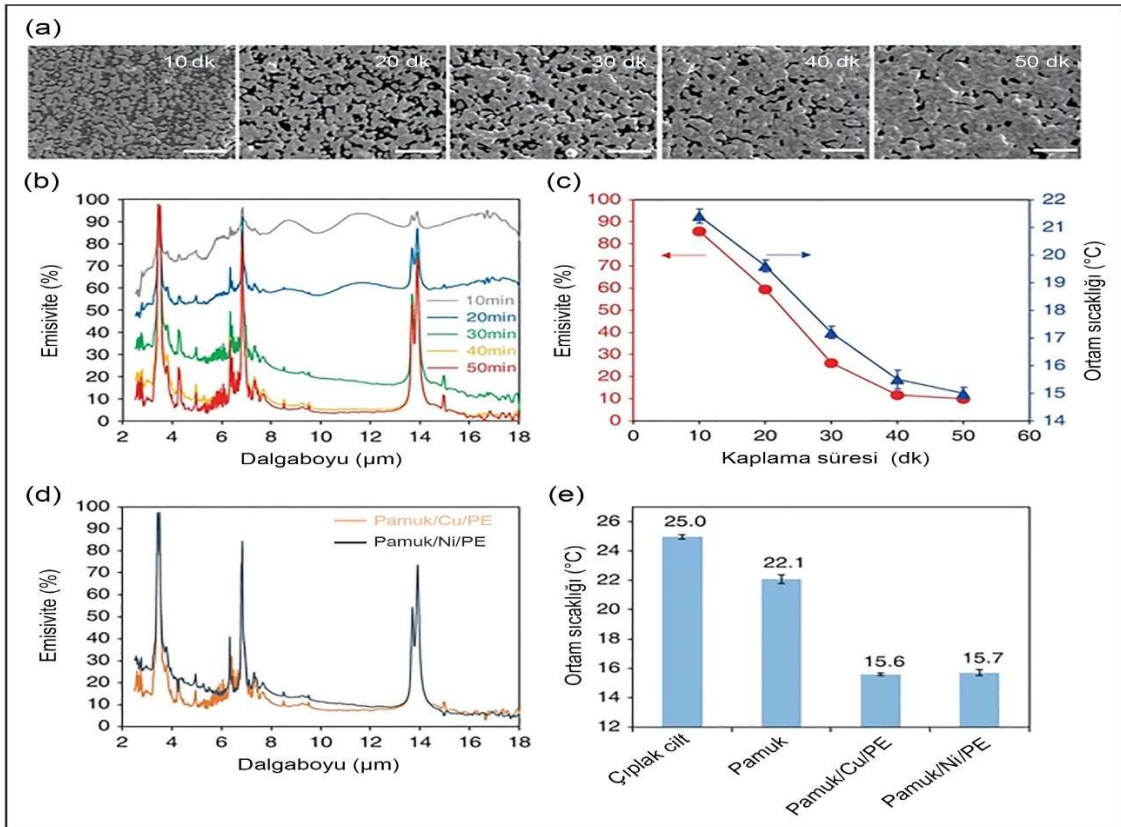


Şekil 2.20. Geleneksel ve nanofotonik tekstilin şematik karşılaştırması ve nanofotonik tekstil eldesi şematik gösterim. a) İç ϵ_1 ve dış ϵ_0 yüzeydeki IR emisiv tekstilin bir fonksiyonu olarak simüle edilmiş ortam sıcaklığı ayar noktaları. b) Geleneksel tekstil şematik görünüm. c) Nanofotonik ısıtıcı tekstil şematik görünüm. d) %81 kaplama yoğunluğuyla metalik nano-ada film ve metalik nano meshin simüle edilmiş toplam IR reflektansı. Ada boyutu 900μm x 900μm. Delik boyutu 440 μm x 440 μm. Her iki durum için boşluklar 1 μm x 1μm. e) Pamuk yüzeyin üstüne lamine edilen nano Ag/PE tekstil eldesinin şematik görünümü. f) Tekstilin Ag ve PE tarafının fotoğrafları ve SEM görüntüleri, ölçek 1 μm (Cai vd. 2017)

Elde edilen kumaşın termal etkinliği ısı kontrolü sağlanan bir ortamda kurulan ve derinin ısı üretim sürecini simüle eden bir düzenekle test edilmiştir. Düzenek üstü farklı tekstillerle kaplandığında korunmak istenen 33 °C'yi sağlayacak ortam ısısını tespit etmeye yarayacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 2.21. Nanofotonik tekstil test düzeneği ve ısı performansı görselleri a) Test düzeneği şematik gösterim. b) 33°C sağlayacak ortam sıcaklığının ısıtıcı üstüne farklı tekstiller konduğunda yarattığı ısı farkı. d) Işınım yoluyla ısınma yapan tekstil ile konvansiyonel tekstilin IR kamera görüntüleri. (Cai vd., 2017)

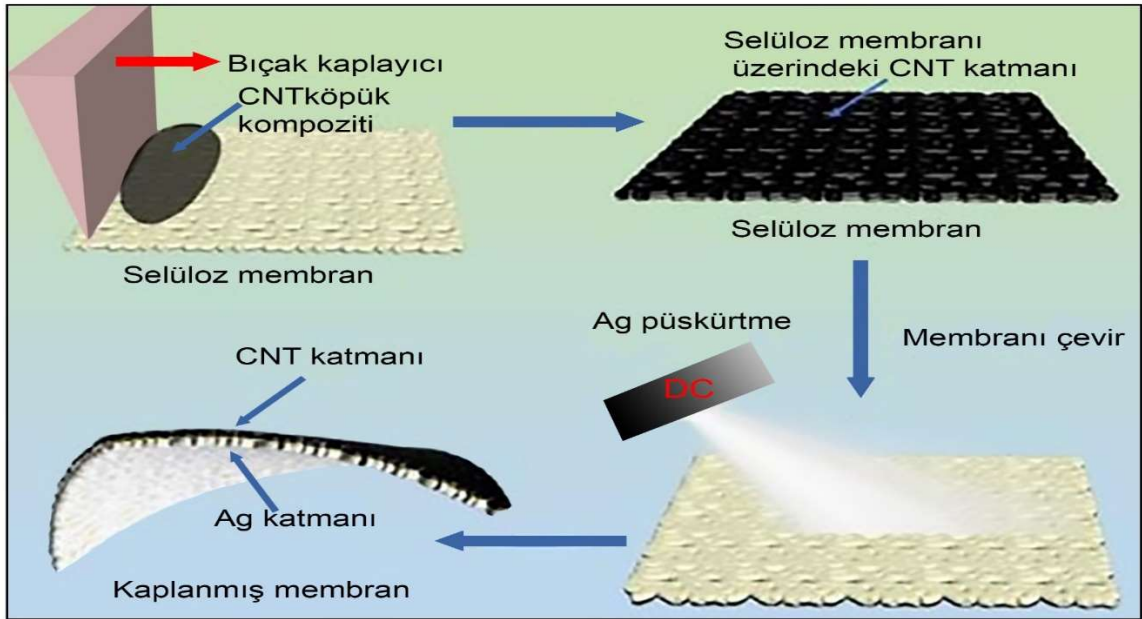


Şekil 2.22. IR ışınlam özelliğinin ayarlanabilirliği düşük maliyetli metal alternatifleri. a) 10-50 dakika arası akımsız Ag akımsız kaplama SEM görüntüleri. b) Farklı Ag akımsız kaplama sürelerine göre Pamuk/Ag/PE tekstilin IR emisivite spektrumu. c) Ortalama IR emisivite

ile set edilmiş ortam ısısının farklı Ag kaplama sürelerinde karşılaştırılması d) Pamuk/Cu/PE ile Pamuk/Nikel (Ni)/PE IR emisivite karşılaştırması. e) Dört farklı materyale göre ayar noktası karşılaştırması (Cai vd. 2017)

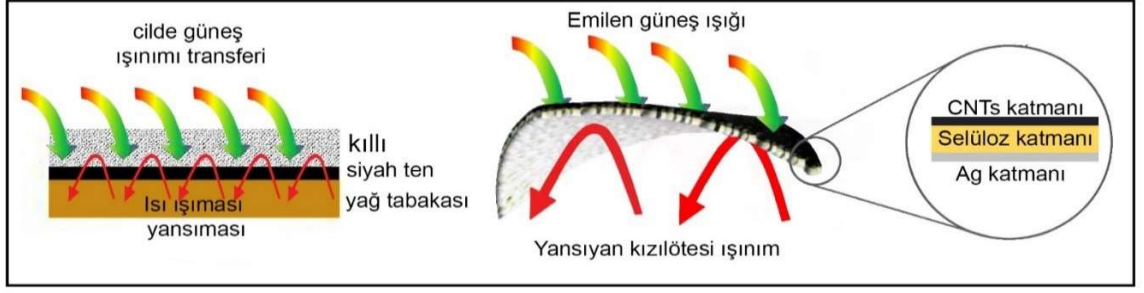
Yapılan diğer testlerde tekstilin hafif, nefes alabilir, dayanıklı, yıkanabilir ve renklendirilebilir olduğu tespit edilmiştir. Özellikle soğuk iç mekanlarda kullanımıyla iç mekan ısıtmalarında anlamlı bir tasarruf sağlayabileceği hesaplanmıştır. Bu durum daha az enerji tüketimine yol açacağı için iklim değişikliğiyle mücadelede katkı sağlayacaktır.

Yue ve arkadaşları (2020) kutup ayısının aşırı soğuk kutup koşullarıyla başa çıkmasını sağlayan postunu taklit eden bir yapı geliştirmişlerdir. Kutup ayısı postu aracılığıyla güneşten ısı absorblar ve yine postu aracılığıyla bedende üretilen ısıyı geri yansıtarak beden ısınısını korur. Bu amaçla gözenekli Ag/selüloz/karbon nanotüp (CNT) bir yapı oluşturmuşlardır. Selüloz zemin membranının bir yüzü köpük bitim işlemiyle CNT ile kaplanmış diğer yüzü ise magnetron saçılımı metoduyla Ag ile kaplanmıştır.

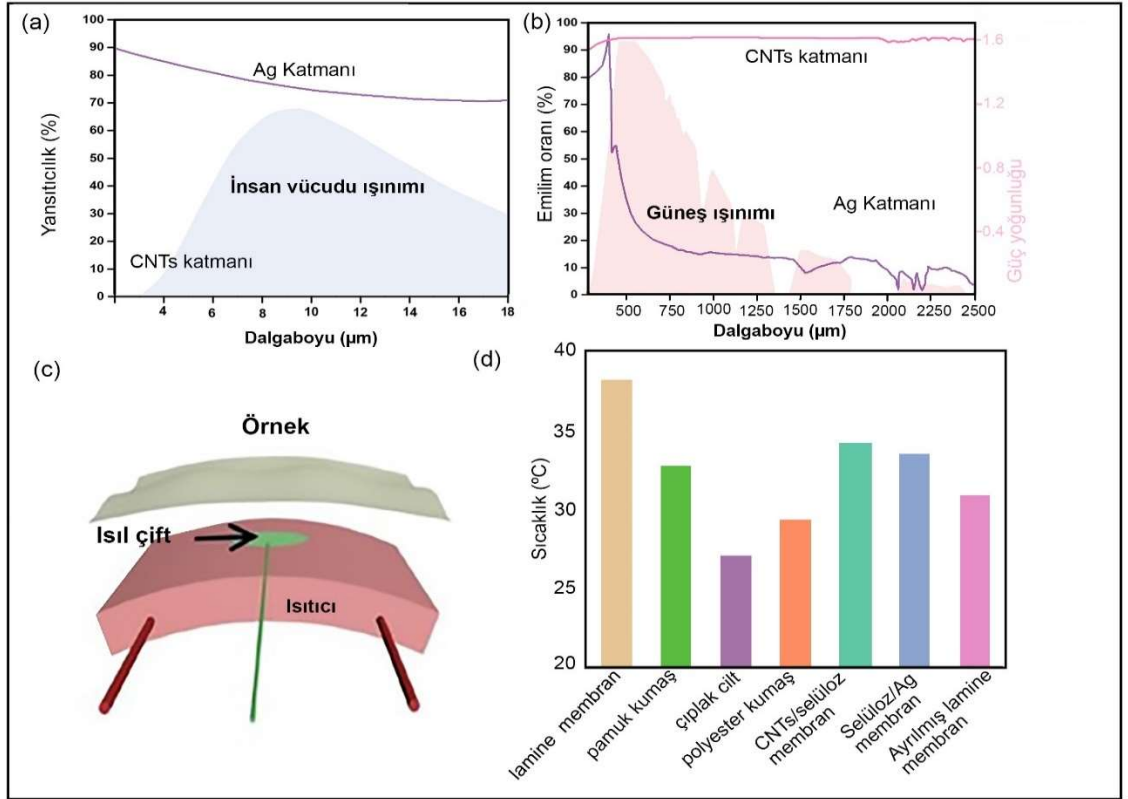


Şekil 2.23. Lamine membran eldesinin şematik gösterimi (Yue vd. 2020)

Oluşturulan Ag/selüloz/CNT laminat (ACCNL) CNT yüzünde tüm solar spektrum altında yüksek absorbands Ag tarafında ise insan bedeni ışıması FIR bölgede yüksek reflektif özellik göstermektedir. Bu pasif ısıtma özelliği yanında Ag yüksek iletken olduğu için dıştan bir kaynakla da ek bir fonksiyonu kazanabilmektedir.



Şekil 2.24. Kutup ayısı postu ve ACCNL çalışma şekillerinin şematik gösterimi (Yue vd. 2020)

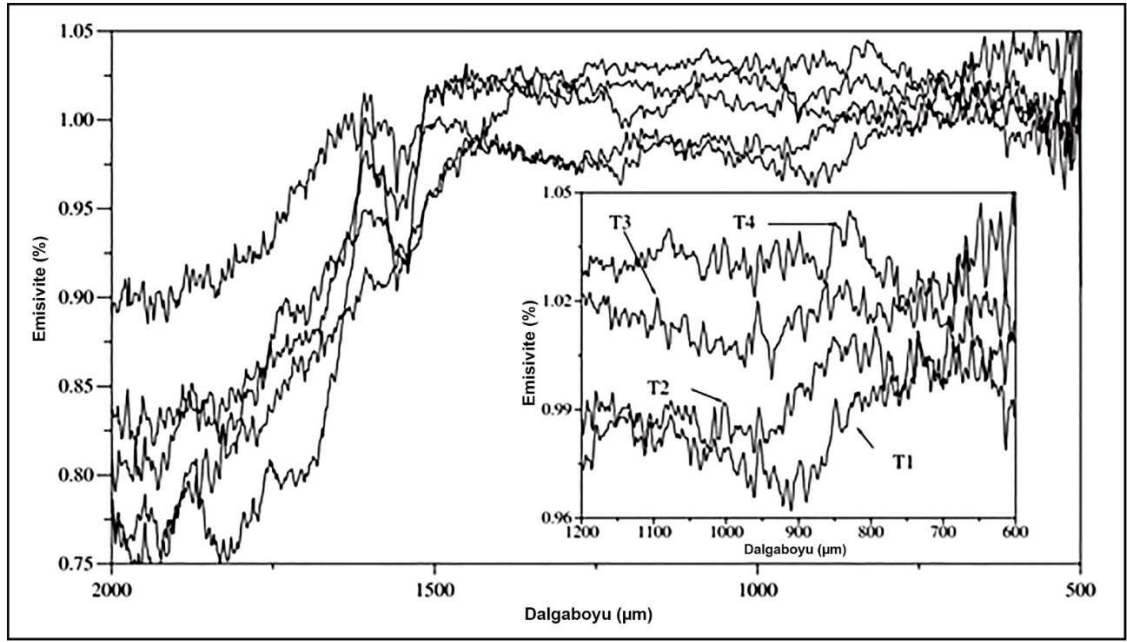


Şekil 2.25. Dış ortam performans değerlendirilmesi a) Beden ışıması dalga boyunda her iki yüzün reflektiflik spektrumu. b) Beden ışıması dalga boyunda her iki yüzün absorpsiyon spektrumu c) Kurulan düzeneğin şematik gösterimi d) Farklı materyaller için ısı tutulumu grafiği (Yue vd. 2020)

2.13. FIR Yayınlı Yapan Bileşikler (Pigmentler/Biyoseramikler)

Dünyaya ulaşan güneş ışınlarının %9'u UV, %45'i görünür ışık, kalan %44 ise IR bölgededir. Dalga boyu 0,1-3,0µm aralığındadır. Tez konusu malzemeler bir yandan güneş ışınımının NIR ve görünen ışık bölgesinde enerji absorblayarak termal enerjiye dönüştürür; diğer taraftan FIR bölgedeki beden ışımasını da absorblayarak onu FIR ışınlı olarak bedene geri verme potansiyeli olan maddeleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Bunlar Turmalin, Kaolinit ve Riyolit gibi doğal mineraller olabileceği gibi, Titanyum Dioksit (TiO₂), Silikon Dioksit (SiO₂), Aliminyum Oksit (Al₂O₃) ve Çinko Oksit (ZnO), Magnezyum Oksit (MgO), Zirkonyum Dioksit (ZrO₂), Sodyum ve Kalsiyum ve Germanyum bileşikleri gibi metal oksitler olabilir. Tez konusuyla uyumlu olacak şekilde elde edilme şekline bakmadan bu malzemeler pigment olarak adlandırılacaktır. Doğal kaynaklardan elde edilen pigmentlerin parçacık boyutları büyüktür, bu nedenle elde edildikten sonra mikro ya da nano boyuta getirilerek farklı şekillerde tekstil yüzeylerine applike edilebilirler. Parçacık boyutu pigmentin FIR ışınlıma etki eden önemli bir parametredir. Parçacık boyutu küçüldükçe FIR ışınlımasının arttığı bilinmektedir (Meng 2010).

Meng ve arkadaşları (2010) 4 farklı boyutta Turmalin kullanarak boyutun ışınlıma etkisini incelemişlerdir. Kullandıkları Turmalin bileşenleri ağırlık oranına göre sırasıyla %41,03 SiO₂, % 30,65 Al₂O₃, %5,85 Fe₂O₃, %7,23 B₂O₃, % 7,62 FeO, %2,32 MgO, %0,25 TiO₂, %0,12 CaO, %1,23 Na₂O, %1,89 K₂O toplam %98,19 olarak verilmiştir. Öğütme, süper ince bilyalı değirmen ile öğütme ve son aşamada yüksek hızlı santrifüj ile sırasıyla T₁ = 2,67 µm, T₂ = 1,42 µm, T₃ = 0,98 µm ve T₄ = 0,2 µm boyutunda parçacıklar elde edilmiştir. Ardından örneklerin IR spektrumu ve FIR emisiviteleri BRUKER-80V cihazla ölçülmüştür. Mikro yapıların daha homojen hale geldiği ve kristalin yapının boyut farklılığına rağmen değişmediği görülmüştür.



Şekil 2.26. Farklı boyuttaki turmalin mineralin emisivite grafiği (Meng vd. 2010)

Partikül boyutu küçüldükçe 5-20 μm dalga boyunda emisivitenin 1'e yaklaştığı ve buna bağlı olarak FIR ışıının arttığı tespit edilmiştir.

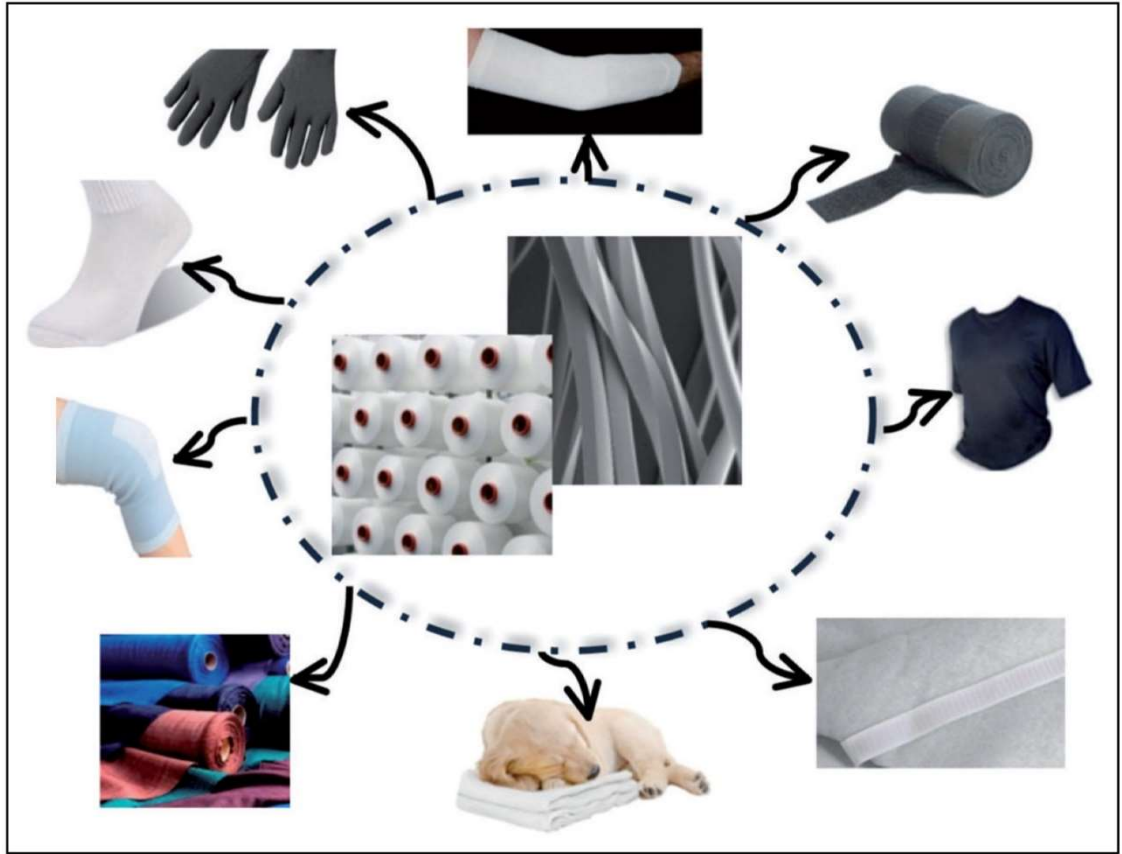
Çizelge 2.4. Turmalin için farklı partikül büyüklüğü ile elde edilen emisivite değerleri

Örnek	$T_1=2,67\mu\text{m}$	$T_2=1,42\mu\text{m}$	$T_3=0,98\mu\text{m}$	$T_4=0,2\mu\text{m}$
E	0,937	0,954	0,964	0,991

Bu ekstruder öncesi polimere katılarak iplik eldesi mümkün olduğu gibi, çektirme, emdirme, kaplama gibi yollarla tekstil yüzeylerine eklenebilirler. Polimere % 5'in üzerinde katıldığında kalite ve üretim sıkıntıları çıkardığı için iplik üretimini ve iplik kalitesini limitlemektedir. Kapsama metodu bu tür bir problem çıkarmadığı için ve daha ucuz olduğu için öne çıkmaktadır.

2.14 Pigment Katkılı FIR Işınımı Yapan Tekstiller

Seramik katılmış ipliklerden elde edilmiş tekstil yüzeyleri pazarda şu an en çok kullanılan FIR tekstilleridir.

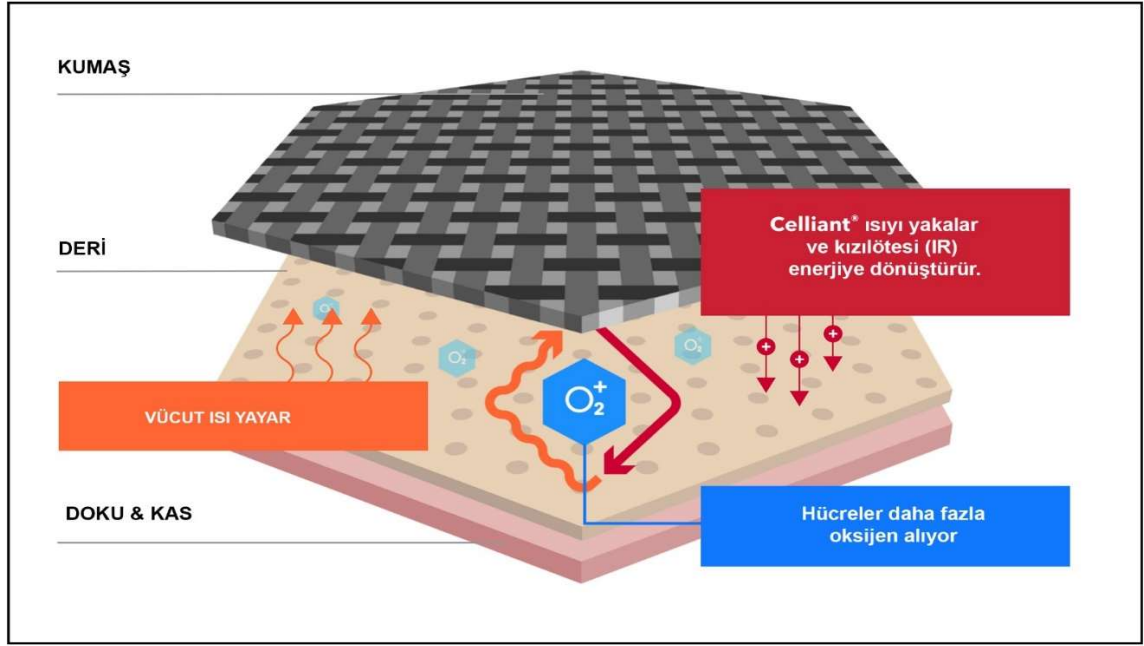


Şekil 2.27. Seramik katılmış ipliklerden elde edilen tekstil yüzeylerinin kullanım alanları (Vatansever ve Hamblin 2012).

Tecnofilati firması Resistex markasıyla karbon, bakır, biyoseramik, gümüş ve inox katkılı iplikler üretmektedir. Biyoseramik olarak Titanyum Dioksit (TiO_2), Silikon Dioksit (SiO_2), Alüminyum Oksit (Al_2O_3) ve Çinko Peroksit (ZnO_2) kullanılmaktadır. Seramikler nano boyuta getirildikten sonra polimere eklenerek master batch haline getirilmektedir. Firma elde edilen iplikle yapılan tekstillerin temel olarak soğuk iklimde beden ısınısını koruyacak kadar termal yalıtkan olduğunu belirtmekle birlikte, aynı zamanda bir çok yıkamaya dayanıklı olduğunu, UV ışınlarından koruma sağladığını, FIR ışınlarını geri yansıtarak bedeni ısıttığını ve dış yüzeyde kullanıldığında bu kez güneş ışığını yansıtarak ferahlık ve serinlik sağladığını belirtmektedir (Resistex, 2023, www.resistex.com).

Amerikan Celliant firması benzer şekilde TiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 gibi mineraller ve 88 iz elementi ipliğin içine katarak sadece FIR değil NIR ve MIR alanlarını da kapsayacak şekilde hazırladığı karışımları polietilen terafitalat (PET), poliamid (PA6) master

batchlerine ve viskon çözeltilerine karıştırarak IR etkili kesikli ve devamlı elyaf üretimi sağlamaktadır. PET üretiminde Unifi ile normal ve recycled PET olarak Repreve markası altında, Nylon'da Nilit ile viskon elyafta ise Kelheim firmasıyla işbirliği yapılmaktadır. (Celliant, 2023, www.celliant.com).



Şekil 2.28. Celliant ürünün çalışma mekanizması

Yüce ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan bir çalışmada %100 Pamuk, Yün, Akrilik, Viskon ve %50 Pamuk %50 Polyester karışım oranında ve sırasıyla 227, 194, 176, 170, 212 g/m² ağırlığında kumaşlar ön işlemden sonra TiO₂ ve SiO₂ ile ayrı ayrı kaplanmış ve herhangi bir kaplama yapılmamış sadece ön işlem görmüş (NCF) ve içinde pigment olmayan karışımla kaplanmış (BNCF) örnekleriyle birlikte test ve karakterize edilmişlerdir. Çalışmada kullanılan TiO₂ 55-75 nm partikül büyüklüğünde %98,5 saflıkta, SiO₂ 17 nm boyutunda %99,9 saflıktadır. Oda sıcaklığı 24 °C iken ısıtıcı plakanın sırasıyla 45 °C, 60 °C ve 80 °C olduğu üç durum için ölçüm yapılmıştır. Isıtıcı plaka üzerine emisivitesi bilinen bir örnekle birlikte kaplanmış, kaplanmamış ve içinde pigment olmayan kaplamalı kumaşlar sırayla konarak IR kameradan gözlem yapılmıştır. Ayrıca iki ayrı termokupl ile ısıtıcı plaka ve numune sıcaklığı ölçülmüştür. Eğer referans cisim ile örneğin emisivitesi aynı ise IR kamerada aynı ısının görülmesi gerektiğinden, referans cisim ve numunede gelen sıcaklık ile termokupl'dan gelen sıcaklık verisi kullanılarak emisivite hesaplanmıştır.

Çizelge 2.5. Ölçülen emisivite değerleri (Yuce vd. 2022)

	NCF	BNFC	TiO ₂	SiO ₂
Pamuk, %100	0,80	0,81	0,84	0,85
Yün, %100	0,75	0,84	0,83	0,81
Pamuk-PET (%50-50)	0,84	0,85	0,83	0,83
Viskon, %100	0,84	0,86	0,86	0,88
Akrilik, %100	0,76	0,76	0,86	0,85

Çalışmanın sonunda yüzeye eklenen pigmentlerin yüzey emisivitesini arttırdığı, yani absorblama ve ısıtım yoluyla beden ısınıpı arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Park ve arkadaşlarınca (Park vd. 2006) yapılan çalışmada kullanılan tekstiller, geçirgen, hidrofobik poliüreten (PU) membran lamineli, hidrofilik PU membran lamineli ve pigment içeren hidrofilik PU membran lamineli olarak dört grup altında incelenmiştir. Tekstiller %100 PET dokuma olarak seçilmiştir. Kullanılacak pigmentler membran üretilecek karışıma eklenerek membran üretilmiş ve daha sonra kumaş yüzeyine lamine edilmiştir.

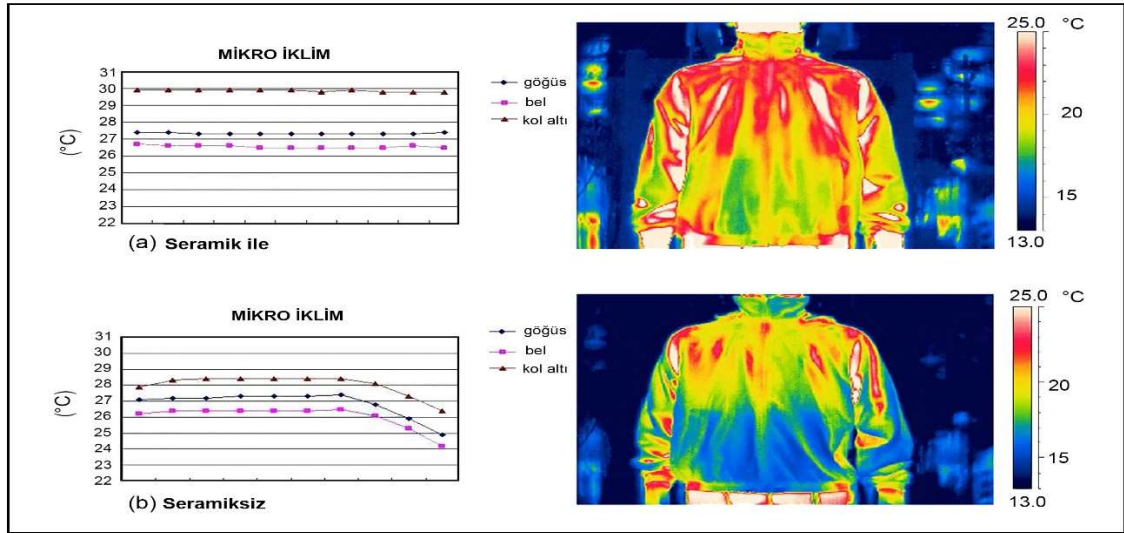
Çizelge 2.6. Numunelerin fiziksel özellikleri (Park vd. 2006)

	Seramik tipi	Yoğunluk	Membran T.	Ağırlık (g/m ²)	Kalınlık (mm)
FF Zemin	-	-	-	89	0,24
O-PU	-	-	Hidrofobik PU	131	0,24
H-PU	-	-	Hidrofilik PU	122	0,24
H-M20	MU-4N	%20	Hidrofilik PU	137	0,24

Çizelge 2.7. Numune karışım oranı ve emisivite özellikleri (Park vd. 2006)

	Emisivite	Emisyon gücü	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O
MU-4N	0,926	3,73x10 ²	%1,10	%92,6	%0,02	%0,06	%0,69

Numunelerin önce emisiv güçleri karşılaştırılmıştır. Seramik pigment içeren numunenin emisiv gücü $3,42 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ iken pigment içermeyen numunelerin emisiv gücü $3,30 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ ölçülmüştür. Ölçümler 37°C 'de $5\text{-}20 \mu\text{m}$ dalga boyu aralığında yapılmıştır. Sonuçlar yalıtkanlığın hafifçe arttığını buhar geçirgenliğinin ise hafifçe düştüğünü göstermektedir. Termografik ölçüm için yirmi ayrı elektrikle ısıtılan bölüme sahip mankene hidrofilik PU membranlı giysi ve ardından içinde seramikler olan hidrofilik PU membranlı giysi giydirilmiştir. Mikroklima ısısını ölçmek üzere göğüs, bel ve koltukaltına ısı sensörleri yerleştirilmiştir. Manken 35°C 'de 1 saat ısıtılmış ve süre bitiminden 20 dakika sonra dış ortam 10°C ve % 50 bağıl nem değerine sahipken termal kamera ile ölçüm yapılmıştır. Şekil 2.13'te görüleceği üzere ısı sensörleri ölçümleri ile kızılötesi kamera ölçümleri uyumlu bulunmuştur.



Şekil 2.29. Seramik katkılı ve katkısız giysilerin IR kamera altında görünümü (Park vd. 2006)

Deney sonucunda ısı akışı kesildiğinde FIR seramik parçacıklar içeren giysinin içermeyen giysiye oranla daha uzun süre ısıyı koruduğu ve bu pigmentlerin ısı depolama performansı olduğu gösterilmiştir.

He ve arkadaşları (2023) polipropilen (PP) film içine %2 ve %4 oranında sekiz farklı doğal minerali katarak, fonksiyonel tekstil geliştirme olanaklarını incelemiştir. Kullanılan mineraller gül kuartz (RQ), kırmızı kalsedon (RCD), kırmızı jasper (RJP), obsidiyen (OBS), turmalin (TM), laltaşı (GN), hematit (HEM), magnetit (MGN) ve kırmızı

aşıboyası (ROCH) şeklindedir. Mineraller mikrobeyuta getirildikten sonra 10 µm boyutunda elekten geçirilmiştir. PP polimer içine 180 °C’de karıştırılmış ve daha sonra 180 °C 10 dakika sürececek şekilde 150 x 150 x 0,5 mm boyutlarında basılarak film haline getirilmişlerdir. Bu minerallerin içerikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 2.8. Seçilen doğal minerallerin bileşenleri (He vd. 2023)

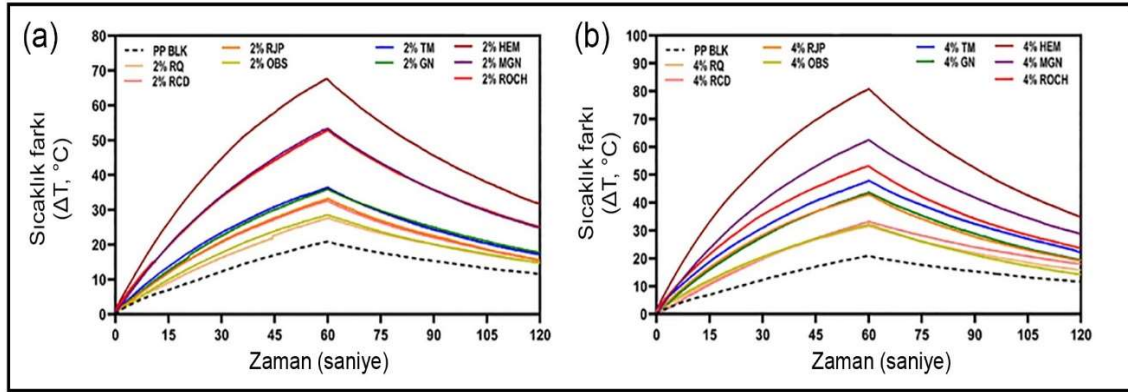
	RQ	RCD	RJP	OBS	TM	GN	HEM	MGN	ROCH
SiO ₂	98,86	97,65	89,81	79,11	7,74	30,92	2,94	1,97	14,51
Fe ₂ O ₃	0,82	1,49	7,40	2,50	2,72	44,96	83,98	83,79	69,34
Al ₂ O ₃	0,19	0,43	0,32	9,09	15,47	18,35	1,87		10,98
CaO		0,15	2,00		1,23		5,75		1,94
K ₂ O				4,06	3,19				
Na ₂ O				4,36	2,81				
MgO					2,92	3,46			
MnO						1,29			
P ₂ O ₅							5,39		
BaO								12,62	
TiO ₂									1,71

Filmlerin emisivitesi 5-14 µm dalga boyunda ölçülmüş ve %2 katkılı ROCH filmin emisivitesi en yüksek olarak 0,959 bulunmuştur. PP boş filme göre %14,55 lik bir artışa denk gelmektedir. En düşük emisivite RCD filmde olup boş PP filme göre %7,71’lik artışla 0,902 olarak tespit edilmiştir. %2’den %4’e katkılı PP film emisiviteleri artan konstrasyonla genel olarak artmıştır. TM ve ROCH emisiviteleri aynı kalmıştır.

Çizelge 2.9. Mineral katkısı oranına göre emisivite değişimi (He vd. 2023)

	%2 katkılı filmler ε	%4 katkılı filmler ε
Boş PP film ε= 0,838		
RQ	0,922	0,927
RCD	0,902	0,938
RJP	0,911	0,966
OBS	0,949	0,985
TM	0,936	0,935
GN	0,921	0,930
HEM	0,943	0,979
MGN	0,928	0,954
ROCH	0,959	0,959

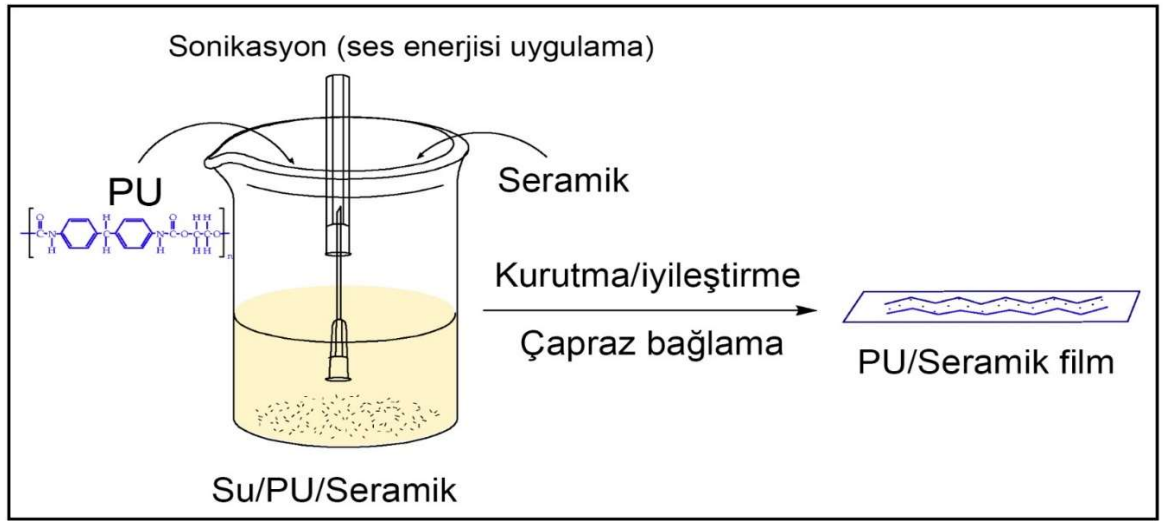
Mineral katkılı filmlerin ısı tutma kapasiteleri IR ışık kaynağı ve IR kamera kaydıyla değerlendirilmiş %2 ve %4 katkılı filmlerin tamamının birbirlerine göre farklılıklar içerse de boş PP filme göre daha yüksek ısı tutma kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. SiO₂ içerikli olanlar Fe₂O₃ içerikli olanlara göre daha düşük sıcaklık artışları göstermiştir. Filmler 60 saniye boyunca IR ışıma tutulduktan sonra akım kesilmiş ve 60 saniye sonra tekrar ısıları ölçülmüştür. Aşağıdaki grafik başlangıç sıcaklıklarından farkları göstermektedir.



Şekil 2.30. Mineral ısı tutma kapasitesi a) %2 katkılı b) %4 katkılı (He vd., 2023)

Çalışma %2 ve % 4 mineral katkılı katkılı PP membranların boş PP membrana göre emsisiviteyi değiştirdiğini, emisivite değişikliğinin ısı tutma kapasitesinin arttığını, aynı zamanda ultraviyole (UV) dayanımlarının mükemmel olduğunu, ROCH ve HEM minerallerinde ultraviyole koruma faktörünün (UPF) +50 üstünde olduğu ve bu minerallerin termoregülasyon yapan tekstiller için uygun birer malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

Faisal ve arkadaşları (2021) su bazlı bir PU binder ile Al₂O₃, SiO₂ ve TiO₂ minerallerini sonikasyon metoduyla ayrı ayrı karıştırarak bir kaplama patı oluşturmuşlardır. PU binderler genellikle düşük yada hiç uçucu organik bileşik içermezler, toksik değildir ve kullanımları kolaydır.



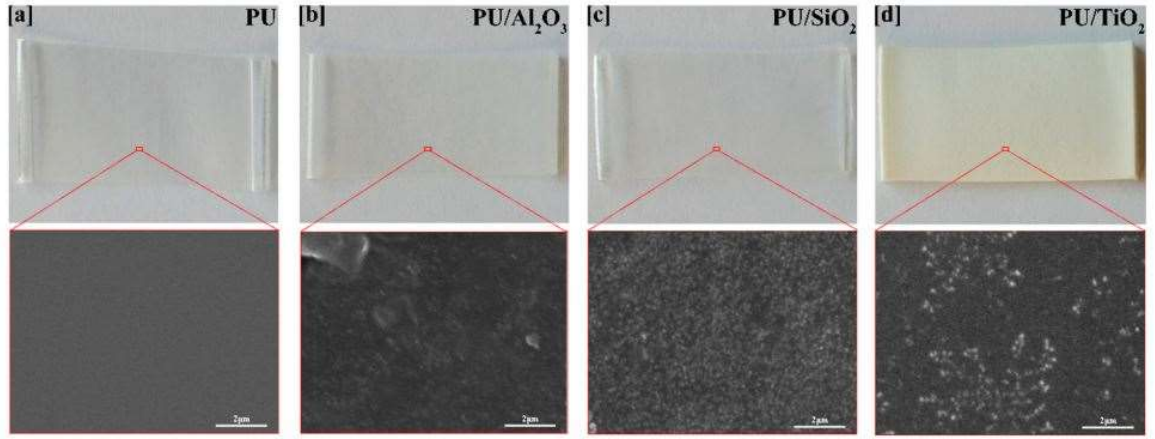
Şekil 2.31. Mineral katılı PU film elde etme metodu (Faisal vd. 2021)

Mineraller su içinde 10 g/l olacak şekilde hazırladıktan sonra 1 saat boyunca bir sonikasyon sondası ile işleme tabi tutulmuş ve ardından su bazlı PU eklenmiştir. Mineraller ağırlıkça karışımın %5'sini oluşturmaktadır. Oluşan karışım teflon bir kalıba dökülerek 20 °C'de 24 saat bekletilmiş ve etüvde 95 °C'de yarım saat kurutulmuştur. Son olarak film 130 °C'de 6 dakika kürlenerek çapraz bağların oluşması sağlanmıştır. Film kalınlığı 0,6 mm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 2.10. Mineral ekli PU filmlerin fiziksel özellikleri (Faisal vd. 2021)

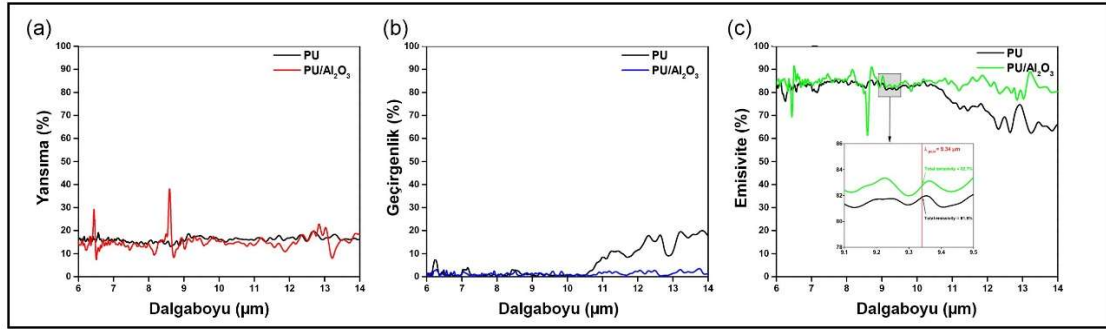
Mineral adı	Mineral çeşidi	Parçacık büyüklüğü (nm)	Mineral oranı (% ağırlık)	Film kalınlığı (mm)
PU				0,6±0,02
PU/Al ₂ O ₃	Hidrofobik	7-20	5	0,6±0,04
PU/SiO ₂	Hidrofobik	5-50	5	0,6±0,03
PU/TiO ₂	Hidrofilik	7-100	5	0,6±0,03

Numunelerin transmitans ve reflektansları Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile 6-14 µm dalga boyunda ölçülüp emisiviteleri Kirchhoff Kanuna göre $\epsilon = 1 - \tau - \rho$ formülüyle hesaplanmıştır.

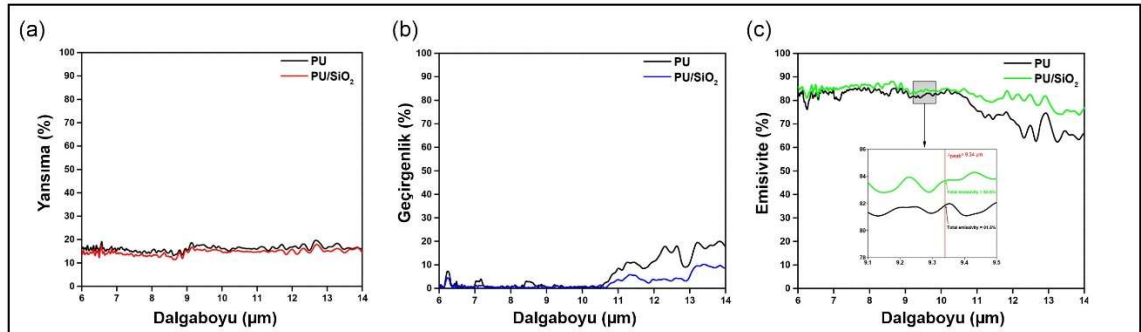


Şekil 2.32. Seramik katkılı numunelerin SEM görüntüleri (Faisal vd. 2021)

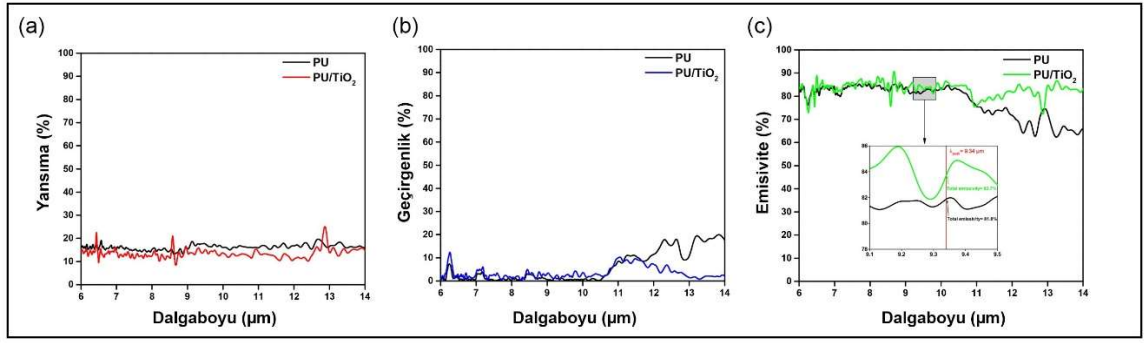
Yüzey 9000 kez büyütülüp incelendiğinde çözücü olarak kullanılan suyun yüksek polaritesi nedeniyle parçacıkların kümelenme eğiliminde olduğu ve kullanılan sonikasyon tekniğinin PU matrisi içinde düzgün yayıldığı görülmüştür. Kümelenmiş parçacık boyutları 100-500 nm arasında tespit edilmiştir.



Şekil 2.33. PU ve PU/Al₂O₃ filmlerin reflektans, transmitans ve emisivite grafikleri (Faisal vd. 2021)



Şekil 2.34. PU ve PU/SiO₂ filmlerin reflektans, transmitans ve emisivite grafikleri (Faisal vd. 2021)



Şekil 2.35. PU ve PU/TiO₂ filmlerin reflektans, transmittans ve emisivite grafikleri (Faisal vd. 2021)

Oluşan filmlerin emisiviteleri seramik katılmayan boş PU filme göre daha yüksektir. Beden ışıınım pik noktası 9,34 μm dalga boyundaki fark şekillerde büyütülerek verilmiştir. Farklı seramik katkılı PU filmlerin emisivitelerinin klasik tekstil yüzeylerine ve boş PU filme göre yüksek olması bu seramiklerin ya da bileşimlerinin tekstil yüzeylerinde ısı tutunumu sağlamak üzere potansiyellerini ortaya koymaktadır.

2.15. Kaplama

Kaplama en genel anlamıyla tekstil yüzeylerinin değişik formlardaki kimyasal malzeme ile bir veya her iki yüzeyinde bir ya da birden çok film tabakası oluşturma prosesine denir. Yapılan işlem ile elde edilen yeni tekstil yüzeyinin özellikleri kullanılan kaplama metodu, kullanılan polimer ve formülasyonu ile taşıyıcı tekstilin özelliklerine bağlıdır ve elde edilen yeni yüzey taşıyıcı ve aplikasyondan gelen özelliklerin sinerjisiyle kaplama amacına uygun fonksiyon gösterir. Bu özellikler işleme başlanmadan önce estetik, fonksiyonel ya da her ikisi birden olacak şekilde öngörülebilir.

Tekstil yüzeyine ek bir işlem olduğu için maliyeti arttırır bu nedenle klasik tekstil boyama, terbiye, baskı prosesleriyle yüzeye kazandırılmayan özellikleri ve özel efektleri elde etmek için kullanılmaktadır. Lif, iplik, kordon, halat, dokuma, örme ve dokusuz yüzeylere, yer döşemelerine, eldiven, denim pantolon gibi bitmiş ürün üzerine kaplama yapılabilir. Tekstil dışında cam, ahşap, kağıt ve metal endüstrilerinde kullanılmaktadır. Kaplama yöntemine bağlı olarak taşıyıcı yüzeye toz, köpük, pat formunda

bir kimyasal aplikasyonuyken, laminasyon iki ya da daha fazla taşıyıcı materyali yapıştırıcı, ısı veya basınç kullanarak bir araya getirmeye dayanır (Sen 2008).

Kaplama metodları kaplanacak yüzeyin ve elde edilmeye çalışılan ürünün özelliklerine bağlı olarak seçilir. Örneğin, hassas esneyebilen bir yüzey ile mukavemetli ve rijid bir yüzeyin kaplama metodunda kullanılacak ekipman değişik olmak durumundadır. Tüm bu farklılıklara rağmen sonuçta hedeflenen istenen kalınlıkta, düzgün, stabil ve yüzeye iyi bir yapışma gösteren bir film tabakası elde etmektir.

Kaplama işlemi sonunda taşıyıcı yüzey üzerinde saydam ya da olmayan ve farklı özellikler gösteren bir film katmanı oluşur. Taşıyıcı nihai üründe kopma, uzama ve yırtılma mukavemeti gibi özellikleri sağlarken, kaplama ise kumaşın kimyasal ve çevresel etkilerden korunması ve bazen daha estetik görünüm kazanmasını sağlar. Kaplama, sıvı geçirmezlik, ısı yalıtımı, ışık yalıtımı, gaz geçirmezlik, kimyasal maddelere karşı dayanıklılık, radyoaktif serptinden koruma, antiviral ve antibakteriyel koruma, elektronik kalkanlama, görünmezlik, elektriki yalıtkanlık, güç tutuşurluk, UV koruma, aşınma dayanımı gibi birçok özellikler kazandırabilir. “Bu özelliklerin yanında fonksiyonel tekstillerin sağlam, kolay uygulanabilen, hesaplı, her seferinde aynı özelliklerde üretilebilen, istenen yüzey morfolojisinde ve çevreye uyumlu olması” beklenmektedir (Bouasria vd. 2020).

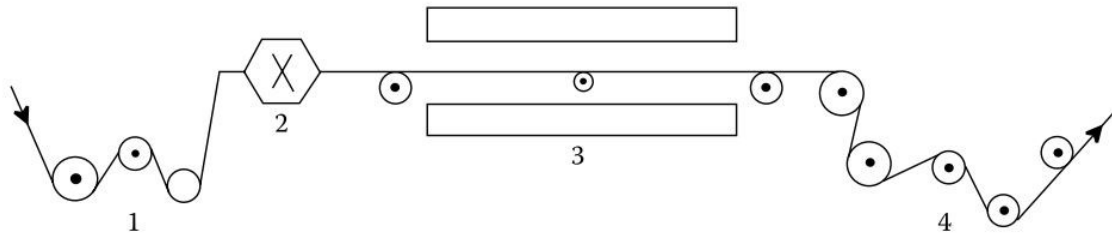
Kaplama ve laminasyonda yüzeylerin birbiriyle güçlü bir şekilde yapışmış olmaları gerekir. İstenen adhezyonu sağlayacak fiziki ve kimyevi koşullar işlemden önce sağlanır. Taşıyıcının boyutsal stabilitesinin sağlanmış olması, uniform düzgün yüzeye sahip olması, tüm safsızlıkların uzaklaştırılmış olması ve kaplamanın türüne göre uygun hidrofil ve hidrofobiklikte olması gerekir. Taşıyıcının fazla seyrek olması istenmez, işlem sırasında maruz kalacağı ısı, gerilim ve kimyasal maddelere dayanıklı olması, kaplama malzemesine karşı yeterli yapışma ve nüfuziyet göstermesi beklenir. Boyalı ve baskılı taşıyıcıların kaplama şartlarına dayanıklı olması gerekir (Kanık 2021).

2.16. Kaplama Makineleri

Akışkan malzeme kullanılarak kaplama yapılan makineler temel olarak kumaş besleme, kaplama ünitesi, kurutma kondenzasyon fırını, soğutma silindiri, sarım ünitesinden

oluşur. Kumaş bir doktan doğrudan verilebileceği gibi bir besleme ünitesi aracılığıyla eşit gerilimde, gerekirse bir atkı düzelticiden geçirilerek kaplama bölgesine sevk edilir. Kaplama ünitesi orta-yüksek vizkoziteli akışkan kaplama malzemelerinin kaplanmasında kullanılan bir bıçaklı, silindirli, daldırmalı, püskürtmeli ünitesi olabilir. Kaplanan kumaş önce kurutulur ve formülasyonda kullanılan su, solvent ve uçucu bileşikler uzaklaşırken yüzeyde kabarcık oluşturmada uzaklaşması istenir. Bu nedenle kurutma bölgesinde farklı sıcaklıklarda kompartmanlar bulunması gereklidir. Düşük sıcaklıktan başlayarak kumaş tamamen kurutulduktan sonra üst sıcaklıklara çıkılarak çapraz bağların oluşması, yani fiksenin gerçekleşmesi sağlanır.

Kullanılan kurutucular genelde konvektif tiptedir. Ancak IR ısıtıcı ve rezistanslar da kullanılmaktadır. Günümüzde çok tercih edilmemekle birlikte solvent bazlı bir binder kullanılmışsa buharlaşan solventi ortamdan uzaklaştırmak gerekir ve bu amaçla fırın içinde daha fazla taze hava sirküle edilir. Fırın kısmında ısıyla çekebilen taşıyıcı yüzeyi kontrol edebilmek için yüzey zincirli bir sistem ile kenarlarından tutularak kontrol edilir. Kaplanmış kumaş doka sarılmadan önce soğutulursa olası bir yapışmanın önüne geçilir. Kumaşa kaplamayı kalınlaştırmak için birkaç kez kaplama yapılması gerekebilir. Bunun nedeni genellikle daha kalın kaplamayı fırın ünitesinin düzgün kurutamamasıdır. Alt katmanlar kurtulur ancak son katman atıldıktan sonra çapraz bağlama da gerçekleştirilir ve fikse sağlanır (Sen 2008). Kumaş doka sarılmadan önce üstüne soğuk hava sevk edilir, ya da soğuk silindirlerden geçirilerek soğutulur. Soğuyan kumaş sabit gerilim altında kırık yapmayacak şekilde doka sarılır. Sarımdan hemen önce bir dedektör ile kalınlık kontrolü yapılabilir.



Şekil 2.36. Kaplama makinası şematik gösterimi (Sen 2008)

2.17. Kaplama Metotları

Kullanılan kaplama malzemesi haline, makine tipine, kaplama maddesi miktarının hangi aşamada ve nasıl ayarlandığına göre bağlı olarak farklı çok sayıda sınıflama yapmak mümkün olmakla birlikte akışkan formunda kaplama malzemeleri için kaplama makinasının türüne göre sırasıyla rakleli (bıçaklı), silindirli (Meyer çubuklu, doğrudan silindir, dokunma silindirli, gravür silindirli, ters silindirli), daldırmalı (emprenye fularlı) ve püskürtmeli olarak; katı maddeli kaplama malzemeleri için ise sırasıyla toz kaplama, ekstrüzyon kaplama, kalandır kaplama ve laminasyon kaplama metodları olarak sınıflanabilir. Plazma kaplamacılığı, sol-gel nanokaplama, katman katman katlama (LBL), kimyasal buhar yığıma (CVD), fiziksel buhar yığıma (PVD), katod kıvılcım tekniği, elektrodsuz kaplama, plazma ile in-situ polimerizasyon, yine plazma ile magnetron saçma tekniği gibi yeni bir çok teknoloji de kaplamacılıkta yüzeye çok ince farklı özellikler katmak için kullanılmaktadır.

Kullanılacak metodun seçimi, taşıyıcı karakterine, kaplama malzemesinin şekil ve akışkanlığına, kaplama sonu oluşacak filmde beklenen hassasiyet ve maliyet aralığına bakılarak kararlaştırılır (Joshi ve Butola, 2013).

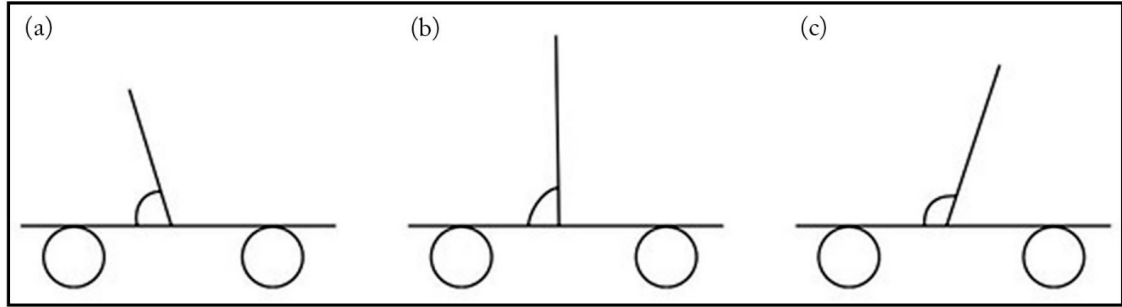
2.18. Bıçaklı Kaplama Metodu

Bilinen en eski metottur. Taşıyıcı yüzeyine dik bir rakle ya da bıçak konularak kaplama malzemesinin taşıyıcı yüzeyine dağıtılmasına ve bıçağın kumaştan uzaklığına bağlı olarak belli bir kalınlıkta yayılması işlemidir. Bıçağın önüne ihtiyaçtan fazla malzeme konur ve fazlasının bıçak altından geçmesi istenmez. Bıçak malzemenin kumaş enince eşit kalınlıkta dağıtılmasını sağlayarak malzemenin birim alana eşit ağırlıkta verilmesini sağlar. Makine üzerinde farklı bıçak tipleri mevcut olabilir ve ihtiyaca göre dönerek kolayca değiştirilerek kayıp süre minimize edilebilir. Kumaş kurutucuya doğru hareket ederken bıçak önüne kaplama malzemesi verilir bıçak ve kumaş arasında kalan malzeme ıslak ince bir film oluşturarak ilerler. Oluşan film kalınlığının kumaş ile bıçak arasındaki mesafenin yarısı olması istenmekle birlikte birçok parametreye bağlı olarak bu değer farklılaşır. Bu değişkenler taşıyıcı ve kaplama malzemesinin yüzey gerilimi, malzemenin vizkozitesi, bıçak arkasında oluşan ıslak filmin arasında oluşan içbükey boşluğun

(meniscus) yapısıdır. İdeal kalınlık taşıyıcı-bıçak arasındaki mesafenin yarısı olmakla birlikte oluşan film kalınlığı gözleme dayalı olarak aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

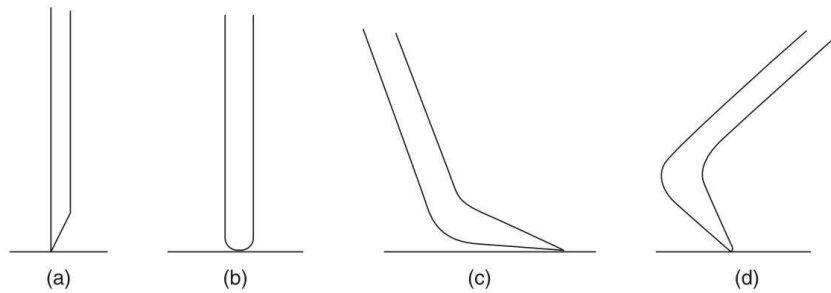
$$d = \frac{1}{2} \left(g \frac{c}{\rho} \right) \quad (2.12)$$

Formülde, g cm cinsinden taşıyıcı-bıçak arası boşluk, c g/cm³ cinsinden malzeme içindeki katı madde konsantrasyonu, ρ ise bitmiş filmin g/cm³ cinsinden yoğunluğudur. Oluşan filmin kalınlığı bıçak tipi, açısı, pozisyonuna ve taşıyıcıdan uzaklığına, kaplama malzeme çeşit ve vizkozitesine ve son olarak kumaş hızına bağlıdır. Bıçak kumaşa göre açısı θ küçüldükçe malzeme kumaşa doğru itileceği için kalınlık artar, θ büyüdükçe kalınlık azalır. Aynı şekilde bıçak üstündeki kuvvet arttıkça malzemenin penetrasyonu artacaktır.



Şekil 2.37. Kaplama bıçağının kumaşa göre pozisyonları (Joshi ve Butola 2013)

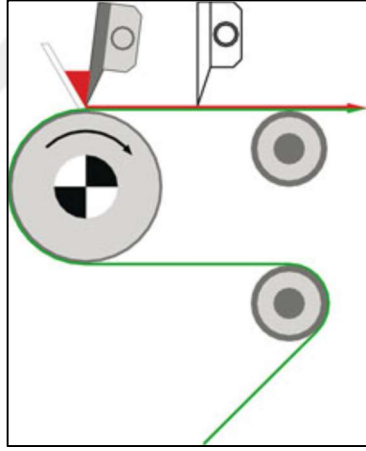
Bıçak ucunun şekli taşıyıcının kaplama malzemesi alımına doğrudan etki eder (Şekil 2.38) . Keskin bir uç alımı azaltır, yuvarlak bir uç alımı hafifçe artırır. Ayakkabı tabir edilen bıçak türü kullanıldığında ve ayakkabı genişledikçe alım artar, ancak ayakkabı öne doğru eğildikçe keskin bir bıçağın gösterdiği karakteri gösterir, yani malzeme alımı azalır. Bu şekil bir bıçak yapılmasının nedeni plastisol ve PU gibi bazı malzemelerin bıçak altından geçerek oluşan filmi bozması ve kalitenin düşmesine engel olmak içindir.



Şekil 2.38. Kaplama bıçak şekilleri (Joshi ve Butola 2013)

Üç belirgin bıçakla kaplama metodu vardır. Bıçak havada, bıçak taşıyıcı blanket üzerinde ve bıçak silindir üzerinde.

Silindir üstü bıçak sistemi güvenilir ve yaygın bir sistemdir. Taşıyıcı plastik veya çelik bir silindir üzerinde alttan desteklenir. Bıçak-taşıyıcı arası mesafe manuel ya da pnömatik olarak ayarlanır. Bu mesafe kaplama ağırlığını belirleyen en önemli parametredir. Boyutsal stabilitesi olan kumaşlar için daha uygundur. Geniş bir aralıkta (5 - 40.000 cP) farklı viskozitesi olan kaplama malzemeleri kullanılabilir. 5-8 g/m² den başlayarak kalın (ağır) kaplamalar elde edilebilir. Kaplama kalınlığı hassas bir şekilde ayarlanabilir. Yüzeydeki kaplama malzemesi miktarı başlangıçta verilen parametrelere ek olarak yüzey geometrisi ve sıklıklarla yakından ilgilidir. Sıkı bir yüzey gevşek bir yüzeye göre üzerine daha az malzeme alır. Kumaştaki bir hata veya ek yeri eğer silindir ile bıçak arasına girerse kumaşın sıkışarak kırılmasına neden olabilir. Kullanılan silindir lastik ise yüzeyde zamanla oluşabilecek deformasyonları silindiri rektifiye ederek düzeltmek gerekir. Çelik silindir kullanmak bu problemi çözer.



Şekil 2.39. Silindir üstü bıçak şematik gösterim (Giessmann, 2012)

2.19. Kaplama Reçetesi Kimyasalları

Artan çevreci talepler ve sürdürülebilirlik hedefleri nedeniyle kaplama işlemlerinde giderek daha çok su bazlı kaplama materyalleri kullanılmaktadır. Ancak teknik uygulamalar için solvent bazlı kaplama materyali de kullanılmaktadır. Malzeme köpük ya da pat formunda uygulanabilir. Giyim için kullanılan tekstiller daha çok pat formunda kaplanmaktadır.

Kaplama malzemesi içinde her biri farklı bir amacı yerine getiren farklı bileşenler bulunur. Asıl fonksiyonu yerine getirmesini beklediğimiz kaplama polimeri (binder), kıvamlaştırıcı, çapraz bağlayıcı, köpük kesici, dolgu maddeleri, fonksiyon sağlayıcı kimyasallar, renklendiriciler ve ihtiyaç duyulan ek kimyasallar. (Kanık, M. 2021).

Yoğun olarak kullanılan kaplama polimerleri akrilik ve kopolimerleri, poliüretan (PU), silikonlar, etilen vinil asetat (EVA), florokarbonlar (PTFE), polistiren ve kopolimerleri ile bütadien kopolimerleridir. (Sen, 2008).

Kaplama patı akışkandır ve kaplamada kullanabilmek için genellikle bir kıvamlaştırıcı ile muamele edilir. Kaplama patı viskozitesi 5000-40000 cP arasında tercih edilir ve reolojisi bilinmelidir.

Hareket eden kumaş ile bıçak arasından geçmeye çalışan pat kesme kuvvetine maruz kalır ve viskozitesi değişebilir. Su gibi Newtonik malzemelerin artan ya da azalan kesme kuvveti altında viskozitesi değişir. Newtonik olmayan malzemelerin örneğin dispersiyon boyanın artan kesme kuvveti altında viskozitesi düşer ve çoğu kaplama malzemesi Newtonik olmayan karakter gösterir. Pseudoplastik malzeme ise artan kesme kuvveti ile viskozitesi düşen ancak kuvvet etkisi kalktıktan sonra eski haline dönen malzemelerdir. Yoğurt ve jeller örnek verilebilir. Kaplama malzemesinin bu davranışını bilmek doğru malzemeyi, doğru metotla kaplamak için bize doğru bir fikir verir. (Sen, 2008)

Adhezyon ve kohezyonu arttırmak için çapraz bağlayıcılar kullanılır ve kaplamanın dayanımını artırır. Matlaştırmak, maliyeti düşürmek gibi amaçlarla katı dolgu maddeleri, renklendirmek için pigmentler, fonksiyon sağlayan katkı maddeleri, köpük kesiciler ve örneğin nemlendiriciler, dispergatörler, yumuşatıcılar, reoloji ayarlayıcılar, vaks, parafin, pH düzenleyici malzemeler kaplama patı içine konabilirler. (Kanık, M. 2021).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kumaş

Tez çalışmasında iki farklı kumaş kullanılmıştır. Katmanlı bir dış giysi yapılacağı varsayılarak düşük-orta gramajlı bir seçim yapılmıştır. Kumaşlarda PA olanı Nirmal Tekstil Ltd (Bursa) tarafından dokunmuş ve Avrupa Pasifik Tekstil AŞ’-nde (Bursa) haşıl sökme ve hazırlık işlemleri yapılmıştır. PES kumaş ham olarak ithal edilmiş, haşıl sökme ve hazırlık işlemleri yine Avrupa Pasifik Tekstilde tamamlanmıştır. Kaplamaya uygun boyutta kesme işi KVS Tekstil Ltd (Bursa) tarafından yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Poliamid kumaş teknik özellikleri

	Çözü x Atkı
İplik cinsi	PA66 yüksek tenasite havajet tekstüre x PA66 yüksek tenasite havajet tekstüre
İplik sıklığı (adet/cm)	44 x35
İplik no (denye) ve filament sayısı	100/68 x 100/68
Kumaş ağırlığı (g/m ²)	82
Kumaş örgüsü	Bezayağı

Çizelge 3.2. Polyester kumaşın teknik özellikleri

	Çözü x Atkı
İplik cinsi	Polyester tekstüre x Polyester tekstüre
İplik sıklığı (adet/cm)	77 x 46
İplik no (denye) ve filament sayısı	50/72 x 50/72
Kumaş ağırlığı (g/m ²)	75
Kumaş örgüsü	Bezayağı

3.1.2. Kaplama kimyasalları

Kaplama kimyasalları Rudolf-Duraner (Bursa) firmasından temin edilmiş olup, özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kaplama kimyasalları

Kimyasal	Özellik
Binder (Ruco-Coat AC-111)	Akrilik binder, anyonik / noniyonik, %50 katı madde oranı
Fiksator (Ruco Coat FX-8011)	Bütanon okzim içermeyen bloke izosiyonat bazlı çapraz bağlama maddesi, anyonik
Sentetik kıvamlaştırıcı (Ruco Coat TH-5020)	Nötralize edilmiş poliakrilat, anyonik
Köpük kesici (Rustol ZA 157)	Solventler, etoksile yağ alkolleri ve polisiloksan bileşikler karışımı, noniyonik
Dispergator (Rudolf AD 725)	Polikarboksilat,
Amonyak	%25'lik sıvı
Su	Yumuşak su

3.1.3. Dolgu malzemeleri

Bölüm 2 içinde verilen pigmentlerden SiO_2 ve Al_2O_3 seçilerek dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Nanokar Nanotechnology (İzmir) den temin edilmişlerdir. Parçaçık boyutu $3\mu\text{m}$ olarak verilmiştir. Her iki maddenin saflığı %99,95 olarak belirtilmiştir.

Ayrıca, bu dolgu maddelerine referans olması açısından piyasadan ticari bir ürün de temin edilmiştir. Bu ürünün, FIR yansıtıcı pigmentler, binder ve yardımcı kimyasallardan oluşan su bazlı bir dispersiyondur.

3.2. Yöntem

İki kumaşa dört farklı konsantrasyonda, aynı kalınlıkta, her iki dolgu malzemesi ayrı ayrı ve belli oranlarda karıştırılarak kaplamalar yapılmıştır. Yapılan kaplamaların etkinliklerini ve ticari üründen farklarını anlayabilmek için aynı kumaşlar içinde dolgu malzemesi olmayan kör pat ve ticari ürünün tavsiye edilen en yüksek oranı (100 g/kg) kullanılarak aynı kalınlıkta kaplanmıştır.

Çizelge 3.4. Kullanılan dolgu maddeleri ve konsantrasyonları

Kumaş Türü	Al ₂ O ₃ (g/kg)	SiO ₂ (g/kg)	Al ₂ O ₃ + SiO ₂ (g/kg)
PA kumaş	25-50-75-100	25-50-75-100	25+25 - 50+50
PES kumaş	25-50-75-100	25-50-75-100	25+25 - 50+50

3.2.1 Stok patının hazırlanması

Yapılacak dört farklı konsantrasyonda kaplama patı hazırlama sırasında olası sapmaları ortadan kaldırmak için tüm reçetelerde kullanılacak büyük miktarlı stok patı hazırlanmıştır.

Çizelge 3.5. Stok patı reçetesi

Kimyasal Madde	Miktar (g/kg)
Su	713
Binder	250
Amonyak	4
Fiksator	10
Köpük kesici	5
Kıvamlaştırıcı	18
Toplam	1000

Pat hazırlığı çizelgedeki sıra ile yapılmıştır. Karışım önce düşük, sonra yüksek hızda homojen görüntülü bir hale gelinceye kadar karıştırılmış ve ardından vizkozitesi 6900 cP, pH ise 9 olarak ölçülmüştür.

3.2.2. Kaplama patının hazırlanması

Dolgu malzemesi olarak kullanılan Al₂O₃ ve SiO₂'den dört farklı konsantrasyonda en az 5 numune kaplamaya yetecek kadar pat hazırlanmıştır.

Çizelge 3.6. Farklı konantrasyonlarda Al₂O₃ kaplama patı reçeteleri

Kimyasal madde	25 g/kg	50 g/kg	75 g/kg	100 g/kg
Stok patı	887,80	862,3	837,08	813,50
Dolgu maddesi	24,99	50,05	75,00	99,65
Köpük kesici	7,64	7,45	7,22	7,20
Su	74,98	75,12	75,00	74,75
Dispergator	2,52	2,60	2,50	2,50
Kıvamlaştırıcı	2,07	2,50	3,20	2,40
Toplam	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00

Çizelge 3.7. Farklı konantrasyonlarda SiO₂ kaplama patı reçeteleri

Kimyasal madde	25 g/kg	50 g/kg	75 g/kg	100 g/kg
Stok patı	886,95	863,50	839,00	815,00
Dolgu maddesi	25,00	50,00	75,00	99,85
Köpük kesici	7,50	7,35	7,10	7,00
Su	75,00	75,00	74,95	74,90
Dispergator	2,50	2,50	2,50	2,50
Kıvamlaştırıcı	3,05	1,65	1,45	0,75
Toplam	1 000,00	1 000,00	1 000,00	1 000,00

Çizelge 3.8. Al₂O₃ ve SiO₂ karışımı kaplama patı reçeteleri

Kimyasal madde	Reçete 1	Reçete 2
Stok patı	862,50	813,30
Al ₂ O ₃	25,00	50,00
SiO ₂	25,00	50,00
Köpük kesici	7,50	7,55
Su	75,00	74,95
Dispergator	2,50	2,50
Kıvamlaştırıcı	2,50	1,70
Toplam	1 000,00	1 000,00

Çizelge 3.6., 3.7. ve 3.8'e göre hazırlanan reçetelerde topaklanmayı engellemek üzere su ve dispergatör karışımı üzerine dolgu maddesi küçük miktarlarda yavaş yavaş eklenmiş ve önce düşük hızda, sonra yüksek hızda karıştırılarak homojen bir dispersiyon elde edilmiştir. Bu dispersiyon stok patı içerisine Şekil 3.1'de resmi verilen Ataç marka yüksek devirli karıştırıcıda eklenmiştir.



Şekil 3.1. Ataç marka MX-01 karıştırıcı

Çizelge 3. 9. Kör pat ve ticari ürün kaplama patı reçetesi

Kimyasal Madde	Kör pat (g/kg)	Ticari ürün (g/kg)
Stok patı	998,25	-
Dolgu maddesi	-	100,00
Köpük kesici	-	10,05
Su	-	869,00
Amonyak	-	4,05
Kıvamlaştırıcı	1,75	16,50
Toplam	1 000,00	1 000,00

Tüm kaplama patlarının hazırlanmasında hedeflenen viskozite 7400 ± 200 cP olarak belirlenmiştir. Karışımların tamamının viskoziteleri laboratuvarında bulunan (Şekil 3.2) Brookfield RVT marka vizkozimetre cihazı ile ölçülmüş ve vizkozitelerin istenen aralığa düştüğü belirlenmiştir. Ölçüm sırasında 50 devir/dk açısal hız ve 6 nolu mil kullanılmıştır. Hazırlanan tüm patların pH değerlerinin 9-9,5 aralığında olduğu ölçülmüştür.



Şekil 3.2. Brookfield RVT vizkozimetre cihazı

3.2.3. Kaplama, kurutma, kalandırlama ve fiksaj

Kaplama işlemi terbiye laboratuvarında bulunan Ataç GK40 RKL model cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz kumaşın gergin bir şekilde takılabileceği iğneli bir çerçeveye sahiptir, sırasıyla çözgü ve atkı yönlerinde 42 cm ve 32 cm boyutlarında kesilmiş kumaşlar iğneli çerçeveye takılmıştır. Cihazda silindir üstü rakle prensibi ile çalışılmış; rakle kumaşa ve silindire dik (90°) olacak şekilde konumlandırılmıştır. Kumaş bıçak mesafesi tüm kumaşlar ve kaplama patları için sentil çakısı kullanılarak 0,30 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Rakle hızı 2 m/dakikaya ayarlanmıştır. Kaplanan numuneler 110°C 'de 5 dk süreyle kurutulmuştur.



Şekil 3.3. Ataç GK40 RKL laboratuvar tipi kaplama makinası

Her pat ile 6 adet numune kaplanmıştır. Kaplama numuneleri Polteks Marka laboratuvar tipi kalandır ile 115 barda 30 m/dakika hızla soğuk bir şekilde kalender işlemine tabi tutularak yüzeyleri düzgün hale getirilmiştir.



Şekil 3.4. Polteks laboratuvar tipi kalandır

Son olarak numuneler fikse işlemi için kaplama yapılan cihazın fırını kullanılarak 150 °C'de 4 dk süreyle fikse edilmişlerdir.

3.2.4. Kumaşların birim alan ağırlıkları ve aktarılan madde ölçümü

Birim alan ağırlığı, TS 251 e göre kaplanmış numunelerden 10 cm² kesilerek yapılmıştır. Her kumaştan üçer numune test edilmiştir. Kurutma sonrası pat içindeki buharlaştığından

kumaş üzerinde sadece aktarılan madde kalacaktır. Aktarılan madde miktarının tespiti (3.1)'deki denkleme göre yapılmıştır.

$$A_3 = A_2 - A_1 \quad (3.1)$$

A_1 : Kaplamasız kumaş gramajı (g/m^2)

A_2 : Kaplamalı kumaş gramajı (g/m^2)

A_3 : Aktarılan madde miktarı (g/m^2)

3.2.5. Taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi

Kumaşların SEM görüntüleri Bursa Uludağ Üniversitesi'nde Zeiss marka EVO 40 model cihazı ile alınmıştır. Numuneler önce istenen boyutta kesilmiş ardından netlik elde edebilmek için 7,5-10 nm kalınlığında altın paladyum karışımı ile kaplanmıştır. Uygulanan voltaj değeri 20 kV'dur.

3.2.6 Kumaşların FTIR analizi

FTIR analizi Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümündeki Nanoteknoloji ve Karakterizasyon Laboratuvarında Shimadzu marka IRTracer-100 model cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm dalga sayısı biriminden $714\text{-}2500\text{ cm}^{-1}$, dalgaboyu birimiyle 4-14 μm aralığında gerçekleştirilmiştir.



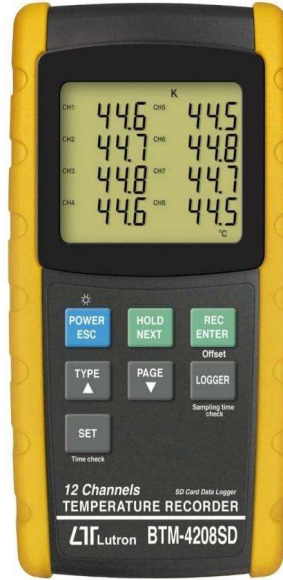
Şekil 3.5. Shimadzu IRTracer-100 FTIR cihazı

3.2.7. Kumaşların serbest halde ısı tutum ölçümleri

İnsan derisi ile giysi arasındaki boşlukları simüle ettiği düşünülen bir ölçüm düzeneği kurgulanmıştır. Isı kaynağı olarak D-LAB firmasından temin edilen MS-H380 Pro model ısıtıcı tabla (hot plate) kullanılmıştır. Isı ayar düğmesi 1 °C hassasiyete sahip olup sadece tam sayılar girilebilmektedir. Ölçüm ise ekran aracılığıyla 0,1 °C olarak verilmektedir.

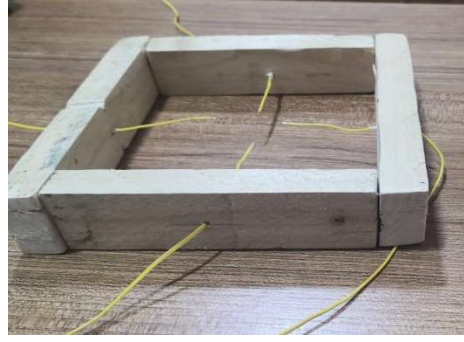
Tablanın üst yüzeyi insan derisi emisivitesine en yakın $\varepsilon = 0,96$ olan 3M firmasının üretimi vinil siyah bir izolasyon bantı ile kaplanmıştır.

Isılar Lutron marka BTM-4208SD (Şekil 3.5.) model çok kanallı bir sıcaklık ölçer ve kayıt cihazı ile kaydedilmiştir. Termokupllardan bir adedi tabla ısını ölçmek için, bir adedi ortam ısını ölçmek için, dört adedi ise oluşturulan boşluğun ısını ölçmek için kullanılmıştır. Alınan değerler bir tablola programına kaydedilmiştir.

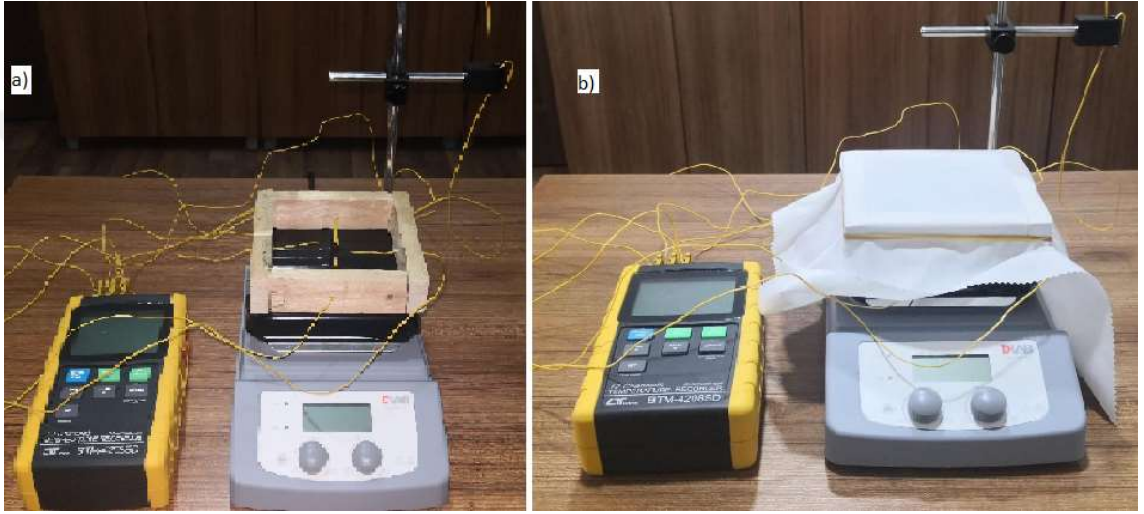


Şekil 3.6. Lutron BTM-4208SD ısı okuyucu ve kaydedici

İnsan derisi ve giysi boşluğunu oluşturmak için termal iletkenliği düşük selüloz tabanlı bir malzemeden iç boyutları 12 cm x 12 cm, et kalınlığı 2 cm, yüksekliği 3,5 cm olan bir çerçeve oluşturulmuş, her bir kenar üzerinde 12 cm ve 3,5 cm i ortalayacak şekilde dört ufak delik açılmış, ortam ısını ölçecek termokupllar buradan geçirilmiştir. Termokupl ile delik arası boşluk izolasyon bantı ile doldurulmuştur.



Şekil 3.7. Ölçüm çerçevesi



Şekil 3.8. Ölçüm Düzeneği

Ölçüm ısı kayıt cihazı ısı tablası 37,0-37,5 °C arası değerleri gösterirken başlamaktadır. Isıtma periyodu boyunca her dakika başında, beş dakikadan sonra başlayan soğuma periyodu boyunca ise her otuz saniyede bir değer okunmakta ve kaydedilmektedir. Soğuma dönemi başında ısı kaynağı kapatılmaktadır. Numuneler çerçeve etrafına gergin bir lastik bantla sabitlenmektedir. Termal kamera aracılığıyla çerçeve altından ve üstünden ısı kaçağı olup olmadığı kontrol edilmiştir.

3.2.8. Kumaşların soğuk ortamda ısıtma altında ısı tutumu ölçümleri

Ölçümler Bursa Uludağ Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarındaki Detail marka 1000 litrelik iklim şartları oluşturma cihazında kabin içine TESTO marka 890 model termal işlem boyunca yaklaşık üç saniyede bir ölçüm alarak kayıt yapabilen kamera kullanılarak yapılmıştır. Isı kaynağı olarak D-LAB

firmasından temin edilen MS-H380 Pro model ısıtıcı tabla (hot plate) kullanılmıştır. Plate üzerine ölçüm boyunca ısıyı eşit dağıtması için alüminyum levha konmuştur. 12 x 12 cm boyutlarında kumaşlar kenarlarından maskeleme bandı ile kaplamalı yüzeyleri içte kalacak şekilde levha üzerine tutturulmuştur. Ölçümler önce kör kaplamalı ardından sırasıyla 25g/kg, 50g/kg, 75g/kg ve 100g/kg SiO₂ dolgulu toplam beş adet PET kumaş ile yapılmıştır.

Çalışma sırasında dış ortam sıcaklığı 33°C dir. Örnekler odacığa yerleştirildikten sonra iç ortam sıcaklığı 20°C ye düşürülürken hot plate sıcaklığı 37°C ye ayarlanmıştır. Yaratılan ısı farkı ile ısıнын yüzeyden ortama dağılımı zorlanarak kumaşların bu rejim altında farklı ısı tutulum özelliklerine sahip olup olmadıkları gözlenmiştir. Termal kamerada emisivite 0,90 olarak seçilmiştir. Çalışma sırasında termal kamera kayıt yaparak yaklaşık üç saniyede bir kez dokuz ayrı noktadan veri kaydedilerek yüzeydeki ısı değişimi gözlenmiştir. 15 dakikalık çalışma sonrası alttan ısıtma ve çevreden soğutma işlemi devam ederken yüzeylerin termal kamera ile görüntüleri alınmış ve termal kameranın kendi yazılımı ile ortalama alan sıcaklığı tespit edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Birim Alan Ağırlığı Sonuçları

Akrilik binder ile kör, 25 g/kg, 50 g/kg, 75 g/kg, 100 g/kg konsantrasyonda farklı iki dolgu maddeli kaplamalar ile ticari ürün kaplamalı PA kumaş için ağırlıklar Çizelge 4.1. de verilmiştir. PET kumaş için ağırlıklar Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. PA kaplamalı kumaşların birim alan ağırlıkları (g/m²)

PA	Al ₂ O ₃		SiO ₂		Kör pat		Ticari ürün	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Kör pat					124,10	0,56		
Ticari ürün							98,32	2,27
25 g/kg	131,11	0,95	125,76	1,33				
50 g/kg	132,55	2,30	134,75	3,00				
75 g/kg	143,61	0,59	138,20	1,15				
100 g/kg	147,12	1,99	138,04	4,02				
Kumaş ağırlığı	81,63							0,25

Çizelge 4.2. PET kaplamalı kumaş ağırlıkları (g/m²)

PET	Al ₂ O ₃		SiO ₂		Kör pat		Ticari ürün	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Kör pat					113,23	1,24		
Ticari ürün							92,07	0,50
25 g/kg	118,74	1,57	117,67	0,84				
50 g/kg	126,03	1,90	123,04	1,07				
75 g/kg	132,79	2,15	124,56	1,66				
100 g/kg	141,40	0,50	133,02	4,06				
Kumaş ağırlığı	73,47							4,70

Çizelge 4.3. Dolgu maddesi karışım halinde olan kumaşların ağırlıkları (g/m²)

	PA		PET	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS
25 g/kg Al ₂ O ₃ + 25 g/kg SiO ₂	137,08	1,64	126,99	1,98
50 g/kg Al ₂ O ₃ + 50 g/kg SiO ₂	149,99	3,56	144,08	5,92
Kumaş ağırlığı	124,10	0,56	113,23	1,24

Çizelgelerdeki değerler genel olarak kaplama patında kullanılan dolgu maddesi konsantrasyonu arttıkça bunlarla kaplanan numunelerin birim alan ağırlıklarının da arttığını göstermektedir. Doğal olarak, hiç dolgu maddesi içermeyen kör kaplama patı ile kaplanan numunelerin düşük ağırlık değerleri vermesi beklenen bir durumdur. Diğer taraftan, ticari ürün ile kaplanan numunelere ait ağırlık değerlerinin tüm kaplamalı numuneler arasında en düşük değerleri vermektedir. Bu sonuç, ürünün katı madde oranı düşük sıvı bir ürün olması ve üretici firmanın uygulama tavsiyeleri doğrultusunda katı madde oranını dikkate değer şekilde artıracak herhangi bir ilave yapılmadan uygulanmasıyla ilgili bulunmuştur.

Dikkati çeken diğer bir nokta da, aynı konsantrasyonda Al₂O₃ ve SiO₂ ile kaplanan numunelerden Al₂O₃ ile kaplanan numunelerin birim alan ağırlıklarının SiO₂ ile kaplananlara göre daha yüksek çıkmasıdır. Bu farkın, iki malzemenin özgül ağırlıklarının farklı olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Zira, Al₂O₃ tozlarının özgül ağırlıkları 3.4-4.0 g/cm³ olarak verilirken, SiO₂ için bu değer 2.2-2.6 g/cm³ aralığındadır.

4.2. Aktarılan madde miktarları

Kaplama patlarının yüksek oranda su ve kurutma sırasında buharlaşabilen diğer bileşenleri içermesi nedeniyle, kaplama işleminden sonra kumaş üzerine aktarılan net kuru madde miktarlarını (dry-add on) değerlendirmek amacıyla yapılan ölçüm ve hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4-4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.4. PA kumaş üzerine aktarılan madde miktarları (g/m²)

PA	Al ₂ O ₃		SiO ₂		Kör pat		Ticari ürün	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Kör pat					45,25	1,69		
Ticari ürün							19,47	3,23
25 g/kg	49,48	0,98	41,27	1,57				
50 g/kg	50,92	2,30	48,56	1,90				
75 g/kg	61,98	0,59	55,32	2,15				
100 g/kg	65,49	1,99	63,93	0,50				

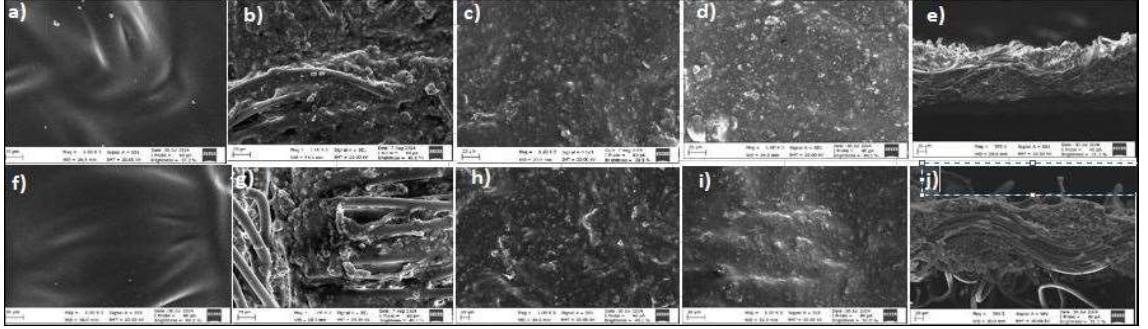
Çizelge 4.5. PET kumaş üzerine aktarılan madde miktarları (g/m²)

PET	Al ₂ O ₃		SiO ₂		Kör pat		Ticari ürün	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Kör pat					35,76	1,24		
Ticari ürün							14,60	0,50
25 g/kg	41,27	0,50	40,20	0,84				
50 g/kg	45,56	2,15	15,57	1,07				
75 g/kg	55,32	1,90	47,09	1,66				
100 g/kg	63,93	1,57	55,55	4,06				

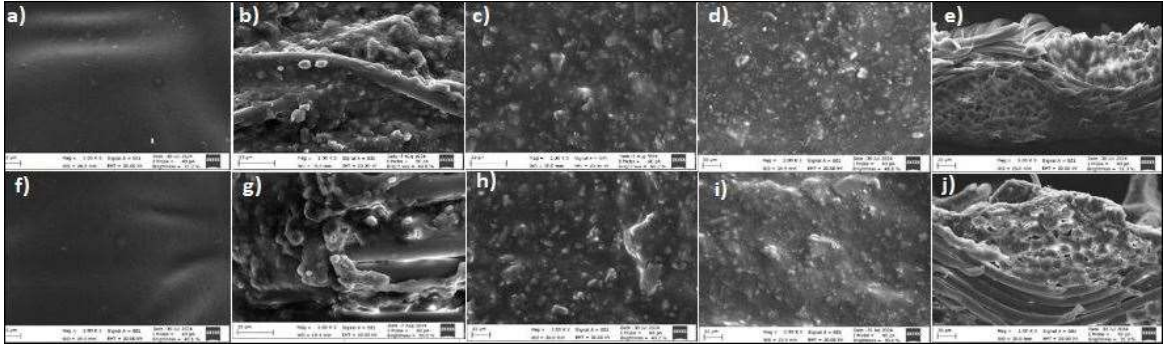
Çizelge 4.6. Dolgu maddesi karışım halinde olan kumaşlara aktarılan madde miktarları (g/m²)

	PA		PET	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS
25 g/kg Al ₂ O ₃ + 25 g/kg SiO ₂	58,23	1,67	49,52	1,98
50 g/kg Al ₂ O ₃ + 50 g/kg SiO ₂	71,13	2,10	66,51	5,92

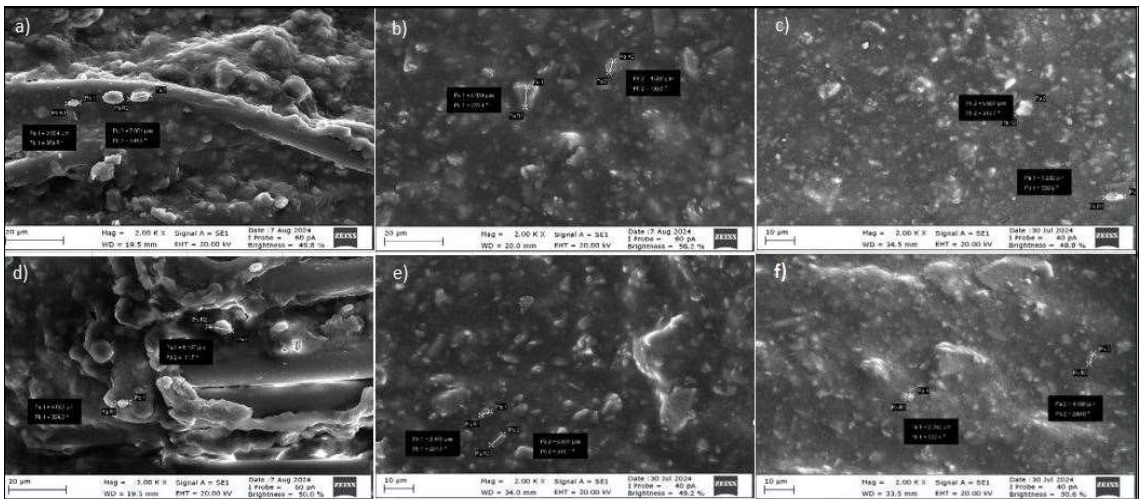
4.3. SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi



Şekil 4.1. 1000 kez büyütülmüş yüzeyler ve kesit görüntüleri a)PET Kör kaplama b)PET Ticari Ürün c)PET SiO₂ d)PET Al₂O₃ e)PET Al₂O₃ enine kesit f)PA Kör kaplama g)PA Ticari ürün h)PA SiO₂ i)PA Al₂O₃ j)PA SiO₂ enine kesit



Şekil 4.2. 2000 kez büyütülmüş yüzeyler ve kesit görüntüleri a)PET Kör kaplama b)PET Ticari Ürün c)PET SiO₂ d)PET Al₂O₃ e)PET Al₂O₃ enine kesit f)PA Kör kaplama g)PA Ticari ürün h)PA SiO₂ i)PA Al₂O₃ j)PA SiO₂ enine kesit



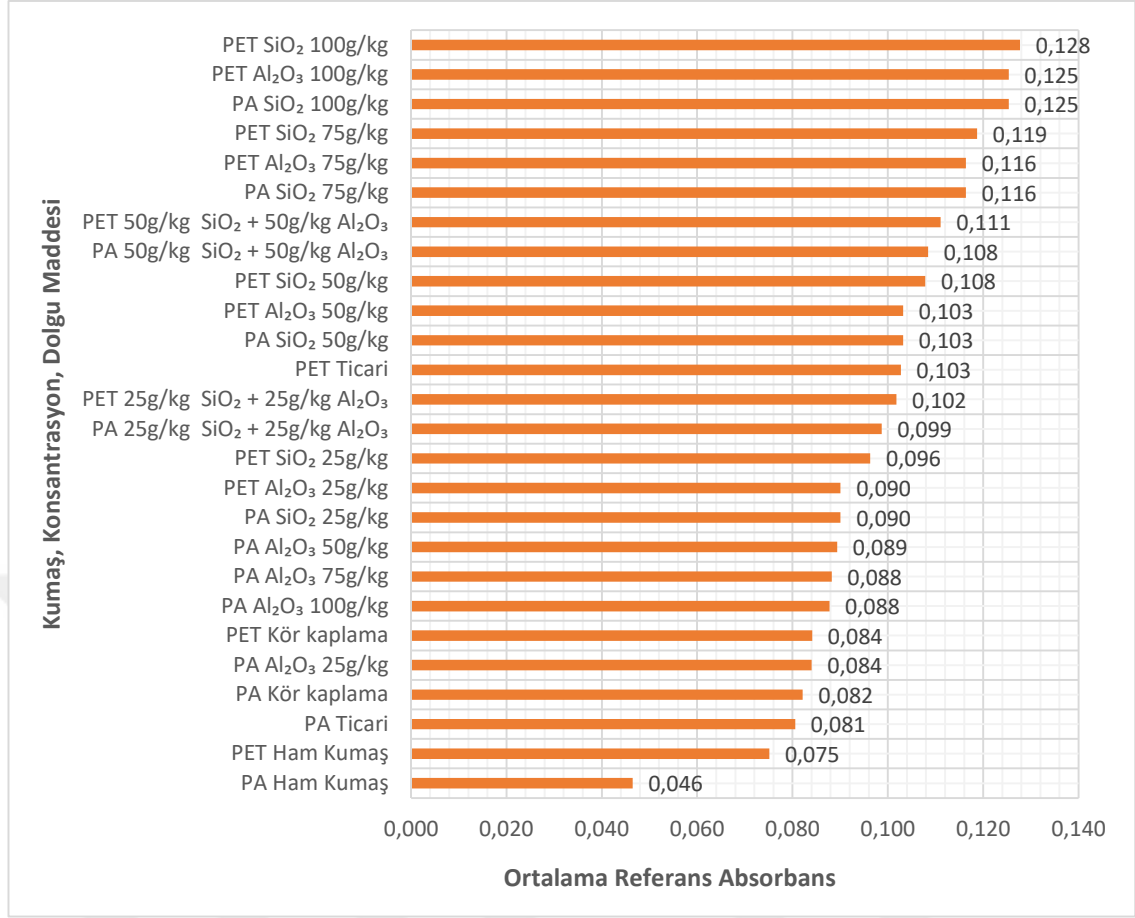
Şekil 4.3. SEM parçacık boyutu ölçümleri (x2000) a)PET Ticari ürün b)PET SiO₂ c) PET Al₂O₃ d)PA Ticari ürün e)PA SiO₂ f) PA Al₂O₃

Tüm SEM görüntülerinde dolgu maddelerinin kör kaplamaya göre yüzeyde pürüzlü bir yapı oluşturduğu tespit edilmiştir. Ticari ürün içerisinde farklı partikül boyutlarında parçacıklar diğer kaplamalara göre daha fazladır. Bu nedenle birden fazla farklı dolgu maddelerini içerdiği söylenebilir. SiO₂ ve Al₂O₃ dolgu maddelerinde parçacık boyutları birbirine yakın olup boyutlar 3-5 µm arasında kümelenmekte ve kaplamaların nispeten homojen oldukları görülmektedir. Enine kesit görüntülerde patın kumaşın üst yüzeyinden itibaren kesitin ortalarına kadar penetre ettiği görülmektedir.

4.4. FTIR Analizlerinin Değerlendirilmesi

Yapılan kaplama çalışmaları yüzeyin emisivitesini arttırmayı amaçlamaktadır. Yüzeyin daha çok ışıyım yapabilmesi için üzerinde daha çok ısı enerjisi tutması gerekir, bu özellik absorbandsın bir fonksiyonu olması nedeniyle FTIR analizinde doğrudan absorbands ölçülmüştür. Elde edilen grafiklerde cihaz ayarları nedeniyle yatay eksen de dalga boyu yerine dalga sayısı birimi (720-2500 cm⁻¹) verilmekle birlikte bu aralık insan bedeni ışıyım yapma aralığına uygundur.

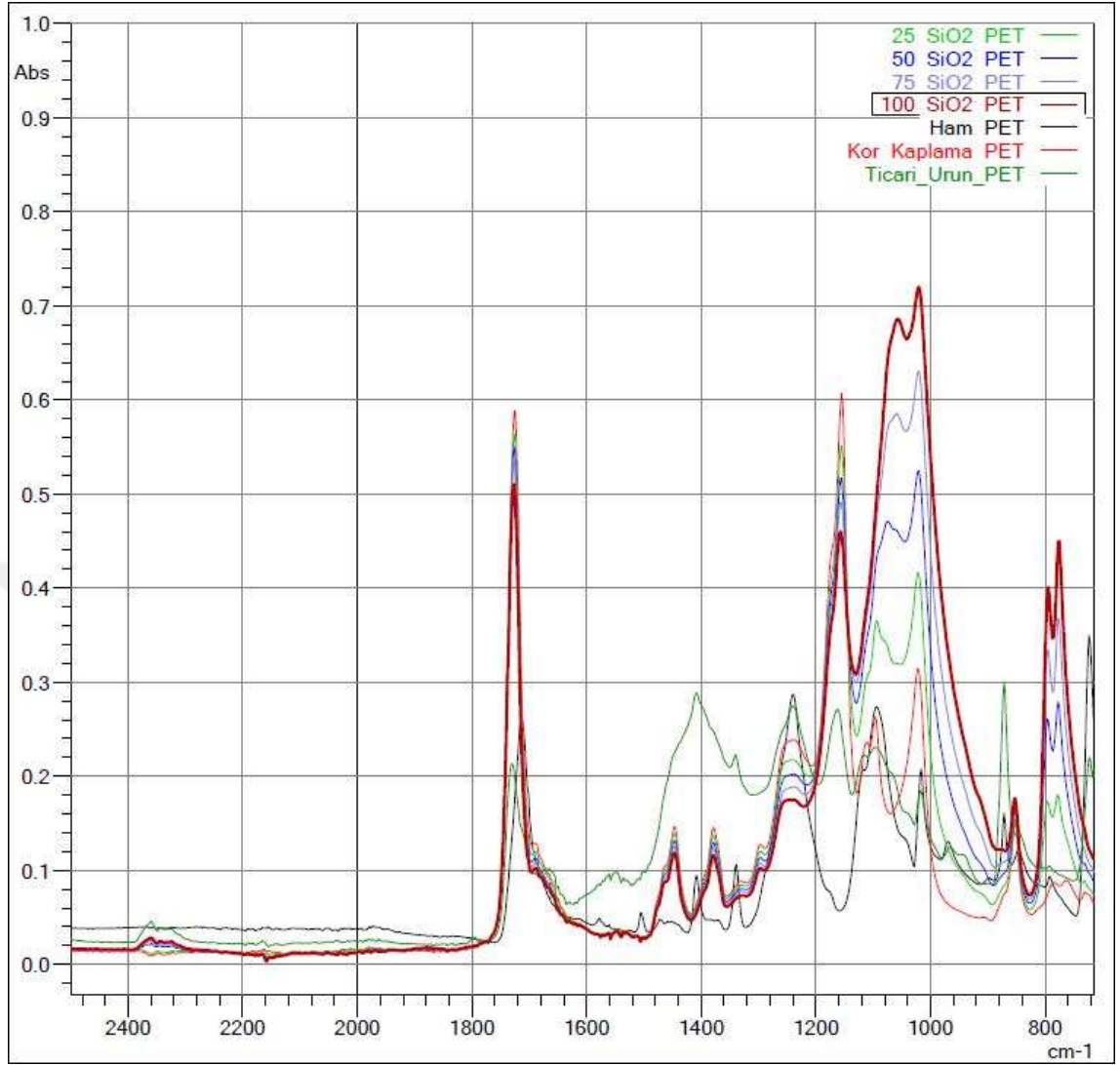
Ayrı ayrı ölçüm yapılan tekstil yüzeylerinin absorbands spektrumları mukayese edebilmek amacıyla kumaş ve dolgu maddesi cinsi ve konsantrasyona göre gruplanarak ham, kör ve ticari ürün absorbands spektrumlarıyla birlikte verilmiştir. Pik yapan bölgelerde dolgu maddesinin ve konsantrasyonun etkisi daha kolay görülebilirken diğer bölgelerde spektrum çizgileri birbiri üzerine binerek karışmaktadır. Bu amaçla yorumlamada kullanılmak üzere FTIR analizi sonucu cihazın ürettiği veri setinden referans ortalama absorbands adlı bir değer üretilmiştir. Ölçüm adımları boyunca verilen absorbands değerleri ile ölçüm adımı çarpılarak bulunan tüm değerler toplanmış ve aralık büyüklüğüne bölünmüştür.



Şekil 4.4. Hesaplama yoluyla bulunan ortalama referans absorbans değeri

4.4.1 SiO₂ Kaplamalı PET Kumaşların FTIR Değerlendirilmesi

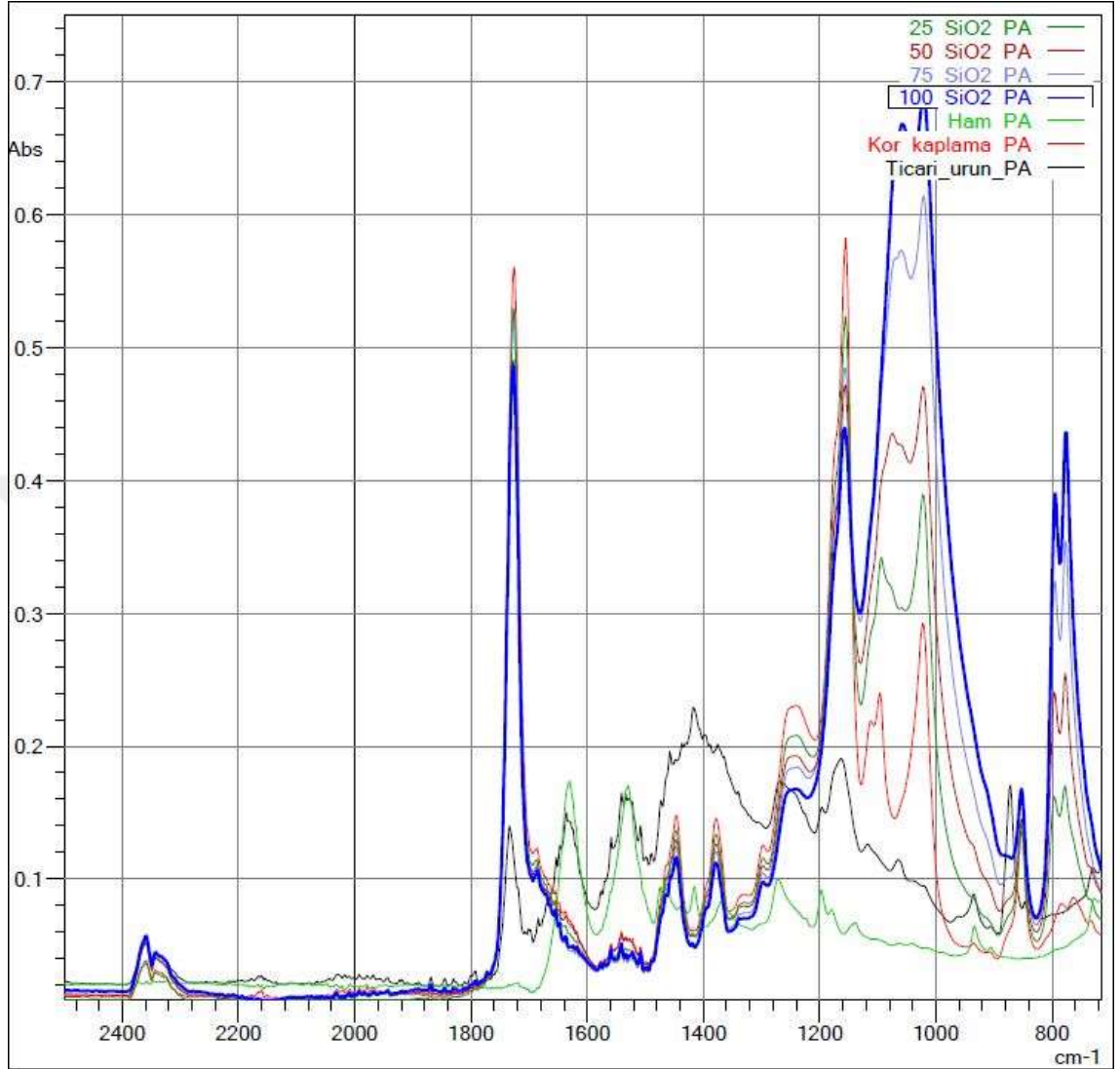
Kullanılan cihazın ayarları nedeniyle x ekseninde değerler dalga boyu yerine cm deki dalga sayısı ile verilmiştir. Verilen aralık insan bedeni ışımasına denk 4-14 μm bölgesidir. Şekil 4.5. de koyu kırmızı ile gösterilen 100g/kg SiO₂ kaplamalı kumaşın pik yaptığı bölgeler SiO₂ absorbans eğrileri ile uyumludur. Bu bölgeler sırasıyla 5-6 μm (1660-2000 cm^{-1}) ile 8-14 μm (714-1250 cm^{-1}). Kaplamanın pik yaptığı bölge insan bedeni ışımasının tepe noktasına çok yakındır. Özellikle pik yapan alanlar incelendiğinde karışım oranının absorbansa etkisi doğrusal bir biçimde gözlemlenmektedir. Karışım oranı arttıkça absorbans aynı oranda artmış gözükmektedir. Spektrum altındaki bölgeler bulunan ortalama referans absorbans verisi ike değerlendirildiğinde absorbansın en küçükten büyüğe doğru ham kumaş, kör kaplama, 25g/kg SiO₂, ticari ürün, 50g/kg SiO₂, 75g/kg SiO₂ ve 100g/kg SiO₂ olduğu görülmektedir. Katkı oranıyla bağlantılı absorbans değişimi



Şekil 4.5. Ham, ticari ve SiO₂ kaplamalı PET kumaşların absorbans spektrumu

kullanılan patın doğru bir şekilde hazırlandığını ve ardından gelen tüm işlemlerin doğru bir şekilde gerçekleştirildiği şeklinde yorumlanabilir.

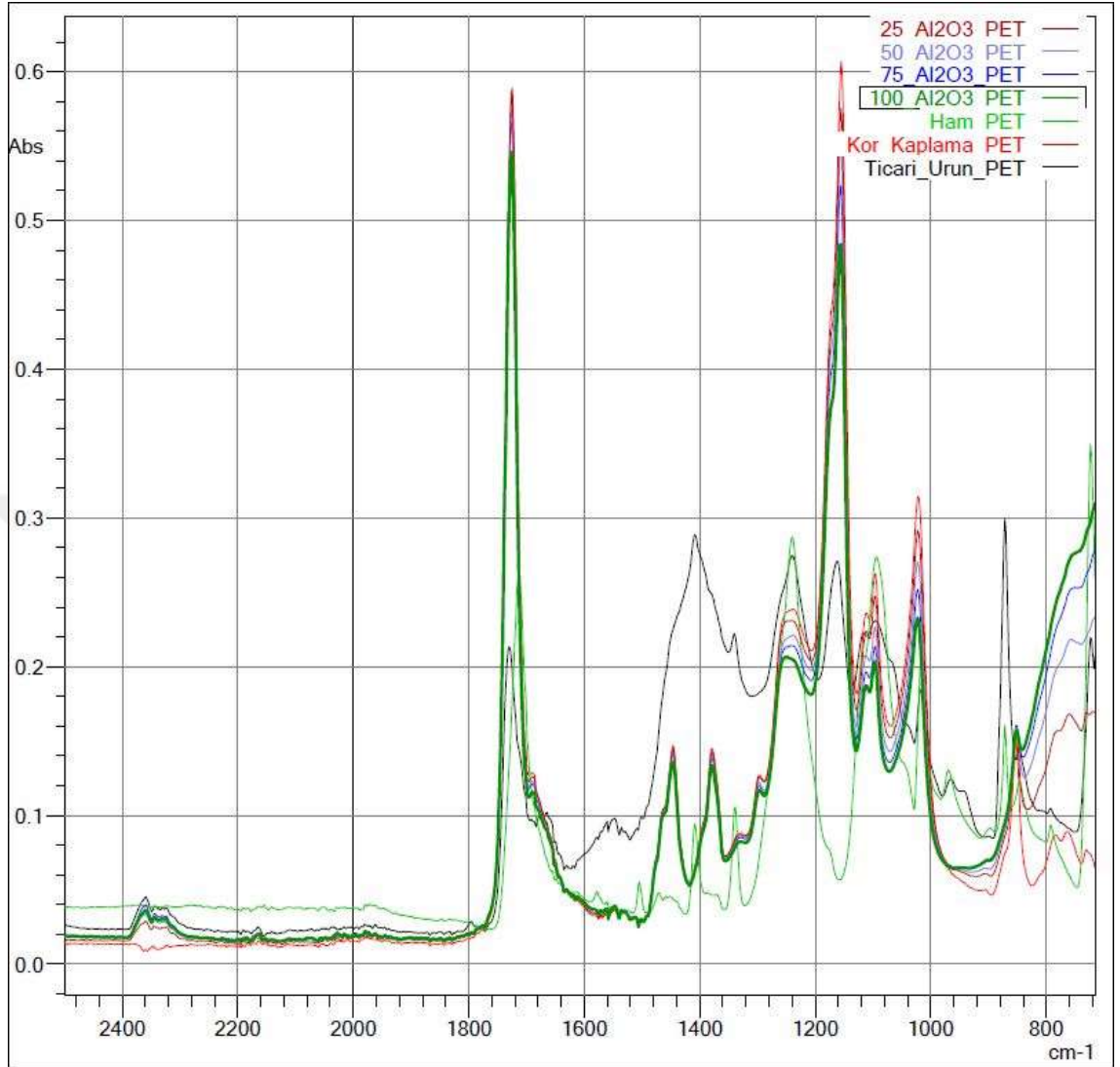
4.4.2 SiO₂ Kaplamalı PA Kumaşların FTIR Değerlendirmesi



Şekil 4.6. Ham, ticari ve SiO₂ kaplamalı PA kumaşların absorbans spektrumu

PET kumaşlardakine benzeyen bir grafik oluşmuştur. Şekil 4.4 deki değerler kullanılarak en küçükten en büyüğe doğru olmak üzere absorbanslar ham kumaş, ticari ürün, kör kaplama, 25g/kg SiO₂, 50g/kg SiO₂, 75g/kg SiO₂ ve 100g/kg SiO₂ şeklinde oluşmaktadır. Spktrumdaki pikler SiO₂ absorbans pikleriyle uyumludur.

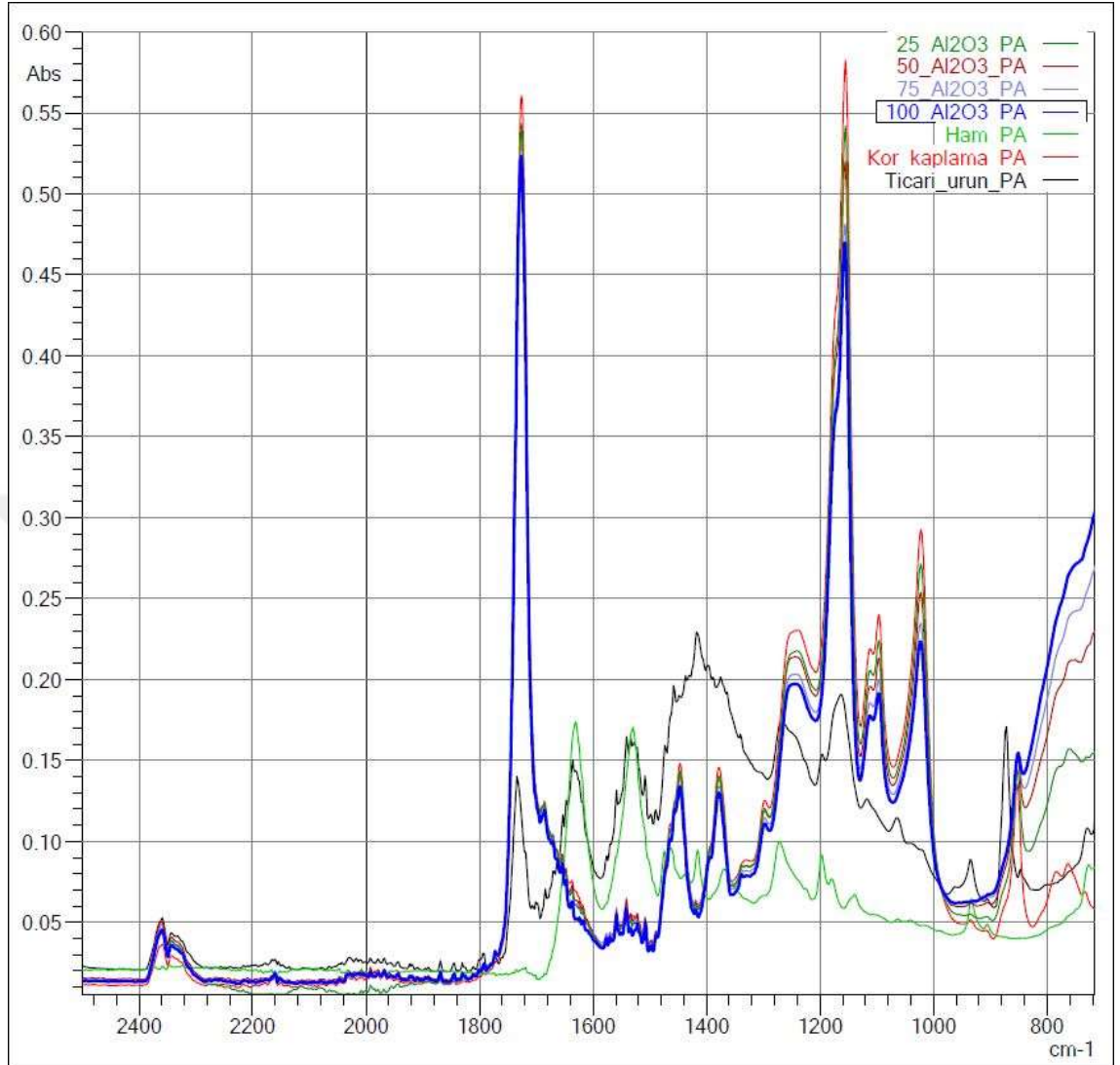
4.4.3 Al₂O₃ Kaplamalı PET Kumaşların FTIR Değerlendirilmesi



Şekil 4.7. Ham, ticari ve Al₂O₃ kaplamalı PET kumaşların absorbsans spektrumu

Al₂O₃ 9-23 µm (434-1111 cm⁻¹) aralığındaki absorbsiyon yapmaktadır. Spektrumun en sağında ölçümün sonlandığı 14 µm bölgesinde yukarı doğru hareket gözlemlenmektedir. Hareket Al₂O₃ varlığını doğrulamaktadır. Konsantrasyon etkisi bu bölgede doğrusal olarak çok net belirginleşmektedir. Şekil 4.4 deki değerler kullanılarak sıralama en küçükten büyüğe doğru ham kumaş, kör kaplama, 25g/kg Al₂O₃, 100g/kg Al₂O₃, 50g/kg Al₂O₃, 75g/kg Al₂O₃ ve ticari ürün şeklinde gerçekleşmektedir. Ticari ürün Al₂O₃ kaplamalı kumaşlardan daha iyi bir absorbsans değeri vermektedir.

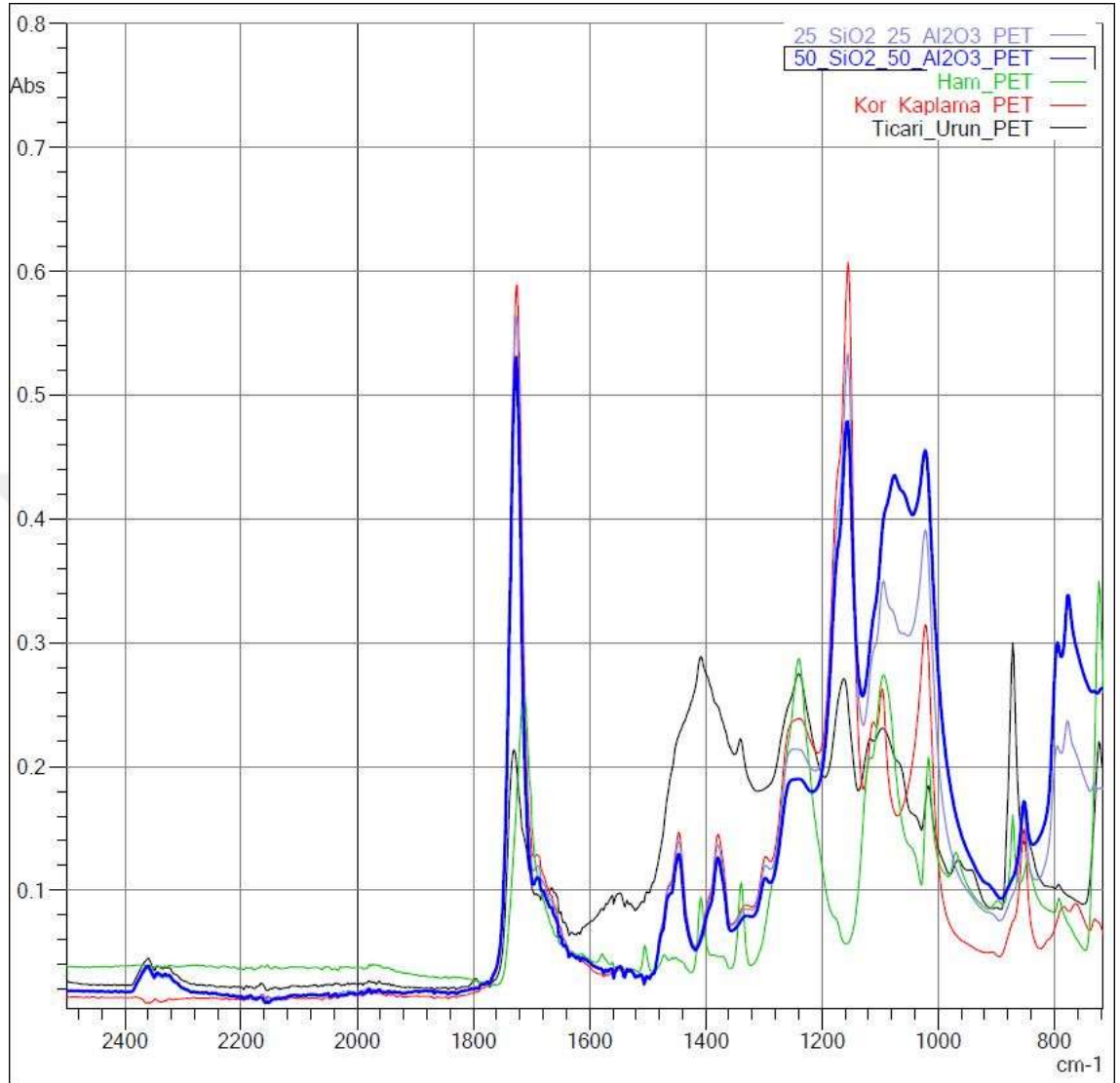
4.4.4. Al₂O₃ Kaplamalı PA Kumaşların FTIR Değerlendirilmesi



Şekil 4.8. Ham, ticari ve Al₂O₃ kaplamalı PA kumaşların absorbanans sppektrumu

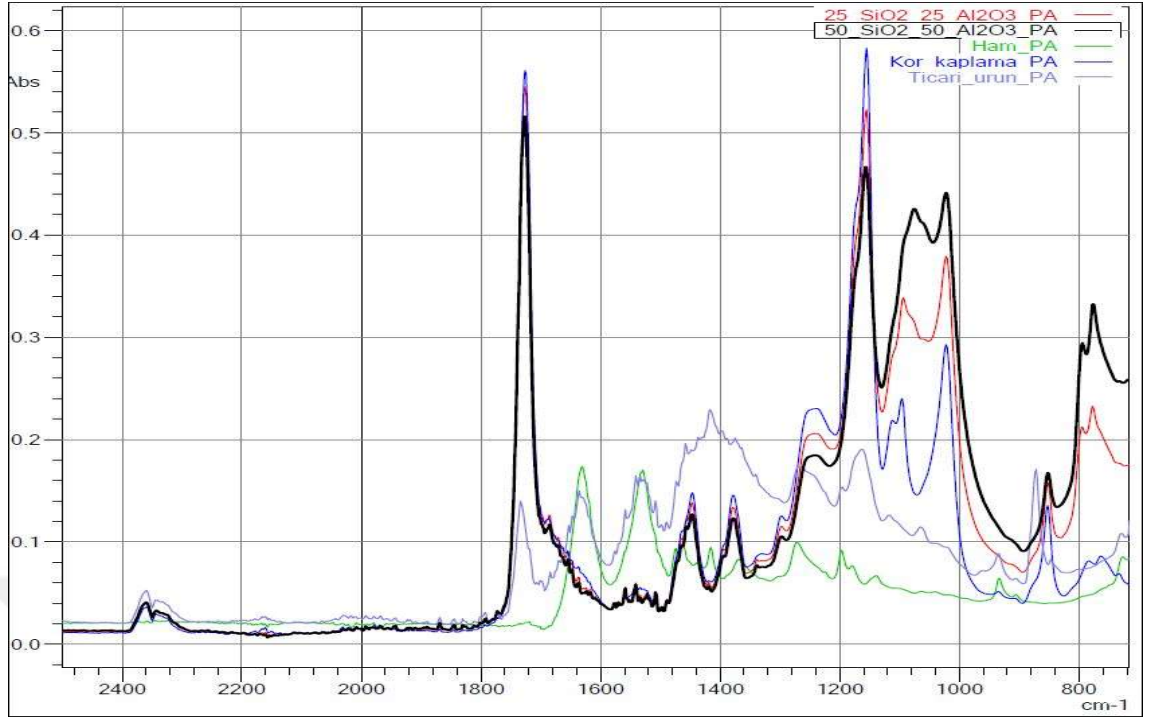
Al₂O₃ varlığı ölçüm aralığı sonundaki yükselişle belirgin hale gelmektedir. Dolgu maddesi konsantrasyon etkisi net bir şekilde görülmektedir. Şekil 4.4 deki değerler kullanılarak sıralama en küçükten büyüğe doğru ham kumaş, ticari ürün, kör kaplama, 25g/kg Al₂O₃, 100g/kg Al₂O₃, 75g/kg Al₂O₃, 50g/kg Al₂O₃ şeklinde oluşmaktadır.

4.4.5. SiO₂-Al₂O₃ Karışım Kaplamalı PET-PA Kumaşların FTIR Değerlendirilmesi



Şekil 4.9. Ham, ticari SiO₂ ve Al₂O₃ karışımlı kaplamalı PET kumaşların absorbanans spektrumu

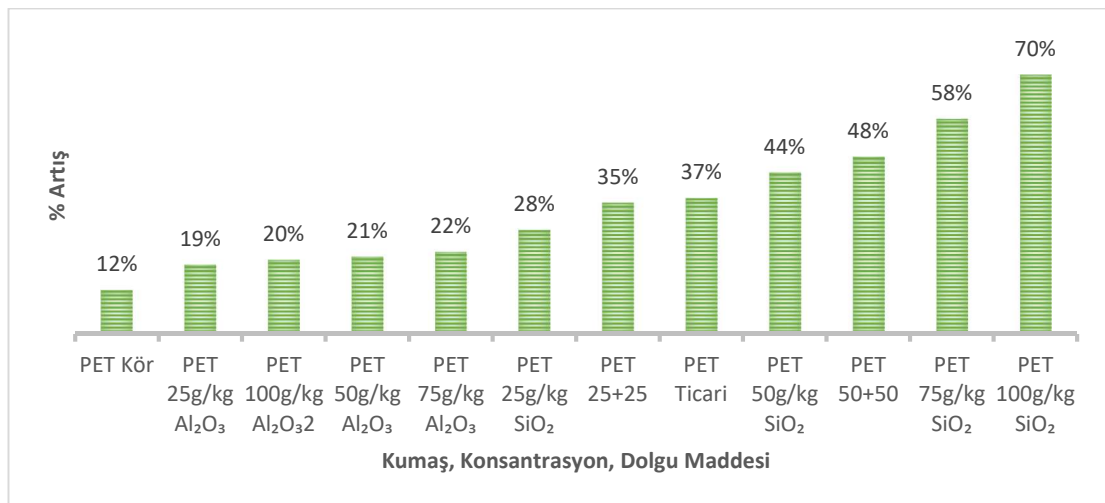
Şekil 4.4 deki değerler kullanılarak en küçükten büyüğe doğru sıralamanın ham kumaş, kör kaplamalı kumaş, 25g/kg SiO₂+25g/kg Al₂O₃, ticari ürün ve 50g/kg SiO₂+50g/kg Al₂O₃ olduğu görülmektedir.



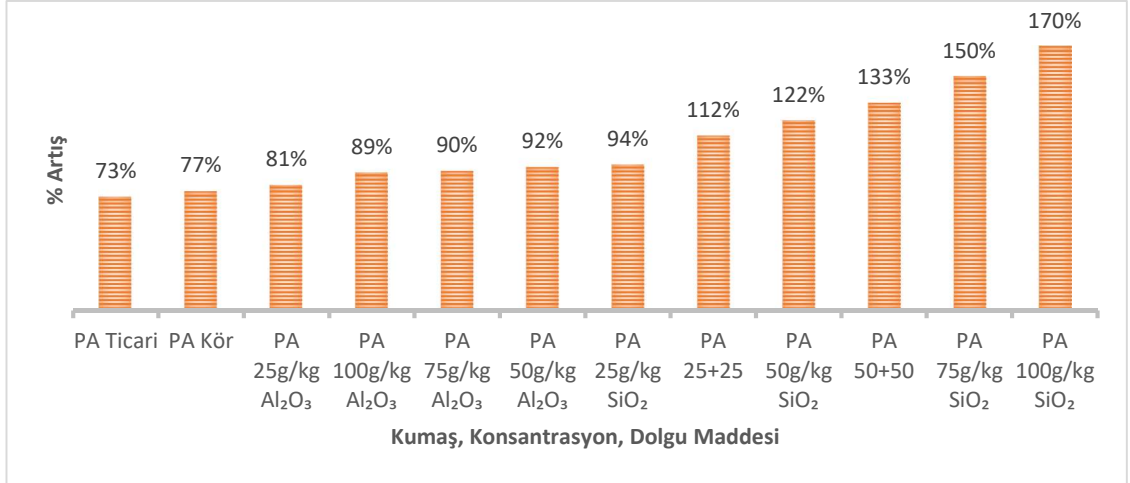
Şekil 4.10. Ham, ticari SiO_2 ve Al_2O_3 karışımli kaplamalı PA kumaşların absorbands spektrumu

Şekil 4.4 deki değerler kullanılarak en küçükten büyüğe doğru sıralamanın ham kumaş, kör kaplamalı kumaş, 25g/kg SiO_2 +25g/kg Al_2O_3 , ticari ürün ve 50g/kg SiO_2 +50g/kg Al_2O_3 olduğu görülmektedir.

4.4.6. FTIR Genel Değerlendirme



Şekil 4.11. PET kumaşta dolgu maddesinin absorbandsa oransal etkisi (PET ham kumaş baz alınarak)



Şekil 4.12. PA kumaşta dolgu maddesinin absorbansa oransal etkisi (PA ham kumaş baz alınarak)

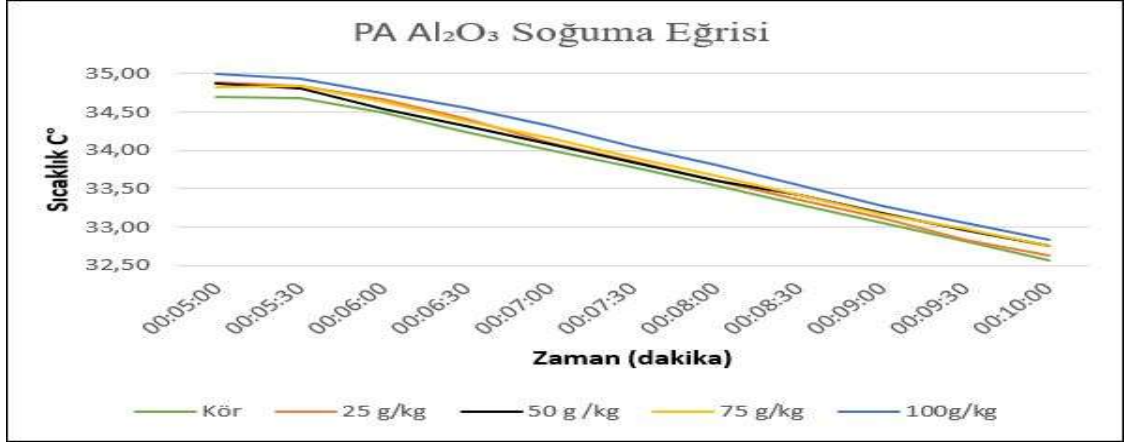
Grafikler Şekil 4.4.'de elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Yapılan kaplama işleminin PA kumaşta PET e göre daha etkili olduğu görülmektedir. Ham PA kumaşın 4-14µm dalga boyu aralığındaki absorbans değeri ham PET kumaş göre daha düşük olması nedeniyle kaplamanın etkisi baz değerinin düşüklüğünden dolayı daha büyük çıkmaktadır.

4.5. Dolgu Maddelerinin Serbest Soğuma Halinde Performans Değerlendirmesi

Kaplamalı kumaşların serbest halde ısı tutum davranışlarını değerlendirmek amacıyla oluşturulan ve detayları Materyal ve Yöntem bölümünde (3.27) verilen deney düzeneği üzerinde gerçekleştirilen test sonuçları bu bölümde yer almaktadır. Verilen grafiklerin tamamı ilk beş dakikalık ısıtma rejiminden sonra beş dakikalık soğuma dönemi boyunca her yarım dakikada bir alınan verinin grafiğidir. Süre sonunda değerler birbirine oldukça yakın dar bir aralıkta gerçekleştiğinden görsellik açısından eğri sonu büyütülerek verilmiştir.

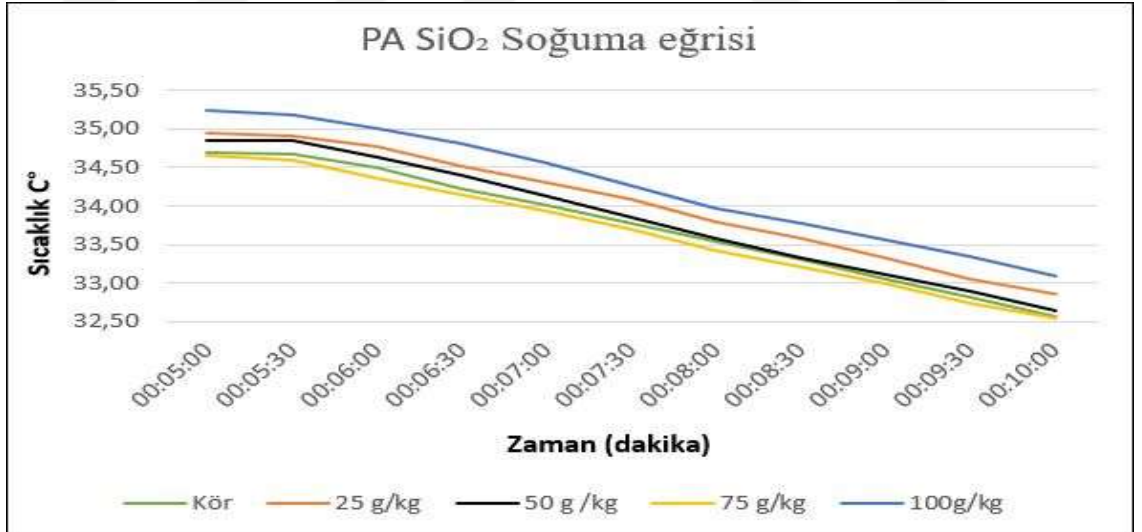
4.5.1. PA kumaşın tek dolgulu performans değerlendirilmesi

Şekil 4.12. daki eğri sonu grafiği PA kumaş üzerine yapılan kaplamanın beklendiği üzere artan Al₂O₃ madde miktarıyla birlikte ısı tutulumunun orantılı bir şekilde arttığını göstermektedir.



Şekil 4.13. PA kumaşın Al₂O₃ soğuma eğrisi

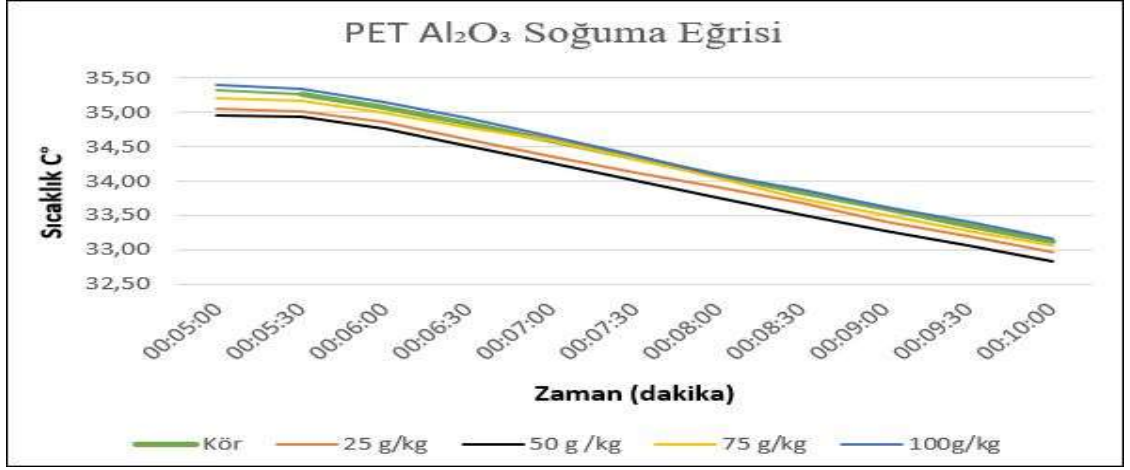
Şekil 4.13. daki eğri sonu grafiği PA kumaş üzerine yapılan kaplamanın beklendiği üzere artan SiO₂ madde miktarıyla birlikte ısı tutulumunun arttığını göstermekle birlikte bir miktar tutarsızlık içermektedir. En iyi değer 100 g/kg SiO₂ de çıkmakla birlikte kör pat ve diğer patlardaki yer değiştirmeler, PA kumaşa aktarılan SiO₂ kaplama miktarının standart sapmasının Al₂O₃ kumaşa göre yüksek olmasıyla bağlantılı olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 4.14. PA kumaşın SiO₂ soğuma eğrisi

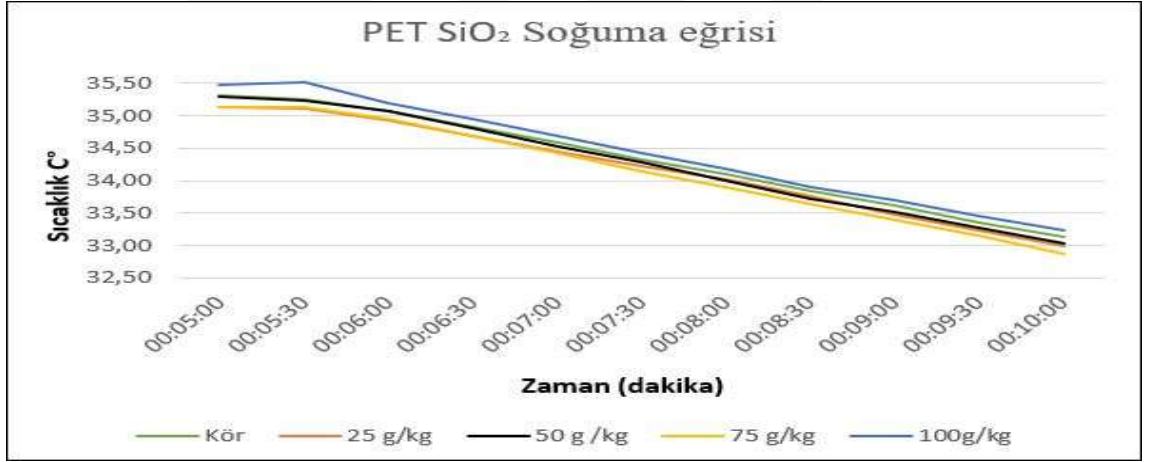
4.5.2. PET kumaşın tek dolgulu performans değerlendirmesi

Şekil 4.14. 100 g/kg Al₂O₃ katkı maddeli numunenin daha iyi ısı tutma kapasitesini göstermektedir. Ancak diğer katkı oranlarındaki tüm değerler kör pata nazaran düşüktür.



Şekil 4.15. PET kumaşın Al₂O₃ soğuma eğrisi

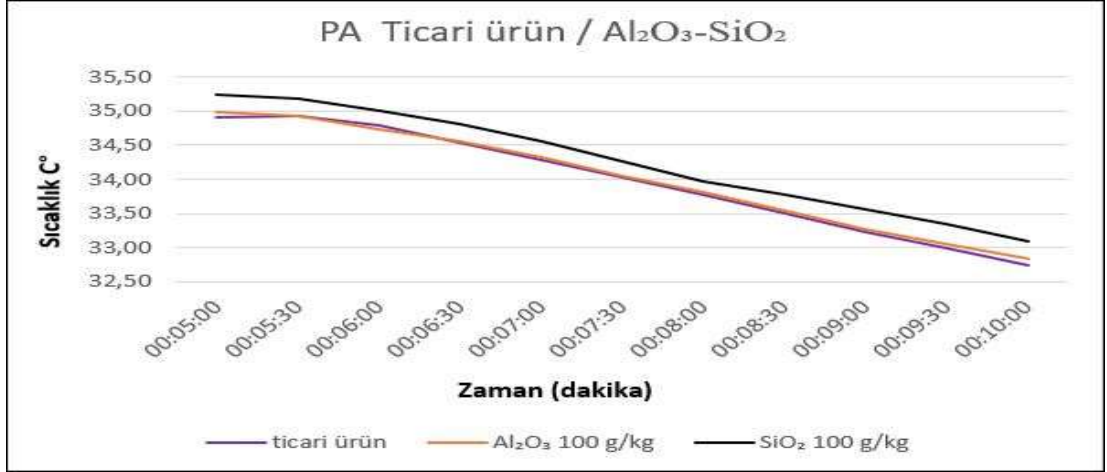
Şekil 4.15. PET kumaşta en iyi değer 100 g/kg SiO₂ katkılı kumaşta olduğunu göstermektedir. PET kumaşta en iyi değerden sonra kör patlı kumaşın gelmesi 100 g/kg altındaki katkı oranlarının ısı tutulumu açısından katkı sağlamadığını düşündürmektedir.



Şekil 4.16. PET kumaşın SiO₂ soğuma eğrisi

4.5.3. PA ticari ürünün tek cins dolguya göre değerlendirilmesi

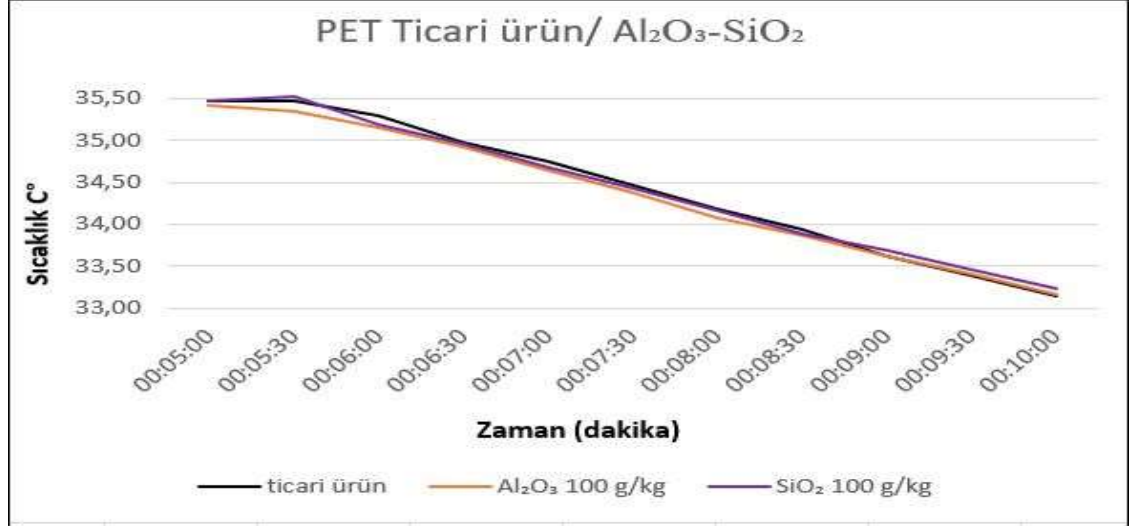
Isı tutulumu yaptığı öne süren ticari bir ürün PA kumaşta en iyi performansları gösteren 100 g/kg Al₂O₃ ve 100 g/kg SiO₂ ile kıyaslanmıştır. Ticari ürünün 100g/kg Al₂O₃ kaplamaya yakın ancak 100g/kg SiO₂ den daha düşük bir performansa sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.17. PA kumaşta 100g/kg Al₂O₃ ve SiO₂ ile ticari ürün soğuma eğrisi

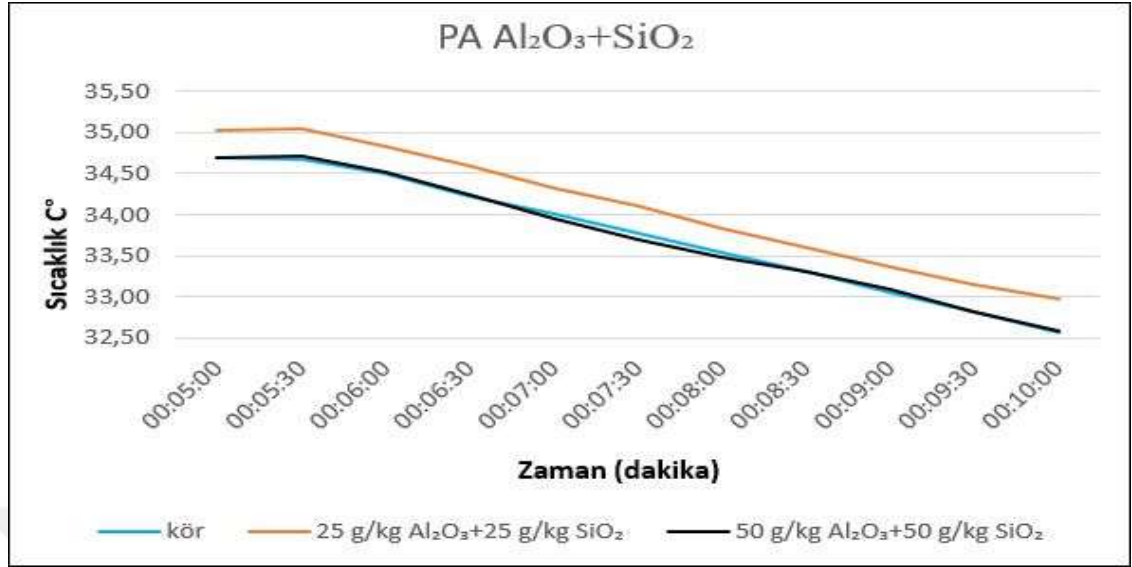
4.5.4. PET ticari ürünün tek cins dolguya karşı performans değerlendirmesi

Ticari bir ürün PET kumaşta en iyi performansları gösteren 100 g/kg Al₂O₃ ve 100 g/kg SiO₂ ile kıyaslanmıştır. Yapılan SiO₂ kaplama daha iyi performans gösterirken Al₂O₃ benzer bir performans göstermiştir.



Şekil 4.18. PET kumaşta 100g/kg Al₂O₃ ve SiO₂ ile ticari ürün soğuma eğrisi

4.5.5. PA kumaşın Al_2O_3 ve SiO_2 karışımıyla performans değerlendirilmesi

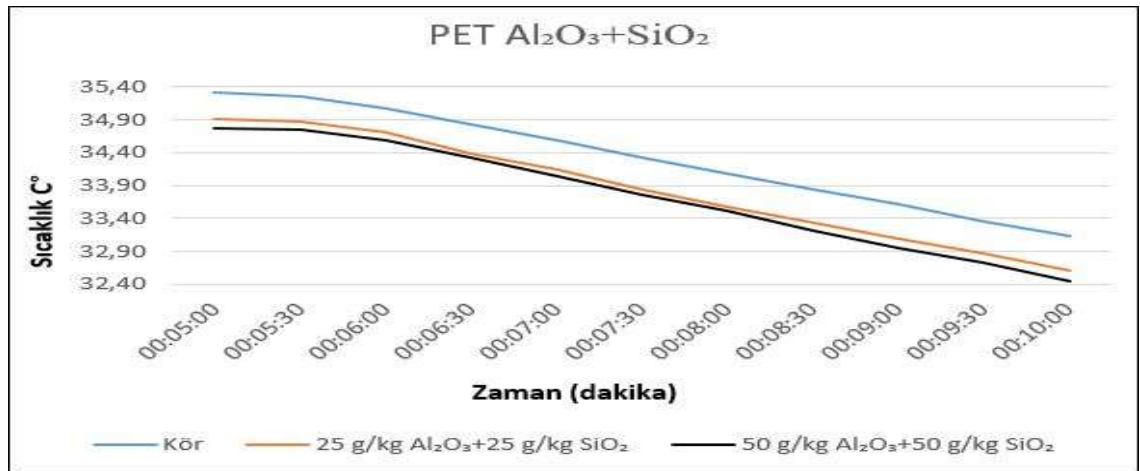


Şekil 4.19. PA kumaşın 25g/kg Al_2O_3 - SiO_2 ve 50 g/kg Al_2O_3 - SiO_2 karışımıyla soğuma eğrisi

PA (Şekil 4.18.) kumaş üzerinde beklenen değerlerin tamamen dışında değer üretmiştir. Karışımın daha iyi bir ısı tutulumu yaratması beklenirken 25 g/kg Al_2O_3 +25 g/kg SiO_2 kaplama patı 50 g/kg Al_2O_3 + 50 g/kg kaplama patından daha iyi bir sonuç vermiştir. Kör pat ve 50 g/kg Al_2O_3 + 50 g/kg performansı aynıdır.

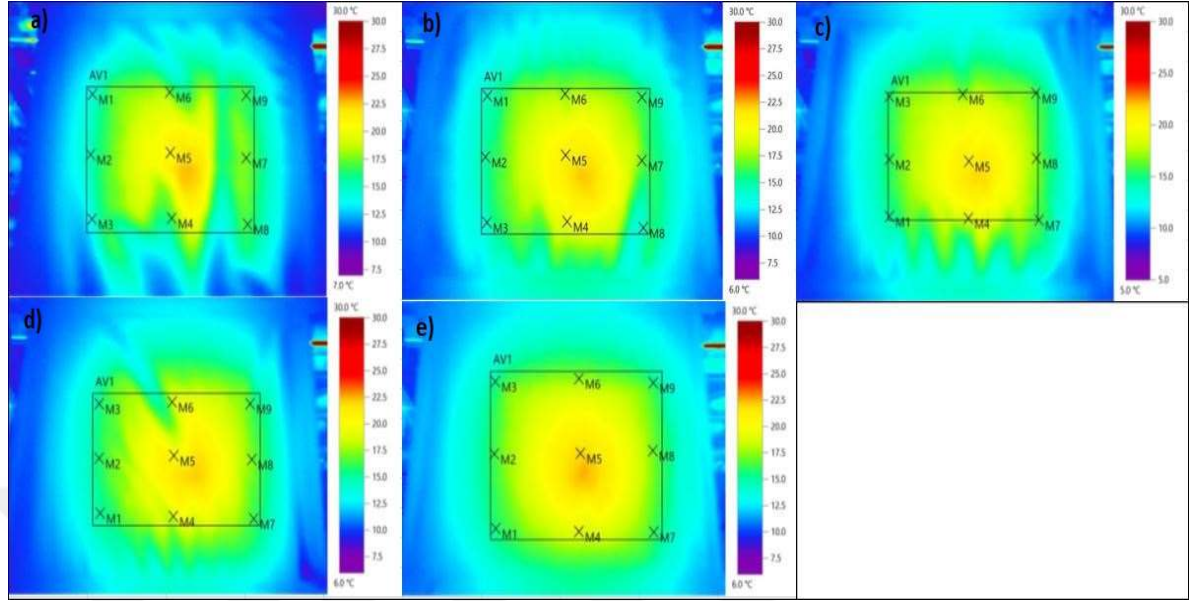
4.5.6. PET kumaşın Al_2O_3 ve SiO_2 karışımıyla performans değerlendirilmesi

PA kumaş üzerinde oluşan sonuca benzer bir şekilde kör pat her iki karışımdan daha iyi sonuç vermiştir. Daha yüksek oranlı karışım diğerine göre daha kötü sonuç vermiştir.



Şekil 4.20. PET kumaşın 25g/kg Al_2O_3 - SiO_2 ve 50 g/kg Al_2O_3 - SiO_2 karışımıyla soğuma eğrisi

4.6. Kumaşların Soğuk Ortamda Isıtma Altında Performans Değerlendirmesi



Şekil 4.21. Soğuk ortamda ısıtma altında yüzeylerin termal görüntüleri a)PET kör kaplama b) PET 25g/kg SiO₂ c) PET 50g/kg SiO₂ d) PET 75g/kg SiO₂ e) PET 100g/kg SiO₂

Çizelge 4.7. Soğutmalı ortamda işlem sonu termal kamera yüzey sıcaklıkları

	Kör kaplama	25g/kg SiO ₂	50g/kg SiO ₂	75g/kg SiO ₂	100g/kg SiO ₂
Yüzey Sıcaklığı	18,0°C	18,2°C	18,3°C	18,4°C	18,6°C

Kısıtlı sayıda ölçüm yapılmasına rağmen PET kumaş üstüne SiO₂ kaplamalar kör kaplamaya nazaran soğuk ortamda ısıyı daha iyi tutabildiğini göstermiştir. Ölçümler FTIR cihazında PET kumaş üzerine SiO₂ ile alınan absorban ölçümleriyle uyumlu gözükmemektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, literatürde insan bedeninin ışınlam yaptığı FIR bölgede etkili absorpsiyon ve emisyon yaptığı rapor edilen mikronize Al_2O_3 ve SiO_2 pigmentleri ile bu amaçla piyasada ticari ürün olarak satılan bir karışım PA ve PET kumaşlar üzerine kaplanarak absorpsiyon ve ısı tutma performansları karşılaştırılmıştır.

FIR bölgedeki FTIR analizi yapılan PET ve PA kumaş üstü tüm kaplamaların ham ve kör kaplama kumaşlara göre absorbans değerleri belirgin şekilde yükselmiştir. SiO_2 kaplamalarda konsantrasyonun absorbansa etkisi net bir şekilde görülürken Al_2O_3 kaplamalarda ölçüm alınan 4-14 μm bandında bu netlik aynı düzeyde gözükmemektedir. Al_2O_3 'ün absorbans bant aralığı 8-23 μm aralığında olup ölçüm yapılan genişliğin sonuna doğru konsantrasyonun etkisi dolgu maddesi konsantrasyon oranına bağlı olarak görülmektedir.

SiO_2 ile kaplanan kumaşların absorbansları Al_2O_3 ile kaplanan kumaşlardan daha yüksektir. Bunun nedeni SiO_2 absorbans bant aralığının insan bedeni ışıması bant aralığıyla (4-14 μm) daha büyük oranda örtüşmesidir. Bu nedenle soğuk iklim için dolgu maddesi olarak SiO_2 kullanımının Al_2O_3 'e göre daha uygun olduğu görülmektedir.

Kaplama patlarında yoğun şekilde kullanılan akrilik esaslı binderin de kumaşların absorbansına belirgin şekilde etkisi mevcuttur. Bu etki PA ham kumaşın absorbansının düşük olması nedeniyle daha belirgin hale gelmiştir.

En yüksek absorbans değerleri her iki kumaşın yalnız SiO_2 ile kaplandığı numunelerde elde edilmektedir. Arkasından her iki kumaş için Al_2O_3 ve SiO_2 karışımları ile kaplanan numuneler gelmektedir.

Absorbanstaki bu yukarı yönlü belirgin artışlar, kumaşın kaplamalı yüzey emisivitesinin ham ve kör kumaşa göre yükseldiği şeklinde yorumlanabilir.

Oda sıcaklığında yapılan ölçümlerde elde edilen çok sayıda veri olmasına rağmen yapılan varyans analizinde anlamlı bir sonuç elde edilememiştir. Bunun ölçülmeye çalışılan

değerin küçüklüğü, ölçüm cihazlarının hassasiyet oranları ve ortamın değişkenliği ile ilgili olduğu değerlendirilmiştir.

Kontrollü soğuk ortamda yapılan ölçümlerde 100 g/kg SiO₂ ile kaplanmış PET kumaş kör kumaşa göre 0,6°C daha yüksek yüzey sıcaklığına sahiptir ve kör numuneye göre artan dolgu maddesiyle orantılı şekilde sıcaklık farkları oluşmuştur. Dolayısıyla burada da, farklılaşan absorbans değeri ile uyumlu bir sonuç gözlemlenmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, insan bedeni ısıma bölgesinde absorblama yapan dolgu maddelerinin kaplama patı içerisinde kullanılarak kumaşların ısı tutma özelliklerinin geliştirilebileceğine ve bu yolla soğuktan korunmak için daha hafif ve ergonomik giysilerin üretililebileceğine işaret etmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbas, A., Zhao, Y., Ali, U., ve Lin, T. (2017). Improving heat-retaining property of cotton fabrics through surface coatings. *Journal of the Textile Institute*, 108(10), 1808–1814. <https://doi.org/10.1080/00405000.2017.1292638>
- Aksoy, A., ve Kaplan, S. (2011). *Tekstil Materyallerinde Sıvı Transfer Mekanizmaları ve Ölçüm Yöntemleri*. 2011(2), 51–67.
- Aspen Aerogels PYROGEL. (2023). <https://www.aerogel.com/about-aerogel/>
- Barnes, J. C., ve Holcombe, B. V. (1996). Moisture Sorption and Transport in Clothing During Wear. *Textile Research Journal*, 66(12), 777–786. <https://doi.org/10.1177/004051759606601206>
- Bouasria, A., Nadi, A., Boukhriss, A., Hannache, H., Cherkaoui, O., ve Gmouh, S. (2020). Advances in polymer coating for functional finishing of textiles. *Frontiers of Textile Materials: Polymers, Nanomaterials, Enzymes, and Advanced Modification Techniques*, 61–86. <https://doi.org/10.1002/9781119620396.ch3>
- BTÜ. (2023). *Işınım ders notları*. <https://depo.btu.edu.tr/dosyalar/makine/Dosyalar/7.Deney%20Isinim.pdf>
- Cai, L., Song, A. Y., Wu, P., Hsu, P. C., Peng, Y., Chen, J., Liu, C., Catrysse, P. B., Liu, Y., Yang, A., Zhou, C., Zhou, C., Fan, S., ve Cui, Y. (2017). Warming up human body by nanoporous metallized polyethylene textile. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00614-4>
- Celliant. (2023). *Celliant*. <https://celliant.com/>
- Cui, Y., Gao, S., Zhang, R., Cheng, L., ve Yu, J. (2020). Study on the moisture absorption and thermal properties of hygroscopic exothermic fibers and related interactions with water molecules. *Polymers*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/polym12010098>
- Dyer, J. (2011). Infrared functional textiles. İçinde *Functional Textiles for Improved Performance, Protection and Health*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857092878.184>
- Epstein, Y., ve Moran, D. S. (2006). Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health*, 44(3), 388–398. <https://doi.org/10.2486/indhealth.44.388>
- EVONIK. (2023). *No P84® PI fibers-EVONIK*. <https://www.p84.com/en/personal-protective-equipment>
- Faisal, A. M., Salaün, F., Giraud, S., Ferri, A., Chen, Y., & Wang, L. (2021). Far-infrared emission properties and thermogravimetric analysis of ceramic-embedded polyurethane films. *Polymers*, 13(5), 1–9. <https://doi.org/10.3390/polym13050686>

Gao, T., Yang, Z., Chen, C., Li, Y., Fu, K., Dai, J., Hitz, E. M., Xie, H., Liu, B., Song, J., Yang, B., ve Hu, L. (2017). Three-Dimensional Printed Thermal Regulation Textiles. *ACS Nano*, 11(11), 11513–11520. <https://doi.org/10.1021/acsnano.7b06295>

Giessmann, A. (2012). Coating Substrates and Textiles. İçinde *Coating Substrates and Textiles*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29160-9>

Hayase, G., Kanamori, K., Abe, K., Yano, H., Maeno, A., Kaji, H., ve Nakanishi, K. (2014). Polymethylsilsesquioxane-cellulose nanofiber biocomposite aerogels with high thermal insulation, bendability, and superhydrophobicity. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6(12), 9466–9471. <https://doi.org/10.1021/am501822y>

He, P., Low, R. J. Y., Burns, S. F., Lipik, V., ve Tok, A. I. Y. (2023). Enhanced far infrared emissivity, UV protection and near-infrared shielding of polypropylene composites via incorporation of natural mineral for functional fabric development. *Scientific Reports*, 13(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49897-2>

Holmeér, I. (2005). Textiles for protection against cold. *Textiles for Protection*, 378–397. <https://doi.org/10.1533/9781845690977.2.378>

Hsu, P.-C., Liu, C., Song, A. Y., Zhang, Z., Peng, Y., Xie, J., Liu, K., Wu, C.-L., Catrysse, P. B., Cai, L., Zhai, S., Majumdar, A., Fan, S., ve Cui, Y. (2017). *A dual-mode textile for human body radiative heating and cooling*. November, 1700895. <http://advances.sciencemag.org/>

Hsu, Y. H., Chen, Y. W., Cheng, C. Y., Lee, S. L., Chiu, T. H., ve Chen, C. H. (2019). Detecting the limits of the biological effects of far-infrared radiation on epithelial cells. *Scientific Reports*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48187-0>

Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Kotaki, M., ve Ramakrishna, S. (2003). A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 63(15), 2223–2253. [https://doi.org/10.1016/S0266-3538\(03\)00178-7](https://doi.org/10.1016/S0266-3538(03)00178-7)

Joshi, M., ve Butola, B. S. (2013). Application technologies for coating, lamination and finishing of technical textiles. İçinde *Advances in the Dyeing and Finishing of Technical Textiles*. <https://doi.org/10.1533/9780857097613.2.355>

Kadolph, S. jJ. (1998). *quality assurance for textiles and apparel*.

Kanık, M. (2021). *YL Kaplama Ders Notu*.

Kanlı, Z., Mert, M. S., ve Mert, H. H. (2021). Isıl Enerji Depolama Uygulamaları İçin Selüloz Nanofibril Temelli Parafin İçeren Kompozit Faz Değiştiren Maddelerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu. *European Journal of Science and Technology*, 22, 273–281. <https://doi.org/10.31590/ejosat.848210>

Kayataş, N. (2023). *Isı transferi*. <https://avesis.erciyes.edu.tr/resume/downloadfile/nkayatas?key=f3eb89ae-576d-4770-bdd5-764a36000bc7>

Kuru, A., ve Aksoy, S. A. (2012). Faz değiştiren maddeler ve tekstil uygulamaları. *Tekstil ve Mühendis*, 19(86), 41–48. <https://doi.org/10.7216/130075992012198606>

Li, Y. (2010). *The Science of Clothing Comfort* (C. 5167, Sayı 2001).

li, Y., ve Holcombe, B. V. (1998). Mathematical Simulation of Heat and Moisture Transfer in a Human-Clothing-Environment System. *Textile Research Journal*, 68(6), 389–397. <https://doi.org/10.1177/004051759806800601>

Lotens, W. A., Van De Linde, F. J. G., ve Havenith, G. (1995). Effects of condensation in clothing on heat transfer. *Ergonomics*, 38(6), 1114–1131. <https://doi.org/10.1080/00140139508925177>

Mark T. Mason, et al. (1967). *Study Of The Surface Emissivity Of Textile "A Fabrics And Materials In The I To I5mu Range*.

Meng, J., Jin, W., Liangs, J., Ding, Y., Gan, K., ve Yuan, Y. (2010). Effects of particle size on far infrared emission properties of tourmaline superfine powders. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10(3), 2083–2087. <https://doi.org/10.1166/jnn.2010.2072>

Nayak, L. (2016). The mineral fibre: Asbestos - Its manufacture, properties, toxic effects and substitutes. *Nature Environment and Pollution Technology*, 15(2), 477–482. *No Title*. (y.y.). <https://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/radiation-sun.php>

Nuclear, U. S. R. C. (2023). *Radiation Basics*. <https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/health-effects/radiation-basics.html>

Oglakcioglu, N., ve Marmarali, A. (2013). Giysilerde ısı konfor. *11. Ulusal Tesis Mühendisliği Kongresi*, 1957–1963.

Park, C. H., Shim, M. H., ve Shim, H. S. (2006). Far IR Emission and Thermal Properties of Ceramics Coated Fabrics by IR Thermography. *Key Engineering Materials*, 321–323, 849–852. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.321-323.849>

Peng, L., Su, B., Yu, A., ve Jiang, X. (2019). Review of clothing for thermal management with advanced materials. İçinde *Cellulose* (C. 26, Sayı 11). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02534-6>

Petrulyte, S., ve Baltakyte, R. (2008). Investigation into the wetting phenomenon of terry fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 16(4), 62–66.

Polymerdatabase. (y.y.). *No Title*. <https://polymerdatabase.com/Fibers>
Resistex. (y.y.). *Resistex*. <https://resistex.com/>

Sen, A. K. (2008). Coated Textiles. İçinde *Coated Textiles*. <https://doi.org/10.1021/ie50214a015>

Shaid, A., Wang, L., ve Padhye, R. (2016). The thermal protection and comfort properties of aerogel and PCM-coated fabric for firefighter garment. *Journal of Industrial Textiles*, 45(4), 611–625. <https://doi.org/10.1177/1528083715610296>

Steketee, J. (1973). Spectral emissivity of skin and pericardium, *Physics in Medicine and Biology*. *Phys. Med. Biol.*, 18(5), 686–694.

Thermal Resistance / Basaltex. (y.y.). <https://www.basaltex.com/thermal-resistance>

Van Langenhove, L., Puers, R., & Matthys, D. (2005). Intelligent textiles for protection. *Textiles for Protection*, 176–195. <https://doi.org/10.1533/9781845690977.1.176>

van Oss, C. J. (2008). Chapter Two The Apolar and Polar Properties of Liquid Water and Other Condensed-Phase Materials. *Interface Science and Technology*, 16(1988), 13–30. [https://doi.org/10.1016/S1573-4285\(08\)00202-0](https://doi.org/10.1016/S1573-4285(08)00202-0)

Vatansever, F., ve Hamblin, M. R. (2012). Far infrared radiation (FIR): Its biological effects and medical applications. *Photonics and Lasers in Medicine*, 1(4), 255–266. <https://doi.org/10.1515/plm-2012-0034>

Wang, F. (2017). Moisture absorption and transport through textiles. İçinde *Engineering of High-Performance Textiles*. Elsevier Ltd.

Wang, Z., Zhong, Y., ve Wang, S. (2012). A new shape factor measure for characterizing the cross-section of profiled fiber. *Textile Research Journal*, 82(5), 454–462. <https://doi.org/10.1177/0040517511426614>

Yalamaç, E., Sutcu, M., ve Basturk, S. B. (2017). Ceramic fibers. *Fiber Technology for Fiber-Reinforced Composites*, 187–207. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101871-2.00009-6>

Yeşilata, B. (2019). *Isı Transferi*.

Yu, W. L., Wang, Z., ve Jin, L. (2012). The experiment study on infrared radiation spectrum of human body. *Proceedings - IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics: Global Grand Challenge of Health Informatics, BHI 2012*, 25(BHI), 752–754. <https://doi.org/10.1109/BHI.2012.6211692>

Yuce, I., Canoglu, S., Yukseloglu, S. M., Li Voti, R., Cesarini, G., Sibilis, C., ve Larciprete, M. C. (2022). Titanium and Silicon Dioxide-Coated Fabrics for Management and Tuning of Infrared Radiation. *Sensors*, 22(10). <https://doi.org/10.3390/s22103918>

Yue, X., He, M., Zhang, T., Yang, D., ve Qiu, F. (2020). Laminated Fibrous Membrane Inspired by Polar Bear Pelt for Outdoor Personal Radiation Management. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 12(10), 12285–12293. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b20865>

Yue, X., Zhang, T., Yang, D., Qiu, F., Wei, G., ve Zhou, H. (2019). Multifunctional Janus fibrous hybrid membranes with sandwich structure for on-demand personal thermal

management. *Nano Energy*, 63(February), 103808. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.06.004>

Zhong, Y., Zhang, F., Wang, M., Gardner, C. J., Kim, G., Liu, Y., Leng, J., Jin, S., ve Chen, R. (2017). Reversible humidity sensitive clothing for personal thermoregulation. *Scientific Reports*, 7(February), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep44208>

Zhu, F. L., ve Feng, Q. Q. (2021). Recent advances in textile materials for personal radiative thermal management in indoor and outdoor environments. *International Journal of Thermal Sciences*, 165(March), 106899. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.106899>

