



Derleme Makalesi - Review Article

Bina ve İnşaat Teknik Tekstillerinde Güncel Uygulamalar

Current Applications in Building and Construction Technical Textiles

Semiha Eren^{1*}, Aliye Akarsu Özenç²

Geliş / Received: 09/02/2023

Revize / Revised: 29/05/2023

Kabul / Accepted: 30/05/2023

ÖZ

Tekstil endüstrisinin gelişme gösteren kollarından biri teknik tekstil ürünleridir. Teknik tekstiller arasında yer alan bina ve inşaat teknik tekstilleri yapı endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bina ve inşaat teknik tekstillerinin çevre dostu, hafif, yüksek performanslı ve sürdürülebilir çözümler sunması, bu malzemelerin kullanımını gün geçtikçe arttırmaktadır. Bu derleme çalışması ile bina ve inşaat teknik tekstilleri (buildtech) alt başlıklar halinde incelenmiş bu alanda son yıllarda yapılan çalışmalar irdelenmiştir. Artan çevresel ve ekolojik kaygılar ile birlikte bina ve inşaat teknik tekstilinde de sürdürülebilir ve yenilikçi uygulamalar ön plana çıkmış ve bu derleme çalışma içerisinde bu konu ele alınmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlara göre; bina ve inşaat teknik tekstillerinin sağladığı üstün özellikler sayesinde yapı ve inşaat sektöründe kullanımlarının giderek artacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler- İnşaat Teknik Tekstilleri, Yenilikçi Uygulamalar, Yapı Uygulamaları

ABSTRACT

One of the developing branches of the textile industry is technical textile products. Building and construction technical textiles, which are among the technical textiles, are widely used in the building industry. The fact that building and construction technical textiles offer environmentally friendly, lightweight, high-performance, and sustainable solutions increases the use of these materials day by day. With this review, building and construction technical textiles (buildtech) were examined under subtitles and the studies carried out in this field in recent years were examined. Along with increasing environmental and ecological concerns, sustainable and innovative applications in building and construction technical textiles have come to the fore and this subject has been discussed in this review. According to the results obtained in this context; thanks to the superior properties provided by building and construction technical textiles, it is predicted that their use in the building industry will gradually increase.

Keywords- Buildtech, Innovative Applications, Building Applications

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: semihaeren@uludag.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-2326-686X>)

Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Görükle Kampüsü, Nilüfer, Bursa, Türkiye

²İletişim: aakarsu@uludag.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0001-5603-5913>)

Tekstil Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Görükle Kampüsü, Nilüfer, Bursa, Türkiye

I. GİRİŞ

Tekstil materyallerinin bina ve inşaat sektöründe kullanımı çok eskiye dayanmaktadır. Doğal lifler ile başlayan bu süreç sentetik liflerin kullanımı ile devam etmiştir ve kullanılan ürünler zamanla gelişim göstermiştir. Tekstil liflerinin kimyasal etkilere karşı nispeten iyi stabilite, hafiflikleri, ekonomik olmaları, işlenebilirlikleri, UV radyasyonuna dirençleri, nem kararlılıkları, çevresel etkileri, depreme karşı güvenli olmaları, estetik açıdan göze hitap etmeleri gibi olumlu özellikleri sebebiyle lifleri; kompozit, beton, ahşap ve çelik yapılarda takviye elemanı olarak kullanılabilme olanağı sağlamaktadır [1]. Yapı sektöründe kullanılan tekstil materyallerine bina ve inşaat teknik tekstilleri denmektedir, bu ürünler teknik tekstillerin bir alt grubu olup, geleneksel yapı malzemelerine alternatif olarak kullanımı hakkında yapılan çalışmalarda son yıllarda artış gözlemlenmiştir. İnşaat ve yapılarda tekstil ürününün kullanımının sistem performansını ve kullanım ömrünü arttırması; tasarım ve seçim metodolojilerinde esneklik, dayanıklılık, maliyet ve çevresel açıdan sağladığı olanaklar; karbon ayak izinin azaltılması gibi bazı avantajlar mevcuttur [2].

Avrupa Yeşil Mutabakatı'na göre hammadde su ve enerji tüketiminin en fazla olduğu sektörlerden biri inşaat sektörüdür. Artan iklim krizi, araştırmacıları bu alanda çalışmalar yapmaya yeşil ve döngüsel ekonomiye katkı sağlamaya yönlendirmiştir [3]. Bu kapsamda teknik tekstillerin inşaat sektöründe kullanımı karbon ayak izinin azaltılmasında, enerji verimliliğinin artmasında ve sürdürülebilirliğin sağlanmasında katkı sağlayabilir.

Teknik tekstiller ve kullanımları ile ilgili literatürde pek çok derleme çalışması mevcuttur ancak bina ve inşaat teknik tekstillerinin güncel ve sürdürülebilir uygulamalarına ilişkin literatürde çalışmalara rastlanmamıştır. Bu derleme çalışması kapsamında 1994-2022 arasında yapılan çalışmalara odaklanılmıştır. Bina ve inşaat teknik tekstilleri alt başlık olarak mimari tekstiller, duvar kaplamaları ve yalıtım ürünleri ve tekstil takviyeli betonlar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu kapsamda II. bölümde bina ve inşaat tekstillerinin alt başlıkları anlatılmış ve bu alanda yapılan güncel çalışmalara yer verilmiştir. Çevresel ve ekolojik kaygıların arttığı günümüzde, her alanda olduğu gibi inşaat sektöründe de sürdürülebilirlik kavramı ön plandadır. Bu derleme çalışmasının III. bölümünde sürdürülebilir bina ve inşaat tekstillerine yer verilmiş ve güncel çalışmalar örneklenmiştir. Mevcut çalışmaya ek olarak bina ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan ve yine bir teknik tekstil grubu olan geotekstillerden IV. bölümde bahsedilmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların uygulanabilirliğinin araştırılması için pek çok yöntem mevcut olup V. bölümde bina ve inşaat teknik tekstillerine uygulanan bazı test metodlarından bahsedilmiştir.

II. İNŞAAT TEKNİK TEKSTİLLERİ

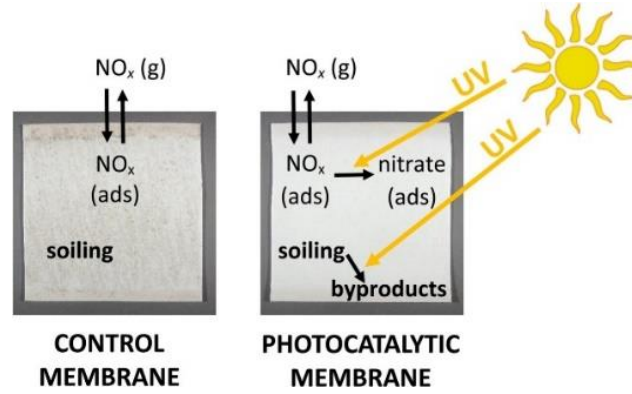
Giriş bölümünde belirtildiği gibi bina ve inşaat teknik tekstilleri kendi içinde üç alt gruba ayrılmıştır. Mimari tekstiller çeşitli sanat yapılarının örtünmesi ve korunması için tercih edilen tekstil materyalleridir. Estetik ve kolay şekillendirilebilir olması, taşıyıcı sisteme çok fazla yük etkisi olmaması sebebiyle pek çok alanda tercih edilmektedir. Yalıtım malzemeleri yapı sektöründe olarak uzun zamandır kullanılmaktadır. Yalıtım malzemeleri ses, ısı ve su yalıtımı için tercih edilmektedir. Bu kapsamda çatı, iç duvar döşeme veya tavanların yalıtımı amacıyla pek çok yalıtım malzemesi geliştirilmiştir. Tekstil takviyeli betonlar yapıların güçlendirilmesi ve servis ömürlerini uzatmak amacıyla tercih edilmektedir. Bu bölümde bina ve inşaat teknik tekstilleri alt grupları incelenmiş ve bu alanda yapılan çalışmalar örneklendirilmiştir.

A. Mimari Tekstiller

Mimari asma germe membran sistemleri hem taşıyıcı hem de dış etkenlere karşı dirençli sistemlerdir aynı zamanda estetik açıdan da göze hitap ederler. Günümüzde yüzme havuzları, spor salonları, depolar, askeri araçlar ve teçhizat kapsamı ve üretim veya montaj hatları gibi çeşitli çatı uygulamaları için membran çatı kullanılmaktadır. Bunlar, geçici veya uzun vadeli inşaat yapılarının ihtiyaçlarını karşılamak için gayet iyi seçeneklerdir [4]. Mimari membran kullanımıyla alakalı literatürde birçok çalışma mevcuttur. Hu ve diğ. etilen tetrafloroetilen (ETFE) yastık çatıya entegre fotovoltaik/termal sistemin çalışma performansını incelemişler ve deneysel sonuçlarda sistemin sorunsuz ve düzgün bir şekilde çalıştığını bildirmişlerdir [5]. Bu sistemlerin çalışmasında seçilecek malzeme ve seçilen sistemin önemi çok büyüktür. Paech 2016'da yaptığı çalışmada malzeme seçiminin öneminden ve yaygın kullanılan malzeme örneklerinden bahsetmiştir [6]. Sao ve diğ. polivinilklorür (PVC) ile kaplanmış polyester elyaf ile üretilmiş ve politetrafloroetilen (PTFE) ile kaplanmış cam elyaf ile üretilmiş iki mimari membranın dayanım özelliklerini araştırmışlardır [7]. Polyester/PVC membranların mekanik performansı değişmezken, cam elyafı/PTFE membranın çekme mukavemeti özelliklerinde bir azalma gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Dayanım özellikleri ile ilgili bir başka çalışma örneği Shi ve diğ. tarafından yayınlanan çalışma da araştırılmıştır [8]. Poliviniliden florür (PVDF) kaplı polyester membran malzemesinin çift eksenli özellikleri, gerilim-gerinim ve kırılma kriterleri açısından araştırmışlardır. Tang ve diğ. sundukları çalışmalarında fotokatalitik özelliğe sahip ve sahip olmayan iki mimari membranı üç aylık periyotta değerlendirmişlerdir [9]. Deneysel çalışmanın sonucu olarak fotokatalitik malzemenin kendi kendini temizleme özelliği gösterdiğini bildirmişlerdir (Şekil 1). Yaygın olarak kullanılan tekstil materyalleri ve bazı özellikleri aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Mimari membran olarak kullanılan yaygın tekstil materyalleri ve bazı özellikleri [10]

Materyal	Çekme Mukavemeti	Yangın Sınıflandırması	Kimyasal / Biyolojik Direnç	Işık Geçirgenliği	Şeffaflık
PVC/Polyester-kumaş (Tip V)	Yüksek	B2 veya B3	Orta	%10'a kadar	Hayır
Silikon/Cam-kumaş (Tip G VII)	Yüksek	B1	Orta	%25'e kadar	Hayır
PTFE/Cam-kumaş (Tip G VII)	Yüksek	A2 veya B1	Yüksek	%14'e kadar	Hayır
ETFE/PTFE	Orta	B1	Yüksek	%40-85'e kadar	Hayır
ETFE-folyo (250 µm)	Düşük	B1	Yüksek	%90'a kadar	Evet



Şekil 1. Fotokatalitik Membran Çalışma Prensibi [9]

B. Yalıtım Malzemeleri

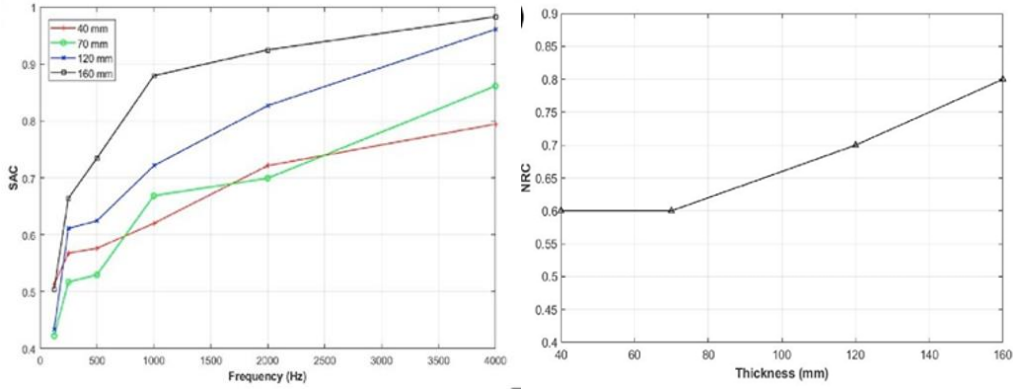
Duvar kaplamaları, hava sızma direnci, su girişine karşı bir bariyer ve buhar geçirgenliği sağlayan yüksek mühendislik ürünü tekstil malzemeleridir [11]. Gözenekli yapıya sahip tekstil fiberleri ses enerjisini emebilir ve ses emici malzeme olarak kullanılabilir [12]. Ses emilimini etkileyebilecek bazı önemli parametreler liflerin çapı, uzunluğu ve düzenliliğidir. Yüksek yoğunluğa sahip tekstil lifleri, orta ile yüksek frekans aralıklarında ses emme değerini artırabilmektedir [13,14]. Bina ve inşaat tekstillerinin, akustik tekstil malzemesi olarak iç mekân tasarımlarında kullanımı mevcuttur. Örneğin müzik salonu gibi mekanlarda kullanılan tekstil yüzeylerden oluşturulmuş paneller reverberasyon süresini azaltacağından yankılanmayı önleyecektir [15]. Yaygın olarak kullanılan yapı yalıtım malzemeleri, cam elyafı, mineral yün ve plastik gibi sentetik malzemelerden üretilmektedir [16].

Isı yalıtımı için tekstil ürünleri tercih edilmektedir. Nonwoven (dokusuz) tekniklerle üretilen lifli yalıtım malzemeleri, konvektif ısı transferini engellemek için ideal olan sıkışmış hava katmanları ile yeterli küçük boşluklara sahiptir [17]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda tekstil atıkları kullanarak üretilen yalıtım panelleri hakkında literatürde birçok çalışma mevcuttur. Briga ve diğ. atık dokuma kumaş üzerine, Hadded ve diğ. geri dönüştürülmüş tekstil atıklarının, ısı özelliklerinin incelenmesi kapsamında çalışma yapmışlardır [18,19]. İki çalışma da tekstil atık malzemelerinin ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirliğinin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Dissanayke ve diğ. sentetik bir lif olan naylon Spandex ve poliüretanın ısı yalıtımlarını incelemek üzere bir deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir [20]. Elde edilen verilerde en iyi yalıtımı sağlayan kombinasyonun %60 naylon/Spandex kumaş parçaları ile %40 poliüretan parçaları karıştırılmasıyla gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Olumlu ekolojik ve sağlık özelliklerinden dolayı yün ve akrilik atıkları sık çalışılan tekstil materyallerinden bazılarıdır. Literatürde atık tekstil ürünlerinin yalıtım malzemesi olarak kullanımının incelendiği çalışmalar mevcuttur. Sonuçlar, malzemenin geleneksel yalıtım malzemeleri ile kıyaslanabilir olduğu yönündedir [21,22]. Gounni ve diğ. tarafından yürütülen çalışmada yün ve akrilik atıklarından üretilen yalıtım malzemelerinin gerçek iklim koşullarında durumları gözlenerek yaşam döngüsü maliyet analizi yapılmıştır [23]. Deneysel çalışmanın sonucunda elde edilen bulgular, geliştirilen ısı yalıtım malzemesinin başlangıç maliyetini fazla olmaması durumunda rekabetçi bir çözüm olabileceğini bildirmişlerdir.

Tablo 2. Isı yalıtımında yaygın olarak kullanılan tekstil materyallerinin ısı özellikleri [20]

Materiyal	Yoğunluk (kg/ m ³)	Isıl İletkenlik (W/mK)
Yün	23	0.038
Kenevir	25-38	0.039-0.040
Cam yünü	20	0.035
Genişletilmiş polistiren (EPS)	15-30	0.034-0.038
Ekstrüde polistiren (XPS)	20-40	0.033-0.035

Son yıllarda ses yalıtımı konusunda atık tekstil materyalleri hakkında çalışmalara çokça yer verilmiştir. Trajkovic ve diğ. polyester atıklarını kullanarak, Rubino ve diğ. yün atıklarını kullanarak ürettikleri yalıtım panellerinin ses yutma özelliklerinin piyasada mevcut bulunan geleneksel yalıtım ürünleri ile rekabet edebileceklerini bildirmişlerdir [24,25]. Dissanyake ve diğ. yaptıkları çalışmalarında pamuk, polyester atıklarını doğal kauçuk matrisi ile sıkıştırarak kalıplamışlardır. Elde edilen kompozitin ses yalıtım özelliklerinin ticari ürünlerle rekabet edebileceğini ayrıca panel kalınlığı ile ses yalıtım özelliğinin doğru orantılı olduğunu belirtmişlerdir [26].



Şekil 2. Dissanyake ve diğ. tarafından yapılan çalışmaya ait görsel [25].

C. Tekstil Takviyeli Betonlar

Mevcut beton binaların güçlendirilmesi, binaların servis ömrünün uzatılması için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri de FRP (Fiber Reinforced Polymers) sistemleridir. Bu yöntemde FRP malzemeleri beton yapılar da çubuk, kuru elyaf ya da levha şeklinde kullanılır [27]. Taşıyıcı elemanların eğilme mukavemetini arttırmak ve ek gerilme takviyesi sağlamak için FRP kumaşlar yapısal elemanların gerilme olan yüzeyine sarılır. Betonda kullanılan çeliğin zamanla korozyona uğrayıp aşınması sebebiyle son yıllarda tekstil takviyeli betonlar geliştirilmiştir. FRP'de takviye olarak çeşitli lifler kullanılabilir çelik lifi, cam lifi, bazalt lifi, polivinil alkol (PVA) lifi, polipropilen (PP) lifi ve doğal lifler bunlara örnektir [28]. Lif takviyesi, çatlaklar arasında köprü oluşturarak betonun davranışını iyileştirir. Lif takviyeli betonun özellikleri, eklenen elyafın türü, miktarı ve boyutlarının yanı sıra çimento esaslı matrisin ve elyaf-matris arayüzünün özelliklerine bağlıdır [29]. Tablo 3'te takviye elemanı olarak kullanılan bazı liflerin mekanik özellikleri verilmiştir [28,30].

Tablo 3. Bazı Lif Çeşitleri ve Mekanik Özellikleri [28,30]

Elyaf Çeşidi	Özgül Ağırlık	Young Modülü (GPa)	Kopma Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
Karbon Elyaf	1.8	159-965	1550-6960	2.5-3.2
Çelik Elyaf	7.8	200	200-2760	0.5-35
Cam Elyaf	2.6	70-80	3400	2-3.5
Bazalt Elyaf	2.8	89	4100-4800	2.56
Polipropilen Elyaf	0.9	3.45	552-690	25

Kullanılan her bir takviye elemanının kendi karakteristik özelliği vardır ve bu özellikler göz önüne alınarak uygun tasarım yapılabilir. Örneğin karbon ve cam filament iplikler kullanılarak korozyona dayanıklı, daha uzun ömürlü, mukavemeti yüksek yapı malzemeleri elde edilmektedir. Bazalt lifi, karbon lifinden daha fazla

kırılma şekil değiştirmesine sahip olması ile beraber kimyasal etkiye, darbe yüküne ve yangına karşı iyi direnç gösterdiği bilinmektedir [30]. Cam lifi ve bazalt lifi, alkali bir ortamda bozunma gösterir, bu durum uzun vadeli mukavemetlerinin kısa vadeli mukavemetlerine oranla düşük olacağı anlamına gelir [31]. Lif takviyesinin beton karışımının içerisine eklenerek yapılan çalışmalar mevcuttur. Lif ilavesi ile betonun dayanımını arttırmak amaçlanmaktadır. Mohod ve diğ. çeşitli oranlarda polipropilen liflerini betona ekleyerek farklı kür koşulları altında betonun basınç, eğilme dayanımlarını incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlarda basınç, eğilme dayanımlarında kayda değer bir artış gözlemlemişler ve bu konuda daha çok araştırma yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir [32]. Qin ve diğ tarafından polipropilen lifi ile yapılan bir çalışmada lif takviyeli ve kumaş takviyeli betonun basınç davranışları ve enerji emme özellikleri incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda atık lif ilavesinin betonun sıkıştırma performansını iyileştirebileceğini belirtilmiştir [33].

Lif takviyeli betonların yanı sıra kumaş formunda karışımların yapıldığı çalışmalar da mevcuttur. Chen ve diğ. bazalt elyaf tekstil ve mühendislik çimentolu kompozitler ile birleştirilmiş kompozit takviye tabakası ile güçlendirilmiş beton kolonların basınç davranışı üzerine çalışmışlar ve beton özelliklerini kıyaslamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre lif takviyesinin, çimentolu karışımın dayanım ve sünekliğini arttırdığı beyan edilmiştir [34].

III. SÜRDÜRÜLEBİLİR İNŞAAT TEKNİK TEKSTİLLERİ

Yapıların inşası sırasında sürdürülebilir veya geri dönüştürülebilir malzeme kullanmak CO₂ emisyonunu azaltmak için kullanılan önemli tekniklerden biridir [35]. Son yıllarda yapılan çalışmalarda pirinç kabuğu külü dikkat çeken bir malzeme olarak çimento ve beton sektöründe kullanılmaya başlanmıştır [36,37]. Puzolanik bir malzeme olan pirinç kabuğu külünün çimento ve betonda kullanımı ile betonun geçirimsizliğinin azaltılması, kimyasal etkilere karşı direnç, alkali-silika reaksiyonuna karşı direnç, işlenebilirlik özelliklerinde iyileşme ve dolayısı ile betonun dayanım ve dayanıklılığında iyileşme gibi avantajlar sağlanmaktadır [38,39]. Dayanıklılığı nedeniyle hindistan cevizi kabuğu, yalıtım levhaları ve çatı kaplama levhaları olarak üretilebilir [40]. Hindistan cevizi lifi kullanılan paneller ve üretilen rulolar piyasada mevcuttur [41]. Sürdürülebilirlik esas alınarak yapılan bir başka çalışma da Muthuraj ve diğ., 2019 yılında yayınladıkları biyolojik olarak parçalanabilen poli(bütülen adipat-kotereftalat)/poli(laktik asit) (PBAT) matrisli pirinç kabuğu, buğday kabuğu, ağaç lifleri ve tekstil atık lifleri takviyeli kompozit çalışmasıdır [42]. Üretilen biyobozunur kompozitlerin, iç mekân bina yalıtım uygulamaları için uygun olup olmadığını araştırmışlardır. Sonuçlara göre kompozitlerin yalıtım gereksinimlerinin çoğunu karşılar şekilde olduğunu belirtmişlerdir. Antolinc ve Filipic tarafından yapılan bir çalışmada nonwoven (dokusuz) polyster atıkları presle sıkıştırılarak yalıtım levhası haline getirilmiş ve termal özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda yalıtım panelinin yapılarında yeterli ısı yalıtımı sağlayan sürdürülebilir bir çözüm olduğu belirtilmiştir [43]. Jaskula ve diğ., tarafından yapılan bir çalışmada asfalt betonuna polimerik lifler dahil edilip, karışımın düşük ve yüksek sıcaklıklardaki davranışları incelenmiş ve lif takviyesinin düşük sıcaklıkta meydana gelen çatlama eğilme dayanımını ve kırılma enerjisini artırdığı ifade edilmiştir [44]. Yapılan bir başka deneysel çalışmada kenevir lifi takviyeli beton karışımının mekanik özellikleri incelenmiş ve kenevir lifi ilavesinin sünekliği arttırdığı, kullanılan agrega miktarının azaldığı bildirilmiştir [45].

IV. GEOTEKSTİLLER

Geotekstil kelimesi jeo ve tekstil olarak iki terime ayrılmaktadır, Geo yunanca da toprak anlamına gelmektedir bu nedenle geotekstil geçirgen toprak şeklinde tanımlanmaktadır [46]. Geotekstil malzeme seçimi yapılırken göz önünde bulundurulması gereken önemli başlıklar; projenin fiili durumuna uygunluğu sahadaki performansı ve üretim maliyetleridir. Geotekstiller üretim yöntemine göre üç sınıfa ayrılmaktadır, bunlar dokunmuş (woven) dokusuz (nonwoven) ve örme ürünlerdir. Zaman ve diğ tarafından yapılan bir çalışmada fitilli, fitilsiz dokuma geotekstil ve nonwoven geotekstiller karşılaştırılmış elde edilen sonuçlarda fitil dokuma geotekstilin diğer geotekstillere göre suyu daha hızlı emdiğini belirtmişlerdir [47]. Geotekstillerin ayırma, drenaj, filtrasyon ve güçlendirme olmak üzere dört temel işlevi vardır [48]. Günümüzde en çok kullanılan geotekstiller sentetik elyaflardan yapılmaktadır. Bunlardan başlıcaları polipropilen (PP), polietilentetraflor (PET), poliamid (PA) ve polietilendir (PE) [49]. Doğal lifler bu alanda en çok erozyon kontrolünde kullanılmaktadır. Su emme kapasitesinin fazla olması ve biyobozunur olma özellikleri bu lifleri ön plana çıkarmaktadır [50]. Methacanon ve diğ., tarafından yapılan bir çalışmada su sümbülü, kamyş, sisal ve roselle geotekstil hammadresi olarak kullanılması değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlarda sisal ve roselle lifinin toprak güçlendirme amacıyla dokuma geotekstiller için uygun olduğu; kamyş ve su sümbülünün toprak erozyonu için kullanımının uygun olduğu ifade edilmiştir [51]. Geotekstil örtüler pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Geotekstil borular gelişmekte olan teknolojilerden biridir; yapılan bir çalışmada geotekstil borulu ve borusuz atık barajlarının stabiliteyi arttırdığı incelenmiş ve geotekstil borulu barajın stabilitesinin daha iyi olduğu beyan edilmiştir [52].

V. BİNA VE İNŞAAT YAPILARINDA KULLANILAN TEKSTİL LİFLERİNE UYGULANAN BAZI TEST METOTLARI

Bina ve inşaat yapılarında kullanılan tekstil ürünlerine ilişkin bazı bilgiler yukarıda verilmiştir. Bu uygulamaların işlevselliğini karar verebilmek amacıyla yapılan bazı test metotları mevcuttur. Test sonuçlarına bakılarak gerçekleştirilecek uygulama hakkında karar verilebilir.

İnşaat teknik tekstilleri yukarıda anlatıldığı gibi mimari amaçlı, yalıtım amaçlı ya da beton takviyesi olarak kullanılabilir. Örneğin yalıtım amaçlı kullanılan tekstil ürünlerine uygulanan testlere bakıldığında araştırmacıların akustik performans ve termal yalıtım konuları üzerinde durduğu görülmüştür. Akustik özelliklerin belirlenmesinde birçok test yöntemi mevcuttur. Bunlardan başlıcaları; ISO 10,534-2 ve ASTM C423-17 dir. Ses absorpsiyon özellikleri; gürültü azaltma katsayısı (NRC) ve ses absorpsiyon ortalaması (SAA) dahil olmak üzere tek bir derecelendirme sistemi kullanılarak da ölçülebilir [53,54,55]. Bir malzemenin ısı yalıtım özelliği ise genellikle ısı iletkenlik (λ) veya ısı geçirgenlik (U-Değeri) ile ölçülür. Isıl iletkenlik, sıcaklık gradyanının bir sonucu olarak birim kesit alanının yüzeyine dik bir yönde bir malzemenin birim uzunluğundaki ısı transfer hızı olarak tanımlanabilir. Isıl iletkenlik, uluslararası ASTM C518 standardı uygulanarak ölçülebilir ve ısı geçirgenlik, ISO 6946 uygulanarak tahmin edilebilir [56,57].

Tekstil takviyeli betonların üstün mekanik performansı, betonarme veya diğer geleneksel malzemelerden yapılmış yapı elemanlarının güçlendirilmesi ve onarımında kullanılmaktadır. Tekstil takviyeli betonlara bakıldığında uygulanan test metotları ile malzemenin elastik modülü, tokluğu, geçirgenliği gibi temel özellikleri hakkında bilgi sahibi olunabilir. Uygulanan test metotlarının başında basınç deneyi gelir. Beton basınç deneyi TS EN 12390-3 standardından yararlanılarak ölçülür. Bu standart baz alınarak betonun basınç dayanımının ve gerilme deformasyon ilişkisinin belirlenebilir [58]. Bir başka önemli test olan eğilme dayanımı ise TS EN 12390-5 standardına göre belirlenebilir [59]. Üç noktalı eğilme deneyi eğilme deneylerinde kullanılan en yaygın testlerden biridir. Deneyin temel prensibi, deneyde kullanılacak malzemeyi "basit kiriş" modeli kabulüne dayanır. Su geçirgenliği çoklu çatlakların olduğu beton yüzeylerde uygulanan testlerden biridir. Yapılan bir araştırmada çoklu katmanlara sahip tekstil ile güçlendirilmiş betona geçirgenlik testi yapılmış ve tekstil yüzeylerinin su geçirgenlik üzerinde etkisi olduğu belirtilmiştir [60]. Elyaf takviyeli betonların yangına karşı dayanımları son yıllarda incelenen önemli konu başlıklarındandır. Farklı elyaf türleri, elyaf miktarları ve çimentolu matris tasarımları dayanımı etkileyen önemli faktörlerdendir [28]. ISO-834 standartları izlenerek yangın dayanımları hakkında fikir sahibi olunabileceği bildirilmiştir [61].

VI. SONUÇLAR

Yapılan bir araştırma da teknik tekstillere olan talebin 2027 sonunda 57 milyon tonluk bir büyüme göstereceği; ön görülen dönem içinde gerçekleşecek olan büyümelerde öne çıkanlar arasında bina ve inşaat teknik tekstillerinin olduğu vurgulanmıştır [62]. Yapılan çalışmalar; teknik tekstil ürünlerinin üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri sektörde pazar paylarının artabileceğini; ürünlerin bina ve inşaat yapılarında kullanılması sektöre yenilikçi çözüm imkanları kazandırabileceğini göstermektedir. Bina ve inşaat teknik tekstillerindeki mevcut malzeme çeşitliliği giderek artmasıyla birlikte yenilikçi, çevreci ve sürdürülebilir yaklaşımlar sağlayarak sorunların çözülmesinde aktif rol oynamaktadır. Teknik tekstil ürünlerinin çeşitliliği ve artan kullanımı ile servis ömrü uzun, dayanıklı ve doğaya saygılı uygulamalar yapılmaya devam edilecektir. Bu derleme makale ile bina ve inşaat teknik tekstilleri sınıflandırılmış, alt sınıflar hakkında genel bilgiler verilerek bu alanlara ait güncel çalışmalara yer verilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Baier, B. (2010). Technical characteristics and requirements of textiles used for building and construction, *Textiles, Polymers and Composites for Buildings* University of Duisburg-Essen, Germany, Woodhead Publishing Limited, 49-67.
- [2] Tabor, J. & Tushar, G. (2019). *Building and Construction Textiles*. High Perform. Tech. Text.
- [3] Ecer, K., Güner, O., & Çetin, M. (2021). Avrupa yeşil mutabakatı ve Türkiye ekonomisinin uyum politikaları. *İşletme ve iktisat çalışmaları dergisi*, 9(2), 125-144.
- [4] Krishna, P. (2020). An Engineer—Academic Looks Back. *In The Mind of an Engineer: Volume 2* 239-245 Springer, Singapore.
- [5] Hu, J., Chen, W., Yang, D., Zhao, B., Song, H. & Ge, B. (2019). Energy performance of ETFE cushion roof integrated photovoltaic/thermal system on hot and cold days. *Applied energy*, 173, 40-51.
- [6] Paech, C. (2016). Structural membranes used in modern building facades. *Procedia Engineering*, 155, 61-70.
- [7] São João, L., Carvalho, R. & Figueiro, R. (2016). A study on the durability properties of textile membranes for architectural purposes. *Procedia Engineering*, 155, 230-237.

- [8] Shi, T., Hu, J., Chen, W. & Gao, C. (2020). Biaxial tensile behavior and strength of architectural fabric membranes. *Polymer Testing*, 82, 106230.
- [9] Tang, X., Rosseler, O., Chen, S., de l'Aulnoit, S. H., Lussier, M. J., Zhang, J. & Destailats, H. (2021). Self-cleaning and de-pollution efficacies of photocatalytic architectural membranes. *Applied Catalysis B: Environmental*, 281, 119260.
- [10] Hu, J., Chen, W., Qu, Y. & Yang, D. (2020). Safety and serviceability of membrane buildings: A critical review on architectural, material and structural performance. *Engineering Structures*, 210, 110292.
- [11] Sheth, P. J., U.S. (1990). Patent No. 4,929,303 Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [12] Patnaik, A. (2016). Materials used for acoustic textiles. In *Acoustic Textiles*. 73-92. Springer, Singapore.
- [13] Koizumi, T., Tsujiuchi, N., Adachi, A. (2002). The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers. *WIT Transactions on the Built Environment*, 59, 157-166.
- [14] Islam, S. & Bhat, G. (2019). Environmentally-friendly thermal and acoustic insulation materials from recycled textiles. *Journal of environmental management*, 251, 109536.
- [15] Gürani Y. & Doba Kadem F. (2018). Tekstil yüzeylerinin iç mekân tasarımında akustik olarak kullanımı. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi* 5(6), 48-55.
- [16] Patnaik, A., Mvubu, M., Muniyasamy, S., Botha, A. & Anandjiwala, R. D. (2015). Thermal and sound insulation materials from waste wool and recycled polyester fibers and their biodegradation studies. *Energy and Buildings*, 92, 161-169.
- [17] Woo, S. S., Shalev, I. & Barker, R. L. (1994). Heat and moisture transfer through nonwoven fabrics: Part I: Heat transfer. *Textile Research Journal*, 64(3), 149-162.
- [18] Briga-Sa, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H. & Paiva, A. (2013). Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. *Construction and Building Materials*, 38, 155-160.
- [19] Hadded, A., Benltoufa, S., Fayala, F. & Jemni, A. (2016). Thermo physical characterisation of recycled textile materials used for building insulating. *Journal of building engineering*, 5, 34-40.
- [20] Dissanayake, D. G. K., Weerasinghe, D. U., Wijesinghe, K. A. P. & Kalpage, K. M. D. M. P. (2018). Developing a compression moulded thermal insulation panel using postindustrial textile waste. *Waste Management*, 79, 356-361.
- [21] El Wazna, M., El Fatihi, M., El Bouari, A. & Cherkaoui, O. (2017). Thermo physical characterization of sustainable insulation materials made from textile waste. *Journal of Building Engineering*, 12, 196-201.
- [22] Wazna, M. E., Gounni, A., Bouari, A. E., Alami, M. E. & Cherkaoui, O. (2019). Development, characterization and thermal performance of insulating nonwoven fabrics made from textile waste. *Journal of Industrial Textiles*, 48(7), 1167-1183.
- [23] Gounni, A., Mabrouk, M. T., El Wazna, M., Kheiri, A., El Alami, M., El Bouari, A., Cherkaoui, O. (2019). Thermal and economic evaluation of new insulation materials for building envelope based on textile waste. *Applied Thermal Engineering*, 149, 475-483.
- [24] Trajković, D., Jordeva, S., Tomovska, E. & Zafirova, K. (2017). Polyester apparel cutting waste as insulation material. *The Journal of The Textile Institute*, 108(7), 1238-1245.
- [25] Rubino, C., Bonet Aracil, M., Gisbert-Payá, J., Liuzzi, S., Stefanizzi, P., Zamorano Cantó, M., & Martellotta, F. (2019). Composite eco-friendly sound absorbing materials made of recycled textile waste and biopolymers. *Materials*, 12(23), 4020.
- [26] Dissanayake, D. G. K., Weerasinghe, D. U., Thebuwanage, L. M. & Bandara, U. A. A. N. (2021). An environmentally friendly sound insulation material from post-industrial textile waste and natural rubber. *Journal of Building Engineering*, 33, 101606.
- [27] Siddika, A., Al Mamun, M. A., Ferdous, W. & Alyousef, R. (2020). Performances, challenges and opportunities in strengthening reinforced concrete structures by using FRPs—A state-of-the-art review. *Engineering Failure Analysis*, 111, 104480.
- [28] Wu, H., Lin, X. & Zhou, A. (2020). A review of mechanical properties of fibre reinforced concrete at elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*, 135, 106117.
- [29] Mehta, P. K. & Monteiro, P. J. (2014). *Concrete: microstructure, properties and materials*. McGraw-Hill Education.
- [30] Kızılkant, A. B., Kabay, N., Akyüncü, V., Chowdhury, S., Akça, A. H. (2015). Mechanical properties and fracture behavior of basalt and glass fiber reinforced concrete: An experimental study. *Construction and Building Materials*, 100, 218-224.
- [31] Sim, J. & Park, C. (2005). Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. *Composites Part B: Engineering*, 36(6-7), 504-512.
- [32] Mohod, M. V. (2015). Performance of polypropylene fibre reinforced concrete. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 12(1), 28-36.

- [33] Qin, Y., Zhang, X., Chai, J., Xu, Z. & Li, S. (2019). Experimental study of compressive behavior of polypropylene-fiber-reinforced and polypropylene-fiber-fabric-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 194, 216-225.
- [34] Chen, X., Zhuge, Y., Al-Gemeel, A. N. & Xiong, Z. (2021). Compressive behaviour of concrete column confined with basalt textile reinforced ECC. *Engineering Structures*, 243, 112651.
- [35] Meggers, F., Leibundgut, H., Kennedy, S., Qin, M., Schlaich, M., Sobek, W. & Shukuya, M. (2012). Reduce CO₂ from buildings with technology to zero emissions. *Sustainable Cities and Society*, 2(1), 29-36.
- [36] Zhu, H., Liang, G., Zhang, Z., Wu, Q. & Du, J. (2019). Partial replacement of metakaolin with thermally treated rice husk ash in metakaolin-based geopolymer. *Construction and Building Materials*, 221, 527-538.
- [37] Darsanasiri, A. G. N. D., Matalakah, F., Ramli, S., Al-Jalode, K., Balachandra, A. & Soroushian, P. (2018). Ternary alkali aluminosilicate cement based on rice husk ash, slag and coal fly ash. *Journal of Building Engineering*, 19, 36-41.
- [38] Yıldız, S., Balaydın, İ. & Ulucan, Z. Ç. (2007). Pirinç kabuğu külünün beton dayanımına etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 85-91.
- [39] Hwang, C. L. & Wu, D. S. (1989). Properties of cement paste containing rice husk ash. *Special Publication*, 114, 733-762.
- [40] Attmann, O. (2010). *Green architecture: advanced technologies and materials*. McGraw-Hill Education.
- [41] Arslan, M. A. & Aktaş, M. (2018). İnşaat Sektöründe Kullanılan Yalıtım Malzemelerinin Isı ve Ses Yalıtımı Açısından Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(2), 299-320.
- [42] Muthuraj, R., Lacoste, C., Lacroix, P. & Bergeret, A. (2019). Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation. *Industrial Crops and Products*, 135, 238-245.
- [43] Antolinc, D., & Filipič, K. E. (2021). Recycling of nonwoven polyethylene terephthalate textile into thermal and acoustic insulation for more sustainable buildings. *Polymers*, 13(18), 3090.
- [44] Jaskuła, P., Stienss, M., & Szydłowski, C. (2017). Effect of polymer fibres reinforcement on selected properties of asphalt mixtures. *Procedia Engineering*, 172, 441-448.
- [45] Awwad, E., Mabsout, M., Hamad, B., Farran, M. T., & Khatib, H. (2012). Studies on fiber-reinforced concrete using industrial hemp fibers. *Construction and Building Materials*, 35, 710-717.
- [46] Horrocks, A. R. & Anand, S. C. (Eds.), "Handbook of technical textiles", Elsevier, (2000).
- [47] Zaman, M. W., Han, J., & Zhang, X. (2022). Evaluating wettability of geotextiles with contact angles. *Geotextiles and Geomembranes*, 50(4), 825-833.
- [48] Wu, H., Yao, C., Li, C., Miao, M., Zhong, Y., Lu, Y. & Liu, T. (2020). Review of application and innovation of geotextiles in geotechnical engineering, *Materials*, 13(7), 1774.
- [49] Wiewel, B. V., & Lamoree, M. (2016). Geotextile composition, application and ecotoxicology—A review. *Journal of Hazardous Materials*, 317, 640-655.
- [50] Valle, S. B., Albay, R. D., & Montilla, A. M. (2019, April). Bambusa blumeana fiber as erosion control geotextile on steep slopes. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 513, No. 1, p. 012030). IOP Publishing.
- [51] Methacanon, P., Weerawatsophon, U., Sumransin, N., Prahsarn, C., & Bergado, D. T. (2010). Properties and potential application of the selected natural fibers as limited life geotextiles. *Carbohydrate Polymers*, 82(4), 1090-1096.
- [52] Li, Q., & Lu, Y. (2023). Experimental study on static stability of tailings dam with geotextile tubes. In *Advances in Civil Engineering: Structural Seismic Resistance, Monitoring and Detection* (pp. 112-116). CRC Press.
- [53] ISO I. 10534-2. (2001). Acoustics-Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes-Part 2: Transfer-function method. BS EN ISO, 10534-2.
- [54] ASTM S (1990). Standard test method for sound absorption and sound absorption coefficients by the reverberation room method. C423-90a.
- [55] Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, 1-17.
- [56] ASTM C.518 (2017). Standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the heat flow meter apparatus. Annual book of ASTM standards.
- [57] ISO E. 6946. (2017). Building components and building elements—Thermal resistance and thermal transmittance—Calculation methods. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- [58] TS EN 12390-3. (2010). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [59] TS EN 12390-5. (2010). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [60] Mechtcherine, V. & Lieboldt, M. (2011). Permeation of water and gases through cracked textile reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 33(7), 725-734.

- [61] ISO 1.834. (1999). Fire resistance tests-elements of building construction. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [62] Credence Research, (2018). Global technical textiles market size, segmentation, opportunities, trends, growth and industry forecast to 2022. www.credenceresearch.com/report/technical-textiles-market