

Review Paper / Derleme Makale

Kompozit Malzemelerin Tahribatsız Muayene Yöntemlerinden Olan Ultrasonik Test ile Ölçülmesi Üzerine Yapılan Çalışmaların İncelenmesi

Investigation of Studies on Measurement of Composite Materials with Ultrasonic Test One of Non-Destructive Testing Methods

Ahmet Cihat ARI^{1*} ¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Akdağmadeni MYO, Mimari Restorasyon Programı, Yozgat, TurkeyReceived (Geliş Tarihi): 11.05.2021, Accepted (Kabul Tarihi): 20.01.2022
Corresponding author (Sorumlu Yazar*): a.cihat.ari@bozok.edu.tr

ABSTRACT

Tarihsel süreç içinde insanlar, barınmak amacıyla birçok malzeme kullanarak yapılar inşa etmişlerdir. İnsanlar, geçmiş dönemdeki yapıların inşa edilmesinde taş, ağaç ve toprak gibi doğada bulunan malzemeleri kullanmışlardır. Ayrıca bu dönemdeki yapıların inşa edilmesinde, kişilerin deneyimler sonucu elde ettikleri bilgiler, yapım tekniklerini oluşturmuştur. Malzeme biliminde artan gelişmeler, kompozit malzemeleri ortaya çıkarmıştır. Kompozit malzemelerin diğer yapı malzemelerine göre mukavemet, dayanıklılık, ısısal ve yalıtım özellikleri açısından üstün nitelikte olması, yapı sektöründe yaygınlaşmasına neden olmuştur. Kompozit malzemelerde atık ürünlerinin kullanılması, çevre kirliliğinin azaltılmasını ve doğanın korunmasını sağlamasının yanı sıra, sürdürülebilir mimarlık açısından önemli bir yere sahip olmuştur. Özellikle kompozit malzemelerin içerisinde, atık ürünlerin kullanılması sanayinin oluşturduğu çevre kirliliğinin ve karbon salınımının oluşturduğu problemlerin çözüm seçenekleri arasında değerlendirilmesini sağlamıştır. Bu nedenle, kompozit malzemelerin atık ürünlerinin kullanılması birçok araştırmacılar için önemli bir konu haline gelmiştir. Bu çalışmada, kompozit malzemelerin tahribatsız muayene yöntemlerinden olan ultrasonik test ile ölçülmesi üzerine yapılan çalışmaların incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın konu kapsamı içinde literatür incelemesi yapılmıştır. Yapılan literatür incelemeleri sonucunda kompozit malzemelerin üretilmesinde, farklı oranlarda matrisler katılmış ve bu malzemelerin özellikleri tahribatsız muayene yöntemleriyle tespit edilmiştir. Ayrıca kompozit malzemelerin içeriğinde atık ürünlerin kullanılması çevre kirliliğinin azaltılması ve doğanın korunması açısından katkı sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit malzeme, ultrasonik, sürdürülebilirlik, tahribatsız muayene yöntemi

ABSTRACT

In the historical process, people have built structures using many materials to shelter. People used materials found in nature such as stone, wood and soil in the construction of structures in the past. In addition, in the construction of the buildings in this period, the knowledge that people gained as a result of their experiences formed the construction techniques. Increasing advances in materials science have revealed composite materials. The superior quality of composite materials in terms of strength, durability, thermal and insulation properties compared to other building materials has caused it to become widespread in the building sector. The use of waste products in composite materials has an important place in terms of sustainable architecture, in addition to reducing environmental pollution and protecting nature. In particular, the use of waste products in composite materials has enabled the environmental pollution caused by the industry and the problems caused by carbon emissions to be considered among the solution options. Therefore, the use of composite materials as waste products has become an important issue for many researchers. In this study, it is aimed to examine the studies on the measurement of composite materials with ultrasonic test, which is one of the non-destructive testing methods. Literature review has been made within the scope of the subject of the study. As a result of the literature reviews, different proportions of matrices were added in the production of composite materials and the properties of these materials were determined by non-destructive testing methods. In addition, the use of waste products in the content of composite materials has contributed to the reduction of environmental pollution and protection of nature.

Keywords: Composite material, ultrasonic, sustainability, non-destructive testing method

GİRİŞ

Dayanıklı yapılar yapılabilmesinde kullanılan malzemeler önemli bir yere sahip olmaktadır. Malzemenin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellik durumları yapının deprem ve rüzgâr gibi dış etkilere karşı dayanıklılığını etkilemektedir. Bununla birlikte yapıda kullanılan malzemenin önemi, aynı zamanda kültürel mirasın gelecek kuşaklara aktarılabilmesini ve kullanılabilmesini sağlamaktadır. Tarihi yapılarda ve anıtlarda kullanılan malzemelerin taşıyıcı nitelikteki özelliklerinin dış etkilere karşı dayanıklı olması günümüze kadar kalabilmesini sağlamıştır. Ancak tarihi yapılarda, kullanılan malzemelerin taşıyıcı nitelikteki özelliklerinin dış etkilere karşı dayanıklılığının iyi olmaması, anıtların zaman içinde yıkılıp yok olmasına neden olmuştur. Ayrıca deprem, sel ve toprak kayması gibi doğal afetler karşısında yapıların hem ağır hasarlara uğraması hem de can kayıplarının yaşanması, yapıda kullanılan malzemenin niteliğindeki önemini arttırmıştır. Bu nedenle, yapılarda meydana gelen hasarların ve yaşanan can kayıpların önlenmesi için bilimsel çalışmalar hız kazanmıştır. Ayrıca yapıların dayanıklılığında ve güvenilirliğinde önem kazanan kompozit malzemeler üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır.

Kompozit sözcüğü iki veya daha fazla parçadan oluşan malzeme manasına gelmektedir. Kompozit malzemeler “makro ölçüde birbirinden farklı iki veya daha fazla bileşenin bir ara yüzey boyunca bir araya gelmesiyle oluşan malzemeler” olarak ifade edilmektedir (Kaya, 2016). Teknolojide yaşanan gelişmeler, malzeme biliminin ilerlemesine katkısı olmuş ve kompozit malzemelerin yapı sektörüne girmesini sağlamıştır. Ayrıca kompozit malzemeler, yapıların inşa edilmesinde mevcut malzemelere göre mekanik ve yalıtım özellikleri yönüyle üstün olması nedeniyle tercih edilmiştir. Kompozit malzemelerin yapı alanında yaygınlaşması, yapıların inşa edilmesinde kullanılan malzemelerin çeşitliliğini arttırmış ve bu da mimari tasarım açısından yapılara zenginlik katmıştır.

Teknolojinin gelişmesiyle ve sanayi üretiminin artmasıyla birlikte, günlük yaşamda birçok işlerin kolaylaşması sağlanmıştır. Ancak sanayi üretimi sırasında çıkan atık ürünler, çevrenin kirliliğini arttırmakta ve aynı zamanda doğal ekolojik yaşamın bozulmasına neden olmaktadır. Günümüzde inşaat sektöründe kompozit malzemelerin içerisinde, atık ürünlerin kullanılması yönünde bilimsel çalışmalar hız

kazanmıştır. Sanayinin oluşturduğu atık ürünlerin kompozit malzemeler içerisinde kullanılması, hem çevre kirliliğinin azaltılmasını, doğanın korunmasını hem de mevcut malzemenin mukavemet, dayanıklılık, yalıtım gibi özelliklerinin geliştirilmesini sağlamaktadır. Ayrıca araştırmacılar tarafından pet şişe, plastik gibi doğada kaybolması uzun süren ve çevre için olumsuz etkilere neden olan atık malzemelerin, inşaat alanında yeniden kullanılmak üzere, kompozitin içinde kullanılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır.

Kompozit malzemelerin hasarlarının tespitinde, tahribatsız muayene yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Tahribatsız muayene yöntemleriyle, hem malzemenin üretim sırasında bileşenlerin bütünlüğünün parçalara zarar vermeden incelenmesini, hem de malzemenin hasarlarının ve bozulmalarının tespit edilmesini sağlamaktadır (Khathyri ve ark., 2018). Bu yöntemlerden biri olan ultrasonik test tekniğiyle, kompozit malzemelerin yapısal bütünlüğü, süreksizlerin varlığının ve mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Djordjevic, 2009). Ultrasonik test tekniği, malzemeye yüksek frekanslı ses dalgaları gönderilerek, malzemenin iç kusurlarını tespit etmesinin yanı sıra kusur kalınlığını, mesafesini ve boyutunu değerlendirmek için incelenmesinde yarar sağlamaktadır (Dattoma ve ark., 2018). Bu nedenle, ultrasonik test tekniği kompozit malzemelerin karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu makalede, kompozit malzemelerin tahribatsız muayene yöntemlerinden olan, ultrasonik test ile ölçülmesi üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmada, kompozit malzemedeki kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin özelliklerinin tespit edilmesinde tahribatsız testler incelenmiştir. Ayrıca çalışmanın konu kapsamında tezlerden, makalelerden, kitaplardan ve web kaynaklarından yararlanılarak veriler toplanmıştır.

TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ

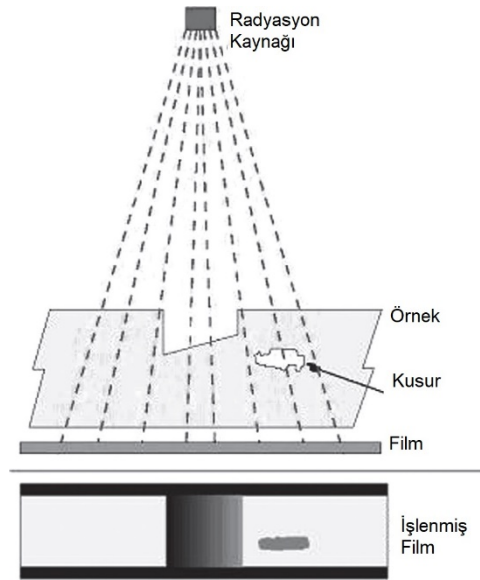
Tahribatsız muayene yöntemleriyle; malzemenin mekanik özellikleri, kusurları, hasarların yerleri malzemeye zarar vermeden belirlenebilmektedir. Malzemelerin karakterizasyonunun belirlenmesinde, tahribatsız muayene yöntemlerinden çeşitli teknikler gelişmiş ve bu yöntemler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Tahribatsız muayene yöntemleri (URL 1)

Teknik	Kabiliyetleri	Sınırları
Görsel Muayene	Makroskopik yüzey kusurları	Küçük kusurların tespit edilmesi zordur, yüzey altı kusurları yoktur.
Mikroskopla inceleme	Küçük yüzey kusurları	Daha büyük yapılar için geçerli değildir; yüzey altı kusurları yoktur.
Radyografi	Yüzey altı kusurları	Tespit edilebilen en küçük kusur, malzeme kalınlığının % 2'si kadardır. Gözenekli olmayan malzemeler için yüzey altı kusurları yoktur.
Boya penetrant	Yüzey kusurları	Gözenekli olmayan malzemeler için yüzey altı kusurları yoktur.
Ultrasonik	Yüzey altı kusurları	Malzeme iyi bir ses iletkeni olmalıdır.
Manyetik parçacık	Yüzey / yüze yakın ve katman kusurları	Sınırlı yüzey altı kapasitesi, yalnızca katman kusurları olan ferromanyetik malzemeler için uygulanmaktadır.
Girdap akımı	Yüzey ve yüze yakın kusurlar	Bazı uygulamalarda yorumlanması zordur. Sadece metaller için uygulanmaktadır.
Akustik emisyon	Tüm yapıyı analiz edebilir	Yorumlanması zor ve pahalı ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Görsel muayene yöntemiyle, malzemenin makroskopik yüzey kusurlarını tespit etmede kullanılmaktadır. Ayrıca bu yöntem, kompozit malzemenin bağlantı veya bileşenlerdeki uyumsuzlukları, uygun olmayan yüzey kalitesini, büyük çatlakların, oyukların ve eziklerin belirlenmesinde etkili olmaktadır (Kumar ve Mahto, 2013).

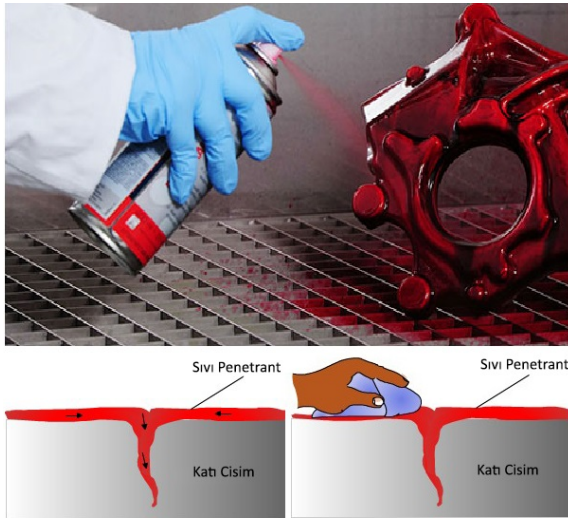
Radyografi yöntemi, ferromanyetik ve ferromanyetik olmayan tüm malzemelerde kullanılmaktadır. Bu yöntemle, malzemelerin mikro yapısının malzemeye herhangi bir zarar vermeden inceleme imkânı sağlamaktadır. Ayrıca radyografi yöntemiyle; X-ışını veya gama ışını kullanarak kalınlık değişiklikleri, yapısal değişiklikler, iç kusurlar ve montaj detayları tespit edilmektedir (Şekil 1) (Taskin ve ark., 2011). Ancak X-ışını kullanarak malzemede tespit edilecek en küçük kusur miktarı, malzeme kalınlığının % 2'si kadarını belirleyebilmektedir. Malzemede ince çatlakların görülebilmesi için X-ışınının çatlakla düzlemine paralel gitmesi gerekmektedir. Radyografi yönteminde, gama ışınının işlevi, X-ışınının işlevi ile aynı etkiye sahip olmaktadır. Bu yöntem, demir içeren ve içermeyen metallerin kusurlarını tespit etmesinin yanı sıra, diğer malzemelerin kusurlarının belirlenmesi açısından yararlı olmaktadır (Kumar ve Mahto, 2013). Ayrıca radyografi yönteminin kullanılmasında, yüzey hazırlık aşamasında zamandan tasarruf sağlanmaktadır. Ancak bu yöntemle, pahalı ve ağır ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte bu yöntem inceleme, uygulama ve analiz edilmesi sırasında deneyimli, yetenekli ve iyi eğitim almış kişiler tarafından kullanılması gerekmektedir (Farhangdoust ve Mehrabi, 2019).



Şekil 1. Radyografik muayene yöntemi (Taskin ve ark., 2011)

Sıvı (boya) penetrant yöntemi, yaygın kullanılan tahribatsız muayene teknikleri arasında yer almaktadır. Bu yöntem, bir sıvının kılcal bir hareketle yüzeyin kırma kusuruna nüfuz etmesiyle

yüzey kusurlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Şekil 2). Bununla birlikte bu yöntem, yüzey kusurlarının tespit edilmesinde ekonomik olması nedeniyle tercih edilmektedir. Sıvı penetrant yönteminin sınırları, gözenekli olmayan malzemelerin yüzey altı kusurları incelenememektedir. Bu yöntem, manyetik parçacık testi yapılamayan ve manyetik olmayan malzemelerde uygulanmaktadır. Sıvı penetrant testinde kullanılan malzemeler; metaller (alüminyum, bakır, çelik, titanyum vb.), cam, birçok seramik malzeme, kauçuk ve plastik yüzey kusurlarının belirlenmesinde yardımcı olmaktadır (URL 1).

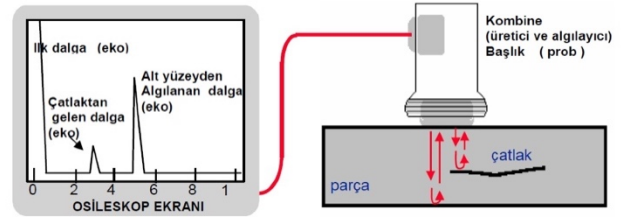


Şekil 2. Sıvı penetrant muayene yöntemi (URL 2)

Ultrasonik test, “polimer kompozitler gibi mühendislik malzemelerinin elastik dalgaların yansımaları, iletimini veya geri saçılmasını ölçen bir akustik inceleme yöntemi” olarak açıklanmaktadır. Bu yöntemle, ölçülen malzemelerin özelliğine bağlı olarak frekans aralığı 20 kHz’den 1 GHz’in üstüne kadar değişmektedir. Kompozit malzemelerin karakterizasyonu, ultrasonik dalgalar kullanılarak incelenmektedir (Duchene ve ark., 2018). Kompozit malzemelerin süreksizlerinin belirlenmesinde ve mekanik özelliklerinin tespitinde ultrasonik dalgalar kullanılmaktadır.

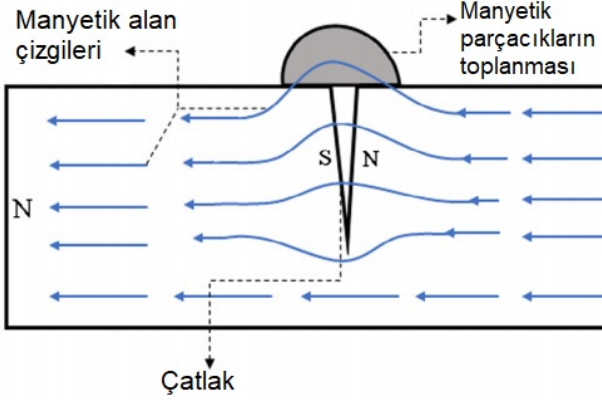
Ultrasonik test yöntemi, bir alıcı ve verici devresi, dönüştürücü aracı ve görüntüleme cihazlarından oluşmaktadır (Şekil 3). Bu yöntemi kullanarak; çatlak konumu, kusur boyutu, yönü ve diğer özellikleri belirlenebilmektedir. Ultrasonik yöntemi, malzeme karakterizasyonunda kullanmanın avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Ultrasonik testin; tarama hızı, iyi çözünürlük ve kusur algılama yetenekleri ve sahada kullanım yeteneği avantajları arasında yer almaktadır. Bu yöntemin dezavantajları ise; kurulum zorluğu, bir parçayı doğru bir şekilde taramak için gereken beceri ve doğru testi garantilemek için test numunesine ihtiyaç duyulmaktadır (Gholizadeh, 2016).



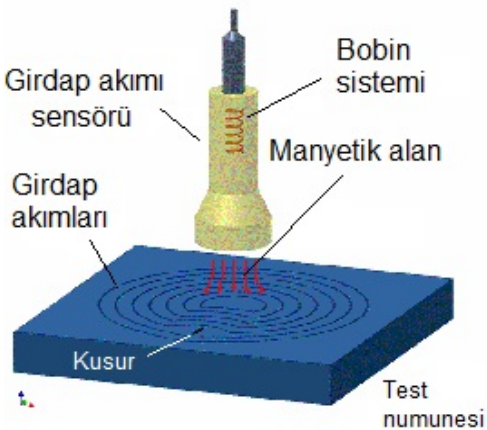
Şekil 3. Ultrasonik test tekniği (URL 3)

Manyetik parçacık yöntemi, ferromanyetik malzemelerde yüzey ve yüzey altı kusurlarının belirlenmesi amacıyla uygulanmaktadır (Şekil 4). Bu yöntemde, malzemedeki yüzey ve yüzey altı kusurları demir tozu gibi ferromanyetik parçacıkların kullanılmasıyla ortaya çıkmaktadır (Farhangdoust ve Mehrabi, 2019). İncelenecek malzemenin yüzeyine elektromıknatıslı boyunduruk yerleştirilmekte, yüzeye gazyağı-demir dolgu süspansiyonu dökülmekte ve elektromıknatısa enerji verilmektedir. Malzemenin yüzeyinde çatlak veya kusur gibi bir süreksizlik varsa, manyetik akı değişime uğrayarak, süreksizliğin her bir kenarında yeni bir güney ve kuzey kutbu oluşturmaktadır. Manyetik kutuplaşmanın oluşmasıyla, malzemenin kusur veya çatlak olan süreksizliklerine demir tozları uygulanmakta ve demir tozları malzemedeki bu süreksizlerin olduğu bu bölgeye çekilmektedir. Manyetik parçacık yönteminde, malzemenin çatlak veya kusur gibi süreksizlerin incelenebilmesi için manyetik kuvvet çizgilerinin süreksizlik olan bölgeye dik olması gerekmektedir (Kumar ve Mahto, 2013).



Şekil 4. Manyetik parçacık testinin çalışma yöntemi (Zolfaghari ve Kolahan, 2018)

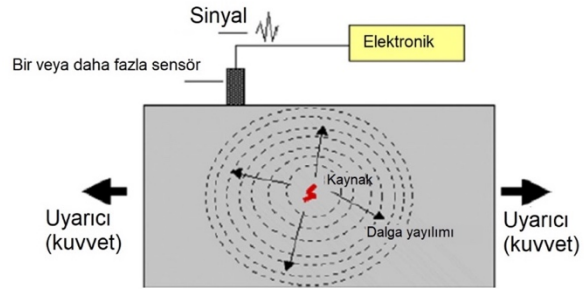
Girdap akımları muayene yönteminde, “bir elektromanyetik bobinin iletken bir malzeme yüzeyi üzerinde taranırken empedansındaki değişiklikleri ölçme prensibine dayanmaktadır”. Bu yöntemde, “iletken bir malzemenin üzerine yerleştirilmiş bir elektromanyetik bobin ile gerçekleştirilmektedir”. Bobin empedansındaki meydana gelen değişiklikler, test edilen malzemedeki çatlak veya kusur gibi süreksizlik tespit edilmesini sağlamaktadır (Şekil 5) (Gbenga, 2016). Bu yöntem çelik, alüminyum gibi iletken malzemeleri ölçmek için kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri arasında yer almaktadır (Farhangdoust ve Mehrabi, 2019). Girdap akımları muayene yöntemiyle; numunenin yüzey veya yüzey altı kusurlarının tespiti, iletkenlik ölçümü ve kaplama kalınlığı ölçümü yapılmaktadır (Kumar ve Mahto, 2013).



Şekil 5. Girdap akımları testinin çalışma yöntemi (Gbenga, 2016)

Akustik emisyon testi, “bir stres uygulandığında bir kusur evriminin neden olduğu, malzemedeki,

ultrasonik frekanslarda geçici elastik dalgalar olarak açıklanmaktadır. Bu geçici dalgalar, kaynaklarından eş merkezli olarak yayılmaktadır. Bir dizi yüksek hassasiyetli piezoelektrik sensör tarafından tespit edilebilmektedir. Akustik emisyonların izlenmesi; sinyalin genlik, kümülatif sayımlar, birikmiş enerji, süre, frekans spektrumu gibi farklı parametreler kullanılarak kompozit malzemelerdeki hasar gelişimi” belirlenmektedir (Duchene ve ark., 2018). Akustik emisyon testinde üretilen elastik dalgaları toplamak için dönüştürücüler kullanılmaktadır. Test edilen numunede çatlak, veya kusur gibi süreksizlikleri kümülatif enerji dalgaları yaymaktadır. Bu yayılan enerji dalgaları, yüksek frekanslı ses dalgaları biçiminde olmaktadır. Ayrıca yayılan bu enerji dalgaları, nesne içinde hareket ederek dönüştürücüler ve sensörler tarafından alınmaktadır (Şekil 6) (Rehman ve ark., 2016).



Şekil 6. Akustik emisyon testinin çalışma yöntemi (Rehman ve ark., 2016)

KOMPOZİT MALZEMELERİN KARAKTERİZASYONUNDA, TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİNDEN OLAN ULTRASONİK TEST TEKNİĞİYLE ÖLÇÜLMESİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Kompozit malzeme; havacılık, endüstri ve yapı sektörü gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte kompozit malzemelerin içerisinde kullanılan katkı malzemeleriyle, malzemenin dayanıklılığının ve yalıtım özelliğinin artırılmasının yanı sıra, malzemenin diğer geleneksel malzemelere göre ekonomik olarak üretilmesi nedeniyle, farklı alanlarda tercih edilmesinde etkili olmaktadır. Bu nedenle, kompozit malzemenin üretim ve kullanım aşamasında, malzemenin kalite özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Günümüzde kompozit malzemenin dayanıklılığı ve güvenilirliğinin tespit edilmesinde tahribatsız muayene yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Tahribatsız muayene yöntemleri, kompozit malzemenin özelliklerinin belirlenmesinde malzemeye zarar vermeden gerçekleştirilmektedir.

Ayrıca bu yöntem kullanılarak, kompozit malzemedeki kusurların yeri, kusurun büyüklüğü, mekanik özelliği ve malzemelerin mikro yapısı hakkında bilgi vermektedir. Kompozit malzemede kullanılan tahribatsız muayene yöntemleriyle; ultrasonik, akustik emisyon ve radyografi gibi teknikler uygulanmaktadır. Tahribatsız muayene yöntemlerden biri olan ultrasonik test tekniği, kompozit malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ultrasonik test tekniğinin kompozit malzemede yaygın olarak kullanılmasının nedeni; hem hızlı, doğru ve güvenilir sonuç verdiği için, hem de uygulama sürecinde insan sağlığına herhangi bir zararı olmamasından dolayı tercih edilmesinde etkili olmaktadır. Bu nedenle ultrasonik test tekniği, kompozit malzemenin özelliklerinin üretim sırasında ve kullanım aşamasında kalite güvencesinin tespitinde, araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Araştırmacılar tarafından geliştirilen bazı kompozit malzemeler ve bu malzemelerin karakterizasyonunda ultrasonik test tekniğiyle ölçülmesi ile ilgili çalışmalar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kompozit malzeme karakterizasyonunda ultrasonik test tekniğiyle ölçülmesi ile ilgili çalışmalar

Yazarlar (Yıl)	Kompozit Malzeme	Sonuç
Czarnecki, Shariq, Nikoo ve Sadowski (2021)	Öğütülmüş granüle yüksek fırın çürüflü çimento kompozit malzemesi üretimi	Öğütülmüş granüle yüksek fırın çürüflü çimento kompozitin basınç dayanımı ultrasonik test tekniği kullanılarak ve yeni akıllı modeller geliştirilerek belirlenmiştir. Geliştirilen bu akıllı modellerle, beton numunesinde basınç dayanımının belirlenmesinde 28 gün sonra değil, erken dönemlerde (3 ve 7 gün) ve uzun dönemlerde (150

		ve 180 gün) sonra yapılabilir olduğunu göstermiştir.
Singh ve Rai (2020)	Çelik-polipropilen hibrit elyaf takviyeli beton kompozit malzemesi üretimi	Çelik-polipropilen hibrit elyaf takviyeli beton kompozitin dinamik elastik modül, ultrasonik test tekniği kullanılarak tespit edilmiş ve bu kompozit malzemenin çeşitli yapısal elemanların güçlendirilmesi için yararlı olduğu sonucuna varılmıştır.
Gupta ve Vyas (2018)	Atık granit tozu içeren çimento kompozit malzemesi üretimi	Atık granit tozu içeren çimento kompozitin basınç dayanımı, çekme dayanımı, yapışma dayanımı, su emme miktarı ve dinamik elastisite modülünün incelenmesinde; ultrasonik test tekniği, kızılötesi spektroskopi (FITIR) ve X-ışını kırınımı (XRD) tespit edilmiştir. Bu kompozit harcın geleneksel harca göre daha iyi performans göstermesinden dolayı, duvarcılık ve sıva işlerinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.
Binici ve Aksogan (2017)	Soğan kabuğu, fıstık kabuğu, uçucu kül, süngertaşı, perlit, çimento ve	Soğan kabuğu, fıstık kabuğu, uçucu kül, süngertaşı, perlit, çimento ve alçı yalıtım malzemesi olarak

	alçı kullanılarak izolasyon kompozit malzemesi üretimi	iletkenlik, radyoaktif bağlı geçirgenlik, basınç dayanımı incelenmiştir. Bu kompozit malzemenin iletkenlik özelliklerinin incelenmesinde, ultrasonik test tekniğiyle ve ısı iletkenlik test cihazı tespit edilmiştir. Ayrıca bu kompozit malzeme, hastanenin röntgen işlemlerinin yapıldığı laboratuvar gibi radyasyonun etkili olduğu yerlerde tehlikeli ışınlar karşı koruma amacıyla kaplama malzemesi olarak kullanılabildiği belirlenmiştir.		
Kürklü ve Görhan (2019)	Kırma taş tozunun jeopolimer bazlı yapıştırıcı kullanılarak kompozit yapı malzemesi üretimi	Jeopolimer yapıştırıcı harcı içeriğinde uçucu kül, alkali aktivatör olarak sodyum silikat ve sodyum oksit kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca bu yapıştırıcı harcını; su emme, porozite, yoğunluk, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı ve yapışma deneyleriyle yapılarak kırma taş tozunun yapı malzemesi olarak kullanılmasındaki oranı tespit edilmiştir.	Faria, Duarte, Barbosa ve Ferreira (2017)	Grafen oksit katkılı kireç harcın kompozit malzemesi üretimi
				Grafen oksit katkılı kireç harcın kompozit malzemesinin; mikro yapısı, mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Ayrıca bu kompozit malzeme, bina onarımlarında orijinal malzemeye uyumlu bir harç olarak kullanılabileceğini göstermiştir.
			Sun ve Zhu (2020)	Çelik-beton kompozit malzemenin kusurlarının tespiti
				Kalın beton duvarların içindeki çelik plakalardaki kusurlar, ultrasonik test tekniğiyle belirlenmiştir. Ayrıca çelik-beton kompozit malzemenin boşluklarını ve kusurlarını tespit etmek için, ultrasonik test tekniği kullanılarak yeni bir yöntem geliştirilmiştir.
			Khathry, Elkihel ve Delaunois (2018)	Karbon fiber ile güçlendirilmiş kompozit plakanın kusurlarının tespiti
				Karbon fiber ile güçlendirilmiş kompozit plakanın kusurları kızılötesi ve ultrasonik test tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca bu tekniklerle, kompozit malzemedeki kusurların tespit edilmesinde, hızlı ve hassas ölçüm

		sağladığı görülmüştür.
Jain, Gupta ve Chaudhary (2019)	Kendiliğinden yerleşen betonun, içerisinde granit kesme atıklarının kullanılması	Kendiliğinden yerleşen betonun, içerisinde granit kesme atıklarını kullanarak; basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrasonik darbe hızı, su emme ve su geçirgenlik testleri yapılmıştır. Ayrıca granit kesme atık ürünlerini betonun içinde kullanarak, bu atık ürünlerin depolanması ve çevre kirliliğinin azaltılmasında katkı sağladığı belirlenmiştir.
Badache, Benosman, Senhadji ve Mouli (2018)	Plastik atıkların kum bazlı kompozit harçlarında kullanılması	Yüksek yoğunluklu polietilen borulardan plastik atıkların kompozit harcın içerisinde agrega olarak kullanılması incelenmiştir. Bu kompozit harcın; basınç ve eğilme dayanımları, dinamik esneklik modülü ve termofiziksel özellikleri ultrasonik test ve taramalı elektron mikroskopuyla tespit edilmiştir. Ayrıca plastik atıkların kompozit malzemede kullanılmasını sağlayarak geri dönüşüme katkı sağladığı görülmüştür.

SONUÇLAR

Tahribatsız muayene yöntemleriyle, malzemede çatlakların veya süreksizlerin yerlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca bu yöntemler, malzemede boşlukları ve mekanik özellikleri incelenen numuneye zarar vermeden tespit edilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, kompozit malzemenin üretim ve kullanım aşamasında kalite güvenliğinin test edilmesinde tahribatsız muayene yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Günümüzde teknolojinin ilerlemesi, tahribatsız muayene yöntemlerinde yeni tekniklerin ortaya çıkmasıyla kompozit malzemenin ölçme yöntemlerinin gelişmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca kompozit malzemenin kalitesinin test edilmesinde, tahribatsız muayene yöntemlerinin kullanılması hızlı, güvenilir ve ekonomik olması günümüzde tercih edilmesinde etkili olmaktadır. Teknolojinin gelişmesi tahribatsız muayene yönteminin havacılık, endüstri ve inşaat gibi farklı sektörlerde malzeme muayenesinde yaygın bir şekilde kullanılmasında yarar sağlamaktadır.

İnşaat sektöründe, kompozit malzemenin diğer geleneksel malzemelere göre dayanıklılık ve yalıtım özelliklerinin üstün nitelikte olması, bu malzemenin yapıların inşaatında yer almasında etkili olmuştur. Bununla birlikte kompozit malzemenin, inşaat sektöründe hem üretim hem de kullanım aşamasında kalite güvenliğinin test edilmesinde tahribatsız muayene yöntemlerinden yararlanılmıştır. İnşaat sektöründe kompozit malzemenin kalite güvenliğinin testinde kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri; akustik emisyon, ultrasonik ve radyografi gibi test teknikleri kullanılmıştır. Ultrasonik test tekniği ise kompozit malzemelerin mikro yapısı, mekanik özellikleri, çatlakların yerleri ve boşlukların büyüklüğünün tespit edilmesinde öncelikli kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir. Ultrasonik test tekniği diğer yöntemlere göre hassas, hızlı ve güvenilir bir sonuç vermesinden dolayı tercih edilmesinde etkili olmuştur. Ayrıca incelenen numune sürecinde, ultrasonik test tekniğini kullanmanın insan sağlığına herhangi bir tehlike oluşturmaması bu tekniğin kullanımına yaygınlık kazandırmıştır.

Bu çalışmada, kompozit malzemelerin tahribatsız muayene yöntemlerinden olan ultrasonik test ile ölçülmesi üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan literatür incelemeleri sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kompozit malzemelerin üretilmesinde, farklı

oranlarda matrisler katılarak kompozit malzemenin mekanik özellikleri, mikro yapısı, kusurların yerinin belirlenmesi ultrasonik test tekniğiyle yapılmıştır. Ayrıca kompozit malzemelerin özelliklerinin tespit edilmesinde taramalı elektro mikroskop tekniği, kızılötesi spektroskopisi (FITIR) ve X-ışını kırınımı (XRD) kullanılmıştır.

- Kompozit malzemelerin içeriğinde plastik, granit ve kesme taşların tozu gibi atık ürünlerin kullanılması çevre kirliliğinin azaltılmasında ve doğanın korunmasına katkı sağlamıştır.
- Kompozit malzemelerin içeriğinde atık malzemelerin kullanılması hem geri dönüşüm yapılarak ekosistem üzerinde olumsuz etkisi azaltılmış olmakta, hem de malzeme üretiminin ekonomik biçimde yapılmasıyla sürdürülebilir kalkınma açısından önemli hale gelmiştir.
- Kompozit malzemelerin üretiminde grafen oksit katkılı kireç harçları kullanılarak, yapıların onarımlarının orijinal malzemeyle uyumlu harçları geliştirilmiştir.
- Yapı malzemelerinden olan beton ve çeliğin farklı katkıları veya agrega kullanılarak dayanımı ve mukavemeti yüksek bir malzeme elde edilmesine yönelik, kompozit malzemeler önem kazanmıştır.
- Kompozit yalıtım malzemelerinin üretimi yapılarak, inşaat sektöründe kullanılması, enerji tasarrufu sağlaması açısından önemli olmuştur.

KAYNAKLAR

Badache, A., Benosman, A. S., Senhadji, Y., Mouli, M. (2018). Thermo-physical and mechanical characteristics of sand-based lightweight composite mortars with recycled high-density polyethylene (HDPE). *Construction and Building Materials*, 163, 40-52.

Binici, H., Aksogan, O. (2017). Insulation material production from onion skin and peanut shell fibres, fly ash, pumice, perlite, barite, cement and gypsum. *Materials Today Communications*, 10, 14-24.

Czamecki, S., Shariq, M., Nikoo, M., Sadowski, Ł. (2021). An intelligent model for the prediction of the compressive strength of cementitious composites with ground granulated blast furnace slag based on ultrasonic pulse velocity measurements. *Measurement*, 172, 1-10.

Dattoma, V., Nobile, R., Panella, F. W., Pirinu, A., Saponaro, A. (2018, September). Optimization and comparison of ultrasonic techniques for NDT

control of composite material elements. *Proceedings of AIAS 2018, Villa San Giovanni, Italy*, 12, 9-18.

Djordjevic, B. B. (2009, September). Ultrasonic characterization of advanced composite materials. In the 10th International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing (Application of Contemporary Non-Destructive Testing in Engineering), Ljubljana, Slovenia, 47-57.

Duchene, P., Chaki, S., Ayadi, A., Krawczak, P. (2018). A review of non-destructive techniques used for mechanical damage assessment in polymer composites. *Journal of Materials Science*, 53(11), 7915-7938.

Farhangdoust, S., Mehrabi, A. (2019). Health monitoring of closure joints in accelerated bridge construction: a review of non-destructive testing application. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 17(7), 381-404.

Faria, P., Duarte, P., Barbosa, D., Ferreira, I., (2017). New composite of natural hydraulic lime mortar with graphene oxide. *Construction and Building Materials*, 156, 1150-1157.

Gbenga, E. E. (2016). Using non-destructive testing for the manufacturing of composites for effective cost saving: a case study of a commercial prepreg CFC. *International Journal of Materials Engineering*, 6(2), 28-38.

Gholizadeh, S. (2016). A review of non-destructive testing methods of composite materials. *Procedia Structural Integrity*, 1, 50-57.

Gupta, L. K., Vyas, A. K. (2018). Impact on mechanical properties of cement sand mortar containing waste granite powder. *Construction and Building Materials*, 191, 155-164.

Jain, A., Gupta, R., Chaudhary, S. (2019). Performance of selfcompacting concrete comprising granite cutting waste as fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 221, 539-552.

Kaya, A. İ. (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, 29, 38-45.

Khathryi, F., Elkihel, B., Delaunois, F. (2018). Non-destructive testing by ultrasonic and thermal techniques of an impacted composite material. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 8(6), 2360-2366.

Kumar, S., Mahto, D. (2013). Recent trends in industrial and other engineering applications of non destructive testing: a review. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(9), 183-195.

Kürklü, G., Görhan, G. (2019). Investigation of usability of quarry dust waste in fly ash-based geopolymer adhesive mortar production. *Construction and Building Materials*, 217, 498-506.

Rehman, S. K. U., Ibrahim, Z., Memon, S. A., Jameel, M. (2016). Nondestructive test methods for concrete bridges: a review. *Construction and Building Materials*, 107, 58-86.

Singh, N. K., Rai, B. (2020). Assessment of synergetic effect on microscopic and mechanical properties of steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete. *Structural Concrete*, 1-19.

- Sun, H., Zhu, J. (2020). Nondestructive evaluation of steel-concrete composite structure using high-frequency ultrasonic guided wave. *Ultrasonics*, 103, 106096.
- Taskin, M., Elazig, U. C., Turkmen, M., (2011). X- ray tests of AISI430 and 304 stainless steels and AISI 1010 low carbon steel welded by CO2 laser beam welding. *Radiography*, 53(11-12), 741-747.
- URL 1. <https://web.itu.edu.tr/~arana/ndt.pdf> Erişim: 6 Mayıs 2021.
- URL 2. <http://www.ndtteknik.com/ndt-kutuphane/sivi-penetrant-testi-nasil-yapilir-63.html> Erişim: 6 Mayıs 2021.
- URL 3. <https://docplayer.biz.tr/54306245-Ultrasonik-muayene-yontemi.html> Erişim: 6 Mayıs 2021.
- Zolfaghari, A., Kolahan, F. (2018). Reliability and sensitivity of magnetic particle nondestructive testing in detecting the surface cracks of welded components. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 33(3), 290–300.
- Anirudha, S.B., Gore, P.N. (2017). A review paper on improvement of impeller design a centrifugal pump using FEM and CFD. *International Journal for Innovative Research in Science and Technology*, 4(4): 6-8.