

Atık Tuğla Tozunun Polimer Betonda Katkı Malzemesi Olarak Kullanımı: Mekanik Özelliklerin İncelenmesi

Hasan POLAT^{1*}, İsa ÜSTÜN², Ahmet ŞAFAK², Ahmet Nadir ÇAKILCIOĞLU³

¹Bingöl Üniversitesi, Teknik bilimler MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Bingöl, Türkiye

²Bingöl Üniversitesi, Teknik bilimler MYO, İnşaat Teknolojisi Bölümü, Bingöl, Türkiye

³Fırat Üniversitesi, Teknoloji fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elâzığ, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author
E-mail: hpolat@bingol.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article
Geliş Tarihi/Received: 30.05.2023
Kabul Tarihi/Accepted: 26.07.2023

ÖZ

Endüstriyel kaynaklardan dünya genelinde ve ülkemizde yüksek miktarda atık malzeme ortaya çıkmaktadır. Bu atık malzemelerin bir kısmı belirli oranlarda farklı uygulamalarda kullanılırken, büyük bir kısmı depolama sahalarına gönderilmektedir. Bu atıklardan biri de çeşitli sebeplerle kullanılamaz hale gelen tuğlaların öğütülmesiyle elde edilen tuğla tozudur. Bu atık malzemeye alternatif bir kullanım alanı sağlamak amacıyla, farklı ağırlık oranlarında (%10, %20, %30, %40 ve %50) tuğla tozu doymamış polyester reçine ile ikame edilerek polimer beton numuneleri üretilmiştir. Polimer beton numunelerin üretiminde bağlayıcı olarak doymamış polyester reçine kullanılmıştır ve sertleşme işlemi için MEKP (metil etil keton peroksit) kullanılarak çapraz bağ oluşturulmuştur. Ayrıca, reaksiyonu hızlandırmak için kobalt octoate (%6) kullanılmıştır. Üretilen numuneler kür edildikten sonra, birim hacim ağırlığı, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneylerine tabi tutulmuşlardır. Deneysel çalışmanın sonucunda, atık tuğla tozu oranının artmasıyla birlikte birim hacim ağırlığı değerlerinde artış meydana gelmiş, ancak basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Optimum atık tuğla tozu kullanım oranının %10 olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Polimer beton, Atık tuğla tozu, Mekanik özellikler, Basınç dayanımı

Utilization of Waste Brick Powder as Admixture in Polymer Concrete: Investigation of Mechanical Properties

ABSTRACT

Large amounts of waste materials are generated from industrial sources worldwide, including in our country. While some of these waste materials are utilized in various applications in certain proportions, the remaining high amounts are sent to storage sites. One such waste material is brick dust, which is obtained by grinding unusable bricks due to various reasons. To provide an alternative use for this waste material, polymer concrete specimens were produced by replacing brick dust with unsaturated polyester resin in different weight ratios (10%, 20%, 30%, 40%, and 50%). Unsaturated polyester resin was used as a binder in the production of polymer concrete specimens, and a chemical reaction was initiated by using M (methyl ethyl ketone peroxide) as a cross-linking agent for monomer hardening. Additionally, cobalt octoate (6%) was used to accelerate the reaction. After the produced polymer concrete specimens were cured under appropriate conditions, unit weight, ultrasonic transmission velocity, compressive strength, and flexural strength tests were conducted on the specimens. As a result of the experimental study, an increase in unit weight values was obtained with an increase in the proportion of brick dust, while a decrease in compressive and flexural strength values was observed. It was concluded that the optimum usage ratio of brick dust was 10%.

Keywords: Polymer concrete, Waste brick powder, Mechanical properties, Compressive strength

Cite as;

Polat, H., Üstün, İ., Şafak, A., Çakılcioglu, A.N. (2023). Atık Tuğla Tozunun Polimer Betonda Katkı Malzemesi Olarak Kullanımı: Mekanik Özelliklerin İncelenmesi. *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 4(2), 76-86. DOI: 10.53501/rteufemud.1306484

1. Giriş

Dünya çapında ve ülkemizde endüstriyel kaynaklardan büyük miktarlarda atık malzeme oluşmaktadır. Bu atık malzemelerin bir kısmı belirli oranlarda çeşitli uygulamalarda değerlendirilirken, önemli bir kısmı da düzenli depolama alanlarına gönderilmektedir. Mevcut kirlilik türleri zincirine bir halka daha ekleyen artan endüstriyel üretim, dünyayı önemli ölçüde tehdit etmektedir. Bu bilinçle üretim sonucu ortaya çıkan endüstriyel atıklar çimento ve betonda dolgu malzemesi olarak kullanılarak inşaat sektöründe önemli verimlilik ve tasarruf sağlanmaktadır.

Yukarıda bahsi geçen endüstriyel atıklardan biri de tuğla tozudur. Atık tuğlaların öğütülmesi sonucu elde edilen bir materyal olan tuğla tozu, kullanılamaz hale gelen tuğlaların geri dönüşümüyle oluşur. Başka bir deyişle, atık tuğlaların öğütülmesiyle elde edilen katkı malzemesi tuğla tozu olarak adlandırılır. Tuğla tozunun tamamen yok edilmesi üretici firma için önemli bir sorundur ve bundan dolayı da çevre kirliliği için tehdit edici bir durumdur.

Tuğla, inşaat sektöründe yaygın bir duvar malzemesi olarak kullanılmaktadır ve bu kullanım oranı diğer duvar malzemelerine göre oldukça yüksektir. Tuğla, tarihte üretilen ilk yapı malzemesi olup, kil ve suyun karıştırılıp ateşte pişirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Önceki çağlarda, barınma ihtiyacını karşılamak için yapılan her yapı öncelikle bir tuğla imalat yeri olmuş ve ardından bu yapı inşa edilirken kullanılmıştır (Bayraktar, 2018). Yapılan araştırmalar, tuğlanın inşaat sektöründeki kullanım oranının %80'lere kadar çıktığını göstermektedir. Türkiye'de faaliyet gösteren 520 adet tuğla ve kiremit fabrikası bulunmaktadır ve bu fabrikalar yılda yaklaşık 30 milyon ton toprağı hammadde olarak kullanmaktadır. Tuğla üretim sürecinde, hammadde ocağından pişmiş tuğlaya kadar %20-25 oranında fire meydana geldiği belirtilmektedir (DPT, 2001). Tuğla üreticileri, hammaddelerini kolay ve ekonomik bir şekilde temin edebildikleri için, genellikle tuğla atıklarının geri dönüşümü için yatırım yapmamaktadır. Bu durum, tuğla

sektöründe geri dönüşümün az olduğunu göstermektedir. Türkiye'de üretilen tuğla ve mermer endüstrilerinde her yıl yaklaşık olarak 3800.000 ton tuğla atığı ve 2592.000 ton mermer atığı oluşmaktadır (DPT, 2001; Kaynak, 1999; Kırgız, 2007).

Yapılan literatür taramasına göre hammaddesi kil olan silis esaslı tuğla tozunun beton ve çimento üretiminde kullanımına ilişkin çalışmalar bulunmaktadır. Portland çimentosunu ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında tuğla tozu ile değiştirerek tuğla tozunun puzolanik özelliklerini araştırmışlardır (DPT, 1923). Çalışmalarında, araştırmacılar çimento harcına çimento katkı maddesi olarak ağırlıkça %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35 ve %40 oranlarında tuğla tozu katılarak harç numuneleri üretmişlerdir. En iyi mekanik sonucun %5 tuğla tozu katkılı çimento ile elde edildiğini, donatı korozyonuna karşı koruma açısından en iyi sonucu %15 tuğla tozu katkılı numunenin verdiğini gözlemlemişlerdir (Şimşek vd., 2006). Yaptığı çalışmada tuğla tozunun çimento yerine kullanılmasıyla puzolanik aktivitesini incelemiştir (Dalkılıç, 2014). Araştırmacılar yaptıkları çalışmada Portland çimentosunun ağırlıkça %0, %5, %10, %15, %20 ve %25 oranında kromit manyezit tuğla tozları ile yer değiştirerek altı farklı karışım elde etmişler ve bunların priz sürelerine etkisini araştırmışlardır (Kokmaz, 2010). Yaptıkları çalışmada tuğla tozunun kullanım potansiyelini araştırmışlar ve tuğla atıklarının ikame malzeme olarak en ideal kullanımının bu atıkların öğütülerek elde edilen tuğla tozu olduğunu gözlemlemişlerdir (Özgan vd., 2009). Son birkaç on yılda araştırmacılar, çimento betonuna kıyasla üstün mekanik özellikler gösteren yeni bir beton türü olan polimer betonu tanıttı. Polimer beton geleneksel çimento betonuna kıyasla daha yüksek basınç, çekme ve eğilme mukavemeti, hızlı kürlenme sergiler ve aşındırıcı ortamlarda daha iyi koruma sağlar ve daha iyi titreşim sönümlenme özellikleri ve yüksek basınç dayanımı nedeniyle dünya çapında en yaygın kullanılan yapı malzemesidir (Ribeiro vd., 2020; Orak, 2020; Bruni vd., 2008; Polat vd., 2012).

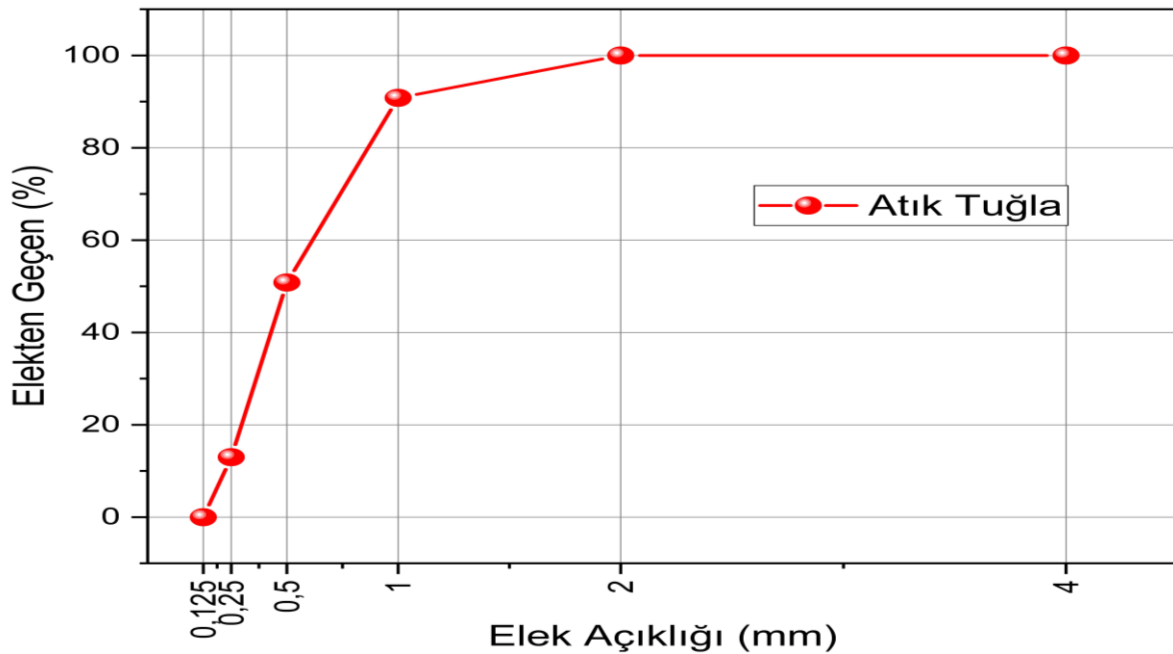
Beton geniş uygulama alanına sahip ve dünyada en çok kullanılan yapı malzemelerinden biridir (Kara vd., 2020). Ancak bazı dezavantajları vardır. Bunlar, düşük eğilme ve çekme mukavemeti, yüksek geçirgenlik ve düşük kimyasal direnç sahiptir (Polat vd., 2014; Toufigh vd., 2016; Mascarenhas, vd., 2018). Çimento, günümüzde en yaygın bağlayıcı malzeme olmakla birlikte, yüksek oranda CO₂ emisyonu nedeniyle dünya genelinde toplam emisyonun ortalama %5 ve %8'inden sorumlu olduğu için, çimento üretiminde azaltmaya yönelik önlemler almak çevresel açıdan son derece önemlidir (Polat vd., 2018). Yüksek CO₂ emisyonlarına ek olarak, mukavemet ve dayanıklılığı artırmak, bakım ve onarım işlemlerini hızlandırmak ve inşaat sektöründe yapı malzemelerini geliştirmek amacıyla, polimer beton uygulamaları giderek daha yaygın hale gelmektedir (Yadollahi vd., 2018; Vipulanandan vd., 1993). Polimer beton, geleneksel Portland çimentolu betona kıyasla birçok avantaj sunar. Yüksek dayanım ve dayanıklılık, kimyasal direnç, hızlı kurlenme özellikleri, düşük rötre ve agrega ile iyi aderans

gibi özellikleri sayesinde, normal betona kıyasla giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışma, atık tuğla tozunun polimer betonda kullanımıyla ilgilidir ve literatürde kullanılan diğer faz malzemelerine dayanarak bağlayıcı olarak doymamış polyester reçineye %10, 20, 30, 40 ve 50 oranlarında eklenerek üretilen polimer beton numunelerinin bazı mekanik özelliklerinin araştırılmasını amaçlamaktadır. Bu kapsamda, atık tuğla tozunun kullanımıyla polimer beton elde edilerek mekanik özellikleri incelenmekte ve atık tuğla tozuna yeni bir kullanım alanı sağlanması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Atık tuğla tozu

Polimer beton üretiminde dolgu malzemesi olarak TS EN 1097-6'a göre piknometre yöntemi kullanılarak yoğunluğu 2,44 g/cm³ olarak belirlen 0-1 mm elek aralığında piyasadan temin edilen atık tuğla tozu kullanılmış olup atık tuğla tozuna ait elek analizi sonuçları Şekil 1'de gösterilmiştir.



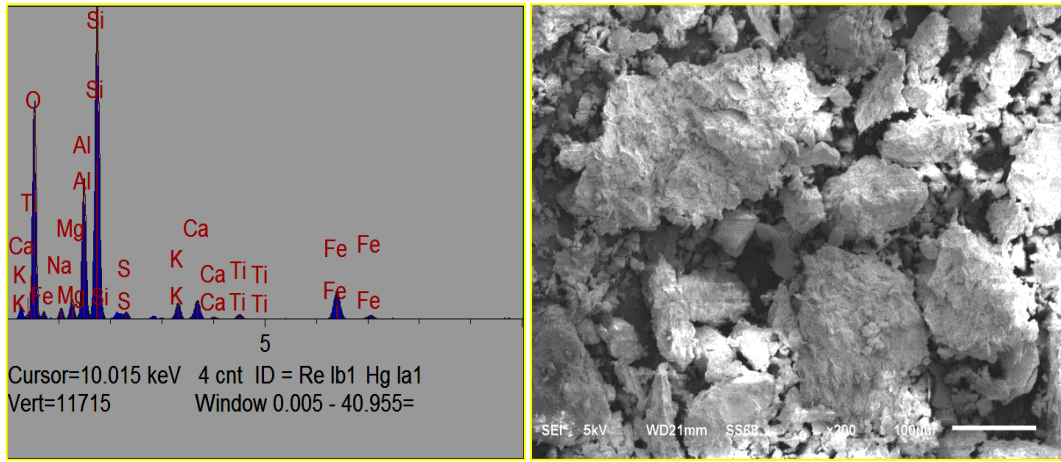
Şekil 1. Atık tuğla tozuna ait elek analizi sonuçları
Figure 1. Sieve analysis results of waste brick dust

Atık tuğla tozunun taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. Atık tuğla tozları SEM analizinden önce altın ve

paladyum ile kaplanmıştır. Daha sonra bu örnekler JEOL JSM 6510 elektron mikroskobunda 20 kV voltaj altında incelendi.

SEM görüntüleri incelenen atık tuğla tozunun EDX ile elementel analizleri yapılmıştır. EDX analizi ile Si, Al ve O elementlerin dağılımı

sırasıyla %46,29, %10,93 ve %29,26 diğer elementler yaklaşık olarak %1'in altında kalmıştır.



Şekil 2. Atık tuğla tozuna ait SEM/EDX görüntüleri
Figure 2. SEM/EDX images of waste brick powder

2.2. Polyester reçine

Polimer beton; bağlayıcı malzeme ile dolgu birleşiminden oluşmakta olup, yapılacak olan bu çalışmada bağlayıcı olarak doymamış polimer reçine ve dolgu malzemesi olarak atık tuğla tozu kullanılacaktır. Polimer beton numunelerin üretiminde kullanılan polyester reçine Turkuaz firması tarafından üretilen TP100' kodlu doymamış polyester reçinedir.

2.3. Mekp ve Kobalt

Polimer beton numunelerinin üretiminde, reçine ve monomerin sertleşmesi için çapraz bağlanma reaksiyonunu başlatmak için Metil Etil Ketone Peroksit (MEKP) kullanılmıştır. Ayrıca, reaksiyon hızını artırmak için %6 oranında Kobalt Oktoat kullanılmıştır. MEKP'e ait teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. MEKP ait teknik özellikleri

Table 1. Technical specifications of the mechp

Ürün Kodu	AKPEROX A1
Ürün tanımı	Metil Etil Peroksit karışımıdır.
Yoğunluk (g/cm ³)	1,16
Renk	Renksiz
Aktif Oksijen İçeriği (%)	9,4-9,6
Peroksit İçeriği (%)	40

Polimerizasyon reaksiyonunun hızlanması için kobalt Octoate (%6) kullanılmış olup, ürüne ait teknik özellikler Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca

numunelerin kalıptan ayrılması için kalıp ayırıcı vaks kullanılmıştır.

Tablo 2. Kobalt octoate'a ait teknik özellikleri

Table 2. Technical specifications of cobalt octoate

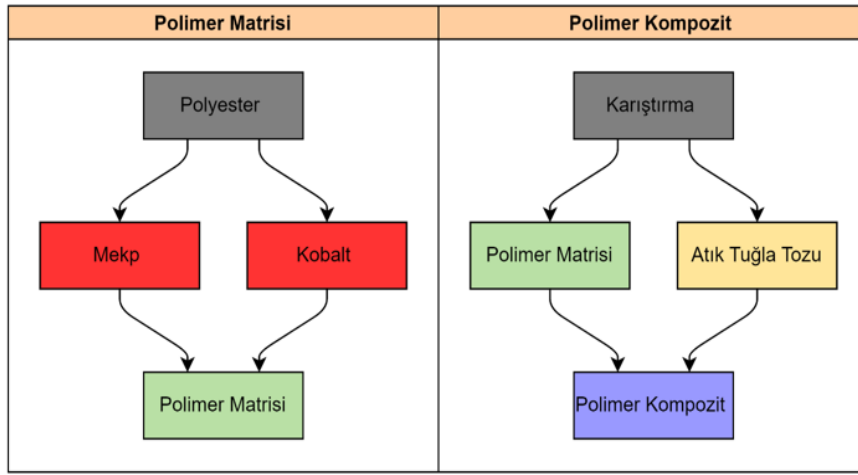
Ürün Kodu	Kobalt Octoate (%6)
Ürün tanımı	Metil Etil Peroksit karışımıdır.
Yoğunluk (g/cm ³)	0,98
Renk	Berrak sıvı
Co Metal (%)	10
Toplam katı (%)	63

3. Üretim Yöntemi

Polimer kompozitlerin üretimi iki farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada doymamış polyester reçine polimerizasyon reaksiyonun başlatılması için MEKP (Metil Etil Keton ve Peroksit) ardından reaksiyonu hızlandırmak için Kobalt Oktoat (%6) uygun miktarlarda eklenerek polimer matrisi elde edilmiştir. Değişik oranlarda MEKP ve kobalt kullanılarak elde edilen numunelerin basınç dayanımı verilerinin analizi, en yüksek basınç dayanımı değerinin %1 MEKP ve %0,2 kobalt kombinasyonu kullanılarak üretilen polimer kompozitlerden elde edildiğini

ortaya koymuştur (Polat, vd. 2020). Yapılan bu çalışmada belirlenen MEKP ve kobalt oranları kullanılmıştır.

İkinci aşamada, polimer matrisinin içerisine doymamış polyester reçine ağırlığının, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında 0–1 mm boyutunda atık tuğla tozu ikame edilerek polimer beton numuneler üretilmiştir. Kullanılan dolgu malzemelerin küçük boyuta indirgenmesi ile pek çok teknik özellikte olumlu sonuçlar verdiği literatürde belirtilmiştir (Kütük Sert vd., 2020; Kütük vd., 2020). Polimer kompozitlerin üretim aşamaları Şekil 3’de sunulmuştur.



Şekil 3. Polimer betonların üretim aşamaları

Figure 3. Production stages of polymer concretes

Üretilen polimer betonlardan toplam beş grup bulunmakta ve tüm gruplar için 3 tane 5×5×5 cm ve 4×4×16 cm boyutunda numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler 28 gün hava ortamında kür edildikten sonra, mekanik özellikleri (basınç

dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı, birim hacim ağırlık) incelenmiştir. Kullanılan atık tuğla tozu ve üretilen numuneler Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Atık tuğla tozu ve üretilen numune

Figure 4. Waste brick powder and produced sample

3.1. Numune grupları ve kodlama

Atık tuğla tozu doymamış polyester reçine miktarının %10, %20, %30, %40 ve %50 olacak şekilde karışıma katılmış olup, karışımın

ağırlıkça % oranları ve kodları Tablo 3'de verilmiştir. Grupların belirtilmesinde kolaylık için kodlama yapılmıştır. Örneğin TA20, %20 tuğla atığı içeren karışımı göstermektedir.

Tablo 3. Numune grupları ve kodlama

Table 3. Sample groups and coding

Kod	Polyester (%)	MEKP (%)	Kobalt (%)	Atık tuğla tozu (%)
TA10	89,93	0,90	0,18	8,99
TA20	82,51	0,83	0,17	16,50
TA30	76,22	0,76	0,15	22,87
TA40	70,82	0,71	0,14	28,33
TA50	66,14	0,66	0,13	33,07

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Birim hacim ağırlık ve ultrases geçiş hızı değerleri

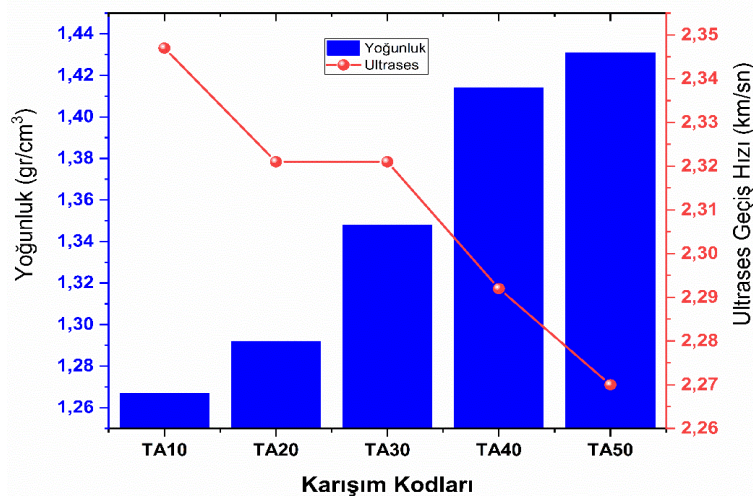
Birim hacim ağırlık deneyi (TS EN 1015-10, 2001)'e, Ultrases geçiş hızı deneyi (ASTM C 597 1997)'e göre yapılmıştır. Yapılan deney sonucu elde edilen veriler Şekil 5'de verilmiştir.

Şekil 5'de verilen birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde atık tuğla tozunun artmasıyla birim hacim ağırlık değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Meydana gelen artış başlangıç numunesine göre yaklaşık %2 ile %12 arasında değişmektedir.

Polat vd. (2021) ve Kolak vd. (2021) yaptıkları çalışmalarında hematit ve atık malzemeler katkılı polimerlerde dolgu malzemesi oranının artmasıyla birim hacim ağırlık değerlerinde artış olduğunu

belirtmişlerdir. Bu durum üretilen polimer betonlarda polimer miktarının sabit tutulup, atık tuğla tozunun eklenmesinden kaynaklanmakta ve beklenen bir durum olarak gözlemlenmiştir.

Ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde atık tuğla tozunun artmasıyla ultrases geçiş hızı değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Literatürde benzer sonuçlar bildirilmiştir (Kolak vd., 2023). En yüksek ultrases geçiş hızı değerleri TA10 kodlu numuneden elde edilirken, en düşük değerler TA50 kodlu numuneden elde edilmiştir. Meydana gelen azalma miktarı yaklaşık olarak, %1,1 ile %3,3 arasında değişmektedir. Ultrases geçiş hızında meydana gelen azalma polyester miktarının sabit tutulup, dolgu miktarının artmasından kaynaklanmaktadır. Literatürde benzer sonuçlar bildirilmiştir (Topsakal vd., 2018; Soykan vd., 2012).



Şekil 5. Birim hacim ağırlık ve ultrases geçiş hızı değerleri

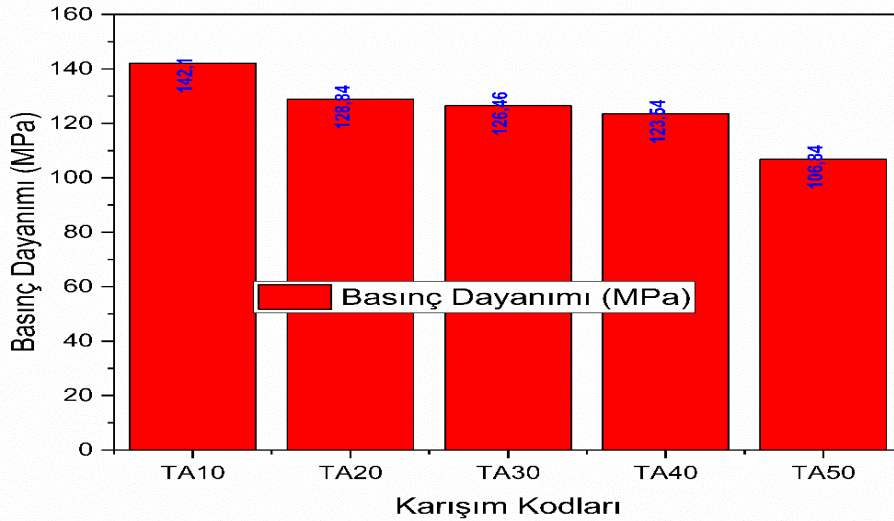
Figure 5. Unit volume weight and ultrasound transition rate values

4.2. Basınç dayanımı değerleri

Basınç dayanımı deneyi (TS EN 12390, 2010)'a göre yapılmıştır. 28 gün hava ortamında kür edildikten sonra numuneler üzerinde yapılan deney sonucu elde edilen basınç dayanımı değerleri Şekil 6'da basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki Şekil 7'de gösterilmiştir.

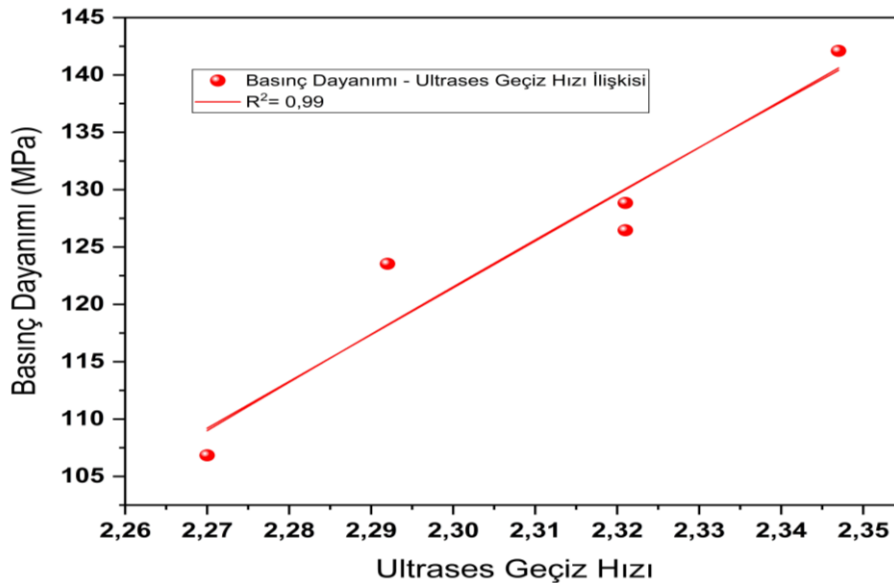
Basınç dayanımı deney sonuçları incelendiğinde en yüksek basınç dayanımı değerleri TA10 kodlu numuneden elde edilirken, en düşük değerler TA50 kodlu numuneden elde edilmiştir. Literatür incelenmesinde Polat vd. (2020); Özel vd.

(2016)'a göre gaz beton atıkları ve barit minerali kullanarak ürettikleri polimer betonlarda gaz beton ve barit oranının artmasıyla basınç dayanımı değerlerinde azalma olduğunu belirtmişlerdir. Tuyam (2019)'a göre çimento yerine %30'dan fazla atık tuğla tozu kullanımı karışımların basınç dayanımını ciddi oranda düşürdüğü belirlenmiştir. Literatüre benzer olarak atık tuğla tozu katkılı polimer betonların basınç dayanımı değerleri incelendiğinde atık tuğla tozu oranının artmasıyla basınç dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Meydana gelen azalma başlangıç numunesine (TA10) sırasıyla %9,3, %11, %13,1 ve %24,8 oranında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6. Basınç dayanımı değerleri

Figure 6. Compressive strength value



Şekil 7. Basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi

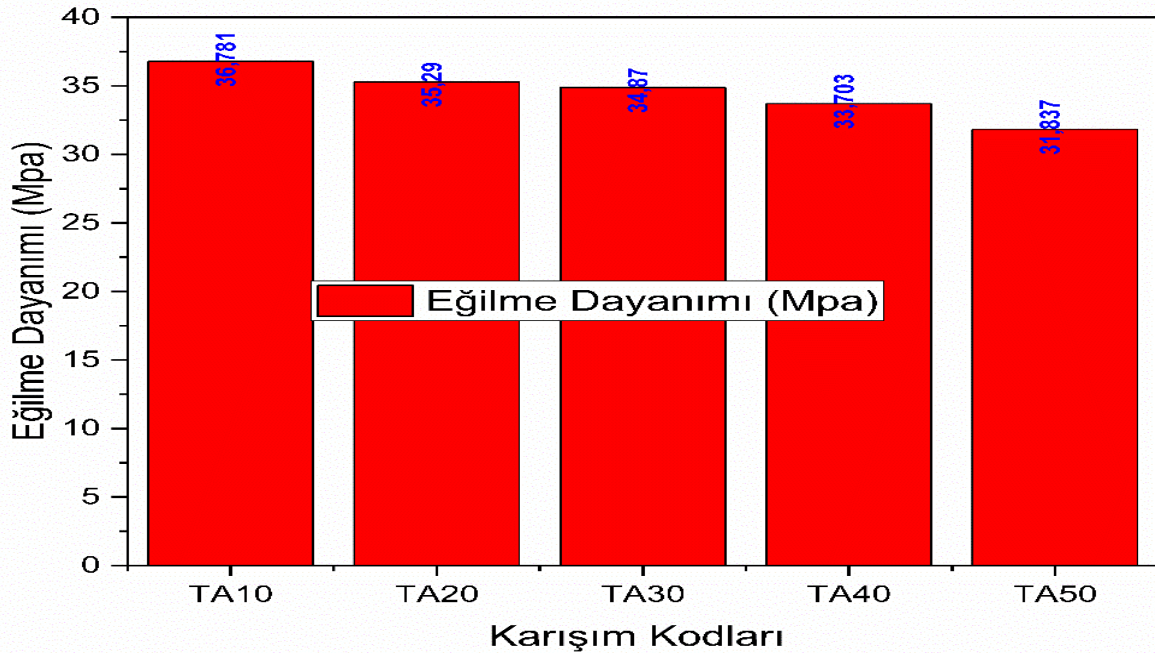
Figure 7. Relationship between compressive strength and ultrasound transient velocity

Meydana gelen bu değişmeler başlangıç numunesine göre yaklaşık olarak %9,1 ile %24,8 arasında değişmektedir. Basınç dayanımı değerlerinde atık tuğla tozu oranının artmasıyla azalma meydana gelse de yüksek oranda atık malzemenin polimer betonda kullanılması ekonomik açıdan fayda sağlayacağı ve çevre kirliliğinin önlenmesi açısından önemli olduğu belirlenmiştir. Şekil 7’de gösterilen basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki incelendiğinde aralarında yüksek korelasyon

değeri ($R^2= 0.99$) olduğu belirlenmiştir. Literatürde benzer sonuçlar olduğu yapılan çeşitli çalışmalarla bildirilmiştir (Kolak vd., 2023; Özel vd., 2017).

4.3. Eğilme dayanımı değerleri

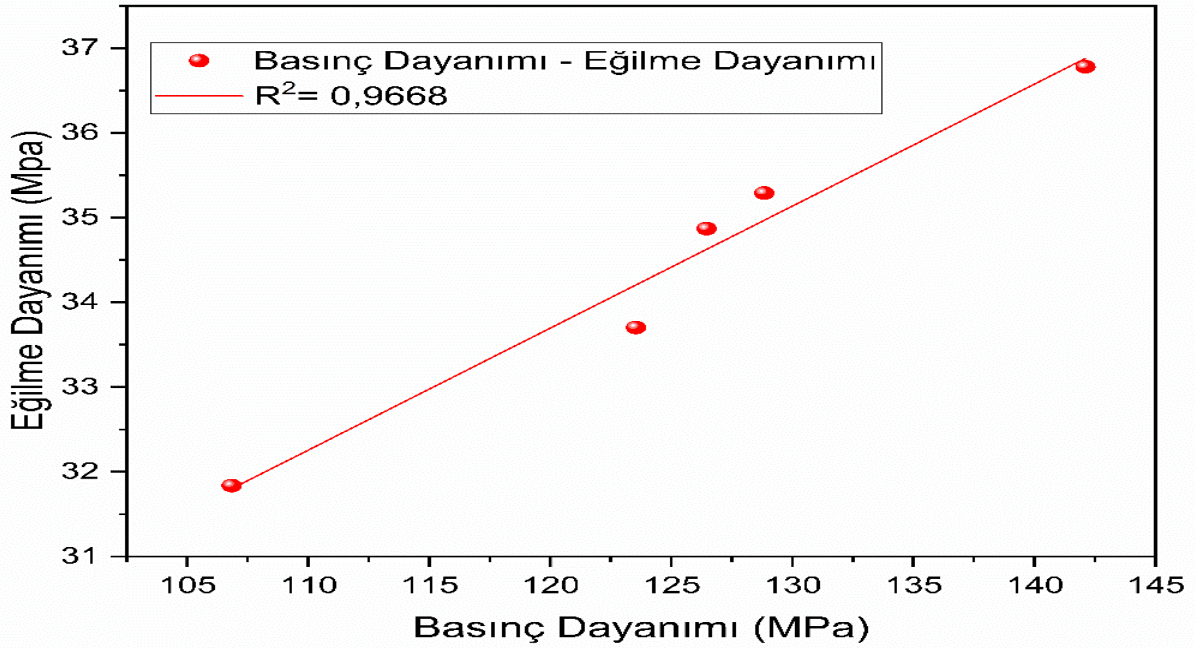
Eğilme dayanımı tayini (TS EN 12390-5,2010)’a göre yapılmıştır. Yapılan eğilme dayanımı sonucu elde edilen veriler Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Eğilme dayanımı değerleri
Figure 8. Flexural strength values

Şekil 6’da verilen eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde basınç dayanımına benzer bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek eğilme dayanımı değerleri TA10 kodlu numuneden elde edilirken en düşük değerler TA50 kodlu numunelerden elde edilmiştir. Topsakal vd. (2013)’a göre polimer betonlarda faz malzeme oranının artmasıyla eğilme dayanımı değerlerinde, faz malzemesiz numunelere göre %11-%58 oranında azalma meydana gelmiştir.

Açıkgenç vd. (2012)’e göre kontrol numunesine göre atık tuğla tozu %20 oranında kadar eğilme dayanımı olumsuz etkilediğini belirlemiştir. Literatüre benzer olarak, TA10 kodlu numune ile karşılaştırıldığında sırasıyla diğer serilerde %4,1, %5,2, %8,4 ve %13,4 oranında azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca Şekil 9’da eğilme dayanımı ve basınç dayanımı ilişkisi verilmiş olup, aralarında yüksek korelasyon değeri ($R^2= 0,9668$) olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9. Eğilme dayanımı ve basınç dayanımı ilişkisi

Figure 9. Bending strength and compressive strength relationship

5. Sonuç ve Öneriler

Atık tuğla tozunun polimer betonların mekanik dayanımları üzerindeki etkisinin incelendiği bu çalışmada, ilerde yapılacak olan atık malzemelerin değerlendirilmesiyle ilgili çalışmalara ışık tutacaktır. Yukarıda yapılan incelemeler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Birim hacim ağırlık değerleri incelediğinde atık tuğla tozunun artmasıyla birim hacim ağırlık değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Meydana gelen artış başlangıç numunesine göre yaklaşık %2 ile %12 arasında değişmektedir. Bu durum üretilen polimer betonlarda polimer miktarının sabit tutulup, atık tuğla tozunun eklenmesinden kaynaklanmakta ve beklenen bir durum olarak gözlemlenmiştir.
- En yüksek ultrases geçiş hızı değerleri TA10 kodlu numuneden elde edilirken, en düşük değerler TA50 kodlu numuneden elde edilmiştir. Meydana gelen azalma miktarı yaklaşık olarak %1,1 ile %3,3 arasında

değişmektedir. Atık tuğla tozu oranının artmasıyla basınç dayanımı değerlerinde değişimler gözlemlenmiştir. Meydana gelen azalma başlangıç numunesine (TA10) sırasıyla %9,3, %11, %13,1 ve %24,8 oranında olduğu belirlenmiştir. Basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı değerleri aralarında yüksek korelasyon değeri ($R^2= 0,99$) olduğu belirlenmiştir.

- Eğilme dayanımı ve basınç dayanımı ilişkisi incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri arasında yüksek korelasyon katsayısı; ($R^2= 0,9668$) olarak elde edilmiştir. Eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde basınç dayanımına benzer bir değişim gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek eğilme dayanımı değerleri TA10 kodlu numuneden elde edilirken en düşük değerler TA50 kodlu numunelerden elde edilmiştir. İlerde farklı yazarlar tarafından yapılacak olan çalışmalar için, farklı katkı türü ve farklı oranlarda katkı kullanılarak çalışmaların yapılması ile polimer betonların özelliklerinin saptanması tavsiye edilebilir.

Yazar Katkısı

H. POLAT: Proje yönetimi, Yazma-inceleme ve Düzeltme, Metodoloji; **İ.ÜSTÜN:** Proje yönetimi; Yazma-inceleme, ; **A. ŞAFAK:** Araştırma, Yazma-inceleme; **A.N. ÇAKILCIOĞLU:** Araştırma, Yazma – İnceleme, Metodoloji

Teşekkür

1919B012113794 numaralı projemizi destekleyen TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığına (BİDEB) katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Açıkgenç, M., Karataş, M., Ulucan, Z.Ç. (2013). Elâzığ yöresine ait atık tuğla ve kireç taşı tozunun kendiliğinden yerleşen harcın mühendislik özelliklerine etkisi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 19(6), 249-255. <https://doi.org/10.5505/pajes.2013.24633>
- ASTM C 597.1979. Standard test method for pulse velocity through concrete. Annual book of ASTM standards, Pennsylvania. USA.
- Bayraktar, O.Y. (2018). Sürdürülebilir bir materyal olarak tuğla tozunun potansiyel kullanımı, *SETSCI Conference Indexing System*, Volume 3(2018), 1314-1322
- Bruni, C., Forcellese, A., Gabrielli, F., Simoncini, M. (2008). Hard turning of an alloy steel on a machine tool with a polymer concrete bed. *Journal of materials processing technology*, 202(1-3), 493-499. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.10.031>
- Dalkılıç, S. (2014). Tuğla tozu katkılı harçlarda donatı korozyonunun araştırılması, Yüksek Lisans Tezi; *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Devlet Planlama Teşkilatı (DPT). (2001). Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri I (Alçı-Kireç-Kum Çakıl-Mıcır- Boya Toprakları-Tuğla-Kiremit.) Çalışma Grubu Raporu, DPT: 2615, OİK: 626, s: 84-97, Ankara.
- Devlet Planlama Teşkilatı (DPT). (1993). Sanayi ve Çevre. Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisasa Komisyonu Raporu. ISBN. 975-19-0713-6, Ankara, 24-29.
- EN 1015-10. 2001. Kâgir Harcı-Deney Metotları Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlelerinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü; Ankara.
- EN 12390-3. 2010. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımını Tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- Kara, C., Kütük-Sert, T., Kütük, S. (2020). Öğütülmüş kolemanit içeren betonlarda sodyum klorür etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 499-510. [DOI: 10.35414/akufemubid.652511](https://doi.org/10.35414/akufemubid.652511)
- Kaynak, H. (1999). Tuğla ve gaz betonun mühendislik özellikleri, Ülke ekonomisindeki yeri, hammadde potansiyelleri, avantaj ve dezavantajları, Yüksek Lisans Tezi, *Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Kırgız, M.S. (2007). Mermer ve tuğla endüstrisi atıklarının çimento üretiminde mineralojik katkı olarak kullanılması, Doktora tezi, gazi üniversitesi fen bilimleri enstitüsü yapı eğitimi anabilim dalı, Ankara.
- Kolak, M.N., Oltulu, M. (2021). Atık malzeme içeren polimer bazlı kompozitlerin ısıl iletkenlik özelliklerinin incelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 310-320. <https://doi.org/10.29137/umagd.822265>
- Kolak, M.N., Oltulu, M. (2023). Effect of expanded perlite addition on the thermal conductivity and mechanical properties of bio-composites with hemp-filled. *Journal of Building Engineering*, 71, 106515. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106515>
- Korkmaz, S. (2010). Bazı yapay puzolanların harçların basınç dayanımlarına ve alkali silika reaksiyonu üzerine etkileri; Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*; Ankara.
- Kutuk, S., Kutuk-Sert, T. (2020). An examination of nanoparticle colemanite mineral added warm mix asphalt, *Construction and Building Materials*, 243, 118252. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118252>
- Kütük, T., Kara, C., Kütük, S. (2020). Öğütülmüş kolemanit minerali ikameli beton yollardaki aşınma kaybının araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(2), 287-295. [doi: 10.35414/akufemubid.652511](https://doi.org/10.35414/akufemubid.652511)
- Mascarenhas-Mateus, J., Castro, C. (2018). The Portland cement industry and reinforced concrete in Portugal (1860–1945). In Building Knowledge, *Constructing Histories*, volume 2 (pp. 903-912). CRC Press.

- Orak, S. (2000). Investigation of vibration damping on polymer concrete with polyester resin. *Cement and concrete research*, 30(2), 171-174. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00225-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00225-2)
- Özel, C., İren, B. (2016). Polimer betonlarda gaz beton atıklarının kullanılabilirliğinin araştırılması, *Sdu teknik bilimler dergisi*, 6(2), 28-38.
- Özel, C., Ünal, B. (2017). Renklendirici katkıların polimer betonun mekanik özelliklerine etkisi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 9(3), 89-98.
- Özgan, E., Yıldız, K. (2009). Krom magnezit tuğla tozunun portland çimentosunun priz başlama ve bitiş sürelerine etkisinin bulanık mantıkla tahmini, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(2), 257-264.
- Polat, H. (2018). Farklı çimento tipinin silindire sıkıştırılmış betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması. *Bilecik Şeyh Edebali üniversitesi fen bilimleri dergisi*, 5(2), 75-81.
- Polat, H., Demirel, B., Kolak, M.N. Oltulu, M. (2020). Polimer betonlarda barit minerali kullanımının araştırılması, *Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 1(1), 25-32.
- Polat, H., Özel, C. (2012). TS EN 206-1'e göre Tasarlanan ve Zararlı Kimyasal Ortamlara Maruz Kalacak Betonların Basınç Dayanımının Bulanık Mantık Yöntemiyle Tahmini. *Electronic Journal of Construction Technologies/Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1).
- Polat, H., Yurtcan, U.E., Kolak, M.N. (2014). Atık bordür taşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *Tr. Doğa ve Fen Derg. – Tr. J. Nature Sci.* 2014 Vol. 3 No. 2
- Ribeiro, M.C.S., Tavares, C.M.L., Ferreira, A.J.M. (2002). Chemical resistance of epoxy and polyester polymer concrete to acids and salts. *Journal of Polymer Engineering*, 22(1), 27-44. <https://doi.org/10.1515/POLYENG.2002.22.1.27>
- Soykan, O., Özel, C. (2012). Mermer Tozu Tane Boyutunun Polimer Beton Özelliklerine Etkisi, *International Construction Congress-ICOCC2012*. October 11, 13.
- Şimşek, O., Çiftçi, M.M. (2006). Tuğla Ununun Çimentoda Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği. *Politeknik Dergisi*, 9(4), 325-329.
- Topsakal, A., Özel, C. (2018). Lif takviyeli polimer kompozit malzemelerde lif türü ve oranının fiziksel ve mekanik özelliklere etkisi. *El-Cezeri*, 5(1), 107-116. <https://doi.org/10.31202/ecjse.365820>
- Topsakal, A., Özel, C. (2013). Faz malzeme oranının polimer beton özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9(1), 16-28.
- Toufigh, V., Hosseinali, M., Shirkhorshidi, S.M. (2016). Experimental study and constitutive modeling of polymer concrete's behavior in compression. *Construction and Building Materials*, 112, 183-190. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.100>
- TS EN 1097-6, 2013. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 51 s., Ankara.
- TS EN 12390-5. 2010. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- Tuyam, M. (2019). Atık tuğla tozunun mineral katkı olarak kullanımının kendiliğinden yerleşen betonun taze hal, mekanik ve durabilite özelliklerine etkisi. *Süleyman Demirel üniversitesi fen bilimleri enstitüsü dergisi*, 23(2), 540-548.
- Vipulanandan C, Paul, E. (1993). Characterization of polyester polymer and polymer concrete. *J Mater CivEng.* 5(1), 62-82. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)08991561\(1993\)5:1\(6\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)08991561(1993)5:1(6))
- Yadollahi, M.M., Varolgüneş, S. (2018). Polipropilen liflerin perlit esaslı geopolimerlerin mekanik davranışına etkisi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*. 7(2), 36-41.