



Atık Taşıt Lastik Çelik Lifinin Beton Davranışına Etkisi

*Effect of Waste Vehicle Tire Steel Fiber on Concrete Behavior*Ersin AYHAN^{1*}, Murat DOĞRUYOL², Fırat KIPÇAK³, Abdulhalim KARAŞIN⁴¹Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Phd, ersinayhan@siirt.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-2108-0199²Siirt Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, mdogruyol@siirt.edu.tr, Orcid No: 0000-0003-0406-7854³Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, İnşaat Bölümü, firatkipcak@yyu.edu.tr, Orcid No: 0000-0003-3849-7545⁴Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, karasin@dicle.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-8802-0588

MAKALE BİLGİLERİ

ÖZ

Makale Geçmişi:

Geliş 14.04.2024
Revizyon 09.06.2024
Kabul 24.06.2024
Online 30.06.2024

Anahtar Kelimeler:

Atık Taşıt Çelik Lifi, Ultrases Darbe Hızı, Geri Dönüşüm, Çelik Lifi Beton, Basınç ve Eğilme Testi

Sürdürülebilirlik kavramı Dünyada ve insan hayatında önemli bir yer teşkil etmektedir. Teknolojinin ilerlemesi ile farklı sektörler çözümler geliştirerek insana yatırım adı ile hayatın zorluklarını kolaylaştırmaya çalışmaktadır. Taşıtlar da bu söylemi doğrulayan etmenlerden birisidir. Dünyanın artan nüfusu karşısında ortaya çıkan taşıt arzı bu sayının çoğalmasına sebep olmaktadır. Böylece artan taşıt sayısına bağlı olarak servis ömrünü tamamlayan atık taşıt lastikleri de ortaya çıkmaktadır. Atıkların düzgün ve akıllı yöntemler ile bertaraf edilmemesi hem ekonomik hem de çevresel zorlukları beraberinde getirmektedir. Bu zorlukların yenilmesi bağlamında gelişen teknoloji bir takım çareleri beraberinde getirmiştir. Atık taşıt lastiklerinin akıllı yöntemlerle bertaraf edilmesine ilişkin enerji üretimi, hammadde sağlama, dönüştürme gibi bir takım uygulamalar bulunmaktadır. Cesaret verici uygulamalar bilim insanlarının daha çok dikkatini çekerek onları, atık lastiklerinin bazı türevlerinin inşaat sektörünün en çok talep gören malzemesi olan betonda kullanımına yönelik çalışmalara itmiştir. Bu türevlerden biri olan atık lastik çelik lifi ile ilgili birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Ancak yapılan araştırmalar çelik lifin betonda kullanımına yönelik daha çok çalışma yapılması ve bu yönde bilgi alınması gerektiğini göstermektedir. Bu bakımdan çalışma kapsamında atık çelik lifler kullanılarak literatürün zenginleşmesi ve neden sonuç ilişkisi ile sonuçların irdelenerek tartışılması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında 150×300 mm ebatlarında silindirik ve 150×150×600 ebatlarında kiriş numuneler üretilmiştir. Çelik lifler betonda hacimce %0.4 ve %0.8 oranlarında agrega yerine ikame olarak kullanılmıştır. Basınç, Eğilme, Ultrases Darbe Hızı deneyleri yapılarak sonuçlar tartışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda %0,4 ve %0,8 atık lastik çelik lif katkısının betonun basınç dayanımını sırasıyla %23 ve %15 oranında azalttığı, eğilme dayanımını ise sırasıyla %5 ve %16 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, beton basıncı ile ultrases dalga hızları arasında paralel bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 14 April 2024
Received in revised form 09 June 2024
Accepted 24 June 2024
Available online 30 June 2024

Keywords:

Waste Vehicle Steel Fiber,
Ultrasonic Pulse Velocity,
Recycling, Steel Fiber Concrete,
Compression and Flexural Testing

Doi: 10.24012/dumf.1468070

* Sorumlu Yazar

Sustainability is an important issue in the world and in human life. With the advancement of technology, different sectors are trying to facilitate the difficulties of life by developing solutions under the name of investing in people. Vehicles are also one of the factors that confirm this discourse. The resulting vehicle supply in the face of the increasing population of the world causes this number to multiply. Thus, depending on the increasing number of vehicles, waste vehicle tires that have completed their service life also appear. Failure to dispose of waste with proper and intelligent methods brings with it both economic and environmental difficulties. In order to overcome these difficulties, the developing technology has brought with it several remedies. There are many applications such as energy production, raw material supply, and conversion to dispose of waste vehicle tires by intelligent methods. Encouraging applications have attracted more attention of scientists, and studies have been conducted to use some of the waste tires in concrete, which is the most in-demand material in the construction industry. A lot of scientific studies have been conducted related to waste tire steel fiber, one of these derivatives. However, the research conducted shows that more studies should be done on the use of steel fiber in concrete and information should be obtained in this direction. In this regard, it is aimed to enrich the literature by using waste steel fibers within the scope of the study and to discuss the cause-and-effect relationship and the results by examining them. Within the scope of experimental studies, 150×300 mm cylinder and 150×150×600 beam samples were produced. Steel fibers at the rates of 0.4% and 0.8% by volume were used instead of fine aggregate in concrete. The results of Compression, Flexural and Ultrasonic Pulse Velocity experiments were examined and discussed. As a result of the experimental studies, it was determined that 0.4% and 0.8% waste tire steel fiber additives decreased the compressive strength of concrete by 23% and 15%, respectively. On the other hand, the 0.4% and 0.8% waste tire steel fiber additives increased the flexural strength by 5% and 16%, respectively. Also, it is noted that a parallel relationship exists between concrete strength and ultrasonic wave velocities.

Giriş

Dünyada üretilen yaklaşık 1,5 milyar taşıt lastiği servis ömrünü tamamladığında er ya da geç atık durumuna dönüşeceğinden Avrupa Birliği tarafından da imhası yasak olan bu atıkların geri dönüşümüne değerlendirilmesi gerekmektedir [1]. Atık birikimi konusunda herhangi bir önlem alınmaması durumunda bu atıklar çevresel konularda tehlikeli boyutlara ulaşacaktır [2]. Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmayı amaçlayan çabalar, yerel çevre kirliliğine sebep olan yeni atık malzemelerin değerlendirilmesine odaklanmaktadır [3]. İmhası çevresel ve ekonomik bakımdan önemli bir sorun olan atık lastik üretimi, her sene yaklaşık olarak 4 milyar ton olup hem bertaraf edilmesi zordur hem de çevre kirliliğine neden olması bakımından önemle dikkate alınmalıdır [4]. Bu bakımdan atık lastiklerden elde edilebilen yan ürünlerden özellikle kauçuk kırıntı ve tozları ile çelik liflerinin değerlendirilmesi büyük bir önem kazanmaktadır. Dolayısıyla sürdürülebilirliği sağlamak açısından günümüzde yapılan yakıt üretimi, doğrudan kullanma, piroliz işlemi ile başka ürünlerin elde edilmesi gibi birçok uygulama yapılmaktadır. Atık taşıt lastiklerinin geri dönüşümüne kazandırılması sanayi sektöründe gelişmiş Dünyadaki bütün devletler nezdinde hem ekonomik olarak hem de çevresel olarak büyük öneme sahip olan ve çözüme kavuşturulması gereken bir problemdir [5]. Lastiğin doğrudan yakıt olarak kullanılması teknik bakımdan mümkün olsa da ekonomik olmayacağı bilinmelidir [6]. Küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini yaşadığımız bu dönemde fosil yakıt tüketiminin azaltılması ve böylece bu olumsuz etkileri hafifletmek bakımından malzemelerde geri dönüşüm önleminin alınması etkili yollardan birisidir [7]. Bu bakımdan lastiğin en ideal şekilde geri dönüşümünün hem ekonomik katkı yapması hem de çevresel bakımdan zarar vermesini önleme gereği duyulmaktadır. Bahsi geçen bu gereksinim üzerine ortaya çıkan çözümlerden biri de atık araç lastiği içerisinde yer alan çelik liflerin betonda kullanılması üzerine olmuştur. Çünkü çelik lifler betonun gevrek kırılma davranışını sünek davranışa dönüştürerek betonun mekanik dayanımı üzerinde olumlu etkiye sahip olmasını sağlamaktadır [8]. Fiber takviyeli güçlendirilmiş kompozit malzemelerin kullanımı son zamanlarda giderek artmıştır [9]. Yarı gevrek özellikteki yapıya sahip olan beton heterojen yapıdaki çatlaklara, hata ve düzensizliklere sahiptir [10]. Çelik lifin beton içerisine rastgele dağılımının sağlanması sonrası böylece beton özellikleri üzerinde iyileştirici etkiye sahip olmaktadır [11]. İnşaat sektörü yalnızca Türkiye’de değil aynı zamanda Dünyada da ekonomik bakımdan büyüme ve sosyal açıdan kalkınma da önemli bir unsurdur ve bu unsuru oluşturan temel taşlardan birisi de sektördeki birçok faydası nedeniyle en çok kullanılan beton malzemesidir [12]. İnşaat sektörünün önemli temsilcileri olan mühendisler ve mimarlar gün geçtikçe artan sürdürülebilirlik ilkesi ve kalkınmaya olan ilgi karşısında malzeme seçiminden, performans ve maliyet konularına kadar birçok parametrede daha ilgili olmaya başlamıştır [13]. Betonun tüm Dünyada kolay erişilebilir, kullanımının ve üretiminin kolay olması, yüksek dayanıklılık özelliklerine sahip ve ekonomik olması onu

daha popüler hale getirmekte ve ilerleyen teknolojiler sayesinde betonun mekanik özelliklerini iyileştirme çabalarında önemli gelişmeleri de beraberinde getirmektedir [14]. Beton Dünyada en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir [15] ve üretiminden kaynaklanan karbondioksit emisyonunun yaklaşık %5 ile %7 arasındaki orandan sorumludur [16]. Çelik lifin beton içerisinde kullanımının iyileştirici etkileri ve agrega, çimento ihtiyacını azaltacağı hususu göz önüne alındığında, yüksek karbon ayak izi konusunda hafifletici önlemlere sebep olacağı da aşikârdır [17]. Enerji ve hammadde ihtiyacı inşaat sektöründeki gelişmelere bağlı olarak giderek artış göstermektedir [18]. Betonun ana hammaddelerinden biri olan agregaların temini gün geçtikçe giderek zorlaşmakta ve teminindeki zorluklar enerji tüketimini artırmaktadır. Bu zorluklar betonda ikame malzeme bulma ihtiyacını doğurmuştur. Renk ile hiçbir alakası olmayan yeşil betonun ikame malzemeler kullanılarak üretilmesi, enerji ihtiyacının azalması ile daha ucuz beton kavramına ışık tutarak çevreci bir yaklaşıma da sahip olmuştur [19]. Çelik lifin betona ikamesi üzerine yapılan çalışmalar literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Kimi yapılan bazı çalışmalarda endüstriyel sanayi tipi çelik lifler çalışılmış iken [6],[14],[20]-[23] kimileri de atık lastiklerden elde edilen çelik lifler üzerine çalışma yapmıştır [24]-[28]. İkisini mukayese etmek bakımından 2 farklı çelik lif katkılı beton üretilerek yapılan çalışma da olmuştur [29],[30]. Literatürden çalışmaları konusunda birkaç örnek verilecek olursa; Aiello vd. (2009), aşınmış lastiklerden mekanik olarak çıkarılan geri dönüştürülmüş çelik lifler ile eklenen betonun mekanik davranışını araştırmak için İtalya'daki Salento Üniversitesi'nde bir araştırma yürütmüştür. Kritik lif uzunluğunu belirlemek ve beton-lif bağının özelliklerini değerlendirmek için ilk olarak çekme testlerini gerçekleştirilmişlerdir. RSFRC'nin çatlama sonrası davranışı eğilme testi ile incelenmiş ve betonun basınç dayanımı, eklenen çelik liflerin farklı hacim oranları için değerlendirilmiştir. Karşılaştırma amacıyla, endüstriyel çelik liflerle güçlendirilmiş numuneler de incelenmiştir. Geri dönüştürülmüş çelik lifler ve beton arasındaki ilişkinin iyi olduğu belirlenmiştir; ancak, liflerin varlığının, düzensiz geometrik yönlerine rağmen, betonun basınç dayanımı üzerinde bir etkisi olmadığı görülmüştür [31].

Shahjalal vd. (2021), çalışmalarında geri dönüştürülmüş iri agrega, kırıntı kauçuk ve polipropilen fiberin Fiber Takviyeli Kauçuklaştırılmış Geri Dönüştürülmüş Betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki birleşik etkisini araştırmaktadır. Ayrıca, betonarme fiber takviyeli kauçuklaştırılmış geri dönüştürülmüş beton kırıntıların eğilme tepkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalarının sonuçları, kırıntı kauçuk ve polipropilen elyafın eklenmesinin ardından betonun kısa ve uzun vadeli mekanik özelliklerinde bir iyileşme olduğunu göstermektedir. 30 geri dönüştürülmüş kaba agrega, %5 kırıntı kauçuk ve %0,5 polipropilen lif içeren beton kırıntıların eğilme kapasitesi, sünekliği ve tokluğunda iyileşme göstermiştir [32].

Aksoylu vd. (2022) çalışmalarında atık lastiklerden elde edilen geri dönüştürülmüş çelik teller ile geleneksel

betonarme kirişin özelliklerini araştırmaktır. Betonarme kirişe ağırlıkça %1 ile %3 oranında geri dönüştürülmüş çelik teller ilave edilmiştir. Toplamda 9 küp, 12 silindir ve 12 betonarme kiriş dökülerek test edilerek sırasıyla basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımları elde edilmiştir. Betona %1, %2 ve %3 oranında eklenen geri dönüştürülmüş çelik tellerin, referans betona kıyasla basınç ve yarma çekme dayanımını artırdığı tespit edilmiştir. Etriye aralığının yüksek olduğu (27 cm) numunelerdeki lif içeriğinin etkisinin kiriş davranışını iyileştirmede önemli fayda sağlamış olduğu anlaşılrsa da, etriye aralığının azaldıkça (20 cm ve 16 cm) liflerin etkisinin daha sınırlı kalmış olduğunu tespit etmişlerdir [33].

Görüldüğü üzere literatürde çelik lif katkılı betonun mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılması bakımından birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonuçları deney şartları, malzeme oranları, numune boyut ve şartlarına göre değişkenlik göstermiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ile literatürde birebir olmasa da benzer yapılan çalışmalar konusunda bir genelleme yapılabilir. Çelik lif katkısının özellikle basınç dayanımına etkisi konusunda daha fazla çalışma yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu durum geri dönüştürülebilir malzemeler üzerine çalışmaların genişletilerek devam edilmesi konusunda güven ve fikir vermektedir. Makale kapsamında atık taşıt lastik çelik lif katkılı betonun mekanik özelliklerinden elde edilen sonuçlar ile literatür çalışmalarından elde edilen sonuçların mukayese edilerek çalışmaların zenginliğini ve güvenilirliğini desteklemek ve farklı ikame oranları kullanılarak sonuçların irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında 150×300 mm ebatlarında silindir ve 150×150×600 ebatlarında kiriş numuneler üretilmiştir. Çelik lifler betona hacimce %0.4 ve %0.8 oranlarında agrega yerine ikame olarak kullanılmış ve aynı zamanda kıyaslama amacı ile kontrol numuneler de üretilmiştir. Silindir numunelerinin su tutma kapasitesini tespit etmek üzere yüzey kuru ve kuru haldeki ağırlıkları tespit edilmiştir ayrıca basınç mukavemet testine tabi tutulmadan önce de numunelerin ultrases dalga hızı testleri yapılmıştır. Ardından silindir numunelere basınç testleri ve kiriş numunelere ise eğilme testleri uygulanmış ve sonuçlar irdelenip tartışılmıştır. Kullanılan atık çelik lifler ağır vasıta lastiklerinden elde edilen çelik lifler olup, çelik liflerden kaynaklı mekanik test sonuçlarının elde edilmesi dışında su tutma kapasiteleri ile işlenebilirlikleri arasındaki ilişki, ile ultrases dalga hızları ile mekanik dayanım arasındaki ilişkiyi anlamak bakımından literatüre bu yönlerden katkı sağlamak da amaçlanmıştır.

Materyal

Çimento

Deneyisel çalışmada CEM I 42.5 N tipi Portland çimentosu kullanılmıştır.

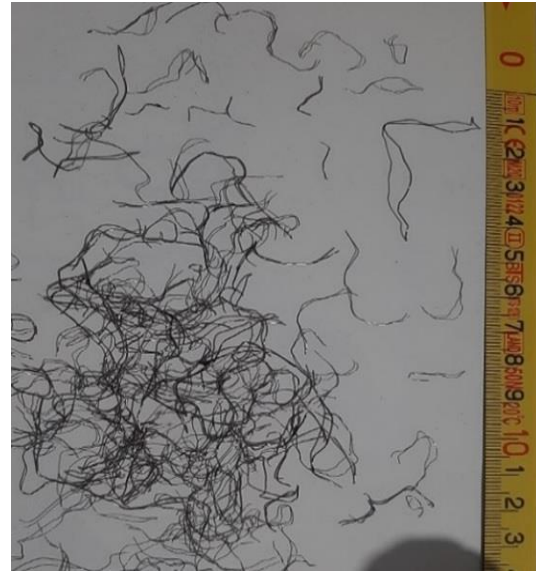
Agregalar

Agrega olarak 0-4 mm, 4-11.20 mm ve 11.20-22.40 mm aralığındaki malzemeler kullanılmıştır. İnce agregadan oluşan kumun yoğunluğu 2.62 gr/cm³, orta agreganın 2.69 gr/cm³ ve iri agreganın 2.72 gr/cm³tür. Agregalar doğal

dere agregalarından oluşmaktadır. Beton karışımları TS802 [34] (beton karışım tasarım hesap esasları) standardına göre yapılmıştır. Çalışma kapsamında atık çelik lif katkılı beton üretildiği için TS10514 [35] (lif katkılı betonların karışım oranları ve imalatı) standardı kapsamında seçilen lif içeriğine göre en büyük agrega çapının 22.40 mm olmasına dikkat edilmiştir.

Atık Çelik Lif

Ağır vasıta taşıt atık lastiklerinden mekanik yöntemlerle ayrılan çelik liflerin çapları elektronik kumpas yardımıyla yapılan ölçümlerle belirlendi. Buna göre farklı çaplarda tespit edilen iki grup çelik liflerin uzunlukları mekanik parçalanma nedeniyle değiştiğinden uzunlukları ölçüm aralıkları olarak verilmiştir. Uzunlukları çaplarına bölünerek narinlikleri belirlenmiştir. Çelik liflerin görüntüsü Şekil 1'de ve fiziksel özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Çelik Lifler

Şekil 1'de de görüleceği üzere çelik lifler kıvrımlı bir yapıya sahip olup değişen boylarda ve çaplarda bulunmaktadır.

Tablo 1. Çelik liflerin fiziksel özellikleri

Çelik Lif Grubu	Çapları mm	Uzunluk mm	Narinlik	Ağırlıkça Oranı %
1.Grup	0.11	25-55	227-500	%61
2.Grup	0.29	35-50	120-172	%39

Süper Akışkanlaştırıcı

Chryso Delta Super Akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Katkı 1 m³ beton için 6 kg olarak ayarlanmıştır.

Su ve Çimento Oranı

Su/Çimento oranı 0.50 olarak alınmıştır. Maksimum agrega çapı 22.4 mm olan karışımlarda TS 10514 standardı [35] su/çimento oranını 0.35-0.50 olarak önermiştir. 1 m³ beton için su 175 kg ve çimento ise 350 kg olarak sabit bırakılmıştır.

Beton Karışım Oranı

Deney karışımları biri şahit beton için olmak üzere toplamda 3 ayrı gruptan oluşmaktadır. Atık araç lastik çeliği (ALÇ) katkılı toplam 2 adet deney grubu bulunmaktadır. Çelik lifler beton hacminin %0.4 ve %0.8 oranlarında agrega yerine ikame olarak kullanılmıştır.

Numunelere ait harç laboratuvarında TS EN 206+A2 [36] standardına uygun şekilde hazırlanmış, beton karışımlarına katkı ilavesi yapılırken TS10514 standardında [35] yer alan karıştırma yöntemlerinden faydalanılarak üretim yapılmıştır. Çelik liflerden kaynaklı topaklanmayı önlemek için karıştırıcıya lifler dağıtılabilecek yeterli dönme hızı ile en son eklenmiştir. Tüm liflerin karıştırıcıya atılması ile en az dakikada 40 devirde karışım istenilen seviyeye gelinceye kadar karıştırılmıştır. Lif ile üretilen karışımlarda ilk önce ıslak karışım lifsiz hazırlanmıştır. Betonun nihai çökme değerinin 25 mm ile 76 mm arasında olmasına özen gösterilmiştir.

Deney numunelerinin uygun ölçüdeki silindir ve kiriş kalıplarına alınması, uygun sıcaklık şartlarında 28 gün kür havuzunda bekletilmesi ve kalıptan çıkarılması ve deneye hazır hale getirilmesi işlemleri TS EN 12390-1 standardına [37] göre yapılmıştır. Silindir numuneler 3 ayrı deney grubu için toplam 9 adet olarak Ø15/300 mm kalıplarda ve kiriş numuneler de 3 adet deney grubu için toplam 9 ad olarak 150×150×600 mm kalıplarda alınmıştır.

Literatür araştırmalarından çalışmalarda farklı agrega ikame oranlarının kullanıldığı tespit edilmiştir. Çelik lif katkısı olarak hacimce %0, %0.25, %0.5 ve %1 [38], %0.5, %1.0 ve %1.5 [39], %1 ve %5 [40], %0.25, %0.50 ve %0.75 [41], %1 [42], %0.2 [43], %0.2, %0.35, %0.5 ve %0.8 [44] gibi farklı hacim oranları kullanarak yapılan çalışmalar olmuştur.

Çalışma kapsamında karışım oranlarında ALÇ betona hacimce %0.4 ve %0.8 oranlarında agrega yerine ikame olarak eklenmiştir. Geri kalan tüm karışımlar sabit tutulmuştur.

Metod



Şekil 2. Kiriş ve Silindir Numuneler ile UPV testi

Basınç Dayanımı

150×300 mm ebatlarında kontrol ve ince agrega yerine hacimce %0.4, %0.8 oranında ALÇ ikame edilerek üretilen silindir numuneler TS EN 12390-2 e uygun [45] şekilde 28 günlük kür işleminden sonra TS EN 12390-3 e uygun [46] şekilde basınç testine tabi tutulmuştur.

Ultrases Darbe Hızı Testi (UPV)

Silindir numuneler basınç testine tutulmadan önce tahribatsız test yöntemlerinden biri olan ve Pundit+Lab Ultrasonik Dalga Hızı Test Cihazı ile TS EN 12504-4 [47] ve ASTM C-597-02 [48] standartlarında silindir numunelere dalga hızı testi uygulanmıştır.

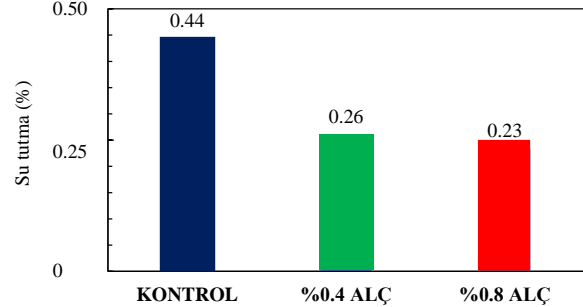
Eğilme Dayanımı

15×15×60 cm ebatlarında kontrol ve %0.4, %0.8 ALÇ katkılı üretilen kiriş numuneler TS EN 12390-2 e uygun [45] şekilde 28 günlük kür işleminden sonra TS EN 12390-5 e uygun [49] şekilde 3 noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur.

Bulgular

Silindir Numune Gruplarının Su Tutma Kabiliyetleri

Her numune grubuna ait kür havuzundan çıkarılan silindir numunelerinin yüzey kuru hale getirilmesi sonrası yaş ağırlıkları ve sonrasında 24 saat 105 °C de etüv şartlarında tutularak kuru hale getirilen numunelerin ağırlıklarının hesaplanması sonrasında oluşan ağırlık kayıpları yüzdelik olarak Şekil 3'te sunulmuştur.

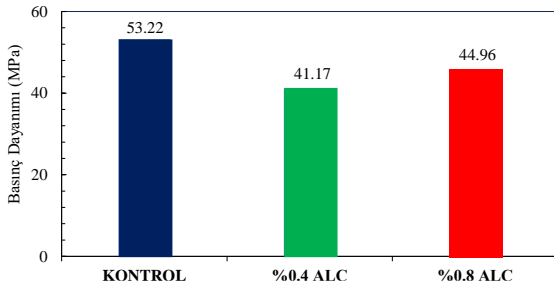


Şekil 3. Silindir Numune Grupları Yaş Kuru Ağırlık Ortalama Fark Yüzdeleri (%)

Çıkan sonuçlar numuneler çelik lif oranının artması ile numunelerin su tutma kabiliyetlerinde azalma olduğu göstermiştir. Bu durum, çelik lif oranının artması ile slump değerlerinde meydana gelen azalmalar ile bir ilişkisi olduğunu göstermektedir.

Basınç Dayanımı

Bazı literatür çalışmalarında çelik lif katkılı betonlarda mekanik basınç artışı olduğu ifade edilmiş iken [11],[50],[51], bazılarında basınca bir etkisinin olmadığı ifade edilmiştir [52]-[55]. Yapılmış olan bu çalışmalara karşın bazı çalışmalar da çelik lifli betona ilişkin çalışmaların, çelik lif etkisinin daha iyi anlaşılması bakımından devam etmesini savunmaktadır [56],[57]. Ayrıca bimsbeton bloklarında da endüstriyel tip çelik lif katkılı çalışma da yapılmış olup mekanik basınç dayanımını artırdığı tespit edilmiştir [58].

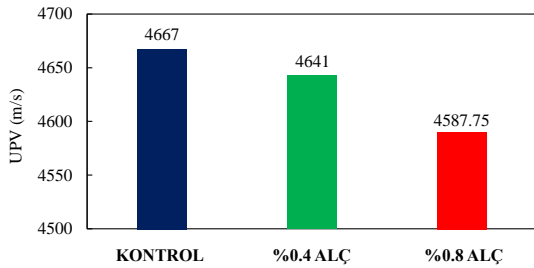


Şekil 4. Ortalama Silindir Basınç Dayanımları (MPa)

Bu çalışmada, Şekil 4'te görüleceği üzere 28 günlük ALÇ ikamesiz kontrol numunelere ait ortalama basınç değeri, ALÇ ikameli olan numunelerden fazla çıkmış olup %0.8 ALÇ ikameli gruba ait basınç ortalaması %0.4 ALÇ ikameli olandan yüksek çıkmıştır.

Ultrases Dalga Hızı Testi UPV

Test programının ilk aşamasında numuneler üzerinde tahribatsız ultrasonik darbe hızı (UPV) testleri gerçekleştirilmiştir. Ultrases deneyi, numunelere ultrason dalgaları göndererek ve numune içindeki dalgaların hızını ölçerek numunelerin mukavemetini tahmin etmek için kullanılır. Bu yöntem, numune içindeki çatlakları, boşlukları ve diğer yapısal özellikleri tespit ederek numunenin mukavemetini belirlemeye yardımcı olur. Doğrudan UPV testi, ASTM C597'ye göre karışım başına üç silindir üzerinde gerçekleştirilmiştir. UPV testi uygulaması, numunelerin pürüzsüz karşılıklı yüzeylerinde gerçekleştirilmiştir. Sensörler paralel ve aynı yönde olmalıdır. Ölçüm yüzeylerindeki tozlar jel ile temizlenmiştir. Etkili sonuçlar elde etmek için, sensör ve numune arasındaki boşlukları kapatmak için jel kullanılmıştır. Numuneler test edilmeden önce, test için hazırlanan numunelerin yerleştirildiği yüzeyin uygun olmasına dikkat edilmiştir. Deneylerde standartlarına uygun Proceq marka Pundit Lab cihazı kullanılmıştır. Dalga geçiş hızları, her bir numuneden üç farklı yerden ölçülen değerlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. [59],[60].

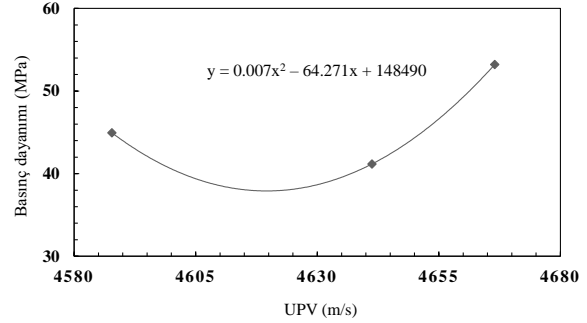


Şekil 5. UPV Değerleri

Şekilde 5'te görüldüğü gibi 3 ayrı deney grubu için tespit edilen ortalama değerler dikkate alındığında numunelere ait UPV değerleri ile silindir basınç değerleri arasında orantılı bir ilişki olduğu, UPV değerlerindeki artışa karşılık basınç değerlerinde de artış olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla UPV değeri arttıkça basınç dayanımı da artmaktadır [61],[62]. En yüksek dalga hızı kontrol numunesinde ölçülmüştür, en düşük dalga hızı %0.4 çelik lif içeren numunesinde ölçülmüştür. Çelik lif ikamesi arttıkça ses iletim hızı artmış olup %0.8 çelik lif

içerikli numunenin ortalama dalga hızının %0.4 çelik lif içerikli olandan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Silindir basınç değerleri ile UPV değerleri arasındaki ilişkide basınç ve UPV eksenlerinin bir araya getirilmesi ile oluşturulan parabolik bir eğri denklemi Şekil 6'da verilmiştir.

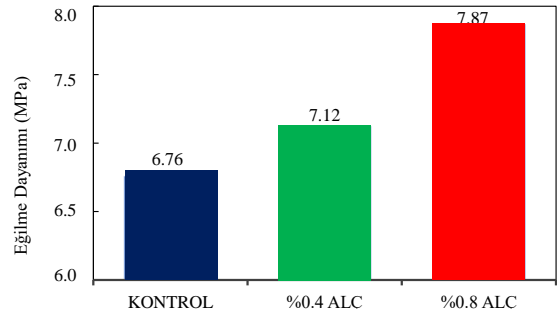


Şekil 6. Basınç Değerleri ile UPV korelasyonu

Şekil 6'da verilen grafik UPV değerlerindeki değişim ile basınç dayanımları arasındaki değişimi anlamlandırmak ve yorumlamak bakımından kayda değer bir sonuç vermiş olmak ile beraber tahmin yöntemlerinde de kullanılabilirliğinin olduğu görülmüştür [60].

Eğilme Dayanımı

Yapılan literatür araştırmalarının çoğu çelik lif katkılı betonların eğilme dayanımının yükseldiğini, gevrek betona sünek davranış özelliğini kazandırdığını göstermektedir [11], [50]-[53], [55].



Şekil 7. 28 Günlük Eğilme Dayanımları (MPa)

Şekil 7'de Kiriş numunelerine ait 28 günlük numune sonuçlarında ALÇ miktarının arttıkça eğilme dayanımı üzerinde pozitif yönde bir katkı sağladığı anlaşılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, atık taşıt lastik çeliğinin eğilme dayanımına bariz bir şekilde olumlu katkıda bulunduğu ancak basınç dayanımı üzerinde olumlu katkısının olmadığı anlaşılmıştır.

Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada atık araç lastik çelik lifleri, üretilen betonda ince agrega yerine betona hacimce ikame edilerek betonun basınç ve eğilme dayanımı performansları araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar şu sonuçları ortaya koymuştur;

□ Deneysel çalışmalarda çelik lif kullanımının beton karışımında ekstra su ihtiyacına neden olduğu dolayısıyla çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkının kullanımının doğru bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Silindir numunelerine ait yaş ve kuru ağırlıkları

arasındaki farkların yüzdelik değişimleri de atık lastik çelik lif ikameli numunelerde çelik miktarı artıkaça su tutma kabiliyetinde azalmaların olduğunu göstermiştir.

□ %0.4 ve %0.8 atık lastik çelik lif katkısının betonun basınç dayanımını sırasıyla %23 ve %15 oranlarında azalttığı, eğilme dayanımını ise sırasıyla %5 ve %16 oranlarında artırmış olduğu tespit edilmiştir.

□ Atık Taşıt Lastik Çeliğinin betonda kullanımındaki en büyük zorluklardan birisi içeriğindeki lif oranının artması ile topaklanma riskinin artması ve bu durumun homojen karışım elde etme hususunda önemli bir zorluk olduğu görülmüştür. Ancak çalışmada da anlatılan karıştırma yöntemi sayesinde bu zorluk önemli bir derecede minimize edilebilir.

□ Betona çelik lif katılması ile basınç dayanımında bir artış olmamıştır ancak buna karşılık ortaya çıkan mekanik sonuçlar dikkate alındığında çelik lif belli oranlarda tatmin edici mekanik değerler ile kullanılabilir. Ancak deneysel çalışmalar göstermiştir ki çelik lif katkılı betonda daha sünek davranışlar ortaya çıkarak eğilme dayanımında belirgin bir artışa neden olmuştur.

□ Ultrasonik darbe hızı UPV ile basınç dayanımı arasında anlamlı bir ilişki olduğu anlaşılmış olmak ile beraber tahribatsız bir yöntem olması bakımından betonun mekanik davranışlarına ilişkin ön bilgi alınması noktasında hızlı ve verimli bir test işlemi olarak dikkate alınabilir.

□ Çelik lifin betonda kullanımına ilişkin literatürde yapılan çalışmalardan lif katkılı betonlarda basınç dayanımına ilişkin farklı sonuçlar ortaya çıkmış olsa da eğilme dayanımı üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu da lif katkılı betonların sünek davranış sergileyerek çekme dayanımları karşısında betonun çatlama direncinde önemli bir katkıya sahip olduğu göstermiştir.

□ Atık Taşıt Lastik Çeliğinin betonda ikame olarak kullanılabilmesi ve daha homojen karışımın sağlanması durumunda basınç dayanımında önemli bir düşüşe sebep olmayacağı buna karşılık eğilme dayanımında ise belirgin artış sağladığı tespit edilmiştir. Çevresel etkilerin göz önünde bulundurulması durumunda gelecekte uygun ihtiyaçlar doğrultusunda yeşil beton anlayışı ile kullanım alanlarının genişletilmesinde fayda vardır.

□ Literatür çalışmalarından elde sonuçlar incelendiğinde deney şartlarındaki, numune türleri, malzeme oranları ve malzeme türlerindeki farklılıkların deney sonuçları üzerinde etkili olduğu ve farklı sonuçların ortaya çıkabileceği anlaşılmaktadır. Lif katkısının sonuçlarının bahsedilen bu parametrelere bağlı olarak değişebileceği göz ardı edilmese de kesin bir kanaat olarak konuşmak gerekirse özellikle artık herkesçe kabul görmüş ve literatürde de pozitif sonuçlar elde edilen hususlar üzerinden daha kesin bir dil ile ifade etmek mümkündür. Örneğin lif içeriğinin artmasına bağlı olarak eğilme dayanımında meydana gelen artış literatürde fazlası ile ortak bir nokta olarak yer almaktadır. Ancak basınç dayanımı üzerine çalışmaların genişleyerek devam etmesinin faydalı olacağı anlaşılmıştır. Bu bakımdan geri

dönüşüm odaklı çalışmaların genişletilerek devam etmesinin literatüre daha çok veri akışı sağlayacağı ve geri dönüştürülmüş çevre odaklı malzeme kullanımının öneminin ve bilincinin daha da artacağı söylenebilir.

Teşekkür

“Atık Araç Lastiklerinin Geri Dönüşüm Malzemelerinin Beton Davranışına Etkisi “ adlı doktora tez çalışması kapsamında yapılan ve başvurusu kabul edilen MÜHENDİSLİK.23.006 proje numaralı Bilimsel Araştırma Projesi kapsamındaki destek için Dicle Üniversitesi BAP birimine teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynakça

- [1] Czajczyńska, D., Krzyżyńska, R., Jouhara, H., & Spencer, N. (2017). Use of pyrolytic gas from waste tire as a fuel: A review. *Energy*, 134, 1121-1131.
- [2] Siddika, A., Al Mamun, M. A., Alyousef, R., Amran, Y. M., Aslani, F., & Alabduljabbar, H. (2019). Properties and utilizations of waste tire rubber in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 224, 711-731.
- [3] Baran, Y., Gökçe, H. S., & Durmaz, M. (2020). Physical and mechanical properties of cement containing regional hazelnut shell ash wastes. *Journal of cleaner production*, 259, 120965.
- [4] Sathiskumar, C., & Karthikeyan, S. (2019). Recycling of waste tires and its energy storage application of by-products—a review. *Sustainable Materials and Technologies*, 22, e00125
- [5] Karabörk, F. Atık Taşıt Lastiklerinin Geri Kazanımında Sürdürülebilir Uygulamaların Geliştirilmesi Ve Önemi. *Türkiye'de Sıfır Atık: Tespitler, Beklentiler*, 198
- [6] Eisa, A. S., Elshazli, M. T., & Nawar, M. T. (2020). Experimental investigation on the effect of using crumb rubber and steel fibers on the structural behavior of reinforced concrete beams. *Construction and Building Materials*, 252, 119078
- [7] Mehdipour, S., Nikbin, I. M., Dezhampanah, S., Mohebbi, R., Moghadam, H., Charkhtab, S., & Moradi, A. (2020). Mechanical properties, durability and environmental evaluation of rubberized concrete incorporating steel fiber and metakaolin at elevated temperatures. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120126
- [8] Wu, Z., Shi, C., He, W., & Wu, L. (2016). Effects of steel fiber content and shape on mechanical properties of ultra high performance concrete. *Construction and building materials*, 103, 8-14.
- [9] Günaslan, S. E., Karasin, A., & Öncü, M. E. (2014). Properties of FRP materials for strengthening. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 1(9), 656-660.

- [10] S.Y.Çetin, “Kesikli granülometriye sahip betonların lineer olmayan kırılma mekaniği prensipleriyle incelenmesi/Investigation of gap-graded concrete by nonlinear fracture mechanic principles,” Ph.D. dissertation, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2015.
- [11] Mohod, M. V. (2012). Performance of steel fiber reinforced concrete. *International Journal of Engineering and Science*, 1(12), 1-4.
- [12] Lakhari, M. T., Sohu, S., Bhatti, I. A., Bhatti, N., Abbasi, S. A., & Tarique, M. (2018). Flexural performance of concrete reinforced by plastic fibers. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 8(3), 3041-3043.
- [13] Obla, K. H. (2009). What is green concrete. *The Indian Concrete Journal*, 24, 26-28.
- [14] Bedirhanoglu, I., & Ilki, A. (2018, November). Fiber reinforced cementitious composites for retrofit of reinforced concrete members-A Review. In *International workshop on advanced materials and innovative systems in structural engineering: seismic practices* (p. 122).
- [15] Karasin, A., Hadzima-Nyarko, M., Işık, E., Doğruyol, M., Karasin, I. B., & Czarniecki, S. (2022). The effect of basalt aggregates and mineral admixtures on the mechanical properties of concrete exposed to sulphate attacks. *Materials*, 15(4), 1581.
- [16] Kaplan, G., Bayraktar, O. Y., Gholampour, A., Gencil, O., Koksall, F., & Ozbakkaloglu, T. (2021). Mechanical and durability properties of steel fiber-reinforced concrete containing coarse recycled concrete aggregate. *Structural Concrete*, 22(5), 2791-2812.
- [17] Liew, K. M., & Akbar, A. (2020). The recent progress of recycled steel fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 232, 117232.
- [18] Karasin, A., & Doğruyol, M. (2014). An experimental study on strength and durability for utilization of fly ash in concrete mix. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014.
- [19] Baikerikar, A. (2014). A review on green concrete. *Journal of emerging technologies and innovative research*, 1(6), 472-474.
- [20] Bedirhanoglu, I., Ilki, A., & Kumbasar, N. (2013). Precast fiber reinforced cementitious composites for seismic retrofit of deficient RC joints—a pilot study. *Engineering Structures*, 52, 192-206.
- [21] Domski, J., Katzer, J., Zakrzewski, M., & Ponikiewski, T. (2017). Comparison of the mechanical characteristics of engineered and waste steel fiber used as reinforcement for concrete. *Journal of Cleaner Production*, 158, 18-28.
- [22] Song, P. S., & Hwang, S. (2004). Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 18(9), 669-673.
- [23] Shende, A. M., Pande, A. M., & Pathan, M. G. (2012). Experimental study on steel fiber reinforced concrete for M-40 grade. *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 1(1), 043-048.
- [24] Centonze, G., Leone, M., & Aiello, M. A. (2012). Steel fibers from waste tires as reinforcement in concrete: A mechanical characterization. *Construction and Building Materials*, 36, 46-57.
- [25] Amin, M. N., Khan, K., Nazar, S., & Deifalla, A. F. (2023). Application of waste recycle tire steel fibers as a construction material in concrete. *Reviews on Advanced Materials Science*, 62(1), 20220319.
- [26] Sengul, O. (2016). Mechanical behavior of concretes containing waste steel fibers recovered from scrap tires. *Construction and Building Materials*, 122, 649-658.
- [27] Sengul, O. (2018). Mechanical properties of slurry infiltrated fiber concrete produced with waste steel fibers. *Construction and Building Materials*, 186, 1082-1091.
- [28] Pilakoutas, K., Neocleous, K., & Tlemat, H. (2004, September). Reuse of tyre steel fibres as concrete reinforcement. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability* (Vol. 157, No. 3, pp. 131-138). Thomas Telford Ltd.
- [29] Carrillo, J., Lizarazo-Marriaga, J., & Lamus, F. (2020). Properties of steel fiber reinforced concrete using either industrial or recycled fibers from waste tires. *Fibers and Polymers*, 21, 2055-2067.
- [30] Samarakoon, S. S. M., Ruben, P., Pedersen, J. W., & Evangelista, L. (2019). Mechanical performance of concrete made of steel fibers from tire waste. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00259.
- [31] Aiello, M. A., Leuzzi, F., Centonze, G., & Maffezzoli, A. (2009). Use of steel fibres recovered from waste tyres as reinforcement in concrete: Pull-out behaviour, compressive and flexural strength. *Waste management*, 29(6), 1960-1970.
- [32] Shahjalal, M., Islam, K., Rahman, J., Ahmed, K. S., Karim, M. R., & Billah, A. M. (2021). Flexural response of fiber reinforced concrete beams with waste tires rubber and recycled aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123842.
- [33] Aksoyulu, C., Özkılıç, Y. O., Hadzima-Nyarko, M., Işık, E., & Arslan, M. H. (2022). Investigation on improvement in shear performance of reinforced-concrete beams produced with recycled steel wires from waste tires. *Sustainability*, 14(20), 13360.
- [34] TS 802, “Beton Karışım Tasarımı Hesaplama Esasları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [35] TS 10514, “Çelik Tellerin Betonda Karıştırılması ve Kontrol Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

- [36] TS EN 206+A2, “ Beton - Özellik, performans, imalat ve uygunluk ”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2021.
- [37] TS EN 12390-1, “Sertleşmiş Beton Deneyleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2021.
- [38] Dezhampannah, S., Nikbin, I., Charkhtab, S., Fakhimi, F., Bazkiaei, S. M., & Mohebbi, R. (2020). Environmental performance and durability of concrete incorporating waste tire rubber and steel fiber subjected to acid attack. *Journal of cleaner production*, 268, 122216.
- [39] Simalti, A., & Singh, A. P. (2021). Comparative study on performance of manufactured steel fiber and shredded tire recycled steel fiber reinforced self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 266, 121102.
- [40] Gul, S., & Naseer, S. (2019). Concrete containing recycled rubber steel fiber. *Procedia Structural Integrity*, 18, 101-107.
- [41] Hu, J., Han, C., Gu, J., Schossler, R. T., dos Santos Rodrigues de L, I., & Yu, X. B. (2019). *Experimental Characterization of Recycled Steel Fiber Reinforced Concrete* (No. 19-06054).
- [42] Guo, Y. C., Zhang, J. H., Chen, G., Chen, G. M., & Xie, Z. H. (2014). Fracture behaviors of a new steel fiber reinforced recycled aggregate concrete with crumb rubber. *Construction and Building Materials*, 53, 32-39.
- [43] Agrawal, D., Waghe, U. P., & Raut, S. P. (2021). Performance evaluation of rubberized concrete with the use of steel fibers. In *Advances in Civil Engineering and Infrastructural Development: Select Proceedings of ICRAICEID 2019* (pp. 709-717). Springer Singapore.
- [44] Demircilioğlu, E., Teomete, E., & Ozbulut, O. E. (2020). Strain sensitivity of steel-fiber-reinforced industrial smart concrete. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 31(1), 127-136.
- [45] TS EN 12390-2 “Beton –Sertleşmiş Beton Deneyleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,2019
- [46] TS EN 12390-3 “Beton –Sertleşmiş Beton Deneyleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,2019
- [47] TS EN 12504-4 “Beton –Sertleşmiş Beton Deneyleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,2019
- [48] ASTM C 597-02, Pulse Velocity Through Concrete. American Society for Testing and Material: West Conshohocken, PA, USA., 2003.
- [49] TS EN 12390-5 “Beton –Sertleşmiş Beton Deneyleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,2019
- [50] Li, Y., & Li, Y. (2017). Experimental study on performance of rubber particle and steel fiber composite toughening concrete. *Construction and Building Materials*, 146, 267-275.
- [51] Abbass, W., Khan, M. I., & Mourad, S. (2018). Evaluation of mechanical properties of steel fiber reinforced concrete with different strengths of concrete. *Construction and building materials*, 168, 556-569.
- [52] Papakonstantinou, C. G., & Tobolski, M. J. (2006). Use of waste tire steel beads in Portland cement concrete. *Cement and concrete research*, 36(9), 1686-1691.
- [53] Yalcin, M., Taşdemir, C., & Taşdemir, M. A. (2011). Çelik lif donatılı betonların performans sınıflarının belirlenmesi. *İTÜDERGİSİ/d*, 8(6).
- [54] Neves, R. D., & Fernandes de Almeida, J. C. O. (2005). Compressive behaviour of steel fibre reinforced concrete. *Structural concrete*, 6(1), 1-8.
- [55] Doğruyol, M., Ayhan, E., & Karaşin, A. (2024). Effect of Waste Steel Fiber Use on Concrete Behavior at High Temperature. *Case Studies in Construction Materials*, e03051.
- [56] Lee, S. C., Oh, J. H., & Cho, J. Y. (2015). Compressive behavior of fiber-reinforced concrete with end-hooked steel fibers. *Materials*, 8(4), 1442-1458.
- [57] Liew, K. M., & Akbar, A. (2020). The recent progress of recycled steel fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 232, 117232.
- [58] Isik, E., Karasin, A., & Kayan, Y. (2020). Pomzadan imal edilmiş çelik lif katkılı bimsblokların mekanik özelliklerinin araştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(2), 723-730.
- [59] Abdullah, V., Aydın, E., & Bedirhanoğlu, İ. (2017). Beton elasatisite modülünün ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(3), 475-484.
- [60] Zebari, Z., Bedirhanoğlu, İ., & Aydın, E. (2016). Beton basınç dayanımının ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(1), 43-52.
- [61] Mohana, M. H. (2020). Assessment of concrete compressive strength by ultrasonic pulse velocity test. *Iraqi Journal of Civil Engineering*, 14(1), 39-46.
- [62] Zárata, D. M., Cárdenas, F., Forero, E. F., & Peña, F. O. (2022). Strength of concrete through ultrasonic pulse velocity and uniaxial compressive strength. *International Journal of Technology*, 13(1), 103-114.