



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Bağlayıcı türünün atık çelik liflerle üretilen SIFCON kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi

Influence of binder type on the mechanical properties of SIFCON composites made with waste steel fibers

Yazar(lar) (Author(s)): Serhat ÇELİK TEN¹, Mehmet CANBAZ²

ORCID¹: 0000-0001-8154-7590

ORCID²: 0000-0002-0175-6155

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çelikten S. ve Canbaz M., “Bağlayıcı türünün atık çelik liflerle üretilen sifcon kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 25(1): 251-256, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.590777

Bağlayıcı Türünün Atık Çelik Liflerle Üretilen SIFCON Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi

Influence of Binder Type on the Mechanical Properties of SIFCON Composites Made with Waste Steel Fibers

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Atık çelik lifler ile SIFCON üretilmiştir. /SIFCON was produced with waste steel fibers.
- ❖ Bağlayıcı türünün SIFCON özelliklerini % 40'a ulaşan oranda etkilediği görülmüştür. /It has been observed that the type of binder affects the SIFCON properties up to 40%.
- ❖ Atık çelik lifi ile SIFCON üretiminde CEM I türü çimentoların kullanılması önerilir. /It is recommended to use CEM I type cements in the production of SIFCON with waste steel fiber.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Atık çelik liflerin SIFCON üretiminde değerlendirilmesi ile karbon emisyonunu azaltmanın yanı sıra daha düşük maliyetli yüksek performanslı kompozitler elde edilebilmektedir. /By utilizing waste steel fibers in SIFCON production, high performance composites with lower costs can be obtained as well as reducing carbon emission.



Şekil. SIFCON numunesi ve arayüzey kesitleri/ Figure. SIFCON specimen and interface sections

Amaç (Aim)

Atık taşıt lastiklerinden elde edilen çelik liflerin beton teknolojisinde doğrudan değerlendirilmesine yönelik alternatif bir alan oluşturulması amaçlanmıştır. /It is aimed to create an alternative field for the direct evaluation of steel fibers obtained from waste vehicle tires in concrete technology.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Atık çelik lif ve üç farklı çimento kullanılarak üretilen SIFCON numunelerin özellikleri yapılan deneyler ile belirlenmiştir. /The properties of SIFCON specimens produced using waste steel fiber and three different cements were determined as a result of the experiments.

Özgünlük (Originality)

Atık çelik liflerin SIFCON üretiminde değerlendirildiği az çalışmadan farklı olarak kullanılan bağlayıcı türleri kıyaslanmıştır. /Unlike the few studies in which waste steel fibers were utilized in SIFCON production, the types of binders used were compared.

Bulgular (Findings)

Atık çelik lifler SIFCON numunelerin özellikle eğilme dayanımlarını olumlu etkilemiştir (Waste steel fibers positively affected the flexural strength of SIFCON specimens).

Sonuç (Conclusion)

Atık çelik lifler bağlayıcılarla uyumlu şekilde SIFCON üretiminde kullanılabilceği görülmüştür. /It has been observed that waste steel fibers can be used in the production of SIFCON in harmony with binders.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Bağlayıcı Türünün Atık Çelik Liflerle Üretilen SIFCON Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Serhat ÇELİKTE¹, Mehmet CANBAZ^{2*}

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, Türkiye

²İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

(Geliş/Received : 11.07.2019 ; Kabul/Accepted : 12.12.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 02.01.2021)

ÖZ

Hurda lastikler doğada çözülemeyen atıklardandır. Her geçen gün artan araç sayısı ve buna bağlı olarak lastik üretimindeki artış ile birlikte ortaya çıkan hurda lastik miktarı da çevresel problemlere neden olmaktadır. Küresel açıdan düşünüldüğünde, geri dönüşümü sağlanmayan ve açık alanlara herhangi bir işleme tabi tutulmadan bırakılan hurda lastiklerin atık yönetimi hususu da oldukça önemli hale gelmiştir. Bu nedenle bu atıkların uygun bir şekilde ekonomiye geri kazandırılması ile ekolojik ve ekonomik fayda sağlanabilecektir. Bu çalışmada, çeşitli çevre problemlerine neden olan hurda lastiklerden geri dönüşümü sağlanan çelik lifler kullanılarak üretilen SIFCON kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine bağlayıcı türünün etkisi araştırılmıştır. SIFCON üretiminde bağlayıcı olarak kalsiyum alüminatlı çimento (CAC), CEM I 42.5R ve CEM IV/B (P) 32.5 N çimentoları ayrı ayrı kullanılmıştır. Üretilen SIFCON kompozitler üzerinde birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bağlayıcı türü, SIFCON numunelerin mekanik özelliklerinde % 40'a ulaşan oranda değişim göstermiştir. Atık çelik liflerle elde edilen SIFCON numunelerinde 41.1 MPa basınç dayanımına, 25.3 MPa eğilme dayanımına ulaşılmıştır. Elde edilen bu sonuçlar atık çelik liflerin SIFCON üretiminde değerlendirilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler Atık çelik lif, hurda lastik, SIFCON, eğilme dayanımı, basınç dayanımı.

Influence of Binder Type on the Mechanical Properties of SIFCON Composites Made With Waste Steel Fibers

ABSTRACT

Scrap tires are not biodegradable waste materials. The increase in the number of vehicles and in parallel with increased number of produced tyres are caused to environmental concerns about the increased amount of scrap tires. Waste management of the disposed scrap tires to landfills without any recovery process is become a very important ecologic topic globally. For this reason, the proper recovery of these wastes can provide economic and ecologic benefits. In this study, the influence of binder type on the mechanical properties of SIFCON composites produced with the waste steel fibres recovered from the scrap tires which cause several environmental problems. CAC, CEM I 42.5R and CEM IV/B (P) 32.5 N cements are used as binders for the production of SIFCON composites. The influence of the binder types on the unit weight, ultrasonic pulse velocity, flexural and compressive strength of the manufactured SIFCON composites are investigated. The type of binder has changed up to 40% in the mechanical properties of SIFCON. SIFCON produced with waste steel fibres reached a compressive strength of 41.1 MPa and a flexural strength of 25.3 MPa. The test results indicate that the waste steel fibres can be utilized for the production of SIFCON composites.

Keywords: Waste steel fibre, scrap tyres, SIFCON, flexural strength, compressive strength.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çimento bulamacı emdirilmiş lifli beton (SIFCON), hacimce % 5 ile % 30 arasında çelik lif içeren yüksek performanslı özel bir kompozit türüdür. SIFCON, içerisine çelik liflerin yerleştirildiği bir kalıba ince agrega ve yüksek dozajda çimento içeriğine sahip bağlayıcı şerbeti nüfuz ettirilmesi suretiyle üretilir. SIFCON'daki lif içeriği daha çok kullanılan lifin geometrisine ve SIFCON üretimi sırasında uygulanan yeterli sıkışma için gereken vibrasyon işlemine bağlıdır [1]. SIFCON, yüksek basınç, çekme ve özellikle yüksek eğilme dayanımı yanında oldukça yüksek tokluğa sahiptir. SIFCON'un bu yüksek mekanik özellikleri daha çok kullanılan lif türüne, lifin hacmine ve dağılımına;

çimento şerbetinin basınç dayanımına ve elastisite modülüne bağlıdır [2, 3]. Bununla birlikte, yüksek mekanik özelliklere sahip olan SIFCON bu özellikleri nedeniyle güçlendirme ve onarım işlerinde, dinamik yüklere maruz elemanların üretiminde, endüstriyel kaplamalarda ve askeri yapılar gibi yerlerde kullanılmaktadır [4]. SIFCON kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine mineral katkıların, kullanılan liflerin boyutlarının ve türlerinin etkileri üzerine çalışmalar yapılmıştır [5-8]. Bununla birlikte, Sudhikumar vd. (2014), yaptıkları çalışmada çelik lif içeriğinin donma-çözülme döngüsüne maruz bırakılan SIFCON malzemesinin mekanik özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. 90 adet donma-çözülme döngüsüne tabi tuttukları SIFCON numunelerdeki % 0,8 çelik lif ilavesinin bu numunelerin basınç dayanımlarını artırdığı, % 1.4 çelik fiber ilavesinin ise eğilme dayanımlarını ve

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mcanbaz@ogu.edu.tr

tokluğunu geliştirdiğini ortaya koymuşlardır [9]. Beglarigale vd., 2016, ürettikleri SIFCON numuneleri 300 °C, 600 °C, 750 °C ve 900 °C olmak üzere 4 farklı sıcaklığa maruz bırakmış, bu sıcaklıkların SIFCON kompozitlerin eğilme dayanımları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, SIFCON numunelerin eğilme dayanımında 300 °C de artışlar gözlerken, bu sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda numunelerin eğilme dayanımlarının olumsuz etkilendiğini tespit etmişlerdir [3]. Yıllık lastik üretimi 1.5 milyar civarındadır [10]. Ömrünü tamamlayan lastikler geri dönüştürülebilmekte veya doğrudan doğaya bırakılmaktadır. Doğaya terk edilen lastik oranı % 50'ye ulaşmaktadır [11]. Bu atıklar doğal ortamda çözünemediğinden çevreye ve sağlığımıza zarar vermekle beraber ekonomiye de geri kazandırılmamaktadır [12]. Atık miktarındaki artış ile birlikte ekolojiye verilen zararın artışı atık lastiklerin artık global bir probleme dönüştüğünü göstermektedir [13]. Halen ömrünü tamamlamış lastiklerin yüksek kalorileri nedeni ile alternatif yakıtlar şeklinde, lastiklerin kaplanması, asfalt üretiminde değerlendirilmektedir [14-16]. Bu atıkların büyüklüğü dikkate alındığında yapı sektöründe değerlendirildiğinde ekonomik olarak geri kazanım dışında doğaya verilen zararda azalacaktır. Ömrünü tamamlamış lastikten elde edilen kauçuk, çelik tel gibi ürünlerinin beton teknolojisinde değerlendirilmesi hem sera gazı emisyonunun azalmasına katkı sağlayacak hem de üretim için beton bileşenlerinin tüketimini azaltacaktır [17]. Ömrünü tamamlamış araç lastiklerinin kırılarak beton ve harçta değerlendirilmesine yönelik çalışmalar oldukça fazladır [18-22]. Ayrıca çelik lifler betonda çatlak kontrolü ve sünekliliğin artırılması amaçları kullanılmaktadır. Atık lastikten elde edilen çelik tellerin beton üretiminde değerlendirilmesi mekanik özelliklere katkının yanı sıra maliyetin azaltılması, çevreye verilen zararın azaltılması yönünden dikkate değerdir. Ancak bu atıkların betonda değerlendirilmesi üzerine son zamanlarda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Ömrünü tamamlamış taşıt lastiklerinden elde edilen atık çelik liflerin SIFCON üretiminde değerlendirildiği bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak farklı çimentoların SIFCON kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Mekanik özellik olarak eğilme ve basınç dayanımına etkisinin yanı sıra birim ağırlık ve ultrases geçiş hızlarına etkisi de araştırılmıştır. Ayrıca, bu atıkların beton teknolojisinde doğrudan değerlendirilmesi, toplam karbondioksit salınımının % 6'sını demir çelik üretiminden kaynaklı [23] olmasından dolayı oldukça önemlidir. Böylece sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik çalışmalara katkı sağlayan bir çalışma yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Çimento: Deneysel çalışmalarda kalsiyum alüminatlı çimento (CAC), CEM I 42,5 R ve CEM IV/B (P) 32.5N bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Bu çimentoların

kimyasal, mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Bağlayıcıların özellikleri (Properties of binders)

	CEM IV CEM ICAC			CEM IV CEM ICAC			
SiO ₂	38,0	19,2	3,60	Yoğunluk, g/cm ³	2,87	3,09	3,25
Al ₂ O ₃	9,68	4,56	39,80	Blain, cm ² /g	4450	3590	3000
Fe ₂ O ₃	2,91	3,09	17,05	Priz Başlama, dk	190	163	280
CaO	32,2	62,9	36,20	Priz Sonu, dk	270	228	295
MgO	1,64	1,88	0,65	Genleşme, mm	1	1	1
K ₂ O	1,14	0,63		Basınç Dayanımı, MPa			
Na ₂ O	1,00	0,31		6 saat			47
SO ₃	2,06	3,21	0,04	24 saat			70
Cl-	0,01	0,01	0,009	7 gün	20,1		
LOI	4,0	3,8	0,30	28 gün	38,1	52,1	

Su: Eskişehir şebeke suyu kullanılmıştır. Kullanılan suyun özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Karma suyunun özellikleri (Properties of mixing water)

	Kimyasal özellikler, mg/l			Fiziksel özellikler			
Al	0,04	Cu	0,016	Ni	5,07	İletkenlik, µS/cm	628
NO ₃	11,1	Fe	0,007	K	6,8	Sertlik, Fd ^o	30,11
NH ₄	0,06	Mn	0,015	As	1,19	pH	7,35

Atık çelik lif: Bu çalışmada kullanılan atık taşıt lastiklerinden elde edilen çelik liflerin özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Atık çelik liflerin özellikleri (Properties of waste steel fibers)

Ortalama çap, mm	0.2-0.3
Ortalama boy, mm	5-50
Ortalama birim ağırlık, g/cm ³	0.27

Kimyasal katkı: kıvamı arttırmak için Çizelge 4'te özellikleri verilen süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Çizelge 4. Kimyasal katkı özellikleri (Properties of chemical admixture)

Bileşim	Kaynama	Alkali,%	Katı madde,%	Cl-,%
polikarboksilik eter	min. 100°C	< 2	16,1-16,8	< 0,1
Görünüm	Sudaki Çözünürlük	Flaş Noktası	Özgül Ağırlık	pH
Amber renkli sıvı	çözünür	>61 °C	1,02-1,06	4-6

SIFCON üretiminde önce Çizelge 5'te verilen su-bağlayıcı oranları dikkate alınarak bağlayıcı hamur hazırlanmıştır. Hazırlanan hamurların kıvamlarını belirlemek için vizkoziteleri dikkate alınmış ve vizkozimetre aleti kullanılarak vizkoziteleri bulunmuştur. Sabit su-çimento oranında akıcı bir kıvam için CEM I ve CEM IV tipi çimento kullanılması durumunda Çizelge 5'te verilen oranda akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Ancak bu katkıların CAC tipi çimentolar ile uyum sağlamaması nedeni ile akıcı bir kıvam elde edilmesi su ilavesi ile mümkün olmuştur. Dolayısı ile su-bağlayıcı oranı CEM I ve CEM IV tipi çimentolara göre artmıştır.

Çizelge 5. Karışım oranları (Mixing ratios)

Bağlayıcı türü	Su/Bağlayıcı	Atık çelik lif/Bağlayıcı	Katkı/Bağlayıcı
CEM I	0.325	0.25	0.02
CEM IV	0.325	0.25	0.02
CAC	0.400	0.25	-

Şekil 1'de gösterilen üç gözlü her bir gözü 4x4x16 cm boyutlara sahip prizmatik kalıplar önce serbest olarak atık taşıt lastiğinden elde edilen çelik liflerle sıkıştırılmadan doldurulmuştur. Daha sonra sabit kıvamda hazırlanan çimento bulamacı bu liflerin üzerine dökülmüştür. Masa vibratörü yardımı ile sıkışma sağlanmış ve yüzeyi mala ile düzeltilmiştir.

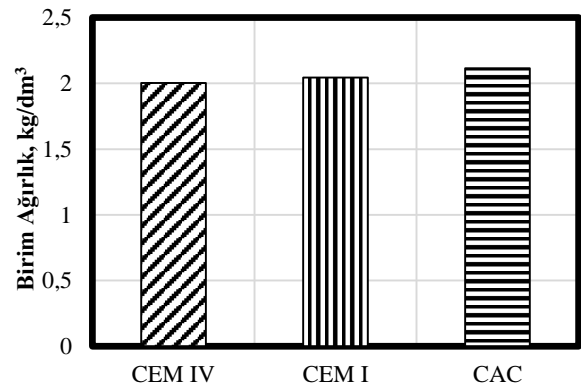
**Şekil 1.** Atık çelik lif ve prizmatik kalıplarda numunelerin görüntüleri (Waste steel fiber and views of specimens in prismatic molds)

Numuneler kalıptan 24 saat sonra çıkarılmış ve sabit sıcaklıkta kirece doymun kür havuzunda saklanmıştır. Üretim tarihinden itibaren 28 gün sonra numuneler kür havuzundan çıkarılmış 2-3 saat laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. Numunelerin boyutları, ağırlıkları ve ultrases geçiş süreleri ölçülmüştür. Daha sonra numuneler üzerinde orta noktadan yüklemeli eğilme deneyi yapılmıştır. Kırılan parçaların üzerine ve altına aynı hızda olacak şekilde 4x4 cm boyutlarında plakalar konularak basınç deneyi yapılmıştır. Her bir deney en az 3 numune üzerinde yapılmıştır. Numunelerin birim ağırlıkları, ultrases geçiş hızları, eğilme ve basınç dayanımları hesaplanmıştır. Farklı bağlayıcılarla üretilen atık taşıt lastiklerinden elde edilen çelik lifli SIFCON'un fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Şekil 2'de elde edilen numunelerin kırıldıktan sonra alınan parçaların içerisinde çelik liflerin dağılışı gösterilmiştir.

**Şekil 2.** SIFCON numunesi ve numunelerin arayüzey kesitleri (SIFCON specimen and interface sections of specimens)

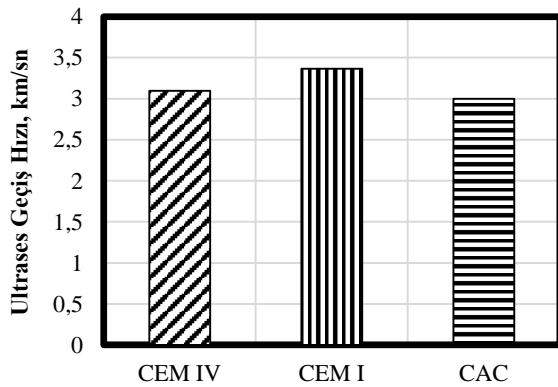
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Şekil 3'de farklı çimento ile üretilen SIFCON numunelerinin birim ağırlıkları verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde numunelerin birim ağırlıkları 2.00-2.11 kg/dm³ arasında değiştiği görülmüştür. SIFCON bağlayıcı matris ve atık çelik liften oluşan bir kompozittir. Numunelerde çelik lif miktarı değişmediği için bağlayıcı türü birim ağırlıkta etkili olmuştur. CEM I ve CEM IV tipi çimentolar kullanılan numunelerin birim ağırlıkları kayda değer oranda değişmezken, CAC ile üretilen SIFCON numunelerinin birim ağırlıkları CEM IV tipi çimento ile üretilen numunelere göre % 5.6 oranında artmıştır. Bunun nedeni çimentoların farklı hammaddelerden üretilmesi sonucu CAC yoğunluğunun CEM IV tipi çimento yoğunluğuna göre % 11.5 daha fazla olmasıdır.

**Şekil 3.** SIFCON numunelerin birim ağırlıkları (Unit weight of SIFCON specimens)

Atık taşıt lastiğinden elde edilen çelik lifler ile üretilen SIFCON numunelerin ultrases geçiş hızları Şekil 4'te verilmiştir. Bu şekil incelenirse ultrases geçiş hızlarının 3.00-3.37 km/sn aralığında değiştiği görülmüştür. SIFCON üretiminde CEM I tipi çimento kullanılması durumunda en yüksek ultrases geçiş hızlarına ulaşıldığı görülmüştür. CEM IV tipi çimento kullanılması durumunda numunelerin ultrases geçiş hızları CEM I türü bağlayıcı kullanılan numunelere göre % 8 azalmıştır. CAC kullanılması durumunda bu azalma oranı % 11'e ulaşmıştır. Bağlayıcı matrisin ultrases geçiş hızlarını

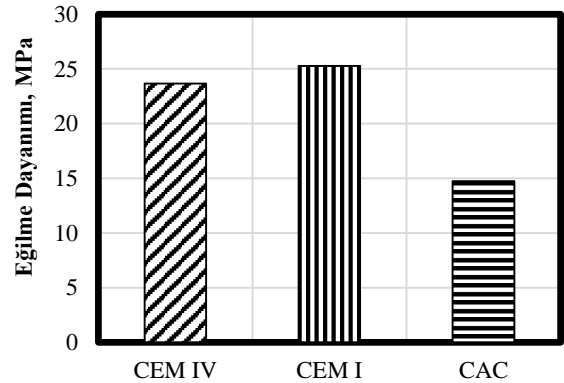
etkilediği görülmüştür. Ultrases deneyinde piezoelektrik malzemeden oluşan uç ile gelen akım mekanik titreşime dönüştürülmekte, oluşan titreşim numune içerisinde katı ortamda hareket ederken boşlukta iletilmemesinden dolayı boşluk çevresinden yayılarak diğer uca ulaşmakta ve yine bu uçtaki piezoelektrik malzeme gelen titreşimi elektrik akımına dönüştürmektedir. Akımın gönderilme ve geri alınma arasında geçen süre ölçülmekte numune boyutuna bağlı olarak hız hesaplanmaktadır. Hızın düşük olması numune iç yapısının daha boşluklu olması, yüksek olması daha yoğun olmasını göstermektedir. SIFCON üretiminde oldukça fazla miktarda çelik lif kullanılması bu tip kompozitlerde titreşimin iletilmesinde çelik liflerin çimento hamuru matrisine göre daha etkili olmasını sağlamaktadır. Ancak liflerin dağılışı ve yönelmesi kontrol edilemediğinden, dağılım düzensiz ve yönelme rastgele olmaktadır. Bu durum titreşimin iletilmesini olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca lifler bir uçtan diğer uca sürekli devam etmediğinden bu süreksizlik titreşimin çimento hamuru fazından geçişini gerektirir. Bu noktada çelik lif ve çimento hamuru arasındaki aderans önemli rol oynar. Aderansın iyi olması titreşim aktarımını olumlu etkiler ve genel olarak süreyi azaltır. İşlenebilirliği yüksek betonlarda etkili bir yerleşme ve sıkışma yapılabileceğinden aderans daha iyi olmakta ve iç yapıdaki boşluklar azalmaktadır. İşlenebilirliğin artırılması için akışkanlaştırıcı katkılardan faydalanılır. Akışkanlaştırıcıların etki mekanizması Portland çimentolarında etkili olurken kalsiyum alüminatlı çimentolarda aynı etkiyi göstermemektedir. Bu nedenle bu tip katkıları kalsiyum alüminatlı katkıları ile birlikte kullanılmamaktadır. Bu nedenle üretim sırasında yeterli yerleşme sağlanamaması sonucu oluşan boşluklar ultrases geçiş hızlarının daha az olmasına neden olmuştur.



Şekil 4. Bağlayıcı türüne göre SIFCON numunelerin ultrases geçiş hızı değişimleri (Ultrasonic pulse velocity changes of SIFCON specimens according to the binder type)

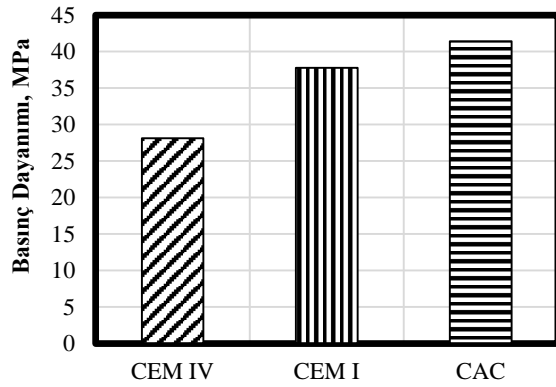
Bağlayıcı türünün SIFCON eğilme dayanımlarına etkisi Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde numunelerin

eğilme dayanımlarının 14.7-25.3 MPa arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek eğilme dayanımı CEM I türü çimento kullanılan SIFCON numunelerinde görülürken, CEM IV kullanılması durumunda eğilme dayanımları % 3.7, CAC kullanılması durumunda % 41.7 azalmıştır. Kullanılan CEM IV türü çimentonun dayanım sınıfının düşük olması eğilme dayanımının azalmasında etkili olmuştur. Ayrıca CAC kullanılan numunelerde sabit kıvam için su-bağlayıcı oranının artması ve yerleştirme sırasında meydana gelen boşluklar numune kesitinde zayıflıklar meydana getirdiğinden eğilme dayanımı düşmüştür.



Şekil 5. Bağlayıcı türüne göre SIFCON numunelerin eğilme dayanımı değişimleri (Bending strength changes of SIFCON specimens according to the binder type)

SIFCON numunelerinin basınç dayanımları Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde basınç dayanımlarının 28.1-41.4 MPa arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek basınç dayanımları CAC türü çimento kullanılan numunelerde görülürken CEM I türü çimento kullanılması durumunda basınç dayanımı % 8.8 azalırken, CEM IV türü çimento kullanılan SIFCON numunelerinde azalma oranı % 32.2'ye ulaşmıştır. CEM IV tipi çimentonun dayanım sınıfının düşük olması bu azalmada etkili rol oynadığı söylenebilir. CAC tipi çimentoların oldukça yüksek basınç dayanıma erken yaşlarda sahip olması SIFCON numunelerin basınç dayanımlarının daha yüksek değerlere ulaşmasını sağlamıştır. Ancak farklı uzunlukta yumak şeklindeki atık çelik lifin arasına çimento hamurunun yerleştirilmesindeki güçlükler ve basınç kuvveti altında liflerin yönelmesine bağlı olarak daha kolay şekil değiştirmesi ile viskoz olan hamur fazının rijitliğinin daha da azalması sonucu elde edilen basınç dayanımları harç numunelerin basınç dayanımlarına göre daha düşük değer almasına, normal Portland çimentosu için 42.5, katkı çimento için en düşük 32.5 MPa olan dayanım sınıflarını sağlayamamasına neden olmuştur.



Şekil 6. Bağlayıcı türüne göre SIFCON numunelerin basınç dayanımı değişimleri (Compressive strength changes of SIFCON specimens according to the binder type)

Atık taşı lastiklerinin imhası inşaat sektöründe, bu konuda yetkili kuruluş tarafından lastik üreticilerinden imha bedeli karşılığında çimento fabrikalarında yapılmaktadır. Atık lastikler, çimento fabrikalarında alternatif yakıt olarak kullanılabilir. Ancak lastikler yandığında havaya önemli miktarda kirletici maddeler çıkar. Ayrıca diğer yakıtlarla karbondioksit salınımı açısından karşılaştırıldığında doğalgazdan fazla ve kömüre yakın salınım yapmaktadır [24]. Sera gazı emisyonlarını azaltma çabaları dikkate alındığında atık taşı lastiklerinin doğrudan değerlendirilmesi önem kazanmaktadır [25]. Atık lastikler çeşitli yöntemlerle kauçuk, çelik tel ve topuk teli olarak ayrıştırılabilir. Kauçuk kısmı granüle hale getirilerek oyun veya spor sahalarının zeminlerinde geniş oranda doğrudan değerlendirilebilir. Topuk teli ise kesilerek ayakkabı üretiminde doğrudan değerlendirilebilir. Çelik tel parçaları ise demir-çelik endüstrisinde hurda olarak geri dönüştürülmektedir. Demir cevherleri ham madde olarak kullanılarak yüksek fırınlarda, hurda çelikleri hammadde olarak kullanılarak elektrik ark fırınlarında demir-çelik üretimleri gerçekleştirilmektedir. Dünyada demir-çelik üretiminin %75'i yüksek fırın, %25'i ise elektrik ark ocaklı yöntem ile gerçekleştirilirken, Türkiye'de bu oran %35'i yüksek fırın, %65'i ise elektrik ark ocak olarak gerçekleşmektedir. Ham çelik üretiminde ton başına, yüksek fırın kullanılması durumunda 1900 kg civarında ve elektrik ark ocağı kullanılması durumunda yaklaşık 500 kg karbondioksit salınımı olmaktadır [26]. Çelik tel parçalarının hurda olarak geri dönüşümü karbondioksit salınımını arttırmaktadır. Bu çalışmada görülmüştür ki atık çelik tellerin beton teknolojisinde çelik lif olarak doğrudan değerlendirilebilmesi mümkün olmaktadır. Böylece atık çelik tel parçalarının doğrudan değerlendirilebilmesi karbondioksit salınımını azaltmaya katkı sağlayacaktır. Ayrıca SIFCON önemli bileşenlerinden olan çelik lif yerine atık çelik tel parçalarının kullanılması durumunda, çelik lif fiyatları ve hurda çelik fiyatları dikkate alınır, SIFCON hammadde maliyeti yaklaşık %70 oranında azalacaktır.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bağlayıcı türünün ömrünü tamamlamış araba lastiğinin parçalanması ile ortaya çıkan çelik teller ile üretilen SIFCON numunelerin üzerinde yapılan deneyler sonucunda:

- Bağlayıcı türüne bağlı yoğunluk artışı, SIFCON numunelerin birim ağırlıklarının artmasına yol açmıştır.
- SIFCON numunelerin ultrases geçiş hızı değişimlerinde kullanılan liflerin dağılımının ve yönelmesinin yanı sıra bağlayıcı türünün ve su-bağlayıcı oranının da etkili olduğu görülmüştür. En düşük ultrases geçiş hızı daha yüksek su-bağlayıcı oranına sahip CAC tipi çimento kullanılan numunelerde görülürken, en yüksek ultrases geçiş hızı CEM I tipi çimento numunelerinde görülmüştür.
- Atık taşı lastiğinden elde edilen çelik liflerinin özellikle SIFCON'un eğilme dayanımlarında etkili olduğu belirlenmiştir. Üretilen SIFCON numunelerde minimum 14 MPa eğilme dayanımı değerleri elde edilirken, en yüksek eğilme dayanımı değerleri CEM I türü çimento kullanılan numunelerde elde edilmiştir. Bu numunelerin eğilme dayanımları en düşük eğilme dayanımına sahip numunelere göre %40 daha fazla olmuştur.
- Atık çelik lifin SIFCON basınç dayanımlarını, rijitliğini azaltması nedeni ile olumsuz etkilediği, en yüksek basınç dayanımının yaklaşık 41.4 MPa ile CAC türü çimento kullanılan SIFCON numunelerinde elde edilmiştir.
- Atık çelik liflerin doğrudan değerlendirilmesi, bu atıkların dönüşümü sırasında oluşan karbondioksit salınımının ortadan kalkması nedeni ile ülkemizin sera gazı salınım kotasını aşmaması için yapılan çalışmalara katkı sağlamıştır.

Bu çalışmanın sonunda atık taşı lastiklerinde bulunan çelik tellerin SIFCON üretiminde lif olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir. Atık lastiklerden elde edilen ürünlerin tekrar değerlendirilmesi açısından ekolojik ve atıkların bertaraf edilmesi yönünden ekonomik bir çalışma yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre atık taşı lastiğinden elde edilen çelik lif ile SIFCON üretiminde bağlayıcı olarak CEM I türü çimentoların kullanılması önerilir. Ancak hızlı dayanım beklenen SIFCON uygulamalarında CAC türü çimentoların kullanılması önerilir. Özellikle yüksek eğilmeye maruz elemanlarda kırılmış atık taşı lastiğinden elde edilen çelik lifli SIFCON kullanılması önerilir. Ancak atık çelik liflerin SIFCON dayanıklılık özelliklerine etkisinin incelenmesi daha sonraki çalışmalar için önerilir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Serhat ÇELİKİTEN: Bilimsel yayın araştırması, malzemelerin temini, numune üretilmesi, makalenin oluşturulmasında katkı sağlamıştır.

Mehmet CANBAZ: Tasarımın yapılması, deneylerin yapılması, deney sonuçların analiz edilmesi, makalenin genel kontrolünün yapılmasında katkı sağlamıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Lankard, D. R. “*Slurry infiltrated fiber concrete (SIFCON): properties and applications*”, MRS Online Proceedings Library Archive, 42, (1984).
- [2] Naaman, A. E., Otter, D., and Najm, H, “Elastic modulus of SIFCON in tension and compression”, *Materials Journal*, 88(6), 603-613. (1992).
- [3] Beglarigale, A., Yalçınkaya, Ç., Yiğiter, H., and Yazıcı, H, “Flexural performance of SIFCON composites subjected to high temperature”, *Construction and Building Materials*, 104, 99-108, (2016).
- [4] Schneider, B., “Development of SIFCON through Applications”, *In High Performance Fiber Reinforced Cement Composites* (pp. 177-194). RILEM, (1992).
- [5] Canbaz, M., ve Ünüvar, C., “Lif ve çimento türünün sifcon özelliklerine etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6), 400-404, (2016).
- [6] İpek, M., Canbay, M., and Yılmaz, K, “Çelik ve polipropilen liflerin yalın ve kombinasyonlu olarak kullanılmasının SIFCON'un mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1), 41-52, (2015).
- [7] Giridhar, R., Rama, P., and Rao, M., “Determination of mechanical properties of slurry infiltrated concrete (SIFCON)”, *International Journal for Technological Research in Engineering*, 2(7), 1366-68, (2015).
- [8] Sengul, O., “Mechanical properties of slurry infiltrated fiber concrete produced with waste steel fibers”, *Construction and Building Materials*, 186, 1082-1091, (2018).
- [9] Sudhikumar, G. S., Prakash, K. B., and Rao, M. S., “Effect of freezing and thawing on the strength characteristics of slurry infiltrated fibrous ferrocement using steel fibers”, *Global Journal of Research In Engineering*, 14(5), (2014).
- [10] Loloie, Z., Mozaffarian, M., Soleimani, M., and Asassian, N., “Carbonization and CO2 activation of scrap tires: Optimization of specific surface area by the Taguchi method”, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 34(2), 366-375, (2017).
- [11] Thomas, B. S., and Gupta, R. C., “A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1323-1333, (2016).
- [12] Dehghani, M., Keshggar, L., Javaheri, M. R., Derakhshan, Z., Oliveri Conti, G., Zuccarello, P., and Ferrante, M., “The effects of air pollutants on the mortality rate of lung cancer and leukemia”, *Molecular medicine reports*, 15(5), 3390-3397, (2017).
- [13] Wang, C., Tian, X., Zhao, B., Zhu, L., and Li, S., “Experimental Study on Spent FCC Catalysts for the Catalytic Cracking Process of Waste Tires”, *Processes*, 7(6), 335, (2019).
- [14] Pipilikaki, P., Katsioti, M., Papageorgiou, D., Fragoulis, D., and Chaniotakis, E., “Use of tire derived fuel in clinker burning”, *Cement and Concrete Composites*, 27(7-8), 843-847, (2005).
- [15] Gonen, T., “Freezing-thawing and impact resistance of concretes containing waste crumb rubbers”, *Construction and Building Materials*, 177, 436-442, (2018).
- [16] Farina, A., Zanetti, M. C., Santagata, E., and Blengini, G. A., “Life cycle assessment applied to bituminous mixtures containing recycled materials: Crumb rubber and reclaimed asphalt pavement”, *Resources, Conservation and Recycling*, 117, 204-212, (2017).
- [17] Mendis, A. S., Al-Deen, S., and Ashraf, M., “Effect of rubber particles on the flexural behaviour of reinforced crumbed rubber concrete beams”, *Construction and Building Materials*, 154, 644-657, (2017).
- [18] Hesami, S., Hikouei, I. S., and Emadi, S. A. A., “Mechanical behavior of self-compacting concrete pavements incorporating recycled tire rubber crumb and reinforced with polypropylene fiber”, *Journal of Cleaner Production*, 133, 228-234, (2016).
- [19] Huang, B., Li, G., Pang, S. S., and Eggers, J., “Investigation into waste tire rubber-filled concrete”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(3), 187-194, (2004).
- [20] Olivares, F. H., Barluenga, G., Bollati, M., and Witoszek, B., “Static and dynamic behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete”, *Cement and Concrete Research*, 32(10), 1587-1596, (2002).
- [21] Canbaz, M. ve Çelikten, S. “Kırılmış atık taşıt lastiklerinin SIFCON üretiminde farklı bağlayıcılarla değerlendirilmesi”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), 9-15, (2020).
- [22] Çelikten, S. ve Canbaz, M., “Yüksek sıcaklığa maruz atık çelik lif takviyeli alkali ile aktive edilmiş yüksek fırın çürüflü harçların davranışı”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(6), 1110-1116, (2020).
- [23] Eurohorizons Danışmanlık, “*Avrupa Birliği'ne Uyum Sürecinde Sektör Rehberleri: Demir-Çelik Sanayii*”, İstanbul Sanayi Odası Yayınları, ISBN: 978-605-137-163-4, Ömür Matbaacılık A.Ş., 68 s., 2012/16.
- [24] Durna, E., Koz, G. ve Genç, N., “Türkiye’de ömrünü tamamlamış lastiklerin yönetiminde en uygun bertaraf seçeneğinin prometee ve bulanık prometee yöntemi ile belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23 (4) : 915-927, (2020).
- [25] Karabörk, F., “*Atık araç tekerlek lastiklerinde mikrodalga devulkanizasyon parametrelerinin lastiğin mekanik özelliklerine etkileri*”, Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 207 s., (2012).
- [26] Bıyık, Y. ve Özkale, L., “Demir çelik endüstrisi üretim yöntemleri ile ihracat, katma değer ve karbon emisyonu azaltma politikaları arasındaki ilişki”, *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 13(13), 718-735, (2017).