

Çelik lif katkılı karo mozaik döşeme kaplama plaklarının fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Kürşat Esat ALYAMAÇ*, Ragıp İNCE

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ

Özet

Bu çalışmada, karışımında çelik lif bulunan, iki tabakalı karo mozaik döşeme kaplama plaklarının mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. 3 ve 6 cm kalınlığında imal edilen çift tabakalı karoların, alt tabakalarında; % 0, % 0.5, % 1, % 1.5, % 2, % 2.5 hacimsel oranlarında çelik lif kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı, hizmet ömrü boyunca birçok defa hesap yüklerinden daha büyük yüklere ve daha olumsuz kullanım şartlarına maruz kalan karoların, dayanım ve dayanıklılık değerlerinin, çelik lif kullanılarak artırılmak istenmesidir. Her gruptan 6 adet olmak üzere toplam 72 adet karo üretilmiştir. Üretildikten sonra, 28 gün su kürüne maruz bırakılan karoların, çalışmanın ilk bölümünde fiziksel kontrolleri yapılmış, çalışmanın ikinci bölümünde ise numunelere çeşitli deneyler uygulanmıştır. Bu deneylerle karoların dayanım ve dayanıklılık özellikleri belirlenmiştir. Kontroller ve deneyler sonucunda, çelik lif kullanımının, karoların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine olumlu etkiler yaptığı belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Çelik lif, Karo, Dayanım, Kontrol yöntemleri.

DETERMINING PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF STEEL FIBER REINFORCED MOSAIC FLOOR TILES

Abstract

The mechanical and physical characteristics of steel fiber reinforcement double-layer mosaic floor tiles have been examined in this study. Produced as 3 and 6 cm thick, double-layer tiles include steel fiber at 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% volumes in the lower layers. The aim of this study is to increase strength and durability rates of tiles which are exposed to heavier weights and more negative conditions of use than calculated during their term of service. A total of 72 tiles were produced as 6 tiles from each category. The tiles were exposed to water cure for 28 days after production and their physical examination was conducted at the first part of the study. Various tests were applied on the specimens at the second part of the study. The strength and durability characteristics of the tiles were determined with these tests. Examinations and tests have indicated that using of the steel fiber in the tiles has affirmative effect upon its mechanical and physical characteristics.

Keywords: Steel fiber, Tile, Strength, Examination methods

*Kürşat Esat ALYAMAÇ, kealyamac@firat.edu.tr

1. Giriş

Beton günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Uzun ömürlü olması, dayanıklı olması ve en önemlisi basınç dayanımının istenilen derecede yüksek olması betonun yaygın olan avantajları arasında sayılabilir. Betonun en önemli dezavantajlarından biri çekme dayanımının, basınç dayanımının yanında ihmal edilecek kadar düşük olmasıdır. Betonun çekme dayanımının artırılmak istenmesi, lifli beton çalışmalarını gündeme getirmiştir [1]. Milattan önceki yıllardan günümüze kadar kullanılmış olan, saman takviyeli kil harcı (kerpiç) ve at saçından sıva harcı da, lifli beton çalışmalarına esin kaynağı olmuştur.

Lifler çeşitli şekillerde ve boyutlarda çelik, plastik, cam ve doğal malzemelerden üretilen, uzunluğu, bükülebilirliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan malzemelerdir. Bu çalışmada, uygulamalarda en çok yer alan lif çeşitlerinden olan çelik lif kullanılmıştır. Şekil, boyut ve yüzey yapısı farklı birçok çelik lif çeşidi mevcuttur. Bu malzemelerin, üretim yöntemleri ve malzemeleri farklı olduğu için mekanik özellikleri, çekme dayanımları, aderansları, gerilme dağıtma ve enerji yutma yetenekleri farklıdır. En önemli nitelikleri, yüksek ve üniform çekme gerilmesine karşılık, düşük uzama özellikleridir. Gerilmiş kablo lifler, kesilmiş tabaka metal lifler ve çentikli lifler vardır. Betonla aderansını geliştirmek için uçları kıvrımlı, tamamen buruşuk veya sonları kancalı şekillerde tasarlanabilirler. Bunlardan başka değişik şekillere sahip lif çeşitleri de bulunmaktadır.

Bütün bu farklılıklara bağlı olarak, liflerin yük etkisi altındaki beton davranışına etkisi de oldukça farklıdır. Beton içerisinde meydana gelen gerilmeler, malzeme içerisindeki mikro çatlaklar nedeniyle düzensizdirler. Beton içerisine katılan lifler, çimento matrisini takviye ederek beton içerisinde, üzerinden gerilmelerin iletiildiği, küçük köprüler gibi davranırlar. Beton içerisinde dağılmış olan liflerin, çatlak sonlarına bitişik olmasından dolayı lifler, matristeki çatlağın yayılmasına neden olan bu gerilmeleri kendi üzerlerine alıp, çatlamamış bölgelere iletirler. Yani çelik lifler, beton matrisindeki çekme gerilmeleri nedeniyle oluşabilecek çok sayıda kılcal çatlakların oluşmasını engellerler [2].

Çelik lifli beton taşıma gücüne eriştiği halde yük taşıma özelliği vardır. Ayrıca, kesme, burulma ve yorulmaya karşı dayanımı fazladır. Bu nedenle, yüksek kiriş, betonarme silo ve deprem perdesi gibi kesme ve burulma elemanlarında kullanımı oldukça yararlıdır. Çelik lifli betonda, çatlama, dökülme, parçalanma ve dağılmalar geleneksel betona göre oldukça azdır. Basınç dayanımında da belli bir artış görülür.

Betonun önemli malzeme parametrelerinden biride kırılma enerjisidir. Çelik lifli beton, özellikle ilk kırılma yükünden sonra oldukça yüksek bir düktilite gösterir. Bu nedenle lif oranına paralel olarak kırılma enerjisinde de artış gözlenir. Çelik lifli betonların, dinamik yükleme ve şekil değiştirmelere karşıda geleneksel betona oranla üstün yanları mevcuttur [3-4].

Çelik lifli betonlarda, beton özelliklerini en çok, narinlik oranı (lif boyu/lif çapı) ve lif miktarı gibi parametreler belirler [5]. Çelik liflerin betona ilave miktarı $30-120 \text{ kg/m}^3$ aralığındadır. Beton içerisine hacimsel olarak katılma miktarı ise % 0.5-2.5 arasında olabilmektedir. Yapılan araştırmalar optimum faydanın % 1-2 oranlarında sağlanacağı yönündedir. Bu değerlerden daha az katılması, geleneksel beton özelliklerine büyük bir

olumlu geliştirme yapmayacağını göstermiştir. Daha yüksek oranlarda kullanıldığında ise geleneksel beton basınç dayanım değerinden daha düşük basınç dayanım değerleri elde edildiği görülmüştür. Buna en büyük neden ise yüksek oranda karışımda bulunan liflerin topaklaşmasıdır.

Türkiye, betonda kullanılan malzemeler ve doğal taş yönünden oldukça zengindir [6]. Mermer ve granit gibi döşeme kaplama işlerinde kullanılan doğal taşlar, Türkiye'nin birçok bölgesinde çıkarılmakta ve işlenmektedir. Bunların yanında, suni mermer ve karo çeşitleri üretilmektedir. Zengin doğal agrega ve toz malzeme ocak ve üretim tesislerine sahip Türkiye'de, renk ve boyut olarak birçok çeşit karo üretilmektedir. Özellikle dış mekânlarda kullanılan karolar, olumsuz hava şartlarına ve aşırı yüklemelere maruz kalabilmektedirler. Lif kullanımı sayesinde, karolarda çatlama, kırılma ve dökülme gibi olumsuzlukların önüne geçilecektir. Karonun yapısında daha az kılcal çatlak olacağı için dayanıklılık özelliklerinde olumlu artışlar gözlenecektir ve en önemlisi eleman kırılma yükünden sonra da deplasman yapabilme yeteneğini kaybetmemektedir. Ayrıca çeşitli çalışmalarda özel betonlarda dahi daha olumlu özellikler elde edilmesi amacıyla lif kullanılmaktadır [7-8]. Lifli beton uygulamaları, çekme ve termal gerilmelerindeki ve yorulma dayanımındaki avantajlarından dolayı özellikle saha betonları ve havaalanı inşaatlarında lifli beton kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Son zamanlarda püskürtme yöntemiyle lifli beton uygulamaları güçlendirme işlerinde de verimli bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [9-10]. Çelik lif kullanılarak, karolarında olumlu dayanım ve dayanıklılık özellikleri kazanması amaçlanmıştır.

Karolar sokaktaki kaldırımdan, okul sahalarına, hastane koridorlarından, konutlara birçok sahada yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Kullanım alanının çeşitliliği çok büyük bir finansal değer ifade etmektedir. Öyle ise bu yapı malzemelerinin kullanım ömrünün artırılması, önemli bir kazanç sağlayacaktır. Karolarda kullanılacak farklı malzemelerle özellikle atık malzemelerle karoların birim fiyatı düşürülerek ekonomi sağlamak mümkündür [11]. Bu çalışmada ise, farklı kalınlıklara sahip aynı boyuttaki karoların karışımlarında, farklı hacimsel oranlarda çelik lifler kullanılarak, kullanım ömrünün artması ve dolayısıyla ekonomik ömrünün artması amaçlanmıştır. Elde edilen karolara, farklı numune ve deney yöntemleri uygulanmış, böylece çelik lif katkılı karoların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

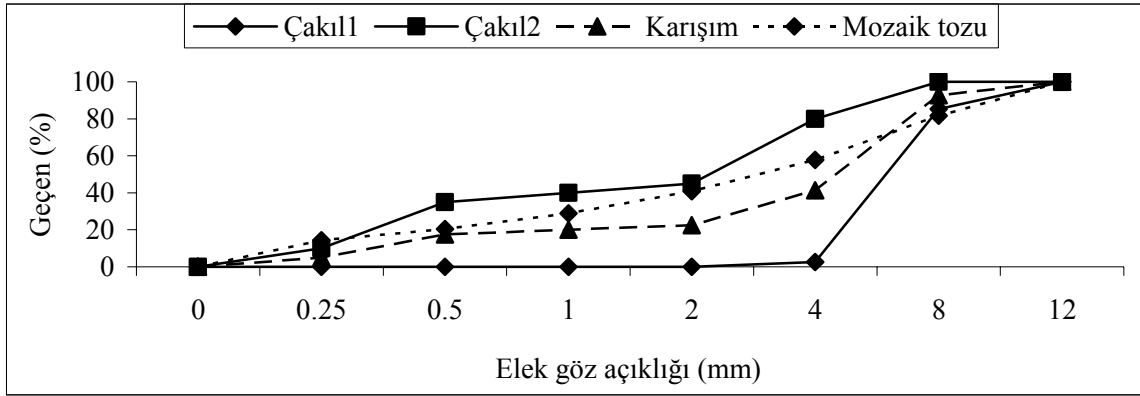
2. Malzeme ve yöntem

2.1 Malzemeler

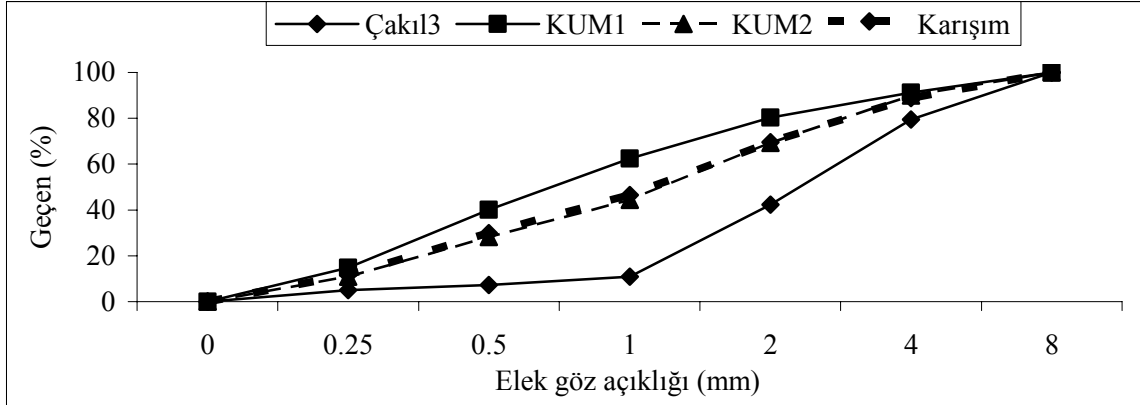
Agrega: Bu çalışmada, üretilen iki tabakalı karolarda, iki tip harç kullanılmıştır. Karonun, üst tabakasını oluşturan harçta; çakıl1 (0-12 mm), çakıl2 (0-8 mm) ve mozaik tozu (0-0.25 mm) olmak üzere 3 tip malzeme, alt tabakasını oluşturan kuru harçta ise; çakıl3 (0-8 mm), kum1 (0-8 mm) ve kum2 (0-8 mm) olmak üzere 3 tip malzeme kullanılmıştır. Üst tabaka harcında kullanılan çakıl1 ve çakıl2 malzeme açık pembe renkli mozaik taşı, alt tabaka harcında kullanılan çakıl3 malzeme ise beyaz mozaik taşıdır. Tablo 1 de agregaların ilgili standarda göre belirlenen özgül ağırlık, su emme oranı ve kil miktarı değerleri verilmiştir [12]. Şekil 1 de üst tabaka harcında kullanılan agregaların granülometrisi, Şekil 2 de ise alt tabaka harcında kullanılan agregaların granülometrisi ilgili standartlara göre belirlenerek verilmiştir [13-14].

Tablo 1. Agregaların fiziksel özellikleri.

Agrega Grubu	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Su emme oranı (%)	Kil miktarı (%)
Çakıl1 (pembe)	2.67	0.38	--
Çakıl2 (pembe)	2.65	0.41	--
Çakıl3 (beyaz)	2.65	0.37	--
Kum1	2.63	1.85	3.2
Kum2	2.62	1.72	3.6
Mozaik tozu	2.71	--	--



Şekil 1. Üst tabaka harcı agregaları ve karışım granülometrisi.



Şekil 2. Alt tabaka harcı agregaları ve karışım granülometrisi.

Çimento: İlgili standartlara uygun CEM I 42.5 N ve BPC 42.5-70 olmak üzere 2 tip çimento kullanılmıştır [15-16]. Beyaz çimento üst tabakada, diğer çimento ise alt tabakada kullanılmıştır. Üst tabakada beyaz çimento kullanımı tamamen dekoratif amaçlıdır. Üst tabaka harcına çeşitli renkte katkıları eklenerek, beyaz çimento sayesinde karolara istenilen renk verilebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan her iki çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Çimentoların özellikleri.

Özellik	CEM I 42.5 N	BPC 42.5-70	Özellik	CEM I 42.5 N	BPC 42.5-70
MgO (%)	1.71	1.2	Priz başı (dk)	155	100
SO ₃ (%)	2.87	3.7	Priz sonu (dk)	210	130
K ₂ O (%)	155	--	İncelik (cm ² /g)	3490	4500
Cl (%)	0.0044	0.0060	Genleşme (mm)	2	0.5
Ç. Kalıntı (%)	0.64	0.12	Basınç dayanımı, 3 gün	25.8	35.0
K. Kaybı (%)	3.52	3.00	7 gün	38.1	45.8
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.09	3.12	28 gün (MPa)	49.1	52.2

Lif: Bu araştırmada üretilen karolarda, TS 10513 standardına uygun, sonu kancalı, iki ucu kıvrılmış, birbirlerine tutkalla birleştirilmiş, C sınıfı, A tipi, soğuk çekilmiş çelik teller kullanılmıştır [17]. Lifli beton uygulamalarında en çok bu tür çelik lifin kullanılması bu malzemenin seçiminde etken olmuştur. Kullanılan çelik lifin, üretici firma tarafından belirlenen özellikleri Tablo 3 de sunulmuştur. Lifler karışıma hacimleri miktarında agrega (kum1-kum2) ile yer değiştirerek konulmuşlardır. Lifler, kuru karışımdaki agrega hacmi dikkate alınarak, % 0, % 0.5, % 1, % 1.5, % 2, % 2.5 hacimsel oranlarında karışıma eklenmiştir.

Çalışmalarda genellikle lif boyunu, en dar kesit, en yakın iki donatı arası mesafe, pas payı gibi parametreler belirlemektedir. Ancak karolar gibi plak elemanlarda, lifler iki yönde dağılım gösterecekleri için lif boyu-numune kalınlığı parametresi bu çalışmada dikkate alınmamıştır.

Tablo 3. Çelik lifin teknik özellikleri.

Özellik	Miktar	Özellik	Miktar
Boy (mm)	30	Elastisite modülü (GPa)	200
Çap (mm)	0.55	Çekme dayanımı (MPa)	1100
Narinlik	55	Kilogramdaki lif sayısı (adet)	16750
Özgül ağırlık (g/cm ³)	7.8	Kaplama	Yok

2.2 Yöntem

Karışımların Hazırlanması: Karolar tek ve çift tabakalı yapılabilmektedirler. Bu çalışmada çift tabakalı karo üretilmesinin temel sebebi, çelik liflerin yüzeye çıkmalarını engellemektir. Çelik liflerin yüzeye çıkması, karoların kullanımını zorlaştıracak, ayrıca lifler paslanmaya maruz kalacağından, karonun hizmet ömrü azalacaktır. Bu nedenle, çelik lifler sadece kuru harcın içine katılmış ve sadece alt tabaka lif katkılı duruma getirilmiştir. Karonun üst tabakası, çökme değeri 4-5 cm olan harçtan yapılmaktadır. Karonun alt tabakası ise kuru karışım olarak adlandırılmaktadır. Alt ve üst tabaka harçların karışım oranları Tablo 4 ve Tablo 5 de verilmiştir.

Tablo 4. Üst tabaka harcı karışım oranları (kg/m³).

Çimento	Su	Çakıl1	Çakıl2	Mozaik tozu
320	180	430	430	996

Tablo 5. Alt tabaka harcı karışım oranları (kg/m³).

Karışımlar	Çimento	Su	Çakıl3	Kum1	Kum2	Lif
CT-A	420	80	350	804	804	0
CT-B				799	798	39
CT-C				791	791	78
CT-D				785	784	117
CT-E				778	778	156
CT-F				772	771	195

Her iki karışımda da agrega doygun kuru yüzey konumdadır. Bu çalışmada kullanılan karolar, özel bir firmaya ait suni mermer ve karo fabrikasında üretilmiştir. Firmanın kullandığı karışım değerleri değiştirilmemiş, karolara sadece lif eklenmiştir. Lifler TS 10514 de belirtilen kurallar dikkate alınarak, kuru harca eklenmiştir [18]. Ancak burada harç kuru olduğu için bazı değişiklikler yapılmıştır. Bir kova içine su doldurulmuş ve birbirine yapışık lifler kovaya konulmuştur. Daha sonra kovadaki lifler karıştırılarak birbirlerinden ayrılmalari sağlanmıştır. En son olarak lifler kurutulmuş ve birbirlerinden ayrılmış olarak kuru harca belirli miktarlarda ilave edilmişlerdir.

Karolar, firmanın makinelerin de üretilmiştir. Alt ve üst tabakaların harçları 250 dm³lük mikserlerde hazırlanmıştır. 30x30 cm boyutundaki kalıpların içine ilk önce üst tabakanın harcı doldurulmuş, titreşimle sıkıştırıldıktan sonra içerisinde lif bulunan kuru harç kalıba doldurulmuştur. Kalıp tamamen harçla doldurulup, yüzeyi düzeltildikten sonra kalıp hidrolik presin altına konulup, kuru harçla diğer harcın sıkışması ve aderansı sağlanmıştır. Presten çıkarılan karo 1 gün oda şartlarında bekletildikten sonra 27 gün 23 °C sıcaklıktaki suda kür edilmiştir. Her bir karo için bu üretim şekli uygulanmıştır. Karolar yeterli dayanımı 28 günden daha erken yaşlarda kazanırlarsa, uygulamada kullanılabilirler.

Kür işleminin sonunda her bir karonun yüzeyi yine aynı firmadaki yüzey silici makinelerle silinmiştir. Yüzeyi silinerek cilalanan karolara, laboratuvar ortamında bir gün daha bekletildikten sonra kontrol ve deney işlemleri uygulanmıştır. 3 ve 6 cm kalınlığındaki karoların bütün üretim, kontrol ve deney bölümleri aynıdır. 3 ve 6 cm kalınlık değerleri karoların imalattan sonraki kalınlık değerleridir. Numuneler silindikten sonra kalınlıkları 2-4 mm civarında azalmıştır. Sonuçta yaklaşık olarak, alt ve üst tabaka hacmi eşit miktarlardadır. Sapmalar ± 2 mm civarındadır. Standartta, tek tabakalı karolar BT, çift tabakalı karolar CT olarak isimlendirilmektedir, bu nedenle ince karolar CT1, kalın karolar CT2 olarak belirtilmiştir.

Kontroller: Üretilen karolar önce kontrol edilmişler daha sonra deneye tabi tutulmuşlardır. Kontrol işlemleri; görünüş, biçim ve gönyeden sapma, yüzey düzgünlüğü, yüzey parlaklığı ve boyut kontrolüdür [19-22].

Karoların görünüş özellikleri gün ışığında belirlenmiştir. Karolar gözle kontrol edildiğinde çatlak, kırık köşe ve kenarlar, agrega tanelerinin düşmesinden dolayı veya başka nedenlerle meydana gelmiş çukur ve boşluklar bulunmadığı görülmüştür. Karoların yeterli dayanıma geldikten sonra üst yüzeyleri silinmiş ve cilalanmıştır. Bu çalışmada, karoların yüzey silinme işlemi 28. günün sonunda yapılmıştır.

Biçim ve gönyeden sapma kontrolündeki ilk şart, karoların prizma biçiminde olmasıdır. Gönye kullanılarak değerler belirlenmiş, üst yüz ile yan yüzün birbirini kestiği açılar ile yan yüzün kesişen kenarları arasındaki açılar dik açı olduğu tespit edilmiştir. Kenar uzunluğundaki sapma $\pm \% 3$ 'tür. Karoların hazırlandığı sırada, kalıplarda gönye ile kontrol edilmiştir.

Karolar kontrol edildiğinde tespit edilecek düzlemden sapma miktarı, plak anma boyutunun (kalınlığın) $\% 0.75$ 'inden fazla olmamalıdır.

Karoların yüzey parlaklığı 14 gloss'tan az olmamalıdır. Bu çalışmada yüzey parlaklığı TIME TR100 marka dijital yüzey parlaklığı ölçerle tespit edilmiştir. Değer büyüdükçe yüzey parlaklığı artmaktadır.

Boyutlar üreticinin beyanına uygun olmalıdır. Bir karonun kalınlığının herhangi iki ölçümü arasındaki fark ≤ 3 mm olmalıdır. Kalibre edilmiş olarak tanımlanan karoların kalınlık toleransı ± 1 mm olmalıdır.

Deneyleer: Üretilen karolara su emme, aşınmaya dayanıklılık, eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır [19-22].

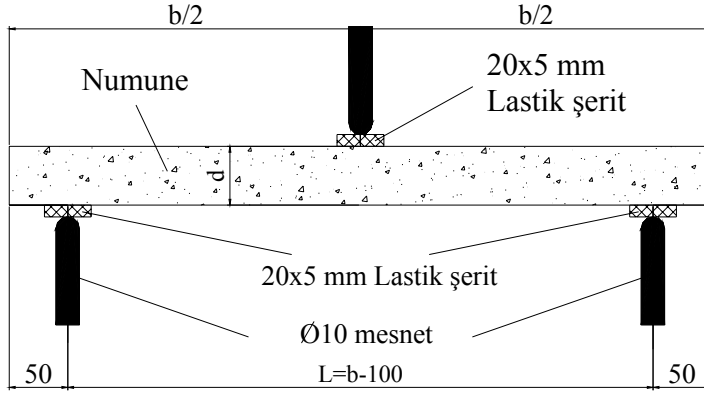
Su emme deneyinde, numuneler 110 ± 5 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa kadar kurutulmuşlardır. Daha sonra numune standarda uygun bir şekilde suya doygun hale getirilmiş ve su emme oranları yüzde olarak bulunmuştur.

Aşınma deneyi için karolardan, her birinin taban kenar uzunluğu 71 ± 1.5 mm olan kare prizma şeklinde 5 adet deney numunesi taş kesme makinesi ile ıslak kesme suretiyle hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere Böhme Aşınma deneyi uygulanmış ve aşınma değerleri hacim cinsinden hesaplanmıştır. Aşınma deneyi kesilen karo parçalarının sadece üst yüzeylerine uygulanmıştır.

Eğilmede çekme dayanımlarının belirlenmesi için karolara üç noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır. Deney düzeneği Şekil 3'deki gibi hazırlanmıştır. Deneyde, yük artış hızı kesinlikle değişmemiş ve kırılma yaklaşık 20 ± 2 saniyede meydana gelecek şekilde ayarlanmıştır.

f_e , eğilmede çekme dayanımı, P; kırılma anındaki yük (N), L; mesnet açıklığı (mm), d; kırılmış numune kırılma kesitinde 0.1 mm hassasiyetle ölçülen kalınlıkların aritmetik ortalaması (mm), b; plak genişliği (mm) olmak üzere Formül (1) ile MPa cinsinden hesaplanır.

$$f_e = \frac{3.P.L}{2.b.d^2} \quad (1)$$



Şekil 3. Eğilmede çekme dayanımı deney düzeneği.

3. Deneysel bulgular

Üretilen karolar üzerinde yapılan ilk kontrol çalışmalarının sonuçları Tablo 6 de yer almaktadır. Karolar görünüş, biçim, yüzey özellikleri ve boyutları bakımından standartlara uygundur. Bu uygunluk, karolardan sağlıklı deney sonuçları elde edilebileceği anlamına gelmektedir. Ayrıca yüzey parlaklığı değerleri yaklaşık eşit çıkmıştır. Çünkü üst tabakada kullanılan harç aynı karışıma sahiptir. Harç içeriği, harç miktarı ve yüzey silme işlemleri aynı olduğundan numuneler aynı yüzey özelliklerine sahiptir.

Tablo 6. Karo grupları kontrol sonuçları.

SERİ ADI	CT 1A	CT 1B	CT 1C	CT 1D	CT 1E	CT 1F	CT 2A	CT 2B	CT 2C	CT 2D	CT 2E	CT 2F	
Lif Miktarı (%)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	0	0.5	1	1.5	2	2.5	
Kontroller	Görünüş	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	
	Biçim ve gönyeden sapma	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	
	Yüzey düzgünlüğü	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	
	Yüzey parlaklığı (gloss)	55	56	55	55	56	55	54	55	56	55	56	55
	Boyutlar	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
Açıklama	U: UYGUN						UD: UYGUN DEĞİL						

Bu çalışmada üretilen karolar iki tabakadan oluşmaktadır. Yüzeyi silinen karolar mimari eleman olarak kullanılmaya hazırdır. Her iki tabakanın görünüşü, kesitleri ve eğilmede çekme deneyi sonucu kırılmış bir karonun görünüşü Şekil 4 de görülmektedir.



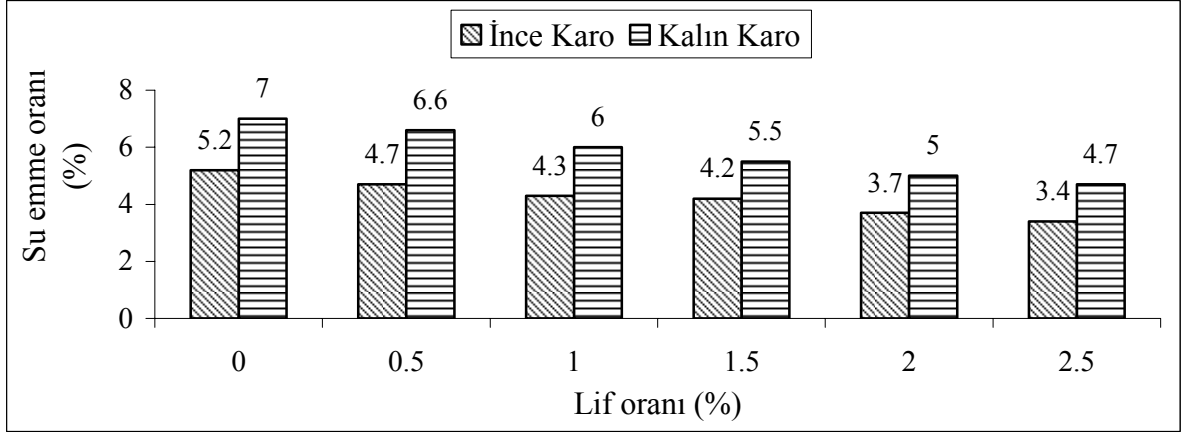
Şekil 4. Üretilen karoların genel görünüşü.

Herhangi bir betonda kullanılan liflerin, betona olumlu özellikler kazandırması için beton karışımı içerisinde topaklaşmadan yayılması gerekmektedir. Üretilen karolarda bu durumu tespit etmek amacıyla, alt tabaka 2-5 mm kalınlığında kazınmış ve lif dağılımının beton matrisi içindeki düzeni incelenmiştir. Lif oranı % 1.5 olan ince karolarda lif topaklaşması görülmemiştir (Şekil 5). Ancak özellikle lif oranı % 2.5 olan karolarda topaklaşma sınır durumdadır ve karonun kırılma davranışını olumsuz etkilemektedir.



Şekil 5. Beton içerisindeki liflerin dağılımı.

Yapılan ilk deney su emme oranının belirlenmesidir. Su emme oranı, beton bir elemanın dayanım, donatıya karşı dayanıklılık ve diğer durabilite özellikleri ile doğrudan etkilidir. Şekil 6 da görüleceği gibi lif oranı arttıkça su emme miktarı azalmıştır. Lif, karolara su emme özelliği açısından olumlu özellikler kazandırmıştır.



Şekil 6. Deney gruplarının su emme miktarları.

Üretilen karoların hem üst hem de alt tabaka harçları bir harmanda hazırlanmıştır. Böylece bir ve iki tabakalı karolarda, üst tabaka özellikleri yaklaşık aynı olması gereklidir. Bu durum, aşınma dayanımı deneyleri sonucunda elde edilmiştir. Karolarda yaklaşık olarak yüzey aşınması, $9.3 \pm 0.3 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ değerinde olmuştur (Tablo 7).

Tablo 7. Aşınma dayanımları.

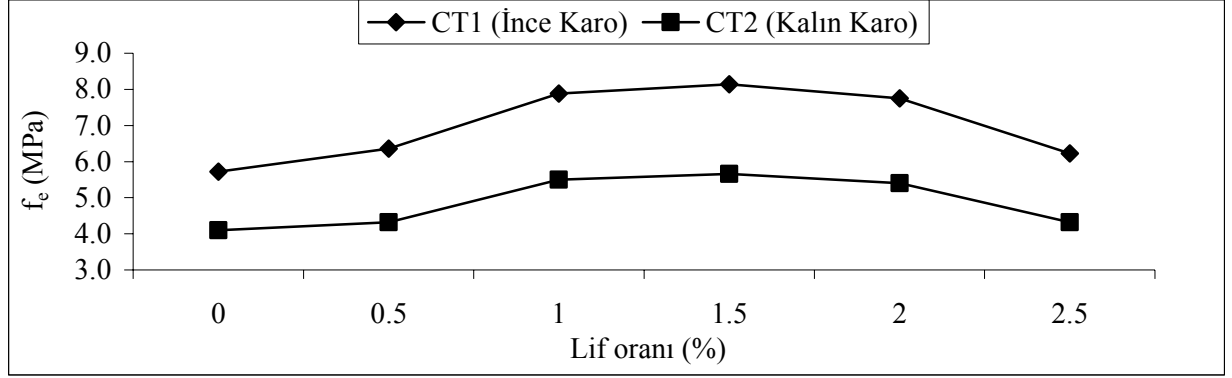
SERİ ADI	CT 1A	CT 1B	CT 1C	CT 1D	CT 1E	CT 1F	CT 2A	CT 2B	CT 2C	CT 2D	CT 2E	CT 2F
Aşınma dayanımı (cm^3/cm^2)	9.1	9.3	9.5	9.1	9.2	9.3	9.0	9.3	9.6	9.3	9.2	9.6

Kalıplar aynı olduğu için tüm karoların kenar uzunlukları ve yüzeyleri silindikten sonra da yaklaşık karo kalınlıkları eşittir. Formül (1) kullanılarak, karoların eğilme çekme dayanımları bulunmuştur. Karoların boyutları, ortalama kırılma yükleri ve dayanım değerleri Tablo 8 de verilmiştir. CT2 sınıfı karoların kalınlıkları fazla olduğu için kırılma yükleri büyüktür ancak boyutun artması nominal dayanımı azaltmıştır. Ayrıca lif oranının eğilme-çekme dayanımı üzerinde doğrudan etkili bir parametre olduğu görülmektedir.

Tablo 8. Eğilmede çekme dayanımı deney sonuçları.

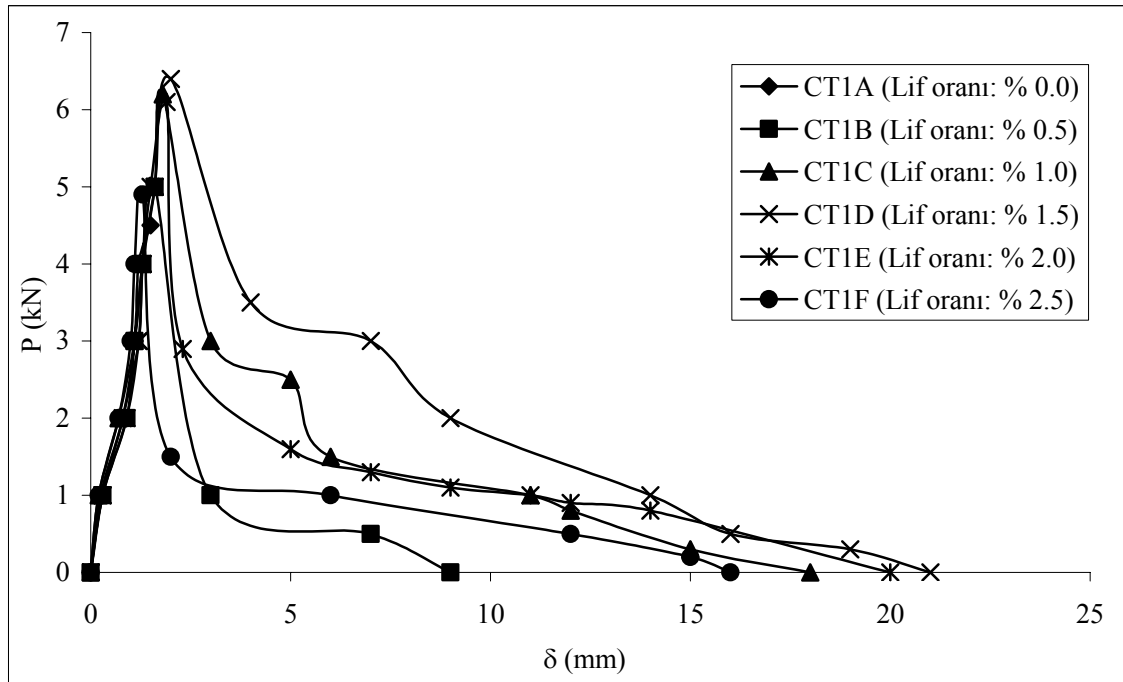
Seri Adı	b (mm)	d_{ort} (mm)	L (mm)	$\text{max}P_{\text{ort}}$ (kN)	f_e (MPa)
CT1A	301	28	200	4.5	5.7
CT1B	301	28	200	5.0	6.4
CT1C	301	28	200	6.2	7.9
CT1D	301	28	200	6.4	8.1
CT1E	301	28	200	6.1	7.8
CT1F	301	28	200	4.9	6.2
CT2A	301	56	200	12.9	4.1
CT2B	301	56	200	13.6	4.3
CT2C	301	56	200	17.3	5.5
CT2D	301	56	200	17.8	5.7
CT2E	301	56	200	17.0	5.4
CT2F	301	56	200	13.6	4.3

Kırılma yükü ile eğilmede çekme dayanımı doğru orantılıdır. Hem ince hem de kalın karolarda % 1.5 lif hacimsel oranında en büyük eğilmede çekme dayanımı elde edilmiştir. İnce karolarda yaklaşık % 42, kalın karolarda ise yaklaşık % 39 dayanım artışı sağlanmıştır (Şekil 7).

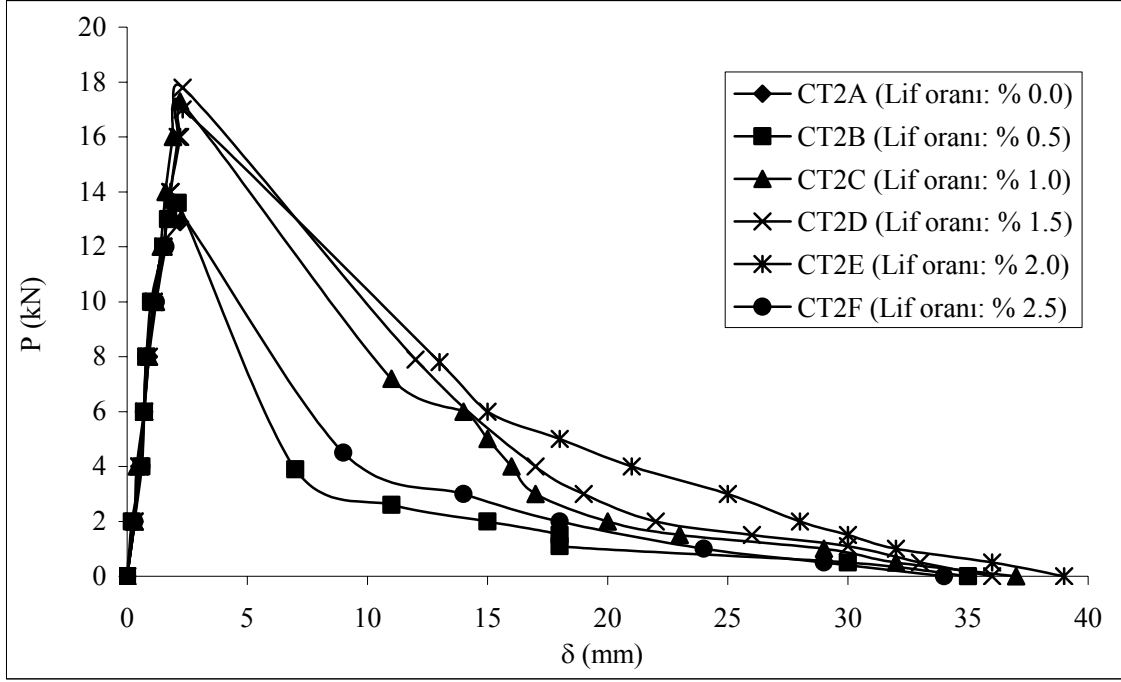


Şekil 7. Eğilmede çekme dayanımı (f_c) – lif oranı ilişkisi.

Liflerin karolara sağladığı en önemli özellik deplasman yapma yeteneğidir. Lifli karolar pik yükten sonra hemen göçmemekte ve büyük deformasyonlar yapmaktadırlar. Orta noktanın çökme deformasyonu ölçülerek belirlenen bu değerlerin, optimum lif oranında, ince karolarda yaklaşık 10 kat, kalın karolarda yaklaşık 20 kat arttığı gözlenmiştir (Şekil 8-9). Bu özellik lifli karoların kırılmasını ve dağılmasını engellemektedir.



Şekil 8. İnce karolarda yük-deplasman grafikleri.



Şekil 9. Kalın karolarda yük-deplasman grafikleri.

Üç noktalı eğilme deneyi yapılırken karo, mesnetler üzerinde durmaktadır ve alt kısmı boştur. Deneyler sırasında alt kısımları boş olmasına rağmen lifli karoları birbirinden tamamen ayırmak mümkün olmamıştır. Ancak uygulamada karolar, çeşitli zeminlerin üzerinde kullanılmaktadır. Böylece bir zemin üzerine oturan lifli karo, aşırı yükler ve dinamik yükler altında görünümü bozacak şekilde kırılmayacak ve parçalanmayacaktır.

Üç noktalı eğilme deneyi sonucu kırılan lifli karolar, birbirinden ayrılmayan iki parçaya bölünmüşlerdir. Kırılma yüzeyinde yer alan lifler, deney sonucu sıyrılma ve kopma davranışı göstermişlerdir. Liflerin yoğun olduğu bölgelerde sıyrılma, daha az olduğu bölgelerde ise liflerde kopma meydana gelmiştir. Tüm lifli karolarda, deformasyona uğradığı halde sıyrılmayan veya kopmayan liflerin sayısı, deney sonucu ayrılan iki parçayı daima bir arada tutacak sayıda olmuştur. Bu durum Şekil 10 da görülmektedir.



Şekil 10. Lifli karolarda kırılma ara yüzeyi (karo ön ve arka yüzü).

Normal betonlarda uygun lif miktarının yaklaşık $50-150 \text{ kg/m}^3$ olduğu bilinmektedir. Karolarda da alt sınırın 50 kg/m^3 olarak alınabileceği Şekil 7 de görülmektedir. Ancak lif kullanımındaki üst sınır yaklaşık 120 kg/m^3 olarak göze çarpmaktadır. Üst sınırdaki bu azalmanın, lif uzunluğunun lifin bulunduğu harç tabakasının kalınlığından fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü liflerin eğilmede çekme dayanımına katkısının, alt tabaka kalınlığı 17 mm olan CT1 tipi ince karolarda da, alt tabaka kalınlığı 34 mm olan CT2 tipi kalın karolarda da yaklaşık aynı lif oranlarında, olumlu şekilde olduğu görülmektedir.

Yük-deplasman eğrisinin altındaki alan, numunenin kırılması için gerekli enerjidir. Bu enerjinin büyüklüğü, malzemenin deplasman yapabilme yeteneğini göstermektedir. Bu özellik karoların hizmet ömrü boyunca, aşırı ve dinamik yüklere karşı daha dayanıklı olacağına bir ölçütüdür. Lif olmayan karolar maksimum yükte kırılmış ve bu noktada deplasman son bulmuştur. Karışımında 50 kg/m^3 den az 120 kg/m^3 den fazla lif olan karolarda, sırasıyla yetersiz lif ve topaklaşmadan dolayı uygun lif oranlı karolara göre en az 2 kat daha az enerji ile kırılmışlardır. Özellikle optimum lif miktarı % 1.5 de malzemeler en büyük deplasmanı yapmış ve en büyük enerji yutma kapasitesine ulaşmıştır. Şekil 8 ve Şekil 9'da bu özellikler görülmektedir. Öyle ise karışımında topaklanma olmayan eğilmede çekme dayanımını maksimum yapan lif oranına sahip malzemeler, en büyük enerji yutma kapasitesine sahiptir.

4. Sonuç ve öneriler

Yollar, kaldırımlar, saha kaplamaları gibi dış mekânlarda ve hastaneler, okullar gibi birçok iç mekânda karolar kullanılmaktadır. Estetik ve sağlamlık karolarda ön planda olan beklentilerdir. Estetik, farklı agregalar, çeşitli katkıları kullanılarak ve farklı şekillerde karolar üretilerek sağlanılmaktadır. Sağlamlık, dayanım ve dayanıklılık gibi iki önemli parametreyi ifade etmektedir. Bu çalışmada, çift tabakalı karolar üretilmiş ve alt tabakalarında farklı hacimsel oranlarda çelik lif kullanılarak, karoların dayanım ve dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Karolarda çelik lif kullanımının sonuçları ve öneriler şu şekilde sıralanabilir:

1. Genellikle, biçim ve görünüş özellikleri yeterli olan karoların, deney sonuçları da uygun çıkmaktadır.
2. Çelik lif kullanımı, karolarda su emme oranını azaltmaktadır. Su emme oranının azalması, donma-çözülme özelliğini olumlu yönde etkileyecektir. Bu durum özellikle dış mekânlarda kullanılan karoların hizmet ömrü üzerinde olumlu etki yapacaktır.
3. Çelik lif kullanılan karoların eğilme-çekme dayanımında artış gözlenmiştir. İnce karolarda yaklaşık % 42, kalın karolarda ise yaklaşık % 39 dayanım artışı sağlanmıştır.
4. Lifsiz karolara oranla, çelik lifli ince karolar yaklaşık 10 kat, kalın karolar ise yaklaşık 20 kat fazla maksimum deplasman yapmışlardır. Bu durum malzemenin enerji yutma kapasitesinin artması anlamına gelmektedir. Böylece aşırı ve dinamik yüklere maruz kalabilecek karoların hizmet ömrü artacaktır.
5. Çelik lifli karolar kırıldığı zaman birbirinden ayrılmamakta ve parçalanmamaktadır. Bu özellikteki karolarında hizmet ömrü artmakta ve mimari görünüm bozulmamaktadır.
6. Çelik liflerin, karoların üst tabakalarında kullanılmasının verimli olmayacağı düşünülmektedir. Çünkü lifler, imalat, yüzey silimi ve kullanım sırasında yüzeye çıkacaktır. Yüzeye çıkıp, su ile temas eden lifler paslanıp, hem görüntüyü bozacak hem de karonun stabilitesini olumsuz etkileyecektir.

Uygun oranda çelik lif kullanımı karoların dayanım ve dayanıklılık özelliklerini olumlu şekilde etkilemektedir. bu özellikler hizmet ömrünün uzun yıllar uzamasını sağlayacaktır. Hizmet ömrünün uzaması, bu yapı malzemesini daha ekonomik bir hale getirmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, BEKSA Çelik Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye ve KESER KARO Fabrikasının sahibi Hüseyin KESER'e ve çalışanlarına teşekkürlerini sunarlar.

Kaynaklar

- [1] Otter, D. E., and Naaman, A. E., "Properties of Steel Fibre Reinforced Concrete under Cyclic Loading", **ACI Materials Journal**, July-Aug: 254-261, (1988).
- [2] Balaguru, P. N., and Shah, S. P., "Fibre- Reinforced Cement Composites", McGraw-Hill, p: 523-530, (1992).

- [3] Ru, M., Changwen, M., Xin, L., and Wei, Sun., “Interaction between Loading, Freze-Thaw Cycles, and Chloride Salt Attack of Concrete with and without Steel Fibre Reinforcement”, **Cement and Concrete Research**, 32: 1061-1066, (2002).
- [4] An, Y., Keru, W., and Xiong, Z., “A Quantitative Study on the Surface Crack Pattern of Concrete with High Content of Steel Fibre”, **Cement and Concrete Research**, 32: 1371-1375, (2002).
- [5] Jean-Louis, G., and Sana, U. B., “Corrosion of Steel Fibre Reinforced Concrete from the Cracks”, **Cement and Concrete Research**, 35: 572-577, (2005).
- [6] Türkiye Doğal Taş Grubu Resmi İnternet Sitesi, www.turkishstones.org.
- [7] Groth, P., “Fibre Reinforced Concrete”, **Doctoral Thesis**, Lulea University, Sweden (2000).
- [8] Topçu, İ.B., Canbaz, M., “Effects Of Fibers On The Mechanical Properties Of Concrete Containing Fly Ash”, **Construction and Building Materials**, 21, 1486-1491, (2007).
- [9] Topçu, İ. B., “Beton Teknolojisi”, Uğur Ofset, Eskişehir, Türkiye, p: 212, (2006).
- [10] Taşdemir, M. A., Şengül,Ö. Şamhal, E. Yerlikaya, M., Endüstriyel Zemin Betonları, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, İstanbul, 450s, (2006).
- [11] Alyamaç, K. E., ve İnce, R., “Karo Mozaik Döşeme Kaplama Plak Üretiminde Atık, Mermer Çamurunun Kullanılabilirliği”, 7. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İMO, İstanbul Şubesi, 437-446, (2007).
- [12] Türk Standartları Enstitüsü, “TS EN 1097-6: “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini”, Ankara (2002).
- [13] Türk Standartları Enstitüsü, “TS 707: “Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi”, Ankara (1980).
- [14] Türk Standartları Enstitüsü, “TS 130: “Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metot”, Ankara (1978).
- [15] Türk Standartları Enstitüsü, “TS EN 197-1: Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, Ankara (2002).
- [16] Türk Standartları Enstitüsü, “TS 21: Çimento – Beyaz Portland”, Ankara (1994).
- [17] Türk Standartları Enstitüsü, “TS 10513: Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan”, Ankara (1992).
- [18] Türk Standartları Enstitüsü, “TS 10514: Beton-Çelik Tel Takviyeli-Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları”, Ankara (1992).
- [19] Türk Standartları Enstitüsü, “TS 213: Döşeme Kaplama Plakları-Beton”, Ankara (1994).
- [20] Türk Standartları Enstitüsü, “TS 213-1 EN 13748-1: Terrazo Karolar: İç Mekanlarda Kullanım İçin”, Ankara (2005).
- [21] Türk Standartları Enstitüsü, “TS 213-2 EN 13748-2: Terrazo Karolar: Dış Mekanlarda Kullanım İçin”, Ankara (2005).
- [22] Türk Standartları Enstitüsü, “TS 699: Tabii Yapı Taşları – Muayene ve Deney Metotları”, Ankara (1987).