

ÇELİK LİFİN ULTRA YÜKSEK DAYANIMLI HARÇLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Cahit BİLİM¹ (ORCID: 0000-0002-0975-1391)*
İlker Fatih KARA¹ (ORCID: 0000-0002-5663-1595)

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye

Geliş / Received: 21.05.2018
Kabul / Accepted: 28.05.2018

ÖZ

Bu çalışmada, ultra yüksek dayanıma sahip olacak şekilde üretilen harçların mekanik özellikleri üzerinde çelik lif katkısının etkisi araştırılmıştır. Harç içerisinde 0-1 mm ve 1-3 mm olmak üzere iki farklı boyuta sahip yüksek dayanımlı kuvars agregası ile beraber Portland çimentosu, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Çelik lif ise harç karışımları içerisinde hacimsel olarak %0, %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında dahil edilmiştir. Daha sonra, hazırlanan bu harçlardan 40 x 40 x 160 mm boyutlarına sahip harç numuneler üretilmiş ve bu prizmatik örneklerin 21 ± 1 °C sıcaklıktaki su kürü sonrasındaki 7, 14 ve 28 günlük eğilme ve basınç mukavemetleri tespit edilmiştir. Çalışmadan elde edilen deneysel bulgular, çelik tel katkısının harç mekanik özelliklerinin gelişmesinde oldukça etkili olduğu ve çelik lif oranındaki artışla birlikte ultra yüksek dayanımlı harcın eğilme ve basınç mukavemetinde kayda değer artışların meydana geldiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Harç, çelik lif, ultra yüksek dayanım, silis dumanı, yüksek fırın cürufu

THE EFFECT OF STEEL FIBER ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF ULTRA HIGH STRENGTH MORTAR

ABSTRACT

In the present study, the influence of steel fiber on the mechanical properties of ultra-high strength mortar was investigated. In addition to silica aggregate with a size of 0-1 mm and 1-3 mm, Portland cement, silica fume and blast furnace slag were used in the mortar mixtures. The steel fiber was also included in these mortar mixtures at 0%, 0.5%, 1%, 1.5% and 2% by volume. After that, the mortar specimens with the dimensions of 40 x 40 x 160 mm were produced from the prepared mixtures and the flexural and compressive strengths of these prismatic samples were determined at 7, 14 and 28 days after curing in water at 21 ± 1 °C. The experimental findings obtained from this study showed that the addition of steel fiber was highly effective in improving the mechanical properties of mortar. The results also indicated that there was a significant increase in the flexural and compressive strength of ultra-high strength mortar with the increase of steel fiber ratio.

Keywords: Mortar, steel fiber, ultra-high strength, silica fume, blast furnace slag

1. GİRİŞ

Günümüzde gerek büyük açıklıklı yapı türleri gerekse yüksek katlı binalara olan gereksinimlerin artması çok yüksek dayanımlı betonlara olan talebi arttırmıştır. Bu gereksinimleri gidermek amacıyla son yıllarda özellikle

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 324 361 00 01 / 17519; e-mail / e-posta: cbilim@mersin.edu.tr

beton teknolojisindeki gelişmelere de paralel olarak ultra yüksek dayanımlı (UYD) ve çelik lif takviyeli betonlar inşaat sektöründe yenilikçi bir kompozit yapı malzemesi olarak ortaya çıkmış ve farklı birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Genellikle ince ve yüksek mukavemetli agrega ve çok düşük su/bağlayıcı oranı ile üretilen bu tür betonların basınç dayanımları 100-150 MPa arasında olmakla birlikte [1-4], özel karıştırıcılar, özel kür koşulları veya yüksek performanslı beton kimyasalları uygulanması halinde daha yüksek dayanımlara erişilebilmektedir.

Ultra yüksek dayanımlı betonlar (UYDB)'lerin düşük su/çimento oranı, ince ve yüksek mukavemetli agrega ve genellikle %2 oranında çelik lif kullanılarak üretildikleri için basınç ve çekme dayanımı, enerji emme kapasitesi, yorulma dayanımı ve durabilite özellikleri bakımından oldukça üstün bir performans gösterdikleri görülmüştür. Ayrıca bu tür betonlar geleneksel betonlara göre daha yüksek basınç dayanımı ve elastisite modülüne sahip olması nedeniyle daha küçük kesitli narin elemanların yapılarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır [5]. Bu durumda yapı ağırlığı ve deprem yükleri azaltılarak daha ekonomik ve estetik yapılar elde edilebilmektedir. UYDB'lerin çelik, sentetik vb. liflerle takviye edilmesiyle özellikle çekme ve eğilme etkisi altında daha sünek bir davranış göstermesi sağlanmaktadır. UYDB'lerin üstün mekanik özelliklerinin yanında kullanılan liflerin çatlakları sınırlandırması ile çevresel koşullara karşı üstün bir durabiliteye olmaktadır.

UYDB kavramı ilk olarak Richard ve Cheyrezy tarafından geliştirilmiş ve bu tür betonlar ilk defa Fransa'daki Bouygues Laboratuvarında üretilmişlerdir [6]. Daha sonra ise çelik lif katkısının betonun sünek davranışı üzerine olan katkısını belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır [7,8]. Lif takviyeli ve lif takviyesiz UYDB'lerin mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik olarak bugüne kadar birtakım çalışmalar yapılmıştır. Wille vd. [9] lif takviyeli ve lif takviyesiz UYDB'lerin eğilme ve basınç dayanımlarını belirlemeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Ultra Yüksek Dayanımlı Lif Katkılı betonlara ait en yüksek basınç dayanımını 192.5 MPa olarak elde etmişlerdir. Lif takviyeli ve takviyesiz UYDB'lerin eğilme dayanımlarını ise 13.95 MPa ve 7.5 MPa elde etmişlerdir. Allena ve Newton [10] yaptıkları deneysel çalışmada Lif takviyeli UYDB'lerin basınç dayanımlarını Lif Takviyesiz UYDB'lara göre %6 daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Dili ve Santhanam [11] lif takviyeli UYDB'lerin eğilme dayanımlarını lif takviyesiz UYDB'lara göre daha yüksek elde etmişlerdir. Çalışmalarında ayrıca UYDB'lerin eğilme dayanımlarını Yüksek Dayanımlı Betonlara göre oldukça yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Bu çalışmada farklı lif oranlarına sahip ultra yüksek dayanımlı harçların 7, 14 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları elde edilerek farklı lif oranlarının eğilme ve basınç dayanımları üzerine olan etkisi araştırılmış ve ayrıca, çelik lif katkılı harçlardan elde edilen basınç dayanımları ile eğilme dayanımları arasında da bir ilişki kurulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

Çelik telin ultra yüksek dayanımlı harçların mekanik özelliklerine olan etkisini incelemek amacıyla çalışma kapsamında 40 x 40 x 160 mm boyutlarına sahip prizmatik harç numuneler üretilmiştir. Dökümden 24 saat sonunda kalıplarından çıkartılan numuneler 7, 14 ve 28 gün boyunca 21 ± 1 °C sıcaklıktaki su içerisinde bekletilmiştir. Üretilen bu prizmatik numunelerin eğilme ve basınç mukavemeti ölçümleri Şekil 1'de gösterilen çimento test presinde TS EN 1015-11 [12]'e göre belirlenmiştir. Eğilme testlerinde her bir karışımdan üç adet prizmatik harç numunesi kullanılırken, basınç testlerinde ise eğilme testlerinden geriye kalan kırılmış durumdaki altı adet yarım parça deneye tabi tutulmuştur.



Şekil 1. Çimento test presi

ÇELİK LİFİN ULTRA YÜKSEK DAYANIMLI HARÇLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Üretilen harcın bağlayıcı kısmında TS EN 197-1 [13] ile uyumlu CEM I 42.5 R Portland çimentosu ile birlikte puzolanik malzeme olarak öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ve silis dumanı kullanılmış olup, bu malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan çimento, cüruf ve silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kompozisyon (%)	Portland Çimentosu	Yüksek Fırın Cürufu	Silis Dumanı
SiO ₂	14.38	35.40	89.10
Al ₂ O ₃	3.33	11.20	0.74
Fe ₂ O ₃	2.85	0.96	2.79
CaO	67.36	41.50	0.56
MgO	1.60	6.14	1.06
Na ₂ O	0.41	0.28	0.58
K ₂ O	1.09	0.81	1.91
SO ₃	4.51	1.49	0.57
Cl ⁻	0.35	0.079	0.22
Özgül yüzey	3250	4300	150000
Özgül ağırlık	3.15	2.64	2.30

Su/bağlayıcı oranının 0.18 olarak ayarlandığı harç karışımlarında işlenebilirliği kolaylaştırmak amacıyla TS EN 934-2+A1 [14] standardına uygun polikarboksilat eter esaslı yeni nesil süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılırken, agrega olarak da iki farklı boyuta sahip yüksek dayanımlı kuvars agregasından yararlanılmıştır. Bunun yanı sıra, harç karışımları içerisinde hacim olarak %0 (kontrol), %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında olmak üzere uzunluğu 60 mm, çapı 0.90 mm ve narinlik (boy/çap) değeri 65 olan RC 65/60 BN tipi iki ucu kancalı, kaplamasız ve düşük karbonlu çelik lif kullanılmıştır. Harcı oluşturan bileşenler Şekil 2’de gösterilmiş olup, harcın karışım oranları ise Tablo 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Karışım içerisinde kullanılan malzemeler

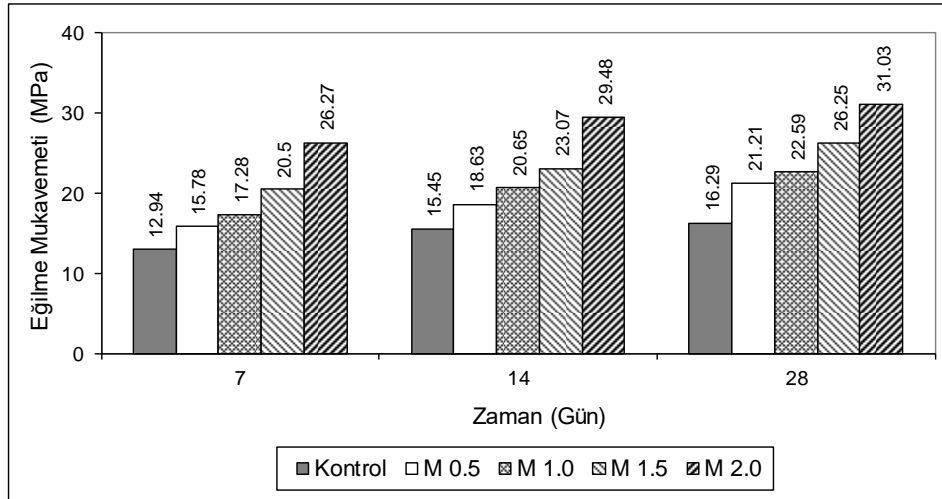
Tablo 2. Karışımı oluşturan malzemelerin miktarları (kg/m³)

Karışım No	Portland Çimentosu	Yüksek Fırın Cürufu	Silis Dumanı	Süper Akışkanlaştırıcı	Çelik Lif	0-1 mm Kuvars	1-3 mm Kuvars	Su/Bağlayıcı Oranı
Kontrol	650	200	150	30	-	605	605	0.18
M 0.5	650	200	150	30	39	598	598	0.18
M 1.0	650	200	150	30	78	591	591	0.18
M 1.5	650	200	150	30	117	585	585	0.18
M 2.0	650	200	150	30	156	578	578	0.18

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Harçların Eğilme Mukavemeti

Ultra yüksek dayanımlı olarak üretilmiş harçlardan 7, 14 ve 28 gün sonunda elde edilen eğilme mukavemeti değerleri Şekil 3'te sunulmuştur.

**Şekil 3.** Harçların eğilme mukavemeti

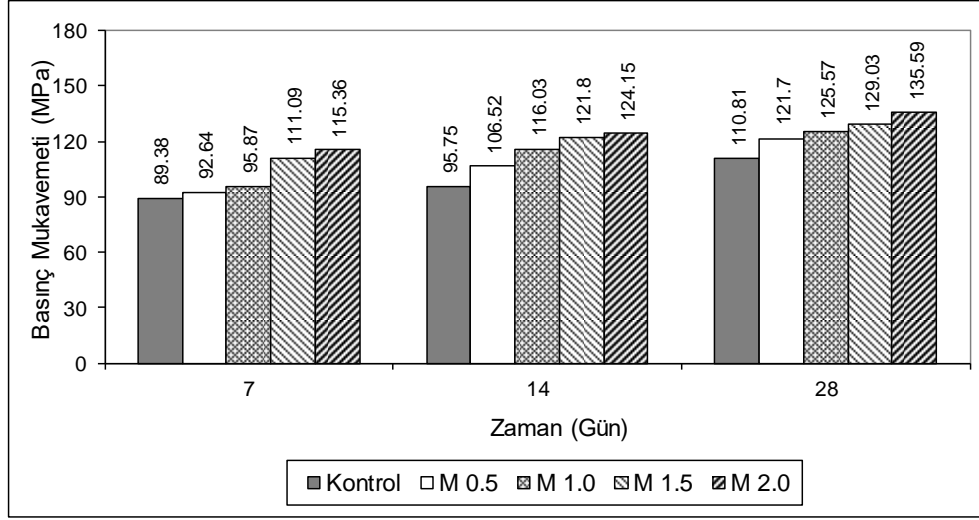
Şekil 3'ten görüldüğü üzere, lif içersin ya da içermesin tüm harç karışımlarının eğilme mukavemeti geçen zamanla birlikte artış göstermiştir. Böyle bir sonuca ulaşılmasında hiç şüphesiz en önemli faktör, artan kür süresiyle beraber ilerleyen hidrasyon gelişimi ve puzolanik reaksiyona bağlı daha yoğun bağlayıcı hamur yapısıdır. Diğer taraftan, kontrol harcının eğilme mukavemeti, 7. günde 12.94 MPa, 14. günde 15.45 MPa ve 28. günde 16.29 MPa olmuştur. Lif içeren harçlardan elde edilen eğilme mukavemetleri ise, 7. günde 15.78 MPa ila 26.27 MPa, 14. günde 18.63 MPa ila 29.48 MPa ve 28. gün sonunda ise 21.21 MPa ila 31.03 MPa arasında değişmiştir. Kontrol karışımına kıyasla en düşük lif katkısı içeren harcın eğilme dayanımında ortaya çıkan artış yaklaşık olarak 7. gün için %22, 14. gün için %21 ve 28. gün için %30 olurken, en yüksek lif katkısı ihtiva eden harcın artış oranı ise 7. gün için %103, 14. gün için %91 ve 28. gün için %90 olarak hesap edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, tüm test günleri için lif katkılı harçlar kontrol karışımından daha yüksek eğilme dayanımları sergilemiş ve çelik lif oranındaki artışla birlikte ultra yüksek dayanımlı harcın eğilme mukavemetinde kayda değer artışların meydana geldiği gözlenmiştir.

3.2. Harçların Basınç Mukavemeti

Ultra yüksek dayanımlı olarak üretilmiş harçlardan elde edilen basınç mukavemeti değerleri 7, 14 ve 28 gün için Şekil 4'te sunulmuştur. Şekil 4'ten, basınç mukavemeti test sonuçlarının, eğilme mukavemeti testinden elde edilenlerle benzerlik gösterdiği ve bütün harç numunelerinin 28 günlük deney süresi boyunca basınç dayanımı kazanmaya devam ettiği görülmektedir. Diğer taraftan, kontrol harcının basınç mukavemeti, 7. günde 89.38

ÇELİK LİFİN ULTRA YÜKSEK DAYANIMLI HARÇLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

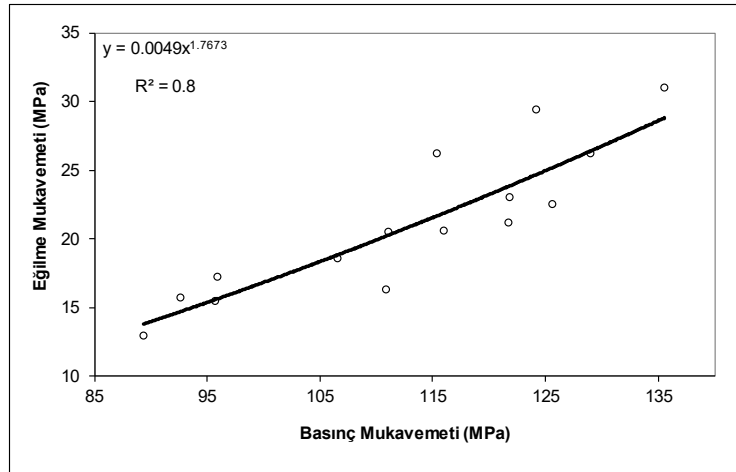
MPa, 14. günde 95.75 MPa ve 28. günde 110.81 MPa olmuştur. Lif içeren harçlardan elde edilen basınç mukavemetleri ise, 7. günde 92.64 MPa ile 115.36 MPa, 14. günde 106.52 MPa ile 124.15 MPa ve 28. gün sonunda ise 121.70 MPa ile 135.59 MPa arasında değişmiştir. Dolayısıyla, kontrol karışımına nazaran en düşük lif katkısı içeren harcın basınç dayanımında ortaya çıkan artış yaklaşık olarak 7. gün için %4, 14. gün için %11 ve 28. gün için %10 olurken, en yüksek lif katkısı ihtiva eden harçta bu artış mertebesi 7. gün için %29, 14. gün için %30 ve 28. gün için %22 olarak gerçekleşmiştir. Ulaşılan bu sonuçlardan, tüm deney günleri için lif içeren harçların kontrol karışımına kıyasla daha yüksek basınç mukavemetleri gösterdiği ve karışım içindeki çelik lifin artışıyla beraber ultra yüksek dayanımlı harcın basınç dayanımında da önemli oranlarda artışın ortaya çıktığı görülmüştür.



Şekil 4. Harçların basınç mukavemeti

3.3. Eğilme Mukavemeti ile Basınç Mukavemeti Arasındaki İlişki

Araştırma kapsamında ultra yüksek dayanımlı olarak üretilmiş çelik lif katkılı harçlardan elde edilen basınç dayanımları ile eğilme dayanımları arasında bir ilişki kurulmuş ve bu ilişki, Şekil 5'te gösterilmiştir. Ortaya çıkan bu eğrisel ilişkiye ait korelasyon katsayısı 0.81 şeklinde hesaplanmış olup, oldukça tatminkâr olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Ultra yüksek dayanımlı harçlarda basınç mukavemeti ile eğilme mukavemeti arasındaki ilişki

4. SONUÇLAR

Çelik lifler ile takviye edilmiş ultra yüksek performanslı harçların mekanik özellikleri üzerinde yürütülen bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, 0.18 gibi oldukça düşük su/bağlayıcı oranının yanı sıra, Portland çimentosuna kıyasla sahip olduğu yüksek incelik değerlerinden dolayı yüksek fırın cürufu ve özellikle silis dumanı gibi mineral katkıların varlığından dolayı ultra yüksek dayanıma sahip bağlayıcı hamurlarında süperakışkanlaştırıcı kullanımı zorunlu olmakta ve kullanılacak kimyasal katkıya ait dozajın, çelik lif oranına bağlı olarak işlenebilirliği kolaylaştıracak mertebede seçilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan, çelik tel katkısının harç mekanik özelliklerinin gelişmesinde oldukça etkili olduğu ve çelik lif oranındaki artışla birlikte ultra yüksek dayanımlı harcın eğilme ve basınç dayanımlarında önemli mertebede artışların meydana geldiği tespit edilmiştir. Çelik lif katkısının basınç dayanımına kıyasla eğilme dayanımını arttırmada daha etkili olduğu görülmüştür. Bu durumun, numune boyuna paralel olarak yönlenmiş tellerin çekme bölgesinde yük altında ortaya çıkan çatlak gelişimini engelleyerek karşılıklı yüzeyleri birlikte tutan bir köprü vazifesi görmesinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Ayrıca, ultra yüksek dayanımlı olarak üretilmiş çelik lif katkılı harçlardan elde edilen basınç dayanımları ile eğilme dayanımları arasında kurulan bağıntının neticesinde ortaya çıkan eğrisel ilişkinin korelasyon katsayısı 0.81 olarak bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] WANG, C., YANG, C., LIU, F., WAN, C., PU, X., "Preparation of Ultra-High Performance Concrete with Common Technology and Materials", *Cement and Concrete Composites*, 34, 538-544, 2012.
- [2] WILLE, K., NAAMAN, A.E., EL-TAWIL, S., PARRA-MONSETINOS, G.J., "Ultra-High Performance Concrete and Fiber Reinforced Concrete, Achieving Strength and Ductility without Heat Curing", *Materials and Structures*, 45, 309-329, 2012.
- [3] YAZICI, H., YARDIMCI, M.Y., AYDIN, S., KARABULUT, A.S., "Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete Containing Mineral Admixtures Under Different Curing Regimes", *Construction and Building Materials*, 23, 1223-1231, 2009.
- [4] BİROL, T., YAVAŞ, A., "Betonarme Kirişlerde Ultra Yüksek Performanslı Beton Kullanımının Eğilme Performansına Etkisi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 76-785, 2016.
- [5] FEHLING, E., SCHMİDT, M., WALRAVEN, J., LEUTBECHER, J., FRONLICH S., *Ultra High Performance Concrete UHPC*, Betonkalender, Wilhelm Ernst & Sohn, 2014.
- [6] RICHARD, P., CHEYREZY, M., "Composition of Reactive Powder Concretes", *Cement and Concrete Research*, 25, 1501-1511, 1995.
- [7] CAMPIONE, G., MANGIAVILLANO, M.L., "Fibrous Reinforced Concrete Beams in Flexure: Experimental Investigation, Analytical Modelling and Design Considerations", *Engineering Structure*, 30, 2970-2980, 2008.
- [8] LIM, D.H., OH, B.H., "Experimental and Theoretical Investigation on the Shear of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams, Flexural Analysis of Reinforced Concrete Beams Containing Steel Fibers", *Engineering Structure*, 21, 937-944, 1999.
- [9] WILLE, K., NAAMAN, A.E., PARRA-MONTESINOS, G.J., "Ultra-High Performance Concrete with Concrete Strength Exceeding 150 MPa (22 ksi): A simpler Way", *ACI Materials Journal*, 108, 1, 2011.
- [10] ALLENA, S., NEWTON, C.M., "Ultra-High Strength Concrete Mixtures Using Local Materials", *Journal of Civil Engineering Archives*, 5,4, 2011.
- [11] DILL, A.S., SANTHANAM, M., "Investigations on Reactive Powder Concrete: A Developing Ultra-High-Strength Technology", *Indian Concrete Journal*, 78, 33-38, 2004.
- [12] TS EN 1015-11, Kâgir Harcı Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2000.
- [13] TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2012.
- [14] TS EN 934-2+A1, Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet için-Bölüm 2: Beton Katkıları-Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2013.