İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETON BİLEŞENLERİNİN PLASTİK RÖTRE OLUŞUMU ÜZERİNE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan Nuri TÜRKMENOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

OCAK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETON BİLEŞENLERİNİN PLASTİK RÖTRE OLUŞUMU ÜZERİNE ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan Nuri TÜRKMENOĞLU
(501121025)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hakan Nuri ATAHAN

OCAK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121025 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hasan Nuri TÜRKMENOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **" BETON BİLEŞENLERİNİN PLASTİK RÖTRE OLUŞUMU ÜZERİNE ETKİLERİ "** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Hakan Nuri ATAHAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Hakan Nuri ATAHAN** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hasan YILDIRIM .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nabi YÜZER .....
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **12 Aralık 2014**
Savunma Tarihi : **20 Ocak 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum çalışmada bana yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşarak çalışmalarıma yön veren değerli hocam, sayın Doç. Dr. Hakan Nuri ATAHAN'a teşekkürlerimi sunarım.
Ayrıca tüm çalışmalarım süresince desteğini hiçbir şekilde benden esirgemeyen Yüksek Mühendis Cengiz ŞENGÜL'e, lif temininde ve imaj prosesi konusunda yardımcı olan Dr. Ömer Tuğrul TURAN'a ve İTÜ Malzeme Laboratuvarı çalışanlarına ayrı ayrı teşekkür ederim.
Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen aileme ve her zaman yanımda olan arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2015

Hasan Nuri Türkmenoğlu
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 3
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI **5**
2.1 Giriş 5
2.2 Plastik Rötre Mekanizması 7
2.3 Plastik Rötre Çatlağının Önlenmesi için Kullanılan Yöntemler 9
2.3.1 Lif türleri 9
2.3.2 Kimyasal katkılar 12
2.3.3 Mineral katkılar 14
2.3.4 Çimento sınıfı 15
2.3.5 Su/çimento oranı 16
2.3.6 Yüzey düzeltmesi ve vibrasyon 17
2.3.7 Deney yöntemleri 19
3. DENEYSEL ÇALIŞMA **23**
3.1 Genel Bilgi 23
3.2 Kullanılan Malzemeler 23
3.2.1 Su 23
3.2.2 Çimento 23
3.2.3 Agrega 24
3.2.4 Kimyasal katkı 26
3.2.5 Lifler 26
3.3 Beton Bileşimleri 26
3.4 Numunelerin Üretimi 28
3.5 Deney Yöntemleri 28
3.5.1 Slump deneyi 28
3.5.2 Birim ağırlık deneyi 28
3.5.3 Buharlaşma deneyi 28
3.5.4 Priz süresi deneyi 28
3.5.5 Plastik rötre deneyi 29
3.5.6 Beton basıç deneyi 32
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER **33**
4.1 Slump Değerleri 33
4.2 Suyun Buharlaşma Miktarı 33
4.3 Birim Ağırlık Değerleri 34
4.4 Priz Süresi 34
4.5 Basınç Dayanımları 34
4.6 Plastik Rötre Deney Sonuçları 35
5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER **43**
KAYNAKLAR **45**

EKLER **49**
ÖZGEÇMİŞ **55**

KISALTMALAR

MPP	**:** Monofilament polipropilen
FPP	**:** Fibrile polipropilen
ÇAO	**:** Çatlak azalma oranı
SRA	**:** Shrinkage reducing admixture
gr	**:** Gram
kg	**:** Kilogram
mm	**:** Milimetre
cm	**:** Santimetre
dm	**:** Desimetre
m	**:** Metre
km	**:** Kilometre
sn	**:** Saniye
dk	**:** Dakika
psi	**:** Basınç birimi
kPa	**:** Kilopaskal
MPa	**:** Megapaskal
ASTM	**:** American Society for Testing and Materials
ICC-ES	**:** International Code Council-Evaluation Service
TS	**:** Türk Standartı
EN	**:** European Norm
DIBt	**:** Deutsches Institut für Bautechnik
ÖVBB	**:** Österreichhische Vereinigung für Beton und Bautechnik

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Agrega özgül ağırlık deney sonuçları 24
Çizelge 3.2 : Agrega elek analizi sonuçları 24
Çizelge 3.3 : Hacimce agrega granülometri oranları 25
Çizelge 3.4 : Bileşim elek analizi değerleri 25
Çizelge 3.5 : A-B referans betonu bileşimi 27
Çizelge 3.6 : B referans betonu bileşimi 27
Çizelge 3.7 : B-C referans betonu bileşimi 27
Çizelge 4.1 : Slump değerleri, cm 33
Çizelge 4.2 : Birim ağırlık değerleri 34
Çizelge 4.3 : 28 günlük basınç dayanımları 34
Çizelge 4.4 : Çatlak ölçüm sonuçları 35
Çizelge 4.5 : Çatlak azalma oranları 36
Çizelge 4.6 : Çatlak oluşum süreleri 41
Çizelge A.1: A-B, 600 gr/m^3 lif katkılı beton bileşimi 51
Çizelge A.2: B, 600 gr/m^3 lif katkılı beton bileşimi 51
Çizelge A.3: B-C, 600 gr/m^3 lif katkılı beton bileşimi 51
Çizelge A.4: A-B, 900 gr/m^3 lif katkılı beton bileşimi 52
Çizelge A.5: B, 900 gr/m^3 lif katkılı beton bileşimi 52
Çizelge A.6: B-C, 900 gr/m^3 lif katkılı beton bileşimi 52
Çizelge A.7: A-B,1100 gr/m^3 lif katkılı beton bileşimi 53
Çizelge A.8: B, 1100 gr/m^3 lif katkılı beton bileşimi 53
Çizelge A.9: B-C, 1100 gr/m^3 lif katkılı beton bileşimi 53

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Beton sıcaklığının, hava sıcaklığının, relatif nemin ve rüzgar hızının, beton yüzeyindeki suyun buharlaşmasına etkileri [1]. 6
Şekil 2.2 : Betonun erken-yaş çekme dayanımı [7]. 6
Şekil 2.3 : Kapiler basıncın gelişim süreci ve plastik rötre [8]. 8
Şekil 2.4 : Plastik rötre çatlağı gelişim süreci [2]. 9
Şekil 2.5 : Liflerin geometrik özellikleri [15]. 10
Şekil 2.6 : Liflerin performansları [13]. 11
Şekil 2.7 : Hibrid lif sisteminin çatlak alanı üzerine etkisi [3]. 12
Şekil 2.8 : Kapiler gerilmenin gelişimi [4]. 13
Şekil 2.9 : Rötre azaltıcı katkı oranının suyun yüzey gerilimine etkisi [5]. 14
Şekil 2.10 : Silis dumanı miktarı ve lif oranının çatlak alanına etkisi [22]. 15
Şekil 2.11 : Çimento tipinin kapiler basınç üzerine etkisi [25]. 15
Şekil 2.12 : Kütlenin zamanla değişimi [25]. 16
Şekil 2.13 : Mastarlama hızı, yönü ve yüzey bitirme işlemlerinin çatlak alanına etkileri [28]. 17
Şekil 2.14 : Yüzey düzeltmesi, mastarlama hızı ve lif oranının çatlak alanına etkisi [28]. 18
Şekil 2.15 : İkincil vibrasyonun çatlak genişliğine etkisi [29]. 18
Şekil 2.16 : DIBt deney düzeneği [30]. 19
Şekil 2.17 : ÖVBB kalıp boyutları [30]. 20
Şekil 2.18 : ASTM C 1579 kalıp boyutları [30]. 21
Şekil 2.19 : Yeni yöntem deney düzeneği [30]. 21
Şekil 3.1 : Bileşim agrega granülometri eğrileri 25
Şekil 3.2 : Kullanılan lifler 26
Şekil 3.3 : Priz süresi belirlemede kullanılan aparat 29
Şekil 3.4 : Plastik rötre deney düzeneği 29
Şekil 3.5 : ASTM C 1579 kalıp boyutları 30
Şekil 3.6 : Kalıp kesiti ve görüntüsü 31
Şekil 4.1 : Toplam çatlak alanı değerleri - 1 38
Şekil 4.2 : Toplam çatlak alanı değerleri - 2 38
Şekil 4.3 : Ortalama çatlak genişliği değerleri - 1 39
Şekil 4.4 : Ortalama çatlak genişliği değerleri - 2 39
Şekil 4.5 : Maksimum çatlak genişliği değerleri - 1 40
Şekil 4.6 : Maksimum çatlak genişliği değerleri - 2 40
Şekil 4.7 : A-B granülometrisine sahip MPP lif katkılı beton 42
Şekil 4.8 : B granülometrisine sahip MPP lif katkılı beton 42
Şekil 4.9 : B-C granülometrisine sahip MPP lif katkılı beton 42

BETON BİLEŞENLERİNİN PLASTİK RÖTRE ÇATLAĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

ÖZET

Günümüz dünyasının şüphesiz en önemli yapı malzemelerinden biri olan beton, sahip olduğu kompleks yapısından dolayı pek çok problemle karşı karşıya kalmaktadır. Betonun, kullanılmaya başlandığı günden bu yana muzdarip olduğu bu problemlerden birisi de plastik rötre çatlaklarıdır.

Genel olarak plastik rötre, taze betonun yerine yerleştirilmesinden sonraki birkaç saat içerisinde beton sertleşmeden önce meydana gelen ve beton yüzeyinde yer alan rötre türüdür. Başlıca nedeni beton yerleştirildikten sonra agrega dibe doğru çökelirken suyun yüzeye doğru çıkması ve beton yüzeyindeki buharlaşma hızının terleme hızından daha yüksek olmasıdır. Bu durumda beton yüzeyi kuruyarak büzülme eğilimi gösterirken yüzey altındaki beton kütle plastik halde bulunduğundan beton yüzeyi ile aynı ölçüde büzülme gösteremez ve yüzeyde çatlak oluşur. O bakımdan, betonun göstereceği plastik büzülme miktarı büyük ölçüde betonun sıcaklığına, havanın sıcaklığına, relatif nem miktarına ve rüzgar hızına bağlıdır.

Bu konu hakkında çok sayıda çalışma yapılmıştır. İlk zamanlarda plastik rötre mekanizması çözülmeye çalışılmış, daha sonraları ise mekanizma hakkında belli bir fikir oluşmasıyla birlikte çatlağı engelleyebilmek amacıyla beton karışımıyla ilgili parametreler hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Plastik rötre çatlağını önlemek için son zamanlarda uygulanan yaygın yöntem ise ikincil donatılandırma olarak kısa fiberlerin kullanımıdır.

Kısa fiberlerin plastik rötre çatlağına karşı etkinliği hakkında yapılan çalışmalarda; çelik, cam, sentetik ve doğal kaynaklı fiberler kullanılmıştır. Liflerin dozu, geometrisi ve türleri arasında çeşitli kombinasyonlar ile plastik rötre çatlağına karşı performansları araştırılmıştır.

Bu çalışmada aynı türden farklı geometriye sahip iki lif türünün plastik rötreye karşı performansı ile birlikte farklı agrega granülometrilerinin etkisi ve bu agrega granülometrilerinin, kullanılan liflerin performansları üzerine etkileri incelenmiştir. ASTM C 1579 ve ICC-ES AC217 standartları yöntemin ana hattını oluşturmuştur. Oluşan çatlakların ölçümleri çekilen fotoğraflar üzerinden imaj işleme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Liflerin etkinlikleri ise referans numuneye göre lif katkılı betonlarda, hem toplam çatlak alanındaki hem de ortalama çatlak genişliğindeki yüzde olarak azalma değerleri hesaplanarak belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, agrega granülometrisi irileştikçe toplam çatlak alanının azaldığı, aynı boya sahip fakat daha narin olan liflerin matris içerisinde çok iyi dağılarak daha etkin olduğu ve agrega granülometrisi irileştikçe liflerin gösterdiği performansın azaldığı saptanmıştır.

EFFECTS OF CONCRETE COMPENENTS ON PLASTIC SHRINKAGE CRACKING

SUMMARY

Undoubtedly, concrete is one of the most important structural material in today's world. Because of its complex structure, it encounters many problems. Plastic shrinkage cracking is one of the problems which concrete suffered from since it have been used.

Generally plastic shrinkage cracking occurs within a few hours after fresh concrete formed into the molds and it takes part on the surface of the concrete. When concrete formed into the molds, the aggregates settle because of the gravity and in contrast, water bleeds. If the rate of evaporation is higher than the rate of bleeding, surface of concrete starts to shrink. But under the surface, the fresh concrete can not shrink as well as the surface. Because of this situation cracking occurs on the surface of concrete. In this respect, the quantity of plastic shrinkage cracking majorly depends on the temprature of concrete, temprature of air, rate of relative humidity and the wind velocity. Concrete elements with large surface areas like bridge and slab are vulnerable to plastic shrinkage cracking.

About this topic, many researches have been reported for decades. Initially the mechanism of plastic shrinkage and after that with the aim of prevention of plastic shrinkage cracking, the parameters of mixture design have been searched. Usage of short fibers as secondary reinforcement to prevent plastic shrinkage cracking is prevalent method in recent years.

In researches which are about the efficiency of short fibers; steel, glass, synthetic and natural fiber types were used to prevent plastic shrinkage cracking of concrete. Performances of fibers were searched with making different combinations between dosage, geometry and type of fibers.

In this research, plastic shrinkage cracking prevention performance of two polypropylene fibers which have different geometries, effect of different aggregate gradations on plastic shrinkage cracking and effect of aggregate gradations on fibers' performance were searched. ASTM C 1579 and ICC-ES AC217 standarts, constituted the baseline of process.

CEM I 42,5 R class Portland cement with specific gravity of 3,17 gr/cm^3 was used in concrete mixtures. As superplasticizer Sikament RMC210 was used to obtain desired workability. Natural sand with specific gravity of 2,64 gr/cm^3 and crushed sand with specific gravity of 2,76 gr/cm^3 were used as fine aggregate while crushed rock no1 with specific gravity of 2,76 gr/cm^3 was used as coarse aggregate. Monofilament and fibrillated polypropylene fibers with 12 milimeters length were used as fiber reinforcement.

Three mixture design, which have different aggregate gradations determined as reference concretes, were named A-B, B and B-C. Water/cement ratio was 0,55 and kept constant for all mixtures. Three different dosages of fibers, 600 gr/m^3, 900 gr/m^3 and 1100 gr/m^3, were used. Also proportions of superplasticizers by the weight of cement, 0,8% for A-B, 0,9% for B and 1,1% for B-C, were kept constant for all mixture designs.

Concrete was mixed using a rotary pan mixer of 50 liters capacity. Respectively the coarse aggregate, fine aggregate and cement were put into pan and mixed dry for a while. By reserving some of it, water added to mixer slowly. After that superplasticizer mixed into the reserved water and added to the mixer. Fibers dispersed by hand into the mixture to achieve a uniform distribution. After mixing, the workability of concrete was determined by using slump test. The concrete was placed into the mould and vibrated on vibrating plathform. After that a smooth steel screed was used to finish the concrete surface.

Laminated board moulds with dimensions of 355 mm x 560 mm x 95 mm were used. According to ASTM C 1579 standart, moulds have three stress risers. But this experimental study come across the fall-winter season. Because of rising humidity and decrising air temprature, achieving the criteria of minimum 0,5 mm average crack width got difficult. With the aim of solving this problem two additional restraints were placed between small stress riser and edge which were anchored upper side of the mould. The concrete specimens were placed into environmental chamber after casting. To obtain sufficient evaporation rate, a fan with air velocity 16 – 17 km/h and an infrared heater were used in environmental chamber. At the end of the experiment, temprature and relative humidity were measured respectively 43±3 °C and 14±3% on the surface of concrete. Also evaporation rate was measured as 1,09 kg/m^2.h which achieved the criteria of 1,0 kg/m^2.h. The specimens were kept in the environmental chamber for 4 hours. After first crack became visible, photos of specimen captured approximately 30 minutes intervals. And these photos used for image proccessing to measure total crack area, total crack length and maximum crack width. Crack reduction ratio (CRR) of total crack area and average crack width calculated with formula given below.

CRR = [1 – (Average crack width or total crack area of fiber reinforced mixture) / (Average crack width or total crack area of reference mixture)] x 100

Average of total crack area, total crack length, average crack width and maximum crack width measurements and obtained crack reduction ratio values are given in Tables 4.4 and 4.5, respectively. According to experimental results, increasing fiber dosage decreased crack characteristics obviously.

When monofilament and fibrillated polypropylene fibers compared, that was seen that the performance of monofilament fibers better than fibrillated ones. It can be said that as a reason of this situation, the specific surface of monofilament fiber is higher than fibrillated fiber for same dosages so monofilament fiber dispersed better and provided better adherence.

When looked to the reference specimens, with coarsen aggregate gradation total crack areas were decreased. Because, while the materials gone finer, the specific surfaces increases and they can hold more water on their surfaces. So rate of bleeding water decreases and plastic shrinkage cracks be formed earlier.

If we look at the effect of aggregate gradations on performance of fibers, it is clearly seen that especially for lower fiber dosages, the effectiveness of fibers decreased with coarsing gradations. It is very diffucult to explain this situation exactly. But it can be said that as the gradation of combined aggregate is getting coarsen, the mortar phase of concrete decreases. Thus, fibers can find less mortar phase to be adhered and then their performance decreases.

Additionally, it is recommended that it will be better to isolate experimental setup from air conditions with converting the setup into the closed system. It is important for repeatable experiments.

1. GİRİŞ

Beton, günümüz dünyasında kullanılan en önemli yapı malzemesi olarak kabul edilebilir. Sahip olduğu kompleks yapısından dolayı iç ve dış etkenler, bünyesinde bir çok olusumsuz sonuçlara sebep olmaktadır. Bu bölümde, betonda görülen rötre türleri genel olarak ele alınacaktır.

Beton içerisindeki suyun, fiziksel ve/veya kimyasal nedenlerle azalması sonucunda beton boyunda ve hacminde yer alan küçülmeye büzülme denilmektedir. Bu olay rötre olarak da anılmaktadır. Rötre, beton hem taze halde iken hem de sertleşmiş durumda iken meydana gelen bir olaydır. Taze betondaki su kaybı tamamen fiziksel nedenlere dayanmaktadır. Taze betonun içerisindeki suyun bir miktarı, betonun yerleştirilmiş olduğu kalıplar veya zemin tarafından emilerek kaybolabilmektedir. Ama asıl su kaybı, betondaki suyun buharlaşmasıyla gerçekleşmektedir. Taze betondaki terleme nedeniyle beton yüzeyine veya yüzeye yakın kısımlara çıkan suyun hızla buharlaşması sonucunda, beton yüzeyi kuruyarak büzülme göstermektedir. Betondaki plastiklik henüz kaybolmamış durumdayken, betonun yüzeyinde yer alan bu büzülmeye "plastik büzülme" denilmektedir. Plastik büzülmenin yer aldığı taze betonun yüzeyinde örümcek ağı gibi gelişigüzel yönlerde uzanan çatlaklar meydana gelmektedir. Bu çatlaklara "plastik rötre çatlakları" denilmektedir [1]. Plastik rötre çatlağı beton kullanılmaya başlandığından beri bir problem olmuştur ve 50 yılı aşkın süredir bu konuyla ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Tipik olarak kat döşemesi veya köprü tabliyesi gibi sıcağa, kurumaya ve rüzgarlı çevresel etkenlere maruz kalan geniş yüzeyli beton elemanlarda meydana gelir [2]. Yüzey plastik rötreden dolayı çatlar ise bu çatlaklar dış bozucu etkenler için bir kanal haline gelir. Oluşan bu çatlaklar, zararlı gazların ve sıvı solüsyonların girişini hızlandırarak uzun vadede durabiliteyi ve yapının servis ömrünü düşürür [2-4].

Sertleşmiş betondaki su kaybı hem fiziksel hem de kimyasal nedenlerle gerçekleşebilmektedir. Betonun kuruması, karbonatlaşması ve betonun içerisindeki çimentonun hidratasyonu, sertleşmiş betonda bulunan suyun azalmasına yol açan başlıca etkenlerdir. O bakımdan, sertleşmiş betondaki hacim küçülmesi, su kaybına

yol açan bu etkenlere bağlı olarak; hidratasyon büzülmesi (kendi yapısından kaynaklanan büzülme), karbonatlaşma büzülmesi ve kuruma büzülmesi olarak anılmaktadır.

Beton içerisindeki suyun önemli bir bölümünün buharlaşması sonucunda kapiler boşluklardaki su azalmaktadır. Buharlaşmanın dışında, kapiler boşlukların içerisindeki suyun azalmasına neden olabilecek bir başka faktör de su/çimento oranı 0,5'den daha düşük olan betonlarda yer alan öz kuruma olayıdır. Bu durumda buharlaşma yoluyla hiç su kaybolmasa dahi kapiler boşluklardaki suyun bir miktarının hidratasyon için kullanılarak azalması nedeniyle bir süre sonra hidratasyonun devam edebilmesi için yeterli su bulunamamaktadır. Bu olay betonda "hidratasyon büzülmesi" veya "otojen büzülme" olarak adlandırılan bir miktar hacim değişikliğine yol açabilmektedir. Su/çimento oranı azaldıkça bu büzülme ihmal edilemeyecek miktarda etkinlik gösterir.

Betonun içerisindeki çimentonun hidratasyonu sonucunda ortaya çıkmış olan ve çimento hamurunun yapısında yer alan kalsiyum hidroksitin bir kısmı betonun içerisine sızan sular tarafından çözünmektedir. Kalsiyum hidroksit eriyiği içeren sular, kapiler hareketle beton yüzeyine veya yüzeye yakın bölgelere hareket etmektedir. Kalsiyum hidroksitin havadaki karbondioksit ile temas etmesi sonucunda kalsiyum karbonat oluşmakta ve ayrıca bir miktar su açığa çıkmaktadır. Bu durum aşağıdaki formülle gösterilmektedir.

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O$$

Böylelikle, çimentoda yer alan kalsiyum hidroksitin yapısındaki su açığa çıkarak buharlaşma veya benzeri nedenlerle kaybolmaktadır. Bünyesindeki suyun bir kısmını bu şekilde kaybetmiş olan çimento hamuru, ister istemez bir miktar büzülme göstermektedir. Karbonatlaşma olayıyla betonda yer alan bu büzülmeye "karbonatlaşma büzülmesi" denilmektedir. Karbonatlaşmanın gerçekleşebilme hızı, betonun geçirimliliğine, havadaki karbondioksit ve rölatif nem miktarına bağlıdır.

Sertleşmiş betonun büzülmesi zamana bağlı bir olaydır. Betonun üzerine yük uygulanmış olsa da hiç yük uygulanmasa da zaman ilerledikçe, sertleşmiş betonun hacminde daha çok küçülme meydana gelmektedir. Sertleşmiş betondaki büzülme, aslında çimento hamurunda yer alan hacim küçülmesidir. Agrega taneleri büzülme göstermemektedir. Aksine agrega taneleri, çimento hamurunun serbestçe büzülmesini kısıtlamaktadır.

Bu yüzden betonun gösterebileceği büzülme üniform şekilde olmamaktadır. Bu durum, betonun içerisinde farklı gerilmelerin ve birim deformasyonların oluşmasına yol açmaktadır. Bu gerilmelerin ve birim deformasyonların büyüklükleri arttıkça çatlakların oluşması kaçınılmaz olmaktadır [1].

Yapıların sadece çimento hamurundan yapılmamasının nedeni, fiyatından başka yüksek hidratasyon ısısı ve çimento hamurunun bünyesindeki suyu kayıp etmesiyle meydana gelen büzülmedir. Betondan ayrılan suyun rötreye neden olması gibi, betona katılan su da bir miktar genleşmeye neden olur. Fakat bu genleşme, rötre gibi tehlikeli değildir. Çünkü genleşme sırasında beton içerisinde basınç gerilmeleri oluşurken, rötre sırasında çekme gerilmeleri oluşur. Bu gerilmeler betonun şekil değiştirme sürecinde ona karşı gelen unsurlar tarafından oluşturulur ve buna bağlı olarak mikro çatlaklar oluşur [5].

Büzülme nedeniyle ortaya çıkan birim deformasyon cm/cm veya % olarak ifade edilmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Tezin amacı, agrega granülometrisinin; betonun plastik rötre çatlağı eğilimi üzerine ve oluşabilecek çatlakları önlemek için kullanılan lif katkılarının gösterecekleri performans üzerine etkileri ile birlikte, piyasada yaygın olarak kullanılan iki farklı lif tipinin plastik rötre çatlağına karşı gösterdikleri performansların karşılaştırılmasıdır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

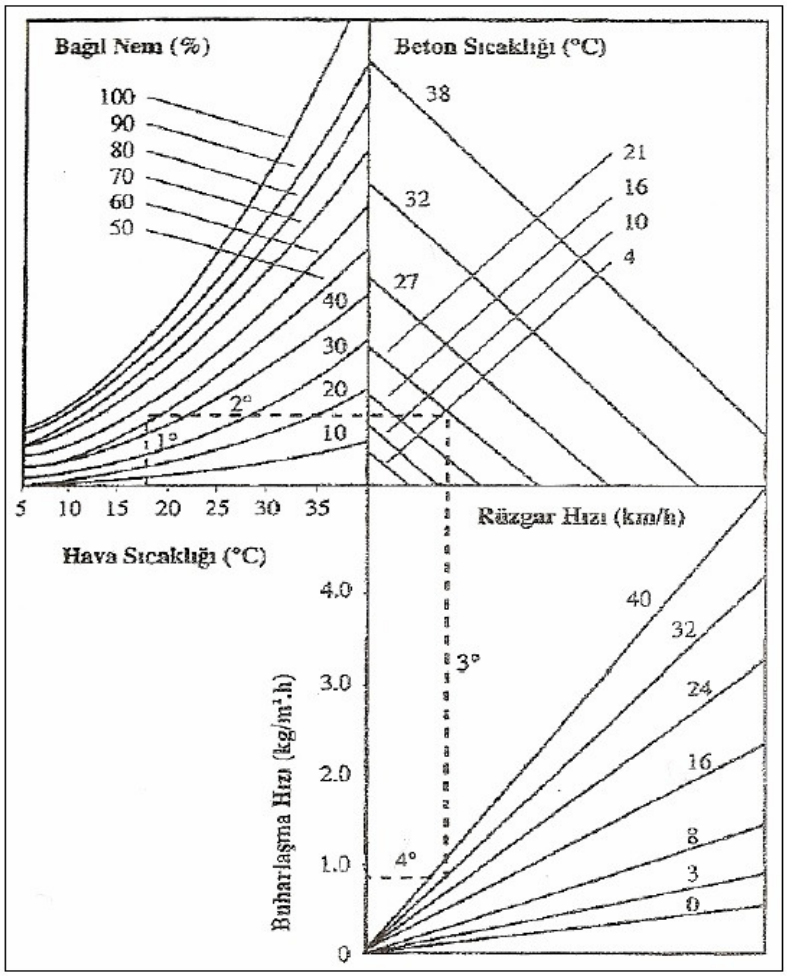
2.1 Giriş

Betonun plastik rötre çatlağı, beton kullanılmaya başlandığından beri bir problem olmuştur ve 50 yılı aşkın süredir bu konuyla ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Tipik olarak kat döşemesi veya köprü tabliyesi gibi sıcağa, kurumaya ve rüzgarlı çevresel etkenlere maruz kalan geniş yüzeyli beton elemanlarda meydana gelir [2]. Yüzey plastik rötreden dolayı çatlar ise bu çatlaklar dış bozucu etkenler için bir kanal haline gelir. Oluşan bu çatlaklar, zararlı gazların ve sıvı solüsyonların girişini hızlandırarak uzun vadede durabiliteyi ve yapının servis ömrünü düşürür [2-4]. Örneğin, beton yollarda oluşan bu çatlakların tamiri ve tüm bloğun temizlenip yerleştirilmesi çok fazla zaman ve paraya mal olmaktadır [6].

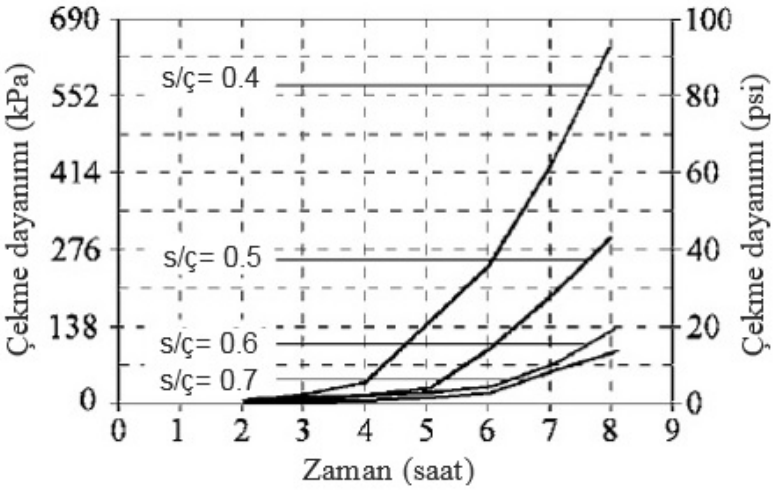
Genel olarak plastik rötre, taze betonun yerine yerleştirilmesinden sonraki birkaç saat içerisinde, beton sertleşmeden önce meydana gelen ve beton yüzeyinde yer alan rötre türüdür. Başlıca nedeni, beton yerleştirildikten sonra agrega dibe doğru çökelirken suyun yüzeye doğru çıkması ve beton yüzeyindeki buharlaşma hızının, terleme hızından daha yüksek olmasıdır. Bu durumda, beton yüzeyi kuruyarak büzülme eğilimi gösterirken yüzey altındaki beton kütle plastik halde bulunduğundan, beton yüzeyi ile aynı ölçüde büzülme gösteremez ve yüzeyde çatlak oluşur. O bakımdan, betonun göstereceği plastik büzülme miktarı büyük ölçüde betonun sıcaklığına, havanın sıcaklığına, relatif nem miktarına ve rüzgar hızına bağlıdır. Bu faktörlerin beton yüzeyindeki suyun buharlaşma hızına etkileri, Şekil 2.1'deki Portland Cement Association tarafından hazırlanan abakta gösterilmektedir.

Beton yüzeyinde meydana gelen bu rötreye "plastik" denilmesi, bu olayın beton henüz prizini tamamlamamış ve yapısal olarak dayanım kazanmamış (şekil verilebilir) bir durumdayken oluşmuş olmasından dolayıdır [1]. Bu durumla ilgili betonun erken-yaş çekme dayanımı üzerine yapılan çalışma sonuçları Şekil 2.2'de verilmiştir. İlk üç saatlik sürede betonun çekme dayanımı çok düşük değerlerdedir.

Üç saatlik süreçten sonra, betonun çekme dayanımının hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Ayrıca, su/çimento oranı arttıkça betonun çekme dayanımının düştüğü gözlenmiştir [7].



Şekil 2.1 : Beton sıcaklığının, hava sıcaklığının, relatif nemin ve rüzgar hızının, beton yüzeyindeki suyun buharlaşmasına etkileri [1].



Şekil 2.2 : Betonun erken-yaş çekme dayanımı [7].

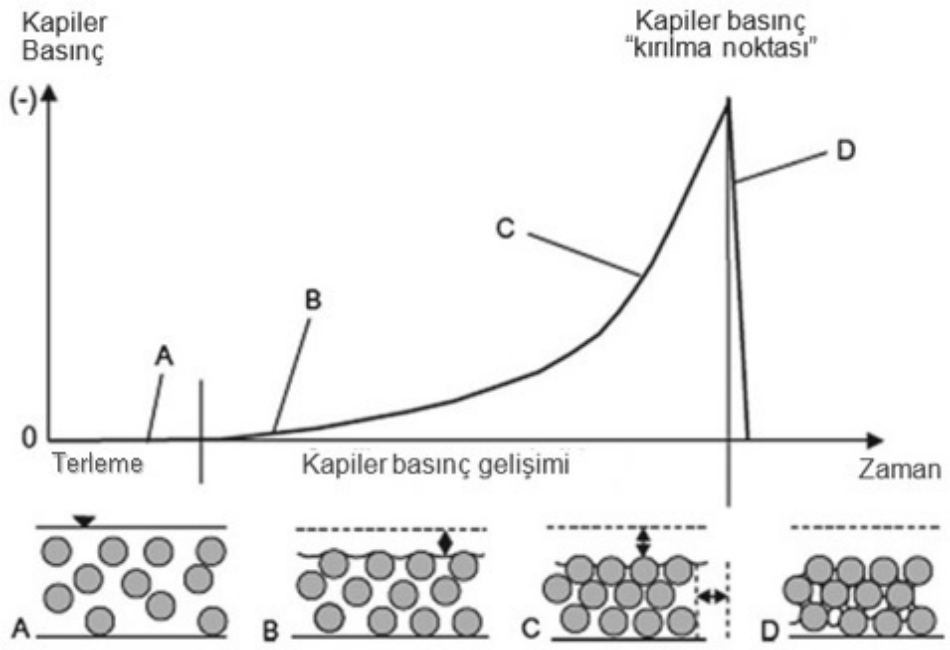
Plastik rötre çatlağı, kompleks bir olaydır ve bu çatlağı etkileyen birbiriyle bağımlı pek çok mekanizma ve özellik vardır [2]. Bunlar;

a. Negatif kapiler basınç.
b. Terleme oranı ve hacmi.
c. Hidratasyon oranı ve priz süresi.
d. Buharlaşma oranı ve çevre.
e. Beton sıcaklığı.
f. İnce partikül büyüklüğü ve dağılımı.
g. Kullanılan katkılar.

2.2 Plastik Rötre Mekanizması

Kapiler basınç, plastik haldeki çimentolu malzemelerin büzülmesinin kaynağıdır ve neticede çatlağa sebep olur. Şekil 2.3'te, üstte kapiler basıncın gelişim süreci ve altta plastik rötrenin oluşumu görülmektedir. Beton yerleştirildikten sonra katı malzemelerin, yerçekiminin etkisiyle birlikte çökelmesine bağlı olarak terleme meydana gelir ve yüzeyde bir su filmi oluşur (Şekil 2.3A). Üst yüzeyde devam eden buharlaşma, su tabakasının kalınlığını düşürür ve neticede yüzeydeki parçacıklar daha fazla yüzeydeki su ile kaplanamaz. Adhesif kuvvetler ve yüzeydeki çekmeden dolayı katı tanecikler arasında su meniski oluşur. Su yüzeyindeki eğrilik (menisk), kapiler suda negatif bir basınca neden olur. Bu negatif basınç, katı tanecikler üzerinde etki ederek, hala plastik haldeki malzemede büzülmeye sebep olur (Şekil 2.3B). Yüzeyde devam eden buharlaşma, menisk sistemi yarıçaplarını sürekli azaltarak kapiler basıncın ani artışıyla birlikte büzülme şekil değiştirmelerinin oluşmasına neden olur (Şekil 2.3C). Maksimum basınca erişilirse, parçacıklar arasındaki boşluklar menisk sistemi tarafından daha fazla köprülenemez ve lokal basınç düşüşüyle birlikte hava lokal olarak boşluk sistemine girer (Şekil 2.3D). Hava boşluklardan içeriye girmeye başladığında bu boşluklar sistemin zayıf noktaları olduğundan dolayı, plastik çatlak oluşma riski en üst seviyeye çıkar. İçine hava girmiş bölgelerdeki parçacıklar arasındaki büzülme kuvvetleri, içi su dolu bölgedeki büzülme kuvvetlerinden daha küçüktür. Böylece şekil değiştirmelerin lokalizasyonu gözle görülebilir çatlakların oluşmasını sağlar.

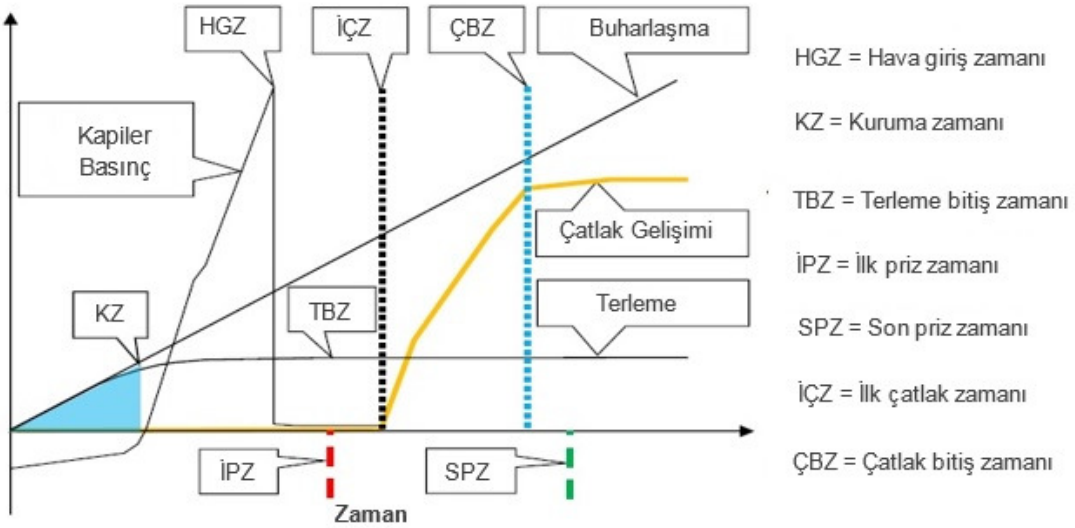
Şunu belirtmek gerekir ki çatlak oluşması için boşluklara hava girişi yeterli değildir. Bunun yanında, parçacıklar arasında engellenmiş büzülme şekil değiştirmelerin oluşturduğu kohesif gerilmeler de gereklidir. Büzülme ve kısıtlamanın kombinasyonu, çekme gerilmelerini artırır. Eğer oluşan çekme gerilmeleri, betonun çekme dayanımını aşarsa çatlaklar beton yüzeyi boyunca gelişir. Fakat kuruyan sisteme hava girişi olmadan çatlak oluşması mümkün değildir [8-11].



Şekil 2.3 : Kapiler basıncın gelişim süreci ve plastik rötre [8].

Kapiler basınç davranışı ve çatlakların oluşumu ile ilgili yapılan diğer bir çalışmada elde edilen grafik, Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, buharlaşma hızının sabit olduğu ve yüzeydeki terlemenin kuruma zamanından sonra durduğu görülmektedir. Terlemenin durmasıyla birlikte negatif kapiler basınç değerinde hızlı bir şekilde artış meydana gelmektedir. Sonrasında ise şekilden de görüldüğü gibi negatif kapiler basınç değeri, hava girişinin başlamasıyla birlikte ani bir şekilde düşmektedir. Fakat, bu sırada gözle görülebilir herhangi bir çatlak meydana gelmemektedir.

Plastik rötre çatlağı, tipik olarak ilk priz başlangıcından itibaren gözle görülebilir boyuta gelmektedir ve çatlağın hızlı gelişimi priz bitiş süresine kadar devam etmektedir. Priz bittikten sonra da çatlakta genişleme meydana gelmektedir, fakat bu genişleme çok düşük bir oranda olmaktadır. Bu durumun sebebi ise kuruma rötresi ve diğer sıcaklık değişiklikleridir [2].



Şekil 2.4 : Plastik rötre çatlağı gelişim süreci [2].

2.3 Plastik Rötre Çatlağının Önlenmesi için Kullanılan Yöntemler

Plastik rötre çatlağı riskini azaltabilmek için geleneksel veya yüksek dayanımlı betonlar üzerinde; karışım tasarımı, kür metodları, kimyasal katkılar, mineral katkılar, yüzey düzeltme işlemleri ve donatılandırma gibi pek çok strateji araştırılmıştır.

2.3.1 Lif türleri

Lif ile donatılandırma, plastik rötre çatlağını azaltıcı yöntemler arasında en etkililerinden birisidir [8]. Son yıllarda, beton ve harçta plastik rötre çatlaklarını önlemek amacıyla kısa fiberlerin kullanımı giderek artmaktadır. Çelik, cam ve polimerden üretilen, farklı şekil ve boyutlarda bulunan lifler, betona performans ve durabilitesini artırmak amacıyla eklenmektedir [12]. Bunların dışında, selülozik ve keten gibi doğal kaynaklı lifler de plastik rötre çatlaklarını önlemek amacıyla kullanılmaktadır [13,14].

Genel olarak, araştırmalarda çelik, cam ve sentetik lifler ayrı ayrı kullanılarak performansları karşılaştırılmıştır.

Yaklaşık olarak aynı boya sahip (12 – 15 mm) polipropilen, cam, naylon ve geri dönüşümden elde edilen PET fiberlerin kullanıldığı araştırmada, en iyi performansı polipropilen gösterirken, cam ve PET lifler neredeyse aynı sonuçları vermiştir.

En kötü sonuçlar ise naylon liflere aittir. Bu araştırma, PET liflerin bir alternatif olabileceğini göstermiştir [12].

Diğer bir çalışmada ise sırasıyla 35 mm, 15 mm ve 12 mm boylara sahip çelik, cam ve polipropilen lifler arasından en iyi performansı cam gösterirken, en düşük performansı polipropilen sağlamıştır. Buradan, liflerin boylarının da önemli bir parametre olduğu anlaşılmaktadır [8]. Fakat belirli bir uzunluktan sonra boyun etkisi azalmaktadır [14].

Lif geometrisinin, plastik rötre çatlağına karşı performansının etkisini görmek için yapılan çalışma sırasında kullanılan liflerin geometrik özellikleri ve yoğunlukları, Şekil 2.5'te verilmiştir.

Fiber		Fiber tipi	Çap (denye)	Uzunluk (mm)	Yoğunluk (kg/m^3)
F1		Monofilament	3	12.5	900
F2		Monofilament	6	12.5	900
F3		Monofilament	6	6.35	900
F4		Fibrile	1000	12.5	900

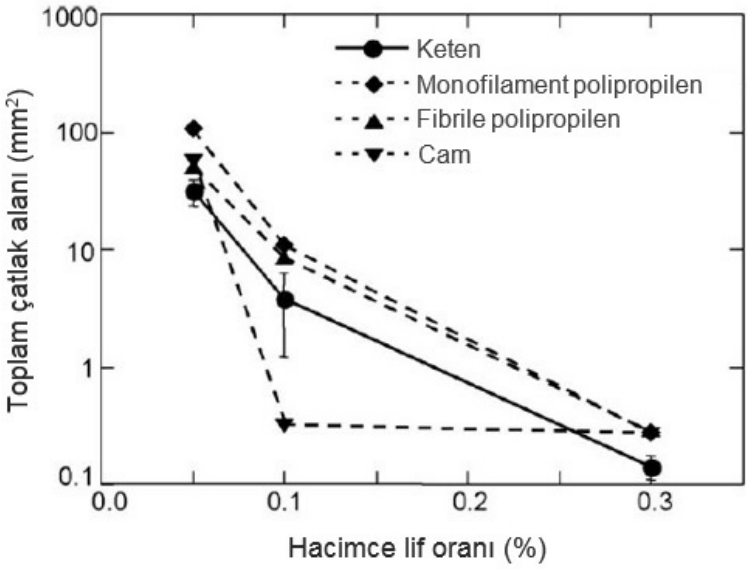
Şekil 2.5 : Liflerin geometrik özellikleri [15].

Yapılan bu çalışmada en iyi sonuç, boyu 12,5 mm ve denyesi 3 olan monofilament liften elde edilmiştir. Daha sonra performans sırası; fibrile lif, denyesi 6 olan 12,5 mm uzunluğundaki monofilament lif ve denyesi 6 olan 6,35 mm uzunluğundaki lif tarafından sağlanmıştır. Buradan anlaşılacağı üzere, lif boyu arttıkça ve çapı küçüldükçe, lifin betonda plastik rötre çatlağına karşı etkinliği artmaktadır [15]. Lifler ne kadar incelirse çatlak değerleri de giderek azalır [16].

Keten, polipropilen ve cam lifler kullanılarak yapılan çalışmanın sonuçları ile ilgili grafik, Şekil 2.6'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre keten lifler, cam liften sonra en iyi sonuçları vermiştir. Monofilament ve fibrile polipropilen lifler ise birbirine yakın performans göstermiştir [13].

Liflerin ayrı ayrı kullanılmasının yanında, bazı araştırmalarda sentetik, çelik ve cam lifler birlikte kullanılarak, hibrid lif sistemi olarak adlandırılmış ve plastik rötre çatlakları üzerinde etkileri, farklı hacimsel yüzdeleri kullanılarak araştırılmıştır.

Genel olarak, hibrid lif sistemi kullanıldığında, liflerin tek başlarına gösterdikleri performanstan daha iyi sonuçlar elde edilmiştir [17].

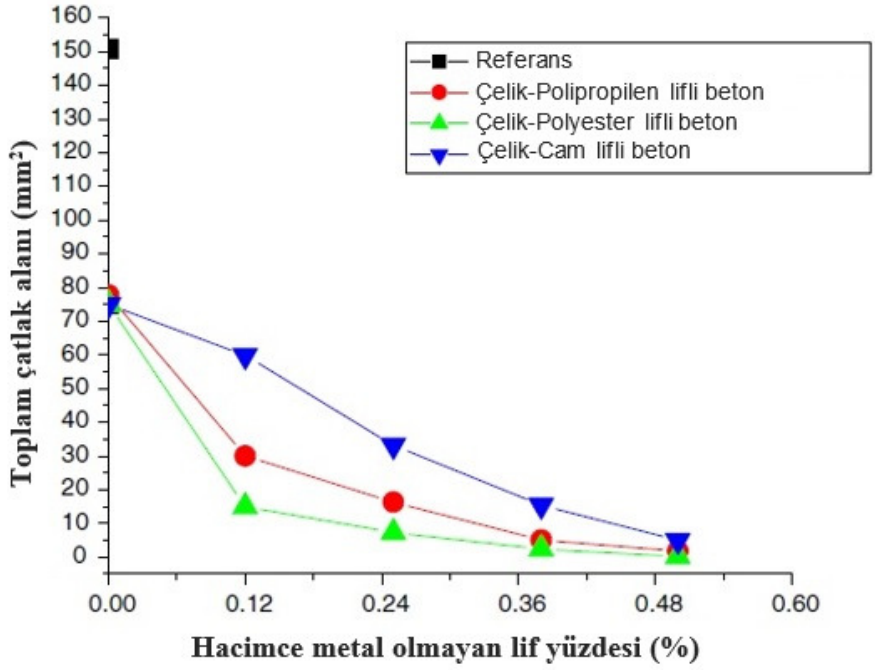


Şekil 2.6 : Liflerin performansları [13].

Hibrid lifli sistemin araştırıldığı çalışmada, hacimsel olarak toplam lif yüzdesi sabit tutularak; çelik, polipropilen, polyester ve cam lifler kullanılmıştır. Kullanılan liflerden; çelik 30 mm, cam 6 mm, polipropilen 20 mm ve polyester 12 mm boya sahiptir. Beton tasarımında, su/çimento oranı 0,4 olarak sabit tutulmuştur.

Hibrid lif sistemi olarak, çelik ve sentetik lif türleri birlikte kullanılmış ve plastik rötre çatlağına karşı sergiledikleri performanslar karşılaştırılmıştır. Lifler, ayrı ayrı toplam hacmin %0,5'i oranında kullanıldığında polipropilen, polyester ve cam lifler çatlak alanını %96 mertebelerinde azaltarak benzer performans sergilemişlerdir, fakat çelik lifler ise %49 mertebesinde çatlak alanını azaltarak daha düşük bir performans sergilemiştir. Çelik ve sentetik liflerin birlikte kullanıldığı hibrid sistemlerde ise performans sentetik liflerin boy ve rijitliğinden etkilenmiştir. Örneğin hibrid sistemde, cam liflerin, polipropilen ve polyester liflere göre daha düşük performans sağlamasının sebebi olarak, çok daha küçük boya sahip olmaları gösterilebilir. Böylece, kısa boya sahip olan cam lifler muhtemelen betondan daha kolay sıyrıldıklarından dolayı daha düşük performans sergilemiştir. Tüm karışımlarda, çelik lif oranı azalıp sentetik lif oranı arttıkça sergilenen performans giderek artmıştır (Şekil 2.7). Fakat, artan sentetik lif oranı, topaklanmalara ve işlenebilirliğin önemli derecede azalmasına sebep olmuştur.

Bu yüzden metalik olmayan liflerin, hacimce kullanılma oranı polipropilen ve polyester liflerde %0,25 oranı ile sınırlıdır. Fakat cam lifte %0,38 oranı, işlenebilirlikte bir sorun oluşturmamıştır [3].



Şekil 2.7 : Hibrid lif sisteminin çatlak alanı üzerine etkisi [3].

2.3.2 Kimyasal katkılar

Kendiliğinden yerleşen beton, geleneksel betona göre daha yüksek çimento hamuru oranına sahiptir ve daha yüksek oturma ve erken rötre göstermesi beklenir. Kendiliğinden yerleşen beton üzerinde yapılan çalışmada;

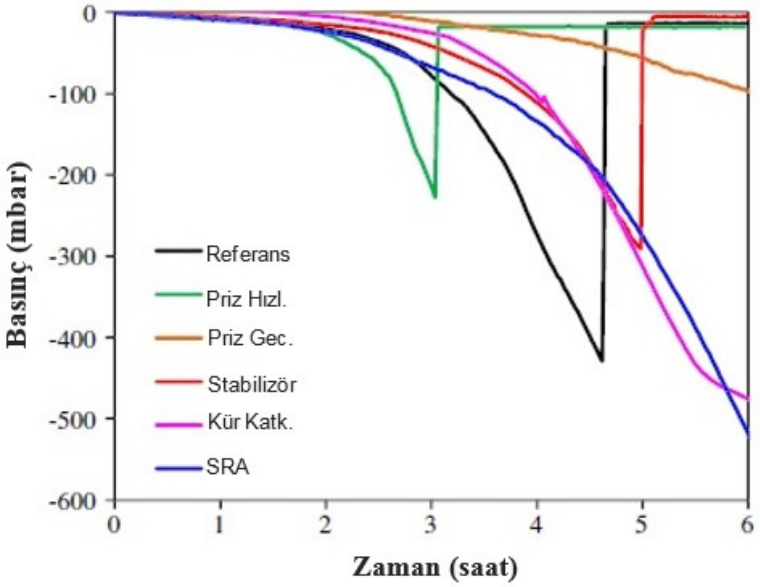
Priz hızlandırıcı, terlemenin azalmasını sağlayarak çökelmenin erken bitmesine ve böylelikle kapiler basıncın da daha erken düşmesine sebep olmuş ve erken çatlak oluşmuştur.

Priz geciktirici, terleme sürecini uzatarak tüm deney süresi boyunca numune yüzeyinin nemini muhafaza etmiştir. Böylelikle, kapiler basınç yavaşça azalmıştır ve 6 saat boyunca plastik rötre çatlağı oluşmamıştır.

Stabilizör hidratasyonu geciktirmiştir, terleme ve oturmayı artırmıştır. Fakat, numuneler kapiler basınç düştüğü sırada çatlamaya başlamıştır.

Betona katılan parafin yağı kaynaklı kür malzemesi, terlemeden dolayı beton yüzeyinde birikerek, buharlaşma ile kütle kaybını ve kapiler basıncı düşürerek çatlağı önlemiştir.

Rötre azaltıcı katkı, boşluk suyunun yüzey gerilmesini azaltarak çatlağı önlemiştir ve böylece beton yüzeyinden suyun buharlaşmasını düşürerek, kapiler gerilmelerin gelişimini kısıtlamıştır (Şekil 2.8) [4,18].

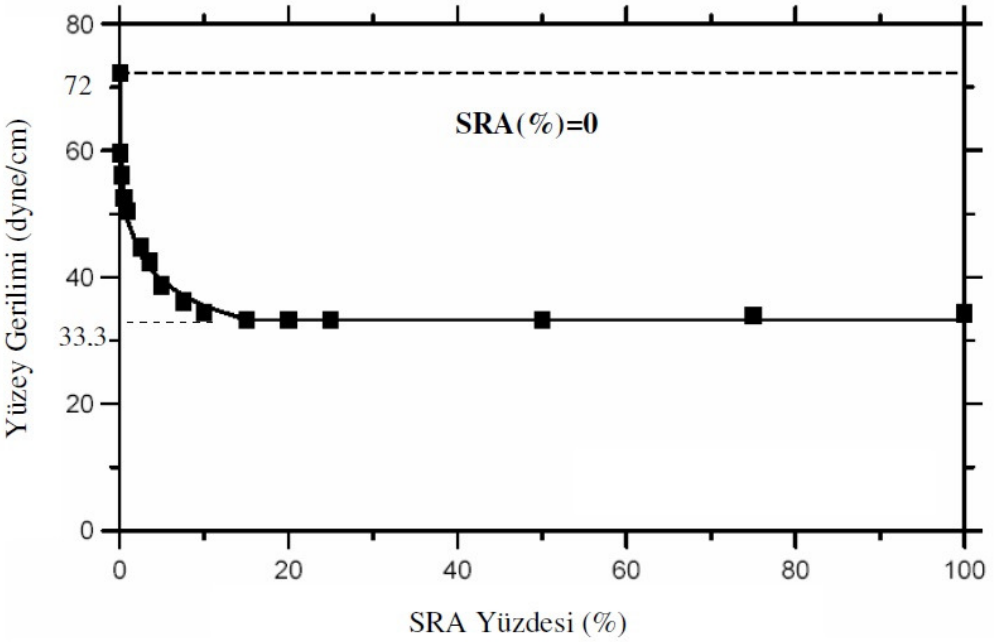


Şekil 2.8 : Kapiler basıncın gelişimi [4].

Rötre azaltıcı katkının, plastik rötre çatlağına etkisi hakkında yapılan deneysel çalışmalara göre rötre azaltıcı katkı, kalıba yerleştirildikten hemen sonra buharlaşmaya maruz bırakılan harçta plastik rötre çatlak genişliklerini azaltmaktadır. Bununla birlikte, buharlaşma ve oturma değerleri de rötre azaltıcı katkının eklenmesiyle birlikte azalmıştır. Rötre azaltıcı katkı, boşluk suyunun yüzeyindeki gerilmeyi azaltarak; buharlaşma, oturma ve harç yüzeyindeki gerilme gelişimini düşürmüştür. Ayrıca, negatif kapiler basıncın maksimum değerini düşürmüş ve en üst seviyeye ulaşma süresini uzatmıştır. Rötre azaltıcı katkının bu faydalarından her biri, plastik rötre çatlağı gelişimini azaltır [19-21].

Kimyasal olarak iki grup rötre azaltıcı katkı vardır. Bunlar, neopentil-glikol ve propilen-glikoldür. Rötre azaltıcı katkıların en önemli özelliği, düşük viskoziteye sahip olmalarıdır. Suya %1 oranında eklendiğinde karışım suyunun yüzey geriliminde %30'luk bir azalma görülür. Suya %15 oranında eklendiğinde ise suyun yüzey gerilimini %54'e varan bir oranda azalttığı, Şekil 2.9'da görülmektedir. Kapiler gerilmelerin etkisiyle su yüzeyinde meydana gelen menisk hali, suyun beton yüzeyine doğru çıkışını hızlandırır. Kapiler boşluklardaki suyun, beton yüzeyine çıkmasıyla birlikte katı tanecikler birbirine yaklaşmaya başlar.

Rötre azaltıcı katkı, birbirini takip eden bu olayları, düşük viskozitesi sayesinde sudaki kapiler gerilmelerin oluşumunu azaltarak kontrol altında tutar. Böylece katı tanecikler arasındaki mesafe korunmuş olur [5].



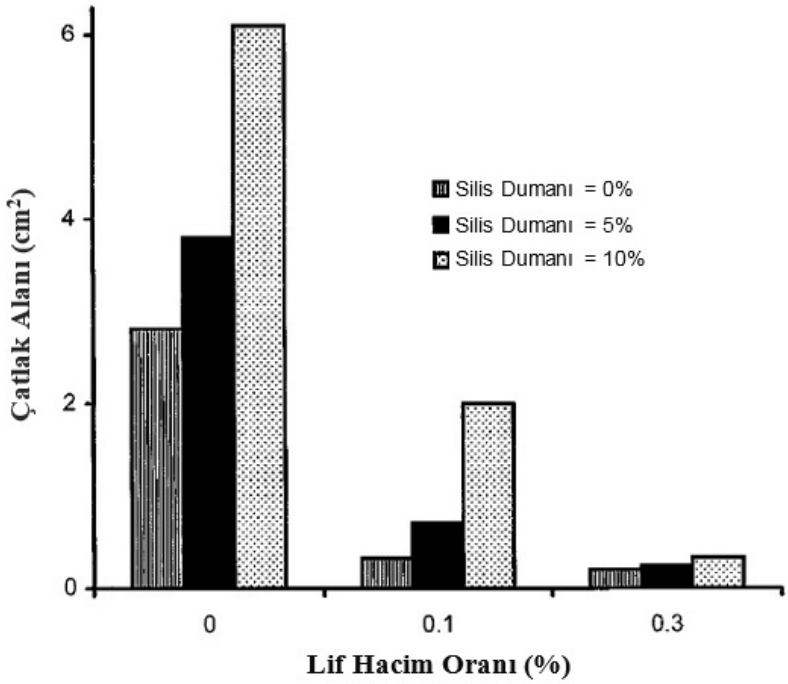
Şekil 2.9 : Rötre azaltıcı katkı oranının suyun yüzey gerilimine etkisi [5].

2.3.3 Mineral katkılar

Yüksek mukavemetli ve düşük geçirimli betonlarda kullanılan uçucu kül ve silis dumanı, en çok kullanılan mineral katkılardır.

Silis dumanı, normal portland çimentosundan 100 kat daha küçük dane çapına sahiptir. Bu malzeme, inceliğinin yüksek olması sebebiyle yüksek miktarda su ihtiyacına neden olur [5]. Artan silis dumanı oranı, negatif kapiler basıncın daha erken oluşmasına sebep olmasından dolayı, plastik rötre çatlağını büyük ölçüde artırmıştır (Şekil 2.10). Ayrıca artan silis dumanı oranı, priz süresini de hızlandırmıştır [22,23].

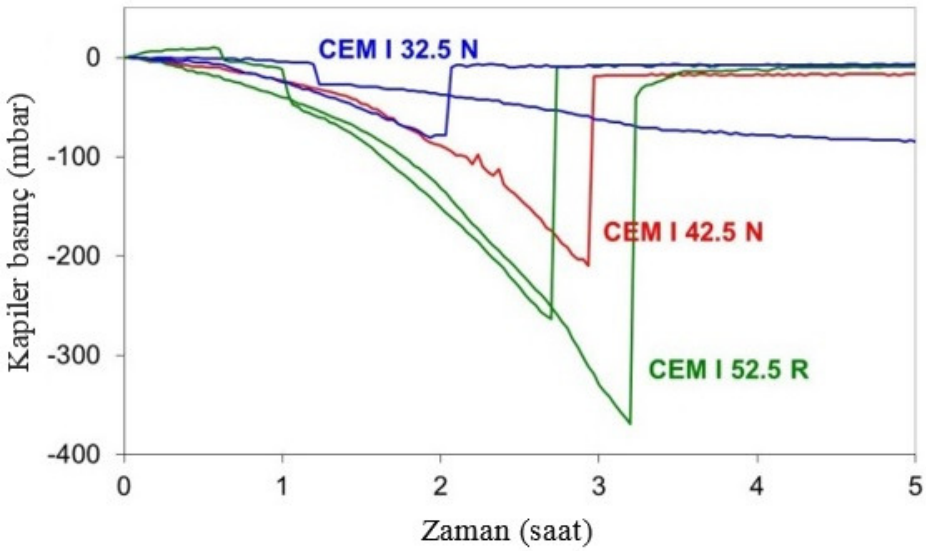
Uçucu küllerin tane çapları, 1 mikron ile 100 mikron arasında değişir ancak %50'si 20 mikronun altındadır. Su ihtiyacını azaltması, işlenebilirliği artırması ve mukavemeti zamanla artırması gibi olumlu etkilere sahiptir. N sınıfı natürel uçucu küller, yüksek miktarda kalsiyum içeren C sınıfı uçucu küller ve düşük miktarda kalsiyum içeren F sınıfı uçucu küller olmak üzere 3 sınıf uçucu kül vardır [5]. Uçucu küllerin plastik rötre çatlağına etkisi hakkında yapılan çalışmada, uçucu kül oranı arttıkça plastik rötre çatlaklarının giderek azaladığı ve F sınıfı uçucu külün, C sınıfı uçucu küle göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [24].



Şekil 2.10 : Silis dumanı miktarı ve lif oranının çatlak alanına etkisi [22].

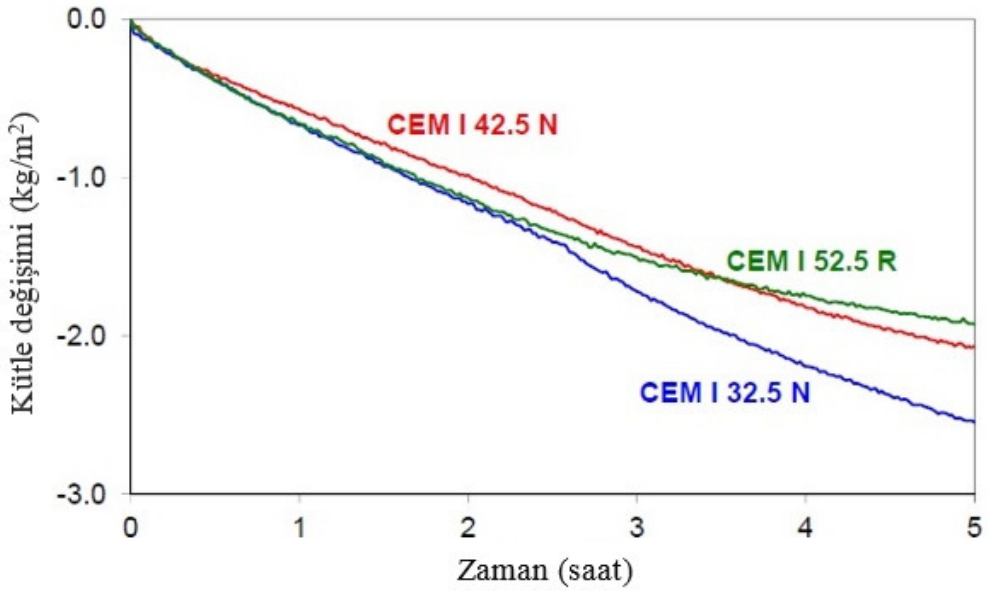
2.3.4 Çimento sınıfı

CEM I 32,5 N, CEM I 42,5 N ve CEM I 52,5 R çimentoları kullanılarak ve sabit su/çimento oranlarında yapılan çalışmada, CEM I 32,5 N ile üretilen 4 numunede de çatlak oluşmamıştır. CEM I 42,5 N ile üretilen 4 numuneden 2'sinde, CEM I 52,5 R ile üretilen 4 numuneden 3'ünde çatlak oluşmuştur. Fakat CEM I 42,5 N ile üretilen numunelerde daha geniş çatlaklar oluşmuştur.



Şekil 2.11 : Çimento tipinin kapiler basınç üzerine etkisi [25].

CEM I 32,5 N ile üretilen numunelerde, yüksek terleme oranından dolayı kapiler basıncın başlangıcı gecikmiştir ve değeri düşmüştür (Şekil 2.11). Bu durum, plastik haldeki betonun çökelmesini azaltmıştır ve plastik rötre çatlağını engellemiştir. Diğer taraftan, daha ince çimentoyla üretilen diğer karışımlar, tutarlı bir şekilde düşük terleme (Şekil 2.12), daha yüksek kapiler gerilmeler ve çökelme göstermiştir. Sonuç olarak plastik rötre çatlakları oluşmuştur.



Şekil 2.12 : Kütlenin zamanla değişimi [25].

CEM I 52,5 R ile üretilen karışımda, daha yüksek kapiler gerilmeler ölçülmesine rağmen, CEM I 42,5 N'ye göre daha düşük çökelme ve daha küçük plastik rötre çatlağı oluşmasının sebebini açıklamak çok zordur. Muhtemel açıklamalardan birisi CEM I 52,5 R'de yüksek çimento inceliğinden dolayı çoktan bazı çimento hidratasyonlarının yer aldığıdır. Sonuç olarak, karışımdaki parçacıklar arasındaki kohezyondan dolayı beton, kapiler gerilmelere direnç oluşturan ve çatlak genişliğini azaltan çekme mukavemeti geliştirmiş olabilir. Bu hipotezi destekleyen bulgu ise hidratasyonun başlamasından dolayı, 2 saat sonrasında buharlaşma oranının hızla düşmüş olmasıdır [25,26].

2.3.5 Su/çimento oranı

Su/çimento oranı azaldıkça, beton karışımları daha hızlı priz almaları, yüksek orandaki rijiditeleri ve düşük terleme oranları ile plastik rötre çatlağına daha fazla maruz kalırlar. Yani, beton dayanımı arttıkça plastik rötre çatlakları da artmaktadır [14,27].

Su/çimento oranı yüksek olduğunda beton yüksek terleme gösterir, bundan dolayı beton yüzeyindeki su filmi daha uzun süre kalır. Bu durum, kapiler basınçları önler veya gelişimini geciktirir. Bununla birlikte, ince parçacık seviyesinde parçacıklar arasında hâkim olan etkileşimden dolayı düşük çökelme oluşur ve menisk hızlı bir şekilde yüzeyin altına düşer. Bu aynı zamanda düşük kapiler basınç ve çok küçük çatlaklara sebep olur [26].

2.3.6 Yüzey düzeltmesi ve vibrasyon

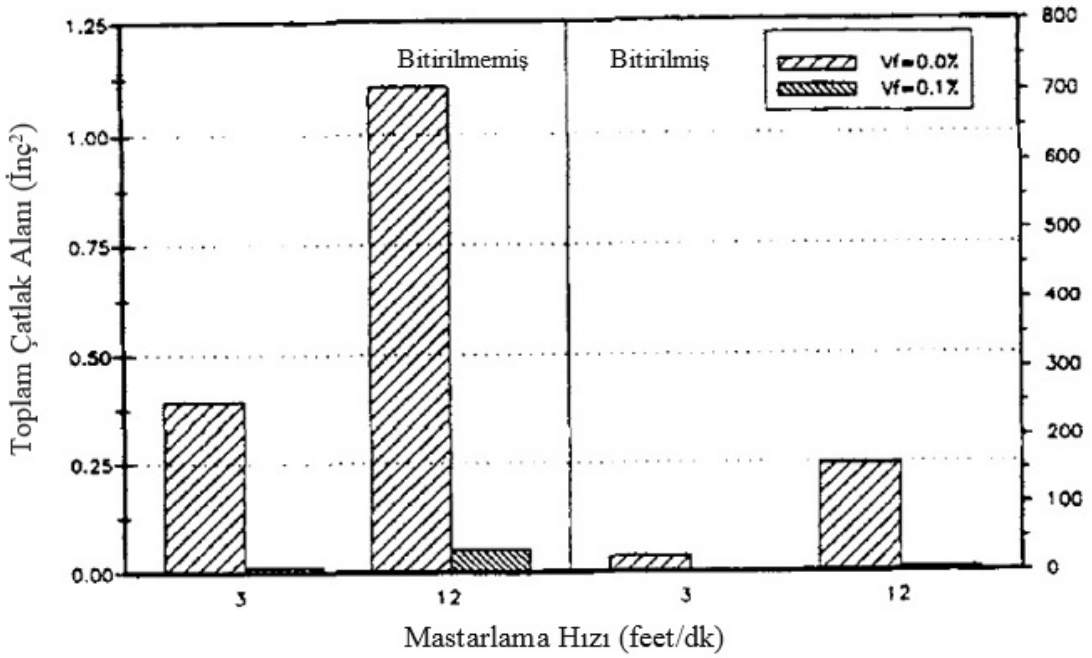
Beton kalıba yerleştirildikten sonra yapılan ilk mastar, mastar doğrultusu ve terleyen su beton yüzeyinde parladığında mala veya mastarla ikincil bitirme işlemleri uygulanarak, plastik rötre çatlakları üzerine yapılan çalışmada, bu işlemlerin çatlak alanını azalttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen toplam çatlak alanı sonuçları (birim=inç^2), Şekil 2.13'te gösterilmektedir.

Mastar Yönü	Fiber Oranı, %							
	0.0				0.1			
	Mastar hızı, feet/dk				Mastar hızı, feet/dk			
	3		12		3		12	
	Bitirme		Bitirme		Bitirme		Bitirme	
	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var
Uzun	0.484	0.039	1.225	0.262	0.001	0.006	0.057	0.006
Kısa	0.302	0.031	0.987	0.229	0.023	0.001	0.047	0.009

Şekil 2.13 : Mastarlama hızı, mastarlama yönü ve yüzey bitirme işlemlerinin toplam çatlak alanına etkileri [28].

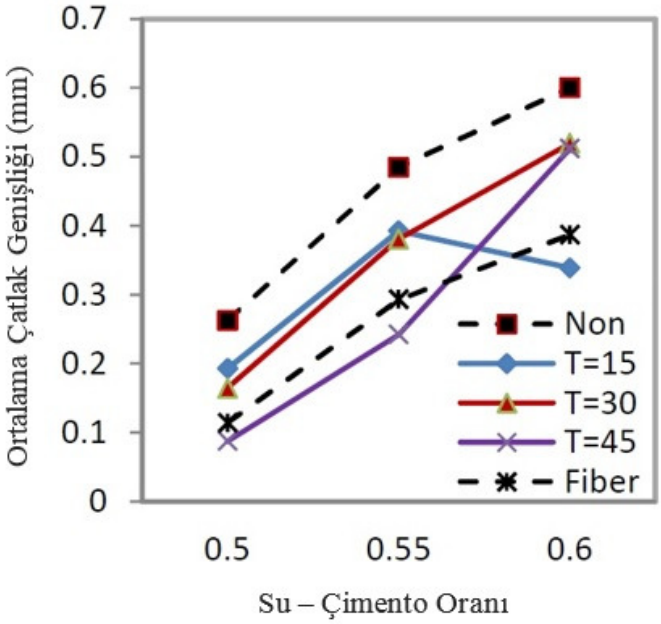
Mastarlama hızı arttıkça, oluşan toplam çatlak alanı da artmıştır. İkincil mastarlama veya mala ile yüzey sonlandırma işlemleri de çatlak alanını düşürmüştür. Son olarak kısa kenar doğrultusunda yapılan mastarlama, çatlak alanını daha fazla azaltmıştır. Sonuçların gösterildiği grafik, Şekil 2.14'te verilmiştir [28].

Son düzeltme veya malalama işlemi, büyük ölçüde plastik rötre çatlağını azaltmaktadır. Bu durum, çatlakların dolmasıyla veya malalama sonucunda yarı akışkan betonun yüzeyi kaplaması ile ilişkilendirilebilir [22].



Şekil 2.14 : Yüzey düzeltmesi, mastarlama hızı ve lif oranının çatlak alanına etkisi [28].

Yapılan diğer bir çalışmada ise 3 farklı su/çimento oranına sahip olan beton, kalıplara yerleştirildikten sonra 3-5 saniye vibrasyon uygulanmıştır. Ardından, bir buçuk saat sonra numunelere; 15, 30 ve 45 saniyeliğine olmak üzere, 3 farklı uzunlukta tekrardan vibrasyon yapılmıştır. Ayrıyeten, 0,9 kg/m^3 dozajında fibrile polipropilen lif kullanılarak performans karşılaştırması yapılmıştır. Sonuçların verildiği grafik Şekil 2.15'te gösterilmektedir.



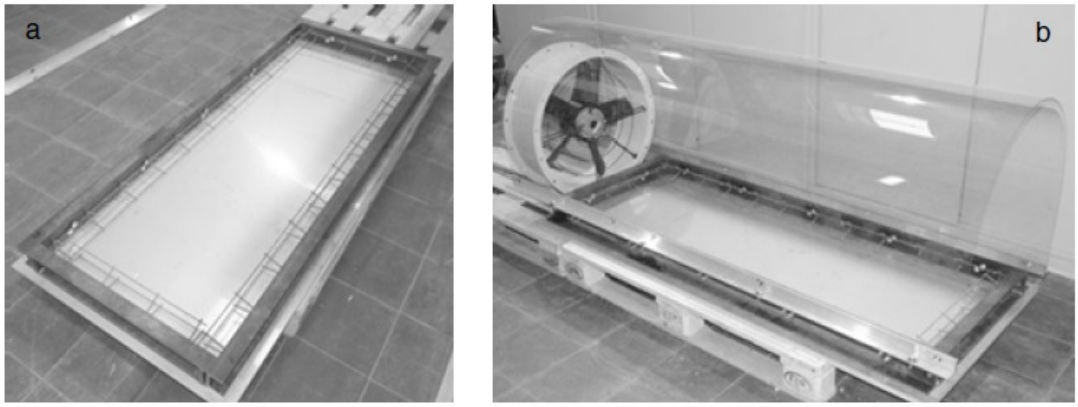
Şekil 2.15 : İkincil vibrasyonun çatlak genişliğine etkisi [29].

Elde edilen sonuçlara göre, visbrasyon süresi uzadıkça ortalama çatlak genişliklerindeki azalma %50'lerden %60'lara doğru yaklaşmıştır ve su/çimento oranı daha düşük olan numunede daha etkili olmuştur [29].

2.3.7 Deney yöntemleri

3 farklı deney düzeneği kullanılarak, plastik rötre çatlağı üzerine yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bunlardan ilki, Almanya'da betonun plastik rötre çatlağı üzerine Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) tarafından önerilen, beton katkısı olarak liflerin kullanımının kabul edilebilirliği için bir yöntemdir. Ölçümler 160 x 60 x 8 cm^3'lük çelik kalıplarda yapılmaktadır. Betonun kısıtlanması, çelik çerçeveye sabitlemiş olan donatılarla sağlanmaktadır (Şekil 2.16a).

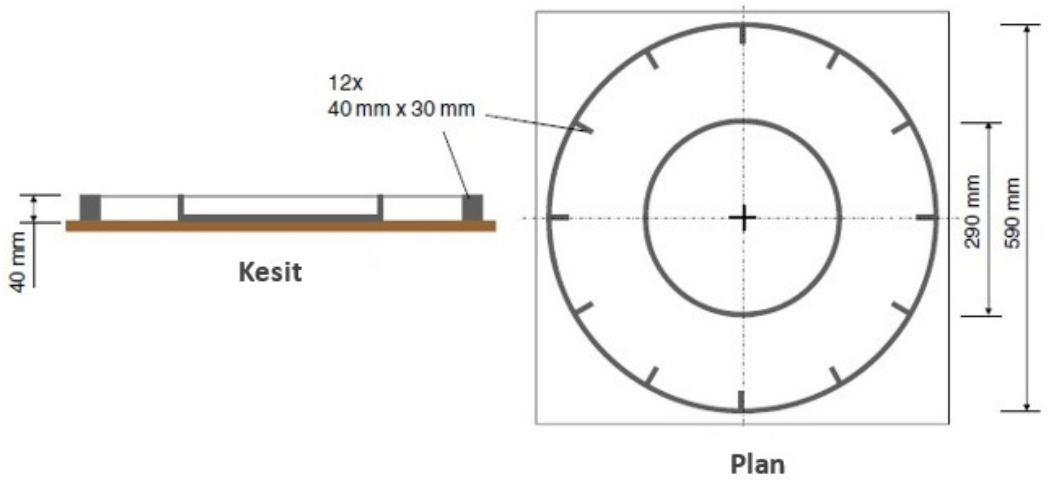


Şekil 2.16 : DIBt deney düzeneği [30].

Taze betonun yerleştirilmesi ve yüzey düzeltmesinden sonra, kalıp şeffaf bir rüzgar tüneli ile kaplanır (Şekil 2.16b). Deney düzeneğinde, vantilatör yardımıyla rüzgar hızı yaklaşık 5 m/s olarak sağlanmaktadır. Testler, sıcaklığın 30 °C ve bağıl nemin %50 olduğu bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Buharlaşma ve yatay plastik rötre, tünel içerisine yerleştirilen 30 x 30 x 8 cm^3 boyutlarındaki farklı beton numunesi üzerinde ölçülmüştür. Ek olarak, çökelme ve kapiler basınç değerleri de ölçülmüştür. Sertleşmiş betondaki çatlak ölçümü 7 saat sonunda yapılmıştır.

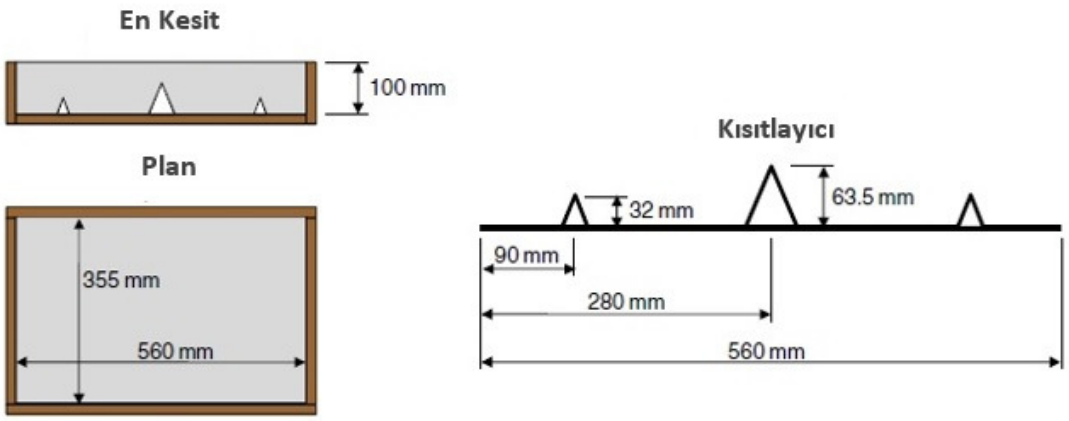
Avusturya'da Österreichhische Vereinigung für Beton und Bautechnik (ÖVBB) tarafından önerilen ikinci yöntem de, yine Almanya'daki gibi fiberlerin kabul edilebilirliği için kullanılmaktadır. Ölçümler, 150 mm genişlik ve 40 mm kalınlığa sahip olan beton bilezikler üzerinde yapılmıştır. Beton, rijit bir panel üzerine

yerleştirilmiş olan rijit iki bileziğin arasına dökülmektedir (Şekil 2.17). Dıştaki bileziğin iç tarafında, betonu kısıtlamak için 12 adet çelik levha vardır. Her bir numunenin beton yüzeyindeki hava akışı, direkt olarak numune yukarısına yerleştirilen hunilere bağlanmış 4 m/s rüzgar hızı üreten fanlar ile sağlanmıştır. Bu çalışmada da Şekil 2.11b'deki tünel içerisine, biri su kaybını ölçmek için olmak üzere 3 numune yerleştirilmiştir. Çökelme, kapiler basınç ve buharlaşma ölçümleri ayrı bir numune üzerinde yapılmıştır. Ölçüm, 20 °C sıcaklık ve %50 rölatif neme sahip ortamda, 5 saat süresince yapılmıştır. Deney sonunda gözlemlenen tüm çatlak uzunlukları, kontrol numunesiyle karşılaştırmak için toplanmıştır. ÖVBB'ye göre lifin kabulü için çatlak uzunluğunu azaltma oranı %80'e eşit veya büyük olmalıdır ve herhangi bir minimum çatlak uzunluğu tanımlanmamıştır.

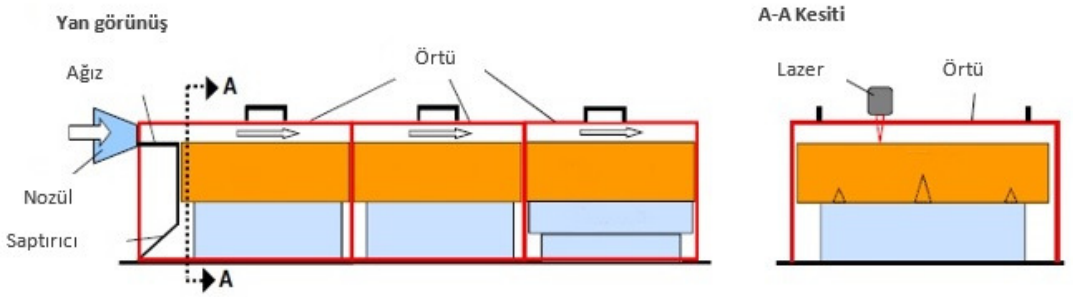


Şekil 2.17 : ÖVBB kalıp boyutları [30].

Üçüncü olarak, kesin ve tekrarlanabilen test imkânı veren yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Özel bir havalandırma ünitesi kullanılarak beton numune yüzeyinde homojen ve düzenli hava akışı sağlanmıştır. Buharlaşma, çökelme ve plastik rötre çatlağı ölçümleri eş zamanlı olarak, aynı numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. ASTM C 1579'a uygun çelik yükseltiler bulunduran kalıplar kullanılmıştır (Şekil 2.18). Kalıplar, ölçüm süresince beton yüzeyinin dış etkilerden korunması için akrilikten yapılmış şeffaf rüzgar tüneli ile kaplanmıştır (Şekil 2.19). Kapiler basınç, rüzgar tüneline yerleştirilen farklı bir numune üzerinde ölçülmüştür. Ölçümler, 37 °C sıcaklık ve %27 rölatif nemde gerçekleştirilmiştir. Rüzgar hızı 6 m/s'dir. Deney bittikten sonra ortalama çatlak genişliklerindeki yüzde olarak azalma hesaplanmıştır.



Şekil 2.18 : ASTM C 1579 kalıp boyutları [30].



Şekil 2.19 : Yeni yöntem deney düzeneği [30].

Deneylerde, dikdörtgen en kesitli (1,4 x 0,1 mm^2), 4 mm uzunluğa sahip polipropilen lifler kullanılmıştır. Deney sonunda her bir yöntem için farklı çatlak değerleri elde edilse de, özellikle çatlak alanı azalma oranlarında neredeyse aynı sonuçlar çıkmıştır. Sonuç olarak, kullanılan yöntemlerin hepsinin temelde liflerin betonun plastik rötre çatlağını azaltmasındaki etkinliğinin değerlendirilmesinde uygun olduğu görülmüştür. Fakat deneylerin tekrar edilebilirliği açısından rüzgar tünellerinde eksenel vantilatör kullanımının, heterojen bir hava akımı oluşturduğu ve tünel içerisindeki farklı noktalara yerleştirilen numunelerde farklı buharlaşma oranlarına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Liflerin sağladığı faydanın değerlendirilmesinde, DIBt'in sadece görsel muayene istemesi yetersiz bir durumdur. ÖVBB'de ise sadece çatlak uzunluğuna bakılması yetersiz olup çatlak genişliğinin durabilitede daha büyük bir önemi olduğu bilgisi doğrultusunda şartlar geliştirilmelidir [30].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Genel Bilgi

Deneysel çalışmalarda, agrega granülometrisinin plastik rötre çatlağı üzerine etkisi, farklı geometriye sahip olan liflerin plastik rötre çatlaklarını önlemedeki performansları ve agrega granülometrisinin liflerin performansı üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda takip edilen yönetmeliklerin şartlarını sağlayan, referans numune karışım tasarımını saptamak çalışmadaki ilk hedef olmuştur. Belirlenen karışım tasarımında su/çimento oranı sabit tutulmuş, değişkenler 3 farklı agrega granülometrisi ve ağırlıkça farklı oranlardaki lifler olmuştur. Çalışmada aynı boya sahip, en kesitleri farklı 2 tip polipropilen lif kullanılmıştır. Her bir karışım tasarımı için 2 numune hazırlanmış ve çatlak sonuçlarının ortalama değerleri alınmıştır.

Kullanılan deney düzeneği içerisinde; buharlaşan su miktarı, fanların sağladığı rüzgar hızı, 3 farklı granülometrisine sahip betonların 28 günlük basınç dayanımları ve bu betonların priz süresi tayini ayrıca yapılmıştır. Ortamdaki anlık sıcaklık, rölatif nem, slump (çökme) ve birim ağırlık değerleri her üretimde ölçülmüştür.

3.2 Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin özellikleri aşağıda verilmektedir.

3.2.1 Su

Çalışmalarda şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2.2 Çimento

Yapılan çalışmalarda Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Büyükçekmece fabrikasında üretilen CEM I 42,5 R sınıfı çimento kullanılmıştır. Özgül ağırlığı 3,17 gr/cm^3'tür.

3.2.3 Agrega

Deneylerde ince ve iri agrega olarak, malzeme laboratuvarının temin etmiş olduğu malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan agregaların özgül ağırlık deney sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Agregalara ait özgül ağırlık deney sonuçları.

	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)
Doğal Kum	2,64
Kırma Kum	2,76
Kırma Taş	2,76

Plastik rötre deneyi için ASTM C 1579 standartında belirtildiği üzere, maksimum agrega dane boyutu 19 mm'dir. Bu nedenle yapılan çalışmalarda maksimum agrega dane boyutu 16 mm'dir ve böylece standarttaki şart şağlanmıştır.

Çalışmalarda doğal kum, kırma kum ve kırma taş no1 kullanılmıştır. Daha önce de bahsedildiği gibi, agregaların plastik rötre çatlağı üzerine etkileri ve agrega dane boyutunun, liflerin plastik rötre çatlağına karşı sergileyeceği performans üzerine etkilerini de görebilmek amacıyla; B-C, B ve A-B olarak isimlendirilen 3 farklı agrega granülometrisi belirlenmiştir.

Agregaların, elek analizi deney sonuçları Çizelge 3.2'de, hacimce granülometri oranları Çizelge 3.3'te, bileşimlerin elek analizi sonuçları Çizelge 3.4'te ve bileşim agrega granülometri eğrileri Şekil 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Agrega elek analizi sonuçları.

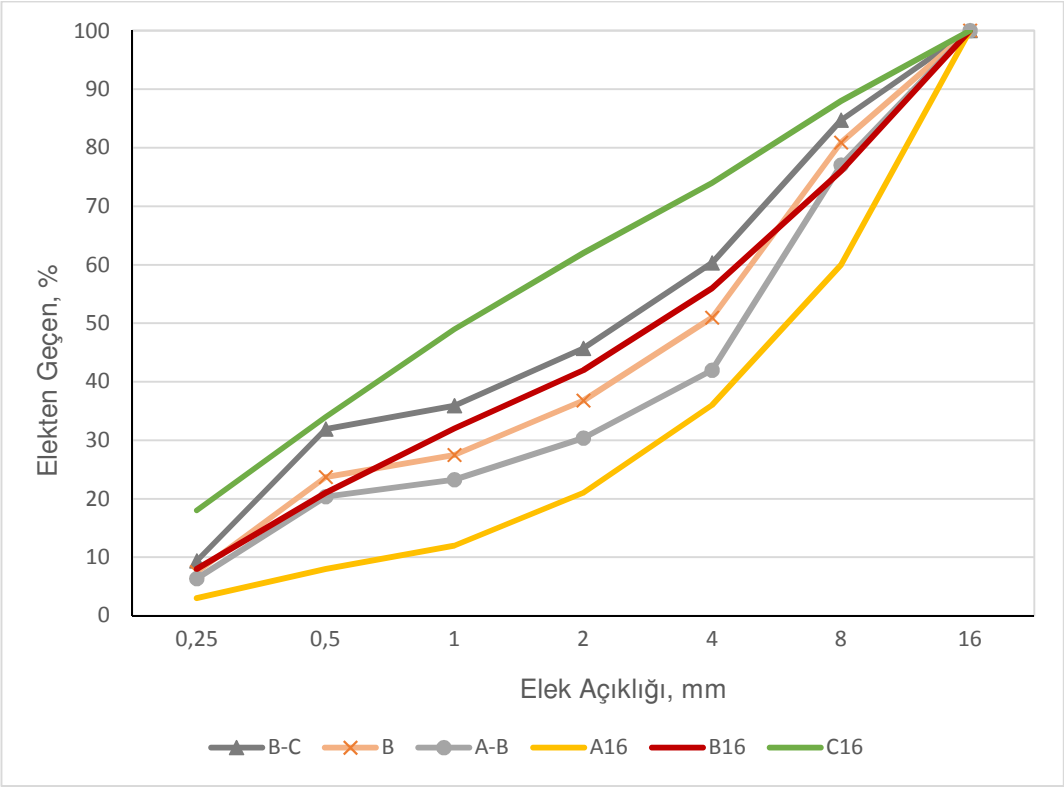
Elek Göz Açıklığı (mm)	**Elekten Geçen Malzeme (%)**		
	Doğal Kum	**Kırma Kum**	**Kırma Taş**
16	100,0	100,0	100,0
8	100,0	100,0	61,8
4	100,0	94,4	5,6
2	100,0	57,0	1,9
1	100,0	29,5	1,5
0.50	99,7	18,4	1,3
0.25	22,6	9,3	1,0

Çizelge 3.3 : Hacimce agrega granülometri oranları.

	Kum	Kırma kum	Kırma taş
B-C	25%	35%	40%
B	17%	33%	50%
A-B	15%	25%	60%

Çizelge 3.4 : Bileşim elek analizi sonuçları.

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Malzeme (%)		
	A-B	**B**	**B-C**
16	100,0	100,0	100,0
8	77,1	80,9	84,7
4	42,0	51,0	60,3
2	30,4	36,8	45,7
1	23,3	27,5	35,9
0.50	20,4	23,7	31,9
0.25	6,3	7,4	9,3
İncelik mod.	4,01	3,73	3,32



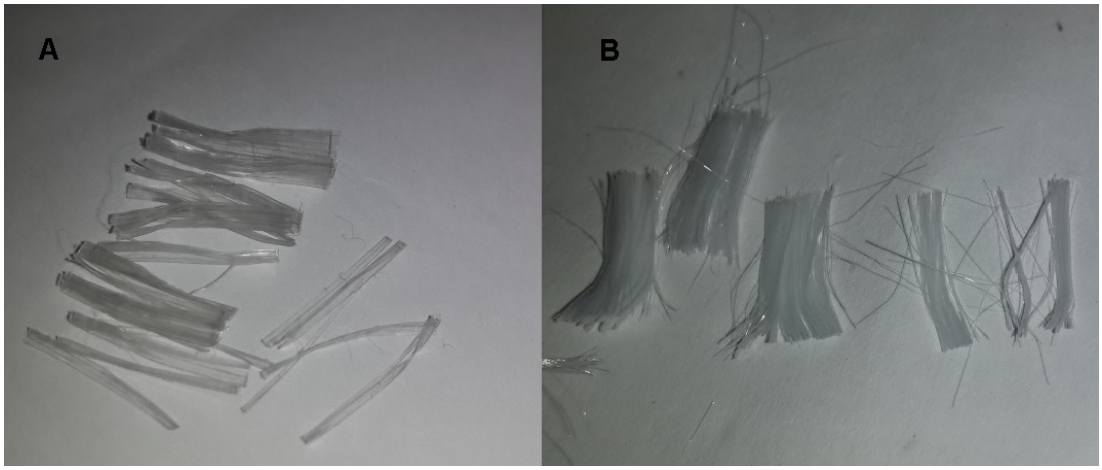
Şekil 3.1 : Bileşim agrega granülometri eğrileri.

3.2.4 Kimyasal katkı

Yapılan çalışmalarda, Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. tarafından üretilen, Sikament RMC210 isimli süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı özgül ağırlığı, ürün bilgilerinden faydalanılarak 1,19 gr/cm^3 olarak hesaplamalara katılmıştır. Yaklaşık olarak aynı slump (çökme) değerlerini sağlayacak akışkanlaştırıcı değerleri, çimento ağırlığının yüzdesi olarak; B-C bileşiminde %1,10, B bileşiminde %0,90 ve A-B bileşiminde %0,80 olarak belirlenmiş ve tüm karışım tasarımlarında bu değerler sabit tutulmuştur.

3.2.5 Lifler

Yapılan çalışmalarda farklı geometrik şekillere sahip monofilament (Şekil 3.2B) ve fibrile polipropilen (Şekil 3.2A) lifler kullanılmıştır. Polipropilen hidrofobiktir ve bünyesine su emmez veya çimento hamuruyla herhangi bir kimyasal bağ oluşturmaz. Geometrisi sayesinde sadece mekanik bağ oluşturur [22]. Kullanılan liflerin boyları 12 mm'dir. Fibrile lifin denyesi 1200'dür ve monofilament lifin denyesi 2,5 ile 6 arasındadır (Çap= 20 - 30 mikron) . Karışımlarda her bir granülometri için 600 gr/m^3, 900 gr/m^3 ve 1100 gr/m^3 olmak üzere 3 farklı lif dozajı kullanılmıştır.



Şekil 3.2 : Kullanılan lifler.

3.3 Beton Bileşimleri

Referans numunelerinin, 1 m^3 için kullanılan beton bileşenleri Çizelge 3.5, 3.6 ve 3.7'de verilmiştir. Lif katkılı betonların bileşenleri ise ekte verilmiştir.

Çizelge 3.5 : A-B referans bileşimi.

Bileşen	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	3,17	350	110,4
Su	1,00	192,5	192,5
Doğal Kum	2,64	267	101,2
Kırma Kum	2,76	466	168,7
Kırma Taş No1	2,76	1117	404,8
Akışkanlaştırıcı	1,19	2,8	2,4
Hava	-	-	20

Çizelge 3.6 : B referans bileşimi.

Bileşen	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	3,17	350	110,4
Su	1,00	192,5	192,5
Doğal Kum	2,64	303	114,7
Kırma Kum	2,76	614	222,6
Kırma Taş No1	2,76	931	337,2
Akışkanlaştırıcı	1,19	3,15	2,6
Hava	-	-	20

Çizelge 3.7 : B-C referans bileşimi.

Bileşen	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	3,17	350	110,4
Su	1,00	192,5	192,5
Doğal Kum	2,64	445	168,5
Kırma Kum	2,76	651	235,8
Kırma Taş No1	2,76	744	269,5
Akışkanlaştırıcı	1,19	3,85	3,2
Hava	-	-	20

3.4 Numunelerin Üretimi

Beton üretiminde, düşey eksende karıştırma yapan laboratuvar betoniyeri kullanılmıştır. Tartım işlemi yapılan malzemeler, iri tanelilerden ince tanelilere doğru sırasıyla betoniyer kazanına yerleştirildikten sonra, kısa bir süreliğine kuru halde iken karıştırılmıştır. Sonrasında su ilavesi, az miktarda kullanılmamış su kalacak şekilde yavaşça yapılmıştır. Kalan suya, kimyasal katkı maddesi ilave edilerek karışıma yavaş bir şekilde eklenmiştir. Son olarak, hazırlanan lifleri karıştırma işlemi, liflerin beton içerisinde iyi bir şekilde dağıldığından emin olmak için el ile kontrollü bir şekilde yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra slump (çökme) ve birim ağırlık deneyleri yapılmış ve bekleyen malzeme çok kısa süreliğine tekrar karıştırıldıktan sonra daha önce yağlanmış olan kalıplara, iki tabaka halinde yerleştirilmiştir. Kalıplar sarsma platformu üzerine yerleştirildikten sonra sarsma işlemi gerçekleştirilip mastarlama yapılmış ve deney düzeneğine yerleştirilmiştir.

3.5 Deney Yöntemleri

3.5.1 Slump (çökme) deneyi

Beton, betoniyerde karıştırıldıktan sonra TS EN 12350 – 2 [32] standartına uygun olarak slump deneyleri her karışım için yapılmıştır.

3.5.2 Birim ağırlık deneyi

Betoniyerde karıştırılan beton, darası alınan 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlarındaki küp kullanılarak, her karışım hazırlandıktan sonra yapılmıştır.

3.5.3 Buharlaşma deneyi

Deney düzeneğinde, suyun bir saatlik süre içerisinde, bir metrekare alandan buharlaşma değeri, ICC-ES AC217 yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak 0,12 m^2 alana sahip olan kap kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.5.4 Priz süresi deneyi

Betonların, kullanılan deney düzeneği içerisindeki priz sürelerinin tayini TS 2987 [33] standartındaki kurallara uygun bir şekilde yapılmıştır. Kullanılan aparat Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

Şekil 3.3 : Priz süresi belirlemede kullanılan aparat.

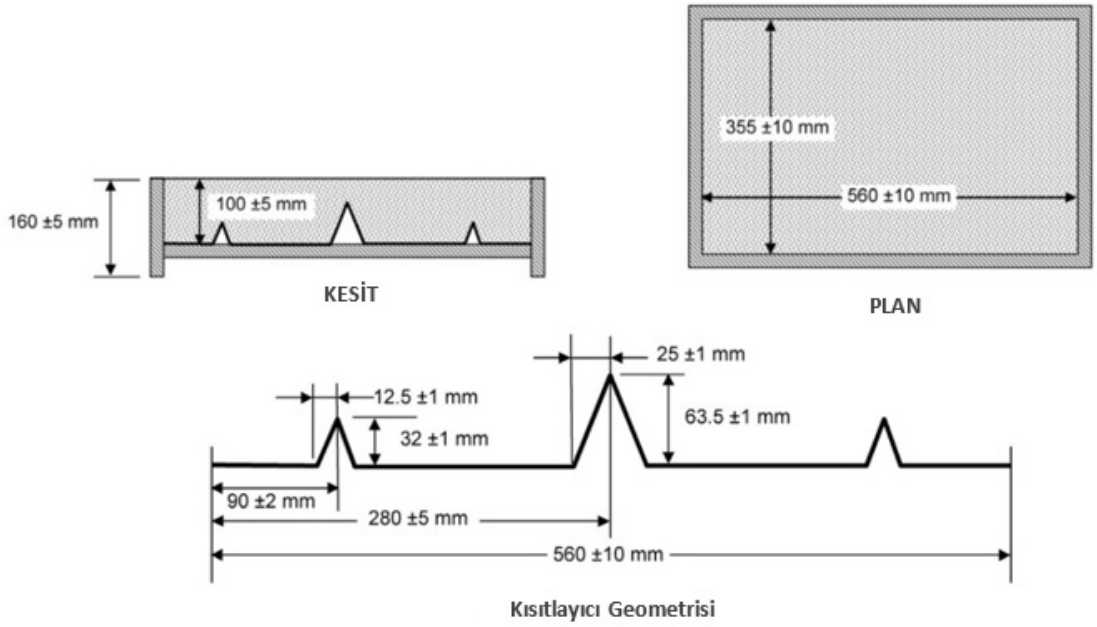
3.5.5 Plastik rötre deneyi

ASTM C 1579 [34] ve ICC-ES AC217 [35] yönetmelikleri deney yönteminin ana hattını oluşturmuştur. Bu yönetmeliklerde belirtilen deney düzeneklerinin bir benzeri, Malzeme Laboratuvarında mevcut bulunmaktadır ve çalışmalarda bu düzenek kullanılmıştır (Şekil 3.4).

Şekil 3.4 : Plastik rötre deney düzeneği.

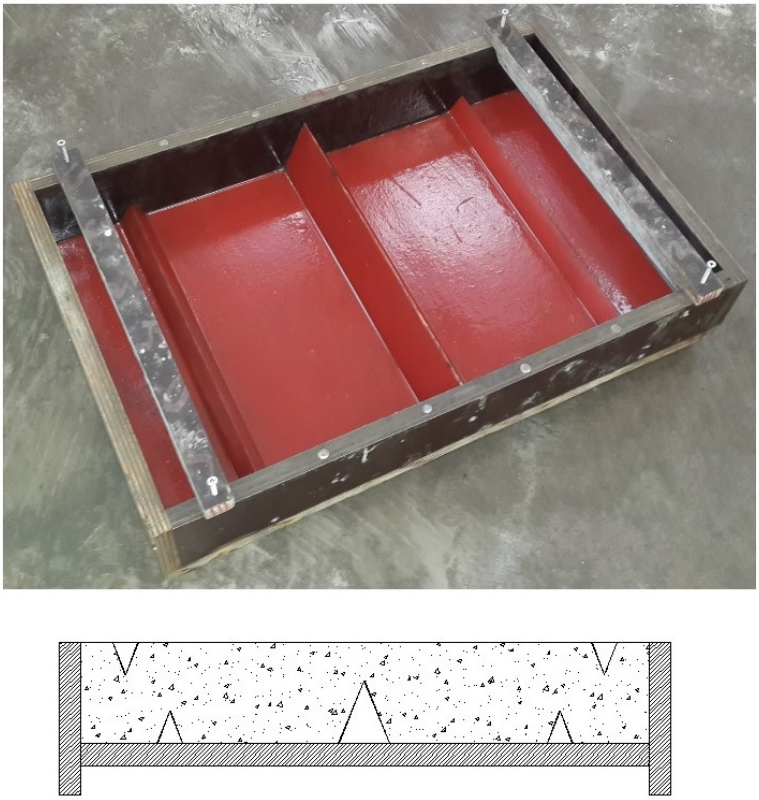
Deneyin genel amacı, daha önce de belirtildiği gibi çatlak özelliklerindeki azalma oranına bağlı olarak; değişen agrega granülometrisinin, kullanılan liflerin geometrisinin ve dozunun plastik rötre çatlağı üzerine etkisi ile birlikte agrega granülometrisinin, liflerin plastik rötre çatlağını önleme performansları üzerine etkilerinin araştırılmasıdır.

ASTM C 1579 yönetmeliğinde belirtilen kalıp boyutları, Şekil 3.5'te verilmiştir. Verilen boyut değerlerini sağlayan ve laboratuvarda mevcut bulunan kalıplar, 355 mm genişliğe, 560 mm boya ve 95 mm derinliğe sahiptir.



Şekil 3.5 : ASTM C 1579 kalıp boyutları.

ASTM C 1579 yönetmeliğine göre referans numunenin kabul edilebilirliği için ortalama çatlak genişliğinin en az 0,50 mm olması gerekmektedir. Deneysel çalışmalar sonbahar – kış mevsimine denk geldiği için gerek artan nem oranı gerekse düşen hava sıcaklıklarından dolayı bu değeri yakalamak oldukça güç olmuştur. Bu duruma bir çözüm olarak, referans betonlarının daha fazla çatlamasını sağlayabilmek amacıyla kalıp üzerine yeni bir kısıt konulması gerektiği düşünülmüştür. En pratik çözüm olarak, kalıp dış kenarı ile küçük kısıtın tam ortasına denk gelecek şekilde, kalıbın üstünde bir çıtaya sabitlenmiş, ters küçük üçgen şeklinde ek bir kısıt, kalıba sarsma işleminden önce vidalar yardımıyla sabitlenmiştir. Kalıbın son hali ve en kesiti Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 : Kalıp kesiti ve görüntüsü.

Deney düzeneğinde anemometre ile yapılan ölçümlere göre ortalama 16 – 17 km/saat rüzgar hızı sağlayan fanlar kullanılmıştır. Ayrıca, buharlaşma hızını artırmak amacıyla numune yüzeyini homojen bir şekilde ısıtacak şekilde, infrared ısıtıcılar deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Deney sonunda, numune yüzeyinde sıcaklık değeri 43±3 °C ve rölatif nem oranı %17±3 olarak ölçülmüştür. Düzenek içerisindeki buharlaşma hızı 1,09 kg/m^2.saat ile ASTM C 1579 yönetmeliğindeki sınır değerini sağlamıştır.

Beton, kalıplara yerleştirildikten sonra yüzey düzeltmesi yapılan numuneler fan bölmesine yerleştirilip, fanlar ve ısıtıcılar çalıştırılarak deney başlatılmıştır. Numunelerin ilk çatlamaya başladığı anlar gözle kontrol edilerek, ilk çatlak oluşum süreleri kaydedilmiştir. Çatlak oluşumu başladıktan sonra her yarım saatte bir, numunelerin fotoğrafları çekilerek kayıt altına alınmıştır. Bu süreç, deney başlangıcından itibaren 4 saat sonrasına kadar devam etmiştir.

Son yıllarda, yapısal değerlendirmeleri geliştirebilecek ve hızlandırabilecek görsel denetim metodları, teknolojinin desteğiyle birlikte uygulanmaya başlanmıştır. Bunlardan biri de çeşitli inşaat mühendisliği alanlarında istifade edilen, dijital imaj prosesidir.

Birçok araştırmacı çelik, beton ve betonarme yapıların değerlendirme ve denetlemesinde dijital imaj teknolojilerini uygulamıştır. Dijital imaj prosesinin beton yüzeyindeki çatlakların saptanmasında kullanımı; boşluklar, lekeler, gölgelenme ve çatlakların şekillerinden dolayı zor olmasına rağmen geniş bir ilgi görmüş ve pek çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır [31]. Bu çalışmada da dijital imaj prosesi, ölçekli ortografik fotoğraflar elde etmek için, dijital fotoğrafları ayarlamak üzere kullanılmıştır. Bu amaçla kalıp üzerine koordinatları belirli olan raptiyeler yerleştirilmiş ve fotoğrafın ortografik hale getirilmesi işleminde MATLAB koduna değerler işlenmiştir. Düzenlenen fotoğraflar, AutoCAD programına aktarılarak çatlak ölçümleri milimetrik bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Çatlak alanı, çatlak boyu, ortalama çatlak genişliği ve maksimum çatlak genişliği belirlendikten sonra araştırılan parametrenin çatlak oluşumuna karşı etkinliğini belirlemek amacıyla, ortalama genişlik ve toplam çatlak alanı için çatlak azalma oranı (ÇAO) aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

ÇAO = [1 – (lif katkılı betonun ortalama çatlak genişliği veya toplam çatlak alanı) / (referans betonun ortalama çatlak genişliği veya toplam çatlak alanı)] x 100

3.5.6 Beton basınç deneyi

Her bir granülometri için 3'er adet 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutunda küp numunesi alınmış ve 28 günlük basınç deneyi TS EN 12390 – 3 [36] standartına uygun olarak yapılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara ait değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

4.1 Slump (Çökme) Değerleri

Slump deneyleri sonucunda elde edilen değerler, lif dozajına göre aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Slump (çökme) değerleri, cm.

Lif Dozajı (gr/m^3)	A-B	B	B-C
Lifsiz	16	16	15
600	5	4	6
900	3,5	3	3
1100	3	3	3

Az miktardaki lif katkısı bile, karışım içerisinde çok iyi dağılıp aderans sağladığı için slump (çökme) değerini oldukça düşürmüştür. Fakat bu etkinlik, 900 ve 1100 gr/m^3'lük karışımlarda benzerlik göstermiştir.

Bu değerlere bakıldığında, lif kullanımı ile birlikte işlenebilirliğin, lif içermeyen referans betonlara göre etkin bir şekilde azaldığı söylenebilir. Ancak uygulama yapılırken, hem betonun kalıba yerleştirilmesi sırasında el ile sarsmada hem de vibrasyon platformundaki sarsma işlemi sonrasında, betonun çok iyi bir şekilde yerleştiği gözlemlenmiştir.

4.2 Suyun Buharlaşma Miktarı

Deney düzeneği içerisinde 0,12 m^2 alana sahip kap kullanılarak yapılan deney sonucunda buharlaşma miktarı 1,09 kg/m^2.saat olarak ölçülmüştür. Bu değer ile ASTM C 1579 standartında verilen 1,00 kg/m^2.saat sınır değeri sağlanmıştır.

4.3 Birim Ağırlık Değerleri

Hesaplanan birim ağırlık değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.2 : Birim ağırlık değerleri.

Karışım	Birim Ağırlık (gr/cm^3)
BC - Lifsiz	2,37
B - Lifsiz	2,39
AB - Lifsiz	2,40
BC - 600	2,38
BC - 900	2,37
BC - 1100	2,39
B - 600	2,39
B - 900	2,41
B - 1100	2,42
AB - 600	2,41
AB - 900	2,41
AB - 1100	2,43

4.4 Priz Süresi

Priz süresi deneyleri sonrasında kullanılan her üç agrega granülometrisi için de priz süresi 135 dakika olarak ölçülmüştür.

4.5 Basınç Dayanımları

28 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçlarına göre elde edilen değerler, aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.3 : 28 günlük basınç dayanımları, MPa.

Numune	A-B	B	B-C
1	45,0	49,0	45,7
2	45,2	48,8	44,2
3	49,0	47,9	47,0
Ortalama	46,4	48,6	45,6

4.6 Plastik Rötre Deney Sonuçları

Yapılan plastik rötre deneyi sonrasında, iki numunenin ortalaması olarak elde edilen; toplam çatlak alanı, toplam çatlak uzunluğu, ortalama çatlak genişliği ve maksimum çatlak genişliği değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Çatlak ölçüm sonuçları.

Karışım (Granülometri-lif)	Toplam Çatlak Alanı (mm^2)	Toplam Çatlak Uzunluğu (mm)	Ortalama Çatlak Genişliği (mm)	Maksimum Çatlak Genişliği (mm)
BC – Referans	221,2	420,3	0,50	0,96
B – Referans	187,7	450,2	0,42	0,98
AB – Referans	181,9	418,7	0,43	0,93
BC – MPP600	52,6	307,2	0,17	0,34
B – MPP600	133,5	425,2	0,31	0,79
AB – MPP600	161,5	427,7	0,38	0,87
BC – FPP600	74,5	331,3	0,22	0,48
B – FPP600	112,8	423,9	0,27	0,74
AB – FPP600	156,6	479,3	0,33	0,94
BC – MPP900	43,4	324,4	0,13	0,39
B – MPP900	67,3	410,1	0,16	0,44
AB – MPP900	83,2	592,6	0,14	0,40
BC – FPP900	46,7	344,0	0,14	0,32
B – FPP900	90,0	468,2	0,19	0,48
AB – FPP900	119,2	483,3	0,25	0,60
BC – MPP1100	11,6	147,8	0,08	0,31
B – MPP1100	43,4	341,6	0,13	0,47
AB – MPP1100	43,0	327,8	0,13	0,43
BC – FPP1100	34,9	357,8	0,10	0,38
B – FPP1100	32,8	346,9	0,09	0,34
AB – FPP1100	46,8	379,2	0,12	0,41

ÇAO = [1 – (lif katkılı betonun ortalama çatlak genişliği veya toplam çatlak alanı) / (referans betonun ortalama çatlak genişliği veya toplam çatlak alanı)] x 100

Yukarıdaki formül kullanılarak elde edilen çatlak azalma oranı değerleri, Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Çatlak azalma oranları.

Karışım (Granülometri-lif)	**ÇAO (%)** (Alan)	**ÇAO (%)** (Ort. Çatlak Genişliği)
BC – MPP600	75,1	65,9
B – MPP600	28,9	24,7
AB – MPP600	11,2	13,1
BC – FPP600	64,7	55,3
B – FPP600	39,9	36,2
AB – FPP600	13,9	24,8
BC – MPP900	79,5	73,4
B – MPP900	64,1	60,6
AB – MPP900	54,3	67,7
BC – FPP900	77,9	73,0
B – FPP900	52,1	53,9
AB – FPP900	34,5	43,2
BC – MPP1100	94,5	84,4
B – MPP1100	76,9	69,5
AB – MPP1100	76,4	69,8
BC – FPP1100	83,5	80,6
B – FPP1100	82,5	77,3
AB – FPP1100	74,3	71,6

Elde edilen bu sonuçlara göre, kullanılan lif oranı arttıkça çatlak karakteristiklerinde belirgin bir azalma olduğu açıkça görülmektedir. Çalışmada kullanılan lifler aynı boya fakat farklı geometriye sahip polipropilen liflerdir. Lifler karşılaştırıldığında, monofilament polipropilen lif (MPP) 600 gr/m^3 ve 900 gr/m^3 dozları için fibrile polipropilen life (FPP) göre daha iyi bir performans sergilemiştir. 1100 gr/m^3 dozunda ise B-C granülometrisi hariç lifler birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Bu durumun sebebi olarak, monofilament liflerin çok daha küçük çapa sahip olmaları ve aynı ağırlık için çok daha fazla özgül yüzeye sahip olmaları gösterilebilir. Böylece monofilament lifler matris içinde çok daha iyi bir şekilde dağılıp daha fazla matris yüzeyi ile aderans sağlamaktadır.

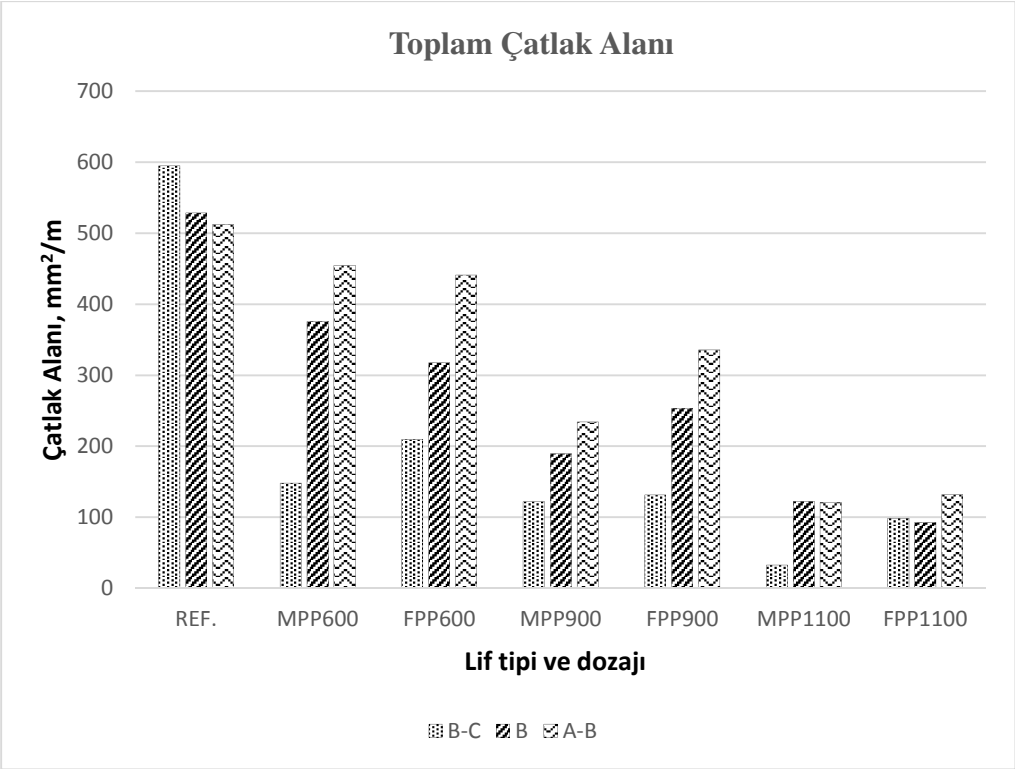
Referans numunelerinin sonuçlarına bakıldığında, agrega granülometrisi irileştikçe toplam çatlak alanlarının azaldığı görülmektedir. Bu sonuç teorik olarak beklenen bir durumdur. Agrega granülometrisi inceldikçe, kullanılan malzeme özgül yüzeyi artmakta ve daha fazla suyu yüzeyinde tutabilmektedir.

Böylelikle, betonun terleme suyu miktarında azalma meydana gelmektedir. Bu durum, plastik rötre mekanizmasında daha önce bahsedildiği gibi betonun daha hızlı bir şekilde priz almasına ve negatif kapiler basıncın daha kısa sürede artış gösterip, menisk sisteminin daha erken bozulmasına ve ardından plastik rötre çatlaklarının daha erken oluşmasına sebep olmaktadır.

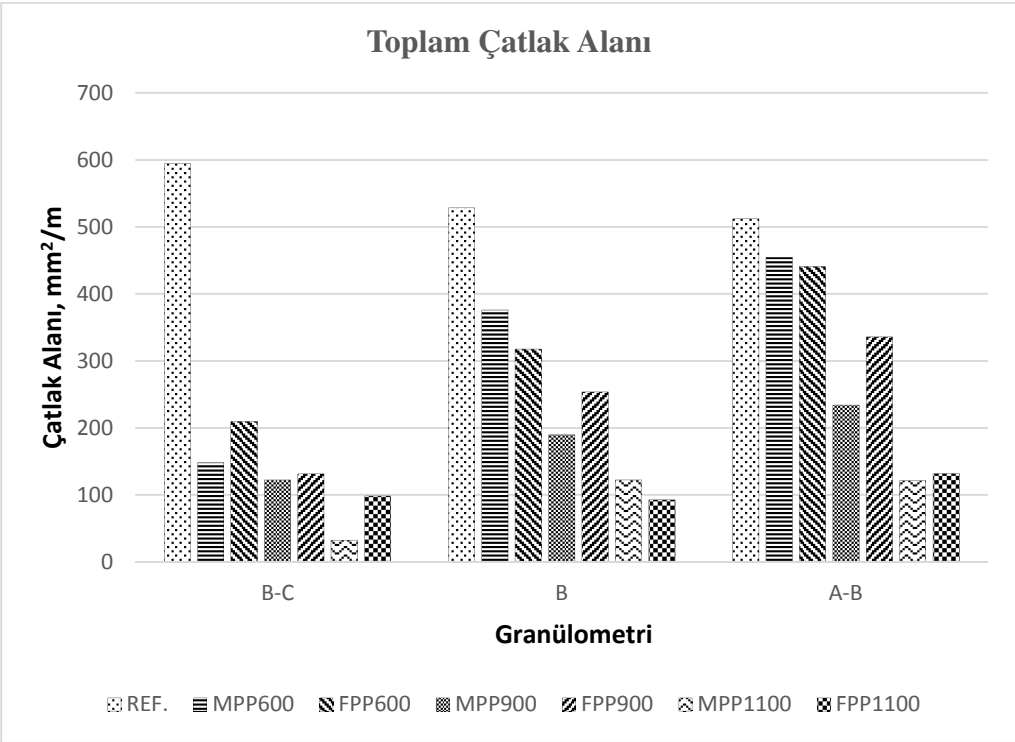
Ancak agrega granülometrisinin, liflerin performansları üzerine etkilerine bakıldığında durumun biraz daha farklı bir boyuta geçtiği açık bir şekilde görülmektedir. Aşağıdaki grafiklerden de görüldüğü üzere, özellikle 600 gr/m^3 ve 900 gr/m^3 lif katkılı numunelerdeki çatlak karakteristikleri, referans numunelerdeki durumun tam tersi olarak agrega granülometrisi irileştikçe artan bir eğilim göstermiştir. Fakat 1100 gr/m^3 dozunda daha önce de belirtildiği çatlak özellikleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu sonucun kesin sebebini açıklamak oldukça zor bir durumdur. Fakat en büyük sebebi olarak, agrega granülometrisi irileştikçe azalan ince malzeme miktarıyla birlikte betonların harç fazında azalma meydana gelmiştir. Böylelikle lifler tutunabilecek daha az yüzey bulabilmiş ve dolayısıyla aderansın azaldığı düşünülmüştür. Bu durumda, liflerin plastik rötre çatlağına karşı gösterdikleri performanslarında da düşüş meydana gelmiştir.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de elde edilen toplam çatlak alanı değerlerinin grafiği 1 metre genişlik için verilmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te toplam çatlak alanının, toplam çatlak uzunluğuna bölünmesiyle elde edilen ortalama çatlak genişliği değerlerinin grafiği verilmiştir. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da ise ölçümler sonucunda elde edilen maksimum çatlak genişliği değerlerinin grafikleri verilmiştir.

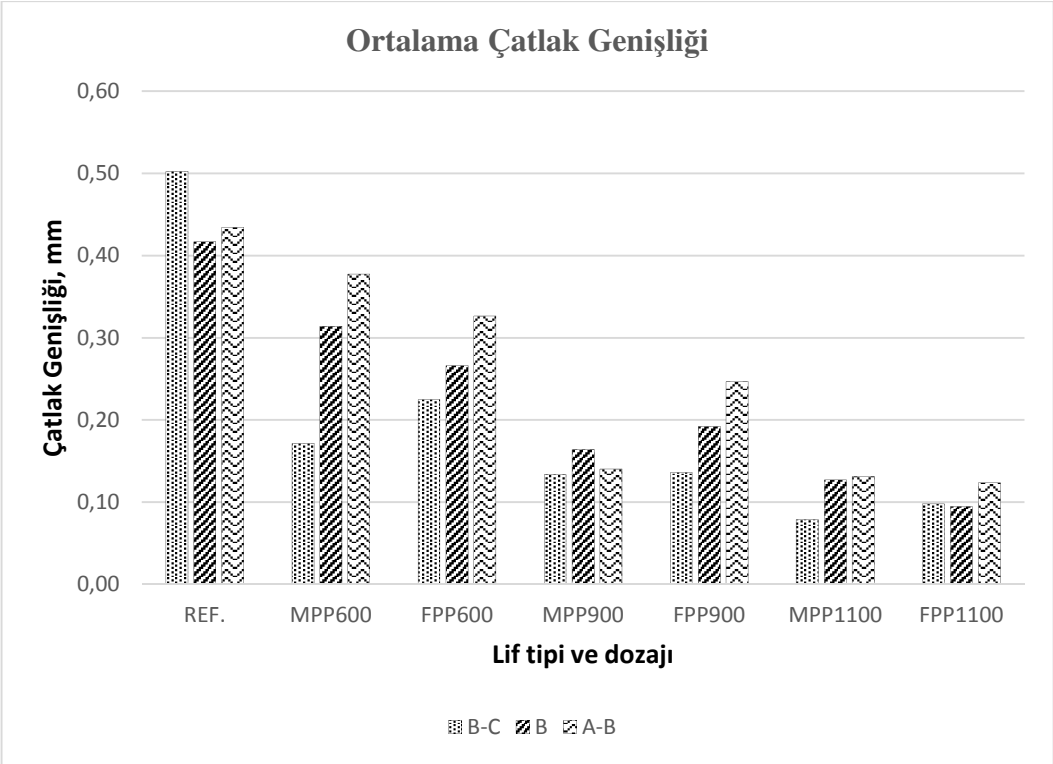
Deney neticesinde elde edilen sonuçların grafikleri, hem lif türü ve dozajı bazında hem de agrega granülometrisi bazında verilmiştir.



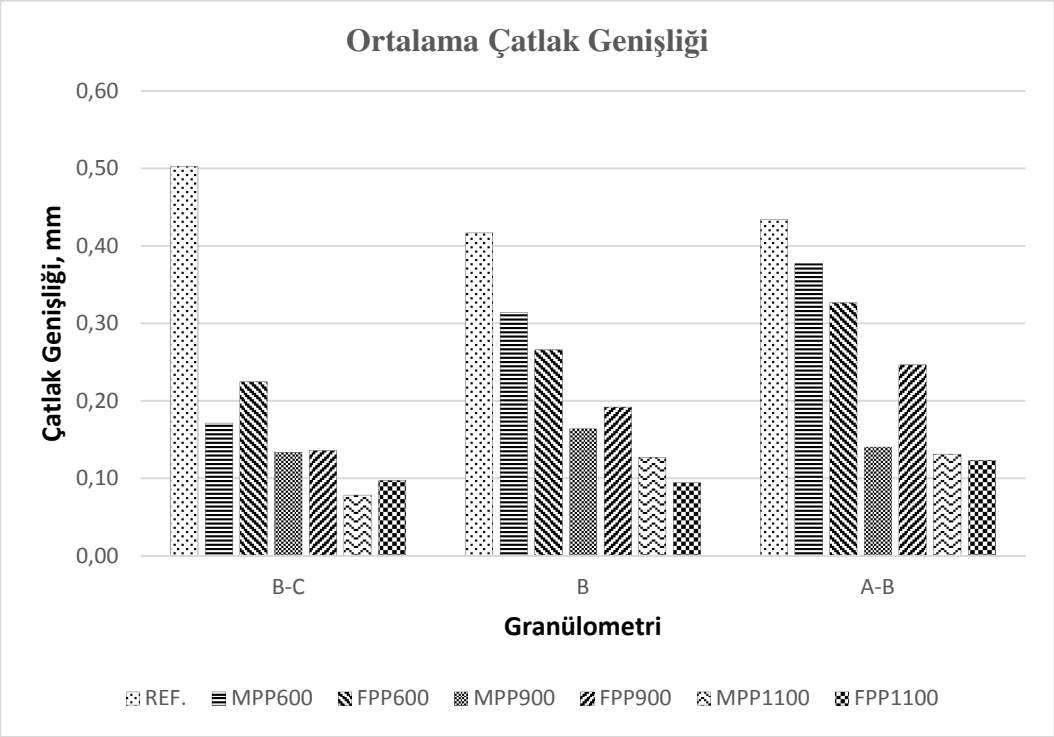
Şekil 4.1 : Toplam çatlak alanı değerleri - 1.



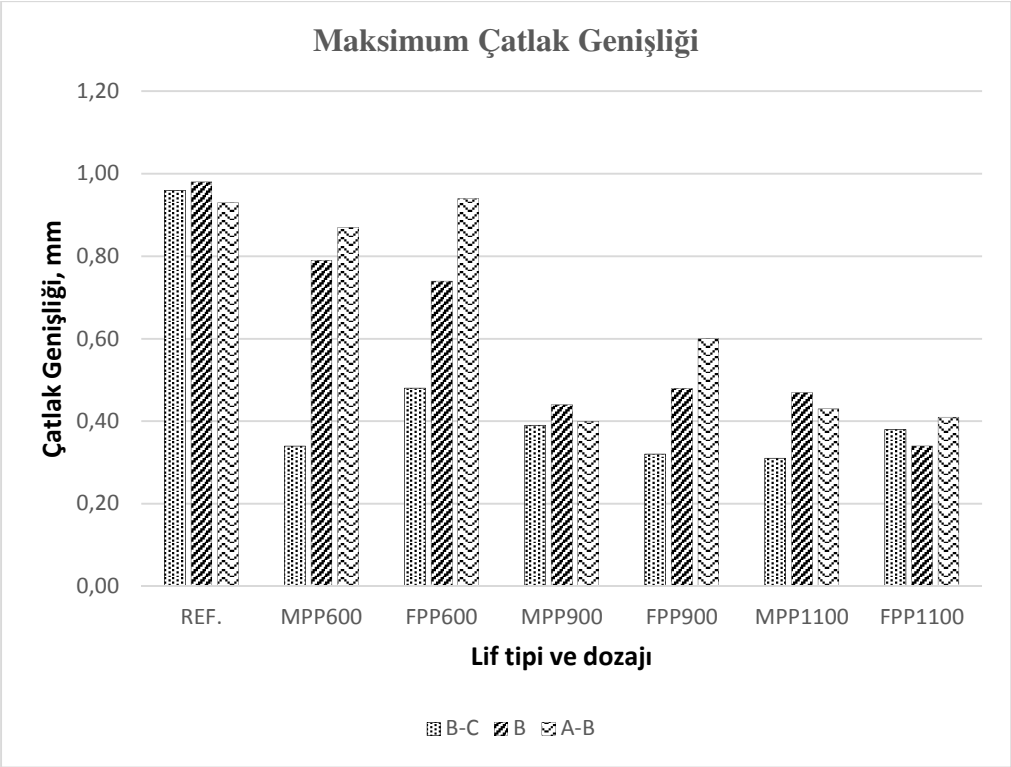
Şekil 4.2 : Toplam çatlak alanı değerleri – 2.



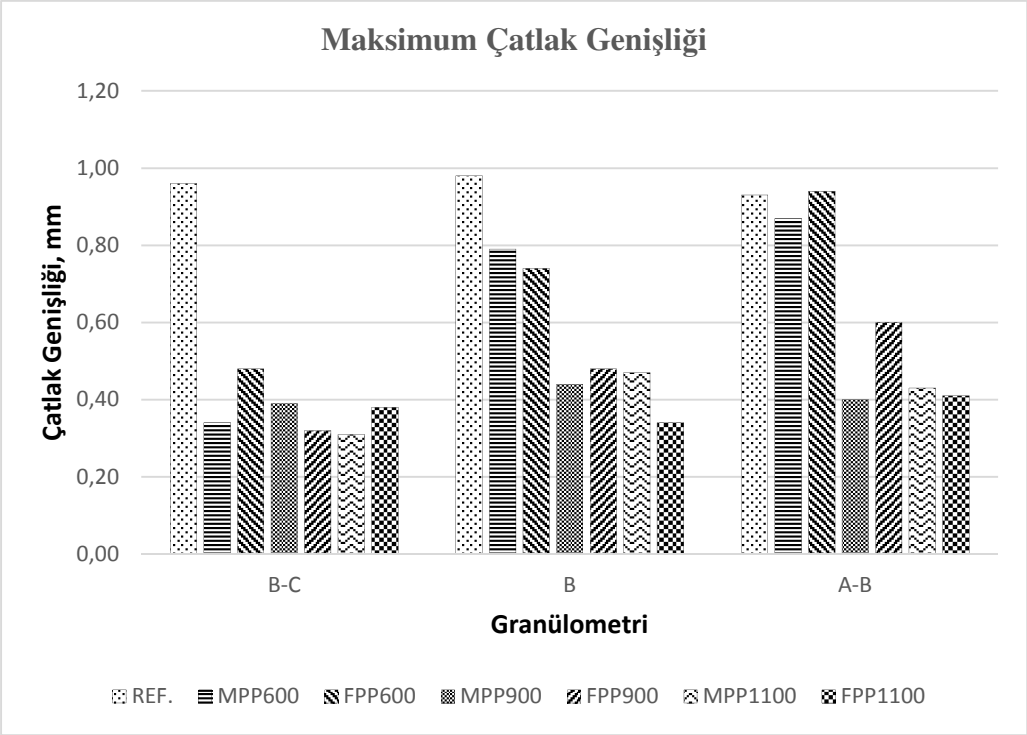
Şekil 4.3 : Ortalama çatlak genişliği değerleri – 1.



Şekil 4.4 : Ortalama çatlak genişliği değerleri – 2.



Şekil 4.5 : Maksimum çatlak genişliği değerleri – 1.



Şekil 4.6 : Maksimum çatlak genişliği değerleri – 2.

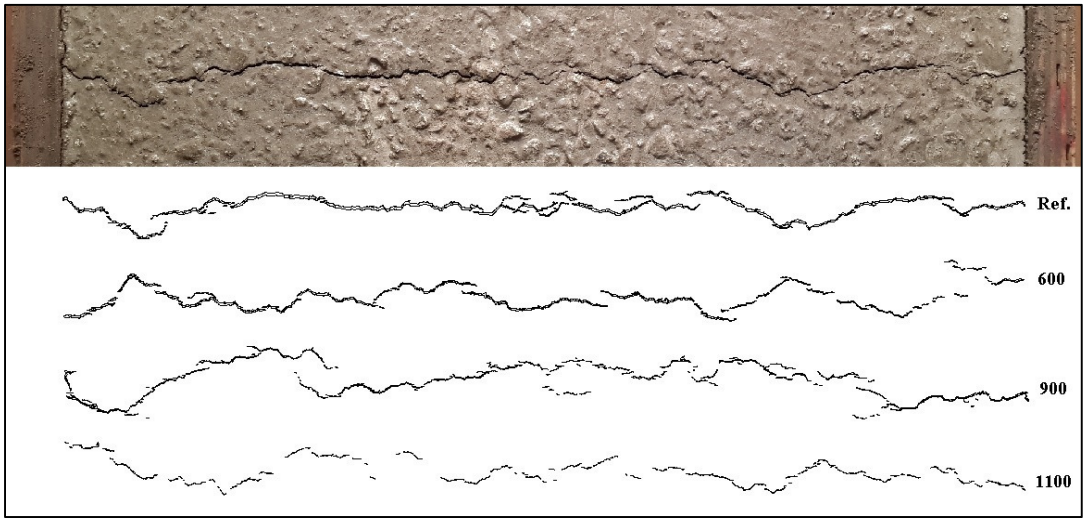
Yapılan deneyler esnasında ölçülen çatlak oluşum süreleri, B-C ve B granülometrisine sahip betonlarda lif oranı arttıkça az da olsa uzamıştır. Fakat A-B granülometrisine sahip betonda 600 gr/m^3 dozundan itibaren çatlak oluşum süresinde uzama trendi görülse de referans numunesinden daha erken sürede çatlak oluşumu gerçekleşmiştir. Referans numuneleri ve lif oranlarına göre çatlak oluşum sürelerinin ortalama değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Çatlak oluşum süreleri.

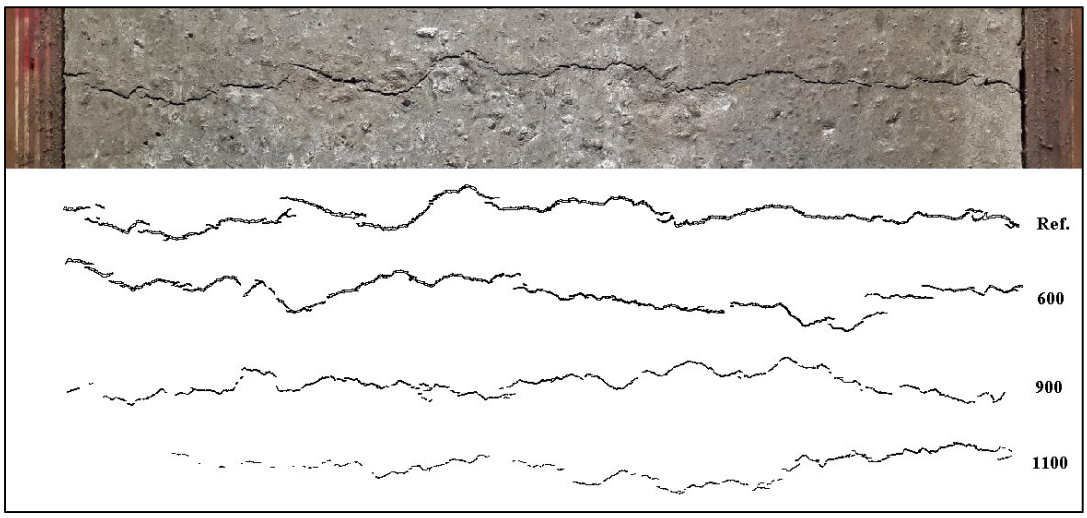
Karışım	Süre (dk)
BC - Lifsiz	100
B - Lifsiz	90
AB - Lifsiz	103
BC - 600	98
BC - 900	108
BC - 1100	105
B - 600	89
B - 900	98
B - 1100	98
AB - 600	79
AB - 900	98
AB - 1100	94

Şekil 4.7'de A-B granülometrisine, Şekil 4.8'de B granülometrisine ve Şekil 4.9'da B-C granülometrisine sahip MPP lifli referans betonlarının deney sonunda çekilen fotoğrafı ile birlikte fotoğraflardan imaj prosesi sonrasında elde edilen çatlak izleri görülmektedir. Şekillerde ilk sırada referans betonun, ikinci sırada 600 gr/m^3 doza sahip MPP lifli betonun, üçüncü sırada 900 gr/m^3 doza sahip MPP lifli betonun ve en altta 1100 gr/m^3 doza sahip MPP lifli betonun çatlak izleri verilmiştir.

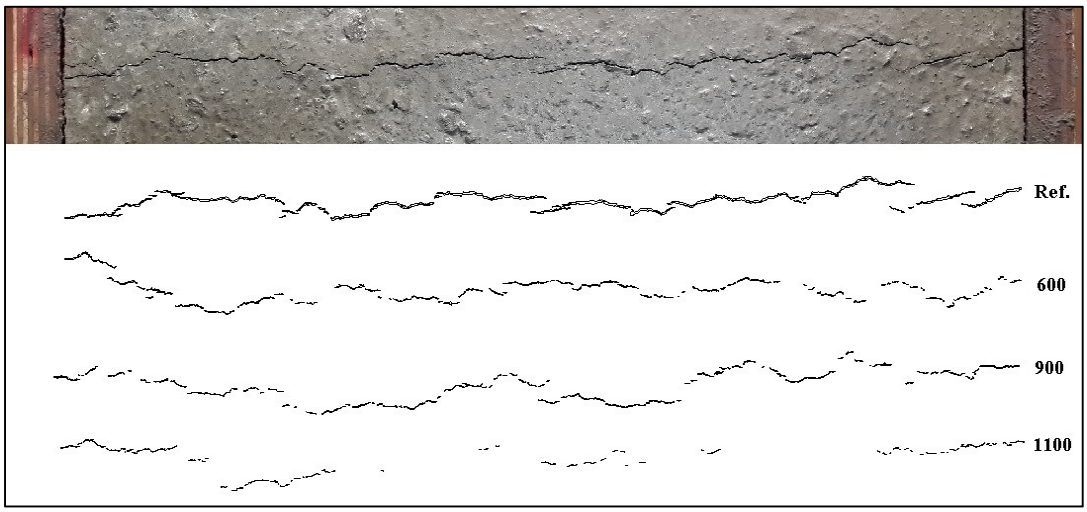
Bu şekillere bakıldığında, kullanılan lif dozajı arttıkça çatlak izlerinde azalma meydana geldiği açık bir şekilde görülmektedir. Granülometrilerin liflerin performansına etkilerine bakıldığında, B-C granülometrisine sahip betonun liflerin performansını 600 gr/m^3 dozajından itibaren etkin bir şekilde artırdığı fakat A-B granülometrisine sahip betonun bu etkinliği ancak 1100 gr/m^3 dozajında sağlayabildiği görülmektedir.



Şekil 4.7 : A-B granülometrisine sahip MPP lif katkılı beton.



Şekil 4.8 : B granülometrisine sahip MPP lif katkılı beton.



Şekil 4.9 : B-C granülometrisine sahip MPP lif katkılı beton.

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada; agrega granülometrisinin, lif tipinin ve lif dozajının plastik rötre çatlağına etkileri ile birlikte agrega granülometrisinin, liflerin plastik rötre çatlağına karşı gösterdikleri performanslarına etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre;

1. Lif katkısız betonda, agrega granülometrisi irileştikçe, toplam plastik rötre çatlağı alanı azalma göstermiştir.
2. Lif katkılı betonlarda, kullanılan lif oranı arttıkça toplam çatlak alanı azalmıştır. Çalışmada kullanılan lifler aynı boya fakat farklı geometriye sahip polipropilen liflerdir. Elde edilen sonuçlara göre monofilament polipropilen, fibrile polipropilene göre daha iyi performans sergilemiştir.
3. Agrega granülometrisinin liflerin performansı üzerine etkisi irdelendiğinde, agrega granülometrisi irileştikçe liflerin göstermiş oldukları performans, özellikle 600 gr/m^3 ve 900 gr/m^3 lif dozajına sahip karışımlarda olmak üzere düşmüştür.
4. İleride yapılacak çalışmalarda, deney düzeneğinin kapalı sisteme dönüştürülerek dış hava şartlarından izole edilmesi deneylerin tekrar edilebilirliği açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

[1] **Erdoğan, T. Y.** (2007). Beton, ODTÜ Yayıncılık.

[2] **Boshoff, W. P. ve Combrinck, R.** (2013). Modelling the severity of plastic shrinkage cracking in concrete, Cement and Concrete Research.

[3] **Sivakumar, A. ve Santhanam, M.** (2007). A quantitative study on the plastic shrinkage cracking in high strength hybrid fibre reinforced concrete, Cement and Concrete Research.

[4] **Leemann, A., Nygaard, P., Lura, P.** (2013). Impact of admixtures on the plastic shrinkage cracking of self-compacting concrete, Cement and Concrete Composites.

[5] **Kadıoğlu, T.** (2006). Rötre azaltıcı katkı malzemeleri, Yüksek Lisans Tezi İTÜ.

[6] **Yiran, W., Zhiqing, Z., Juan L. Ve Lei, Y.** (2013). Experimental study on preventive measures of plastic shrinkage cracking of cement concrete, 13th COTA International Conference of Transportation Professionals.

[7] **Dao, V. T. N., Dux, P. F., Morris, P. H.** (2009). Tensile properties of early-age concrete, ACI Materials Journal Technical Paper, Başlık no.106-M53.

[8] **Rahmani, T., Kiani, B., Bakhshi, M., Shekarchizadeh, M.** (2012). Application of different fibers to reduce plastic shrinkage cracking of concrete, 7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements, sf. 635-42.

[9] **Wittmann, F. H.** (1976). On the action of capillary pressure in fresh concrete, Cement and Concrete Research.

[10] **D. Cohen, M., Olek, J., Dolch, W. L.** (1990). Mechanism of plastic shrinkage cracking in portland cement-silica fume paste and mortar, Cement and Concrete Research.

[11] **Slowik, V., Hübner, T., Schmidt, M., Villmann, B.** (2009). Simulation of capillary shrinkage cracking in cement-like materials, Cement and Concrete Research.

[12] **Pelisser, F., Neto, A. B. S. S., Rovere, H. L., Pinto, R. C. A.** (2010). Effect of the addition of synthetic fibers to concrete thin slabs on plastic shrinkage cracking, Construction and building Materials.

[13] **Boghossian, E. ve Wegner, L. D.** (2008). Use of flax fibres to reduce plastic shrinkage cracking in concrete, Cement and Concrete Composites.

[14] **Soroushian, P. ve Ravanbakhsh, S.** (1998). Control of plastic shrinkage cracking with specialty cellulose fibers, ACI Materials Journal Technical Paper, Başlık no. 95-M40.

[15] **Banthia, N. ve Gupta, R.** (2006). Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete, Cement and Concrete Research.

[16] **Ma, Y., Tan, M., Wu, K.** (2002). Effect of different geometric polypropylene fibers on plastic shrinkage cracking of cement mortars, Materials and Structures, cilt 35.

[17] **Cao, M., Zhang, C., Lv, H.** (2014). Mechanical response and shrinkage performance of cementitious composites with a new hybridization, Construction and Building Materials.

[18] **Kronlöf , A., Leivo, M., Sipari, P.** (1995). Experimental study on the basic phenomena of shrinkage and cracking of fresh mortar, Cement and Concrete Research.

[19] **Lura, P., Pease, B., Mazotta, G. B., Rajabipour, F., Weiss, J.** (2007). Influence of shrinkage-reducing admixtures on development of plastic shrinkage cracks, ACI Material Journal, t.104-M22.

[20] **Bentz, D. P., Geiker, M.R., Hansen, K. K.** (2001). Shrinkage-reducing admixtures and early-age desiccation in cement pastes and mortars, Cement and Concrete Research.

[21] **Mora-Raucho , J., Gettu, R., Aguado, A.** (2009). Influence of shrinkage-reducing admixtures on the reduction of plastic shrinkage, Cement and Concrete Research.

[22] **Bayasi, Z. ve Mclntyre, M.** (2002). Application of fibrillated polypropylene fibers for restraint of plastic shrinkage cracking in silica fume concrete, ACI Materials Journal Technical Paper, Başlık no. 99-M32.

[23] **Bloom, R. ve Bentur, A.** (1995). Free and restrained shrinkage of normal and high-strength concretes, ACI Materials Journal Technical Paper, Başlık no. 92-M23.

[24] **Wang, K., Shah, S. P., Phuaksuk, P.** (2001). Plastic shrinkage cracking in concrete materials – influence of fly ash and fibers, ACI Materials Journal Technical Paper, Başlık no. 98-M49.

[25] **Lura, P., Bella, C. D., Fontana, P., Trindler, W., Münch, B., Lemann, A.** (2011). An advanced experimental setup to study plastic shrinkage cracking of concrete, First Middle East Conference on Smart Monitorıing.

[26] **Lura, P., Lemann, A., Bella, C. D.** (2013). The influence of cocnrete mixture composition on the risk of plastik shrinkage cracking, Second Conference on Smart Monitoring.

[27] **Samman, T. A., Mirza, W. H., Wafa, F. F.** (1996). Plastic shrinkage cracking of normal and high strength concrete: A comparative study, ACI Materials Journal Technical Paper, Başlık no. 93-M5.

[28] **Soroushian , P., Mirza, F., Alhozaimy, A.** (1995). Plastic shrinkage cracking of polypropylene fiber reinforced concrete, ACI Materials Journal.

[29] **Aldalinsi, M., Ferregut, C., Carrasco, C., Tandon, V., Alderette, M.** (2014). A method to reduce plastic shrinkage cracking of concrete using the re-vibration technique, ASCE 2014, syf. 1942-54.

[30] **Fontana, P., Pirskawetz, S., Lura, P.** (2012). Plastic shrinkage cracking risk of concrete – Evaluation of test methods, 7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements, syf. 591-600.

[31] **Higgins, C. ve Turan, O. T.** (2013). Imaging tools for evaluation of gusset plate connections in steel truss bridges, Journal of Bridge Engineering, cilt 18, No. 5.

[32] **TS EN 12350-2** (2010). Beton – Taze beton deneyleri – Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi.

[33] **TS 2987** (2011). Betonda priz süresinin penetrasyon direncinin ölçülmesi yöntemi ile tayini.

[34] **ASTM C 1579 - 13** (2013). Standart test method for evaluating plastic shrinkage cracking of restrained fiber reinforced conscrete (Using a steel form insert).

[35] **AC 217 C** (2003). Acceptance criteria for concrete with virgin cellulose fibers, ICC Evaluation Service.

[36] **TS EN 12390-3** (2010). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini.

EKLER

EK A: Lif katkılı beton bileşenleri.

EK A

Çizelge A.1 : A-B, 600 gr/m^3 lif katkılı bileşimi.

Bileşen	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)
Cimento	3,17	350	110,4
Su	1,00	192,5	192,5
Doğal Kum	2,64	267	101,1
Kırma Kum	2,76	465	168,5
Kırma Taş No1	2,76	1116	404,4
Akışkanlaştırıcı	1,19	2,8	2,4
Polipropilen Lif	0,91	0,6	0,7
Hava	-	-	20

Çizelge A.2 : B, 600 gr/m^3 lif katkılı bileşimi.

Bileşen	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)
Cimento	3,17	350	110,4
Su	1,00	192,5	192,5
Doğal Kum	2,64	302	114,5
Kırma Kum	2,76	614	222,3
Kırma Taş No1	2,76	930	336,9
Akışkanlaştırıcı	1,19	3,15	2,6
Polipropilen Lif	0,91	0,6	0,7
Hava	-	-	20

Çizelge A.3 : B-C, 600 gr/m^3 lif katkılı bileşimi.

Bileşen	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)
Cimento	3,17	350	110,4
Su	1,00	192,5	192,5
Doğal Kum	2,64	444	168,3
Kırma Kum	2,76	650	235,6
Kırma Taş No1	2,76	743	269,3
Akışkanlaştırıcı	1,19	3,85	3,2
Polipropilen Lif	0,91	0,6	0,7
Hava	-	-	20

Çizelge A.4 : A-B, 900 gr/m^3 lif katkılı bileşimi.

Bileşen	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	3,17	350	110,4
Su	1,00	192,5	192,5
Doğal Kum	2,64	267	101,1
Kırma Kum	2,76	465	168,4
Kırma Taş No1	2,76	1116	404,2
Akışkanlaştırıcı	1,19	2,8	2,4
Polipropilen Lif	0,91	0,9	1
Hava	-	-	20

Çizelge A.5 : B, 900 gr/m^3 lif katkılı bileşimi.

Bileşen	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	3,17	350	110,4
Su	1,00	192,5	192,5
Doğal Kum	2,64	302	114,5
Kırma Kum	2,76	613	222,2
Kırma Taş No1	2,76	929	336,7
Akışkanlaştırıcı	1,19	3,15	2,6
Polipropilen Lif	0,91	0,9	1
Hava	-	-	20

Çizelge A.6 : B-C, 900 gr/m^3 lif katkılı bileşimi.

Bileşen	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	3,17	350	110,4
Su	1,00	192,5	192,5
Doğal Kum	2,64	444	168,2
Kırma Kum	2,76	650	235,5
Kırma Taş No1	2,76	743	269,1
Akışkanlaştırıcı	1,19	3,85	3,2
Polipropilen Lif	0,91	0,9	1
Hava	-	-	20

Çizelge A.7 : A-B, 1100 gr/m^3 lif katkılı bileşimi.

Bileşen	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	3,17	350	110,4
Su	1,00	192,5	192,5
Doğal Kum	2,64	267	101,1
Kırma Kum	2,76	465	168,4
Kırma Taş No1	2,76	1115	404,1
Akışkanlaştırıcı	1,19	2,8	2,4
Polipropilen Lif	0,91	1,1	1,2
Hava	-	-	20

Çizelge A.8 : B, 1100 gr/m^3 lif katkılı bileşimi.

Bileşen	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	3,17	350	110,4
Su	1,00	192,5	192,5
Doğal Kum	2,64	302	114,4
Kırma Kum	2,76	613	222,2
Kırma Taş No1	2,76	929	336,6
Akışkanlaştırıcı	1,19	3,15	2,6
Polipropilen Lif	0,91	1,1	1,2
Hava	-	-	20

Çizelge A.9 : B-C, 1100 gr/m^3 lif katkılı bileşimi.

Bileşen	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	3,17	350	110,4
Su	1,00	192,5	192,5
Doğal Kum	2,64	444	168,2
Kırma Kum	2,76	650	235,4
Kırma Taş No1	2,76	743	269,1
Akışkanlaştırıcı	1,19	3,85	3,2
Polipropilen Lif	0,91	1,1	1,2
Hava	-	-	20

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : **Hasan Nuri TÜRKMENOĞLU**

Doğum Yeri ve Tarihi : **Yahyalı / Aralık 1989**

E-Posta : **hnuriturkmenoglu@hotmail.com**

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Erciyes Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü