

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİLİS DUMANI KATKILI BETONLARDA
POLİPROPİLEN LİF KULLANIMININ BETON
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yapı Öğrt. Betül SÜMER

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK

Haziran 2012

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİLİS DUMANI KATKILI BETONLARDA
POLİPROPİLEN LİF KULLANIMININ BETON
ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yapı Öğrt. Betül SÜMER

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 1.B/ 26/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr.
Mehmet Sarıbrıçık
Jüri Başkanı

Prof.Dr.
Kemalettin YILMAZ
Üye

Yrd.Doç.Dr.
Fehat AYDIN
Üye

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez programımın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren bilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam, sayın Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK'a Yüksek lisans tez çalışmam esnasında deneysel çalışmaların yürütülmesinde katkılarını esirgemeyen değerli babam Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER'e ve bana maddi ve manevi her türlü desteği veren Aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Betül SÜMER
HAZİRAN 2012

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

BETON KATKI MADDELERİ	4
2.1. Katkı Maddelerinin Tanımı	4
2.2. Katkı Maddelerinin Beton Özelliklerine Etkileri	5
2.2.1. Segregasyon (Ayrışma)	6
2.2.2. İşlenebilme	6
2.2.3. Kıvam	7
2.2.4. Çökme değeri	7
2.2.5. Su ihtiyacı	7
2.2.6. Priz alma ve priz süresi	8
2.2.7. Terleme	8
2.2.8. Beton dayanımı	9
2.2.9. Betonun dayanım kazanma hızı	9
2.2.10. Dayanıklılık	9
2.2.11. Ekonomiklik	9
2.3. Katkı Maddelerinin Uygulama Esasları	10
2.4. Kimyasal Katkı Maddeleri	13

2.4.1. Su-azaltıcı katkı maddeleri (akışkanlaştırıcılar).....	14
2.4.2. Priz-geciktirici katkı maddeleri.....	22
2.4.3. Priz-hızlandırıcı katkı maddeleri.....	24
2.4.4. Hava sürükleyici katkı maddeleri.....	26
2.5. Mineral Katkı Maddeleri.....	32
2.5.1. Puzolanik malzemeler hakkında genel açıklamalar	33
2.5.2. Doğal puzolanlar	35
2.5.3. Yapay puzolanlar	36
BÖLÜM 3.	
SİLİS DUMANLI KATKILI BETONLAR.....	39
3.1. Silis Dumanı.....	39
3.2. Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri	39
3.2.1. Renk	39
3.2.2. İncelik.....	40
3.2.3. Özgül ağırlık.....	40
3.2.4. Gevşek birim ağırlık.....	40
3.2.5. Su ihtiyacı ve puzolanik aktivite	41
3.3. Silis Dumanının Kimyasal Özellikleri ve Kompozisyonu	42
3.4. Silis Dumanının Beton Özelliklerine Etkileri	43
3.4.1. Taze beton özellikleri üzerine etkisi.....	43
3.4.2. Sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkisi.....	46
3.5. Silis Dumanı Konusunda Standartlar	48
BÖLÜM 4.	
BETONDA LİFLERİN KULLANIMI	49
4.1. Lifler Hakkında Genel Bilgiler	49
4.2. Polimer Lif Katkılı Saha Betonları	50
4.2.1. Polimer liflerin yapısı ve özellikleri.....	50
4.2.2. Polimer lifli saha betonlarının özellikleri.....	51
4.3. Polipropilen Lif Katkılı Betonlar	53
4.3.1. Polipropilen lif	53
4.3.2. Polipropilen liflerin sınıflandırılması.....	54

4.3.3. Polipropilen liflerin performansları.....	55
4.3.4. Polipropilen liflerin betona katılığı ve kullanım oranları	56
4.3.5. Polipropilen lifli betonun teknik özellikleri	57
4.3.6. Polipropilen liflerin kullanım alanları	58
BÖLÜM 5.	
SAHA BETONLARI	63
5.1 Saha Betonları Hakkında Genel Bilgiler	63
5.2. Saha Betonlarında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözümleri.....	65
BÖLÜM 6.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	67
6.1. Deneysel Çalışmanın Amacı	67
6.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	67
6.2.1. Agrega	67
6.2.2. Portland çimentosu.....	68
6.2.3. Kimyasal katkı	69
6.2.4. Polipropilen lif	69
6.2.5. Silis dumanı.....	70
6.3. Beton Karışım Oranları	71
6.4. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi	72
6.5. Sonuç ve Değerlendirme	83
KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	89

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Segragasyona uğramış kolon.....	6
Şekil 2.2.	Kimyasal katkı maddeleri.....	13
Şekil 2.3.	Hava sürükleyici katkı maddeleri.....	17
Şekil 2.4.	Mineral katkı maddeleri.....	32
Şekil 6.1.	Agregaların granülometri eğrisi.....	68
Şekil 6.2.	10 cm'lik küp numuneleri.....	72
Şekil 6.3.	30x30x10 cm'lik plak numuneleri.....	72
Şekil 6.4.	Lifsiz kiriş eğilme deneyi.....	76
Şekil 6.5.	Lifli kiriş eğilme deneyi.....	77
Şekil 6.5	(Devam) Lifli kiriş eğilme deneyi.....	78
Şekil 6.5.	(Devam) Lifli kiriş eğilme deneyi.....	79
Şekil 6.6.	Basınç dayanımlarının değişimi.....	80
Şekil 6.7.	Betonlarda su emme oranlarının değişimi.....	81
Şekil 6.8.	Eğilme dayanımlarının değişimi.....	82
Şekil 6.9.	Basınç, su emme ve eğilme dayanımlarının değişimi.....	83

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkılar için ek özellikler (eşit kıvamda)	15
Tablo 2.2.	Yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkılar için ek özellikler (eşit kıvam).....	16
Tablo 2.3.	Yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkılar için ek özellikler (eşit su/çimento oranda).....	16
Tablo 2.4.	Su tutucu katkılar için ek özellikler (eşit kıvamda).....	17
Tablo 2.5.	Hava sürükleyici katkılar için ek özellikler (eşit kıvamda).....	18
Tablo 2.6.	Sertleşmeyi hızlandırıcı katkılar için ek özellikler (eşit kıvamda)	18
Tablo 2.7.	Su geçirimsizlik katkıları için ek özellikler (eşit kıvamda veya eşit S/Ç oranında) ^a	19
Tablo 2.8.	Priz geciktirici / su azaltıcı / plâstikleştirici katkılar için ek özellikler (eşit kıvamda).....	20
Tablo 2.9.	Priz geciktirici / yüksek oranda su azaltıcı / süper plâstikleştirici katkıları için ek özellikler (eşit kıvamda).....	21
Tablo 2.10.	Priz geciktirici / yüksek oranda su azaltıcı / süper plâstikleştirici katkıları için ek özellikler (eşit S/Ç oranında).....	21
Tablo 2.11.	Priz geciktirici katkıları için ek özellikler (eşit kıvamda).....	23
Tablo 2.12.	Priz hızlandırıcı katkıları için ek özellikler (eşit kıvamda).....	25
Tablo 2.13.	Betonun yeterli don dayanıklılığına sahip olabilmesi için Amerikan beton enstitüsü tarafından önerilen hava miktarları.....	31
Tablo 2.14.	Bazı doğal puzolanlardaki oksitlerin miktarı, %.....	36
Tablo 3.1.	Silis dumanının puzolanik aktivitesinin ve su ihtiyacının uçucu kül ve doğal puzolan ile karşılaştırılması.....	41
Tablo 3.2.	Silis dumanının kimyasal kompozisyonu (% olarak).....	42

Tablo 4.1.	Polimer liflerin fiziksel özellikleri.....	50
Tablo 4.2.	Polipropilen liflerin teknik özellikleri.....	55
Tablo 4.3.	Polipropilen lif kullanım dozajları.....	57
Tablo 5.1	Plak hareketlerinin oluştuğu tipik dönemler.....	64
Tablo 6.1.	Agregaların granülometri deney sonuçları ve özgül ağırlıkları....	68
Tablo 6.2.	Çimentonun Özellikleri.....	69
Tablo 6.3.	Polipropilen liflerin özellikleri.....	70
Tablo 6.4.	Silis dumanının özellikleri.....	70
Tablo 6.5.	1 m ³ 'e giren malzeme miktarları ve beton kodlamaları.....	71
Tablo 6.6.	Beton basınç dayanımları.....	73
Tablo 6.7.	Betonların su emme değerleri.....	74
Tablo 6.8.	Betonların eğilme deneyi sonuçları.....	75

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Beton teknolojisi, Endüstriyel Atık, Silis Dumanı, Polipropilen Lif

Betonların bazı özelliklerini iyileştirmek için çeşitli mineral katkıları ve lifler katılmaktadır. Kullanılan mineral katılardan biride silis dumanıdır. Betona optimum miktarda silis dumanı eklenmesi hidrasyon ısını düşürmesi, yüksek hedef dayanımı ve düşük permeabilite sağlaması, alkali silika reaksiyonunu ve sülfat etkisini kontrol altına alması gibi birçok yararları sağlamaktadır. Silis dumanı katkısı agrega-çimento ara yüzey bölgesini sıkılaştırarak daha boşluksuz ve daha mukavemeti yüksek betonlar elde edilmesini sağlar. Buna karşın silis dumanının işlenebilirliği düşürmesi gibi olumsuz etkileri de vardır. Betondaki optimum silis dumanı miktarı bu etkilerin göreceli değerlerine bağlı olarak belirlenir ve çimento, agrega, akışkanlaştırıcı katkı tipi ve miktarları ile bakım koşulları gibi faktörlerden de etkilenir.

Silis dumanının olumsuz yönlerini iyileştirmek için polimer lif kullanılabilir. Polimer liflerden betona katılan ve en iyi sonucu veren ve en yaygın kullanılan polipropilen liflerdir. Polipropilen lif betonun içinde üç boyutlu bir mikro donatı ağı oluşturarak, betonda doğal olarak varlığı kabullenilen eksiklik ve zaafı azaltıp betonun bazı özelliklerini iyileştirebilirler. Bu çalışmada endüstriyel bir atık malzeme olan silis dumanının saha betonunda kullanımının beton özellikleri üzerine etkileri incelenmiş ve silis dumanının beton üzerindeki bazı olumsuz etkilerini iyileştirmek için polipropilen lif katılarak beton özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

SUMMARY

Keywords: Concrete Technology, Industrial Waste, Silica Fume, Polypropylene Fiber

Concretes with mineral admixtures and fibers, participates in a variety of facilities to improve some. One of the contributions of Silica Fume on mineral. The optimum amount of heat of hydration to reduce the addition of silica fume concrete, high strength and low permeability to provide the target, the effect of alkali-silica reaction and sulfate provides many benefits like getting under control. Firming the contribution of silica fume, aggregate-cement paste interfacial zone of high strength concrete will result in more and more spaces. However, there are also negative effects, such as silica fume to reduce workability. The optimum amount of silica fume in concrete due to these effects is determined by the relative values of the cement, aggregates, plasticizer additives are also affected by factors such as type and quantity with the maintenance requirements.

Polymer fiber can be used to improve the negative aspects of silica fume. Polymer fibers participating in the concrete and resulting in the best and the most commonly used polypropylene fibers. Polypropylene fiber reinforcement in the concrete three-dimensional network by creating a micro, deficiencies and weaknesses in concrete kabullenilen reduce the presence of naturally heal some of the features of the concrete. In this study, the use of an industrial waste material The concretes with silica fume concrete on the properties of the field were investigated and some negative effects on concrete with silica fume concrete to improve the properties of polypropylene fiber on joining were investigated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus ile birlikte, toplu yaşam alanlarının genişlemesi; buna bağlı olarak ortaya çıkan barınma, sağlık, eğitim, ulaşım gibi ihtiyaçların temini gerekir. Bu ihtiyaçların giderilmesi için konut, hastane, okul, baraj, yol, iş yerleri vs. inşa edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada, beton; uygulama kolaylığı, sağlamlığı ve nispeten ucuz olması nedeniyle vazgeçilmez bir yapı malzemesidir. Günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesi olan beton, agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte karılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir.

Betonun çok kullanılan bir yapı malzemesi olmasının başlıca nedenleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

1. Tasarımları uygulama kolaylığı,
2. Dayanımının yüksek olması,
3. Ucuz ve bileşenlerinin temininin kolay olması,
4. Çevre şartlarına dayanıklı olması,
5. Üretiminin diğer yapı malzemelerine göre daha az enerji gerektirmesi.

Son yıllarda yapılan deneysel araştırmalar sonucunda, betonda çatlakların mekanizmaları büyük oranda anlaşılmış ve çeşitli çözümler geliştirilmiştir. Çözümlerden biri de çok eski bir uygulama olan lif kullanımı olmuştur. Eski devirlerde mimar ve mühendisler yapılarını zamanın tahrip edici etkilerine karşı korumak için saman, hayvan kılları vb. doğal lifleri kullanarak makro donatı tekniğini uygulamışlardır. Ülkemizde bununla ilgili en eski uygulamaya Troia kazıları sırasında rastlanmıştır ve M.Ö. 2500 yıllarına ait olduğu saptanmıştır. O bölgede yaşayan insanlar pişmiş tuğla ile yapılan örme duvar üzerindeki sıvalarda saman çöpü ve keçi kılı kullanarak mikro donatı teknolojisinin ilk örneklerini gerçekleştirmişlerdir.

Dolayısı ile yapı malzemeleri içerisinde lif kullanımı, antik dönemlerden beri süregelen bir uygulama niteliğindedir. İlk örneklerini kerpiç içerisinde saman kullanımıyla görülen lif kullanımı, günümüzde çelik lif takviyeli beton, cam elyaflı beton, polipropilen lifli beton gibi uygulamalarla çeşitlilik ve işlevsellik kazanmıştır. Bu konuda yapılan ilk önemli çalışma 1963 yılında cam lifi kullanılarak üretilen betonların mekanik özelliklerinin araştırılmasıdır. Sentetik liflerin elastisite modüllerinin betonunkinden daha düşük olması nedeniyle bu tür malzemeler betonun mekanik özelliklerini fazla etkilememektedir.

Betonun içerisindeki suyun fiziksel ve/veya kimyasal nedenlerle azalması sonucu hacimsel büzülme meydana gelmektedir. Beton matriksi içerisinde farklı gerilmelerin ve deformasyonların oluşmasına ve nihayetinde mikro çatlakların oluşmasına sebebiyet veren bu olay, ileriki yaşlarda çeşitli fiziksel ve kimyasal nedenlerle çatlakların genişlemesini, başlangıçta geçirimsizliği düşük olan betonların geçirimsizliğinin erken yaşlarda artmasına yol açmaktadır.

Bağlayıcı çimento hamurunun çeşitli boyutlardaki agrega danelerini bir arada tutarak meydana getiren malzeme olan betonda, gerek taze durumdayken oluşan büzülme (plastik büzülme), gerekse sertleşmemiş durumdayken oluşan büzülmeler (hidratasyon büzülmesi, karbonatlaşma büzülmesi, kuruma büzülmesi) kılcal çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Hiç yüklenmemiş durumda bile beton bazen çatlayabilir. Bu çatlakların çok derin olmaması halinde betonun mekanik dayanımını azaltacak etkileri yoktur. Ancak zamanla beton yüzeyine dışarıdan etki edebilecek dış etkenler, öncelikli iri agrega – çimento ara yüzeyindeki aderans bağından başlayarak içyapıda kademeli bir hasar oluşturur ve mevcut kılcal çatlakları, daha derin çatlaklar haline dönüştürebilir. Bu da, betonun dayanıklılığının azalmasına yol açmaktadır.

Beton uygulamalarında sıklıkla karşılaşılan problemlerin başında pullanma, ufalanma, parçalanma, patlama, tozuma, aşınma, kenar ve köşe kırıkları gelmektedir. Yapılan araştırmalar bu problemlerin beton yüzeyinde oluşan kontrolsüz ve aşırı çimento hamuru birikmesinden kaynaklandığını göstermiştir. Çimento hamuru birikimi, çimentonun cinsine, inceliğine ve miktarına, agrega tane dağılımına, beton

kıvamına, vibrasyon metoduna ve süresine, su/çimento oranına, beton kalınlığına ve yerleştirme yöntemine bağlıdır.

Yapılan araştırmalarda, hasara yol açan faktörün aderans bağından kaynaklandığı ve tekrarların gerilme-şekil değistirme özelliklerini etkilediğı ortaya çıkmıştır. Geleneksel beton tipik olarak; çekme dayanımı, çarpma dayanımı, yorulma dayanımı, şekil değiştirme kapasitesi, kayma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve enerji tutma kapasitesi (tokluk) açısından düşük performanslıdır.

Özellikle erken yaşlarda, büzülmeden dolayı oluşan içsel gerilmelerin saha betonları üzerindeki zararlı etkilerini (çatlak oluşumu, gelişimi ve ilerlemesi) azaltmak için betonu güçlendirecek birtakım önlemler alınması gerekmektedir. Bu gereklilik, lifli beton kavramını doğurmuştur.

Çağdaş günlük yaşamda, betonla karşılaşılmayan veya betondan yapılmış yapılardan yararlanılmayan tek bir gün dahi yoktur. İnşaat mühendislerinin, bilim adamlarının, işadamlarının ve betonla ilgili herkesin betonun özelliklerinin yeterince tanınmaları, karşılaşılan sorunların neler olduklarını ve nereden, nasıl kaynaklandığını çok iyi bilmeleri gerekmektedir.

Bu çalışmada amaç belirli oranlarda silis dumanı katkılı betonların yapılan eğilme basınç ve su emme deneyleri sonucunda silis dumanının betonda meydana getirdiğı olumsuz etkileri iyileştirmek için polipropilen lif kullanılmış ve sonuçlar izlenmiştir.

BÖLÜM 2. BETON KATKI MADDELERİ

2.1. Katkı Maddelerinin Tanımı

Beton katkı maddeleri; su, agrega ve çimento dışında betonlara çimento kütlelerinin % 5'ini geçmemek üzere, katılan organik ve inorganik kimyasal maddelerdir. Çimentonun sahip olduğu özellikleri, iyi yönde ve belirli bir ölçüde değiştirmek amacı ile beton üretilirken veya üretildikten sonra katılarak taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirmektedirler.

Mineral ve kimyasal olarak iki guruba ayrılırlar. Kimyasal katkıları betonun akışkanlığının artırılması, erken ve yüksek dayanıma ulaşılması, geçirimsizliği ve donatı dayanımının sağlanması yanında priz sürelerini değiştirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar. Akışkanlaştırıcılar, uygulamada su/çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanım kazanabilmek, kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması veya aynı işlenebilmeyi sağlayabilmek ve kolay yerleşmeyi sağlamak amacıyla kullanılmaktadırlar. Akışkanlaştırıcılar su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren organik maddelerdir ve beton içine hava sürükleyerek çimento topaklaşmasını önleyerek etkili olmaktadır. Su indirgeyiciler negatif elektriksel yüke sahip olup, su yüzeyinde hareket etme eğilimindedirler. Su ve çimento reaksiyona girdiğinde çimento taneleri su moleküllerini çevreleyerek flokül bir yapı oluştururlar. Suyun bu şekilde kapanması istenen akışkanlığa ulaşabilmek için daha fazla su ilavesini gerektirir. Akışkanlaştırıcı madde ilave edildiğinde çimento tanecikleri tarafından adsorbe edilerek negatif yüklü katkı partikülleriyle birleşirler ve aynı yüklü olduklarından birbirlerini iterler. Sonuçta kapanmış olan su açığa çıkar.

Katkının deflokülasyon etkisi sonunda çimento flokülleşmesi önlenmekte ve açığa su çıkmaktadır. Bu maddelerin topaklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin

birbiri üzerinde kaymalarını kolaylaştırarak yağlayıcı etki göstermeleri betonun iç sürtünmesini azaltmakta ve işlenebilirliği artırmaktadır.

Çok düşük sıcaklıklarda yüksek kalitede beton dökümünü sağlayan özellikle hafif don halinin gün boyu devam ettiği durumlarda, gece boyunca don olması ve ani sıcaklık düşüşü beklenen hallerde, dondan koruyan katkı kullanılmaktadır. Beton antifrizi olarak kullanılan bu katkıların özeliği betonun donma noktasını düşürmeleridir. Antifriz sıvısı olarak çoğunlukla alkol, alkol esaslı sıvılar ve etilen glikol kullanılmaktadır. Etilen glikol cinsi bir antifriz suyun içine edildiğinde oluşan çözeltinin birim yüzeyindeki su molekülü sayısı dolayısıyla da buhar faza geçen su molekülü miktarı azaltmaktadır. Kolligatif özellik olarak bilinen bu durumda suyun buhar basıncı buna paralel olarak da suyun donma noktası düşmekte, suyun buharlaşma ısısı yükselmektedir.

Katkının cinsi ve miktarı donma noktasındaki değişimi etkilemektedir. Kullanılan katkının su miktarını artırmadan işlenebilirliği artırdığı, işlenebilirliği azaltmadan su miktarını azalttığı ve dona karşı dayanımı ve basınç dayanımını artırdığı belirtilmektedir. Kışın -10°C ısıya kadar beton dökümünde kalıp ve donatı suya, kara ve buza karşı korunarak gerektiğinde ısıları önceden 0°C ' ye getirilerek ve beton ısısı en az 5°C ' de tutularak kullanılması öngörülmektedir.

Bu gün beton sektöründe birçok değişik katkı maddesi kullanılmaktadır. Bunlar sektörün hizmetini büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Bundan dolayı beton katkıları, beton bileşenleri içerisinde önemli bir yer tutmaktadır.

2.2. Katkı Maddelerinin Beton Özelliklerine Etkileri

Beton katkı maddeleri taze betonun işlenebilme, kıvam, su ihtiyacı ve priz süreleri gibi özelliklerini istenildiği yönde değiştirmek, terlemesini azaltmak için kullanılmaktadır. Taze betonun özellikleri, başta dayanım ve dayanıklılık olmak üzere, sertleşmiş betonun tüm özelliklerini ve ekonomikliğini etkilemektedir. Katkı maddeleri kullanarak gerek ilk günlerde ve gerekse nihai olarak daha yüksek beton dayanımı elde edebilmektedir. Ayrıca, beton katkı maddelerinin kullanımları ile

sertleşmiş betonun çevreden veya ortamdan kaynaklanan yıpratıcı etkenlere karşı (donma-çözülme olaylarına, aşınmaya, alkali-agrega reaksiyonuna ve sülfat hücumlarına, korozyona diğer yıpratıcı etkenlere karşı) daha dayanıklı olabilmesi sağlanmaktadır.

Değişik katkı maddelerini daha iyi tanıyabilmek ve değişik katkı maddelerinin beton üzerinde yarattıkları etkileri daha iyi anlayabilmek için, betonun bazı özelliklerine dair kısa açıklamaların yapılmasında yarar görülmektedir.

2.2.1. Segregasyon (Ayrışma)

Taze betonun içerisinde yer alan iri agrega ile çimento harcının ayrı ayrı bölgeler oluşturacak şekilde kümelenmesi ve böylece, beton içerisindeki malzemelerin homojen dağılımının bozulmasına, “segregasyon” veya “ayrışma” denilmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Segregasyona uğramış kolon

2.2.2. İşlenebilme

Taze betonun segregasyon göstermeden kolayca karabilme, sıkıştırabilme ve yüzeyinin düzeltilebilme özelliklerinin tümü, “işlenebilme” olarak adlandırılmaktadır.

2.2.3. Kıvam

Taze betonun sahip olduğu ıslaklık derecesi “kıvam” olarak anılmaktadır.

2.2.4. Çökme değeri

Taze betonun kıvamını ölçmek için kullanılan değişik yöntemlerden en basit olanı ve en yaygın olarak kullanılanı, taze betona uygulanan çökme deneyi yöntemidir.

Çökme deneyinde, taze beton önce kesik koni şeklindeki bir huniye doldurulmakta, sonra huni yukarıya doğru çekilerek betonun serbest kalması sağlanmaktadır. Bu durumdaki taze beton, ne ölçüde ıslak olduğuna bağlı olarak, bir miktar çökme göstermektedir. Taze betonun kaç cm veya mm çökme gösterdiği ölçülmekte ve “çökme değeri” olarak ifade edilmektedir.

Taze betonun çökme değeri betonun ıslaklık durumunu gösterdiği için, kıvam sözcüğü ile eşdeğer olarak kullanılmaktadır.

2.2.5. Su ihtiyacı

Beton malzemelerinin karışım oranlarının hesaplanmasında iki husus ön planda tutulmaktadır:

- Üretilcek taze beton, hedeflenen işlenebilmeyi (hedeflenen kıvamı) sağlamalıdır.
- Sertleşmiş betonun belirli bir gündeki basınç dayanımı (genellikle 28. gündeki basınç dayanımı), o yaştaki bir beton için elde edilmesi hedeflenmiş olan minimum bir değerden daha az olmamalıdır.

İstenilen kalitedeki bir beton için kullanılacak karışım suyunun miktarı hassas olarak hesaplanıp kullanılmaktadır.

Şayet betonda kullanılan su miktarı gereğinden az ise, beton istenilen işlenebilmeye sahip olmamaktadır. Böyle bir durum taze betonun ve ona bağlı olarak, sertleşmiş betonun özelliklerini olumsuz etkilemektedir.

Öte yandan, beton üretiminde gereğinden fazla miktarda su kullanılır ise, beton daha gözenekli olmakta, daha çok büzülme göstermekte, daha az dayanıma ve dayanıklılığa sahip olmaktadır. Betonda kullanılan su miktarı arttıkça (yani “su/çimento” oranı arttıkça) beton dayanımı ve dayanıklılığı daha az olmaktadır.

Betonda hedeflenen kıvamı ve dayanımı sağlayacak miktarda su, betonun “su ihtiyacı” olarak anılmaktadır.

2.2.6. Priz alma ve priz süresi

Beton malzemelerin karılma işlemleri biter bitmez şekil verilebilir (plastik) durumda olan taze betonun, bir süre sonra katılaşıp şekil verilemez duruma gelmesine “priz alma” denilmektedir.

Taze betonun hazırlandığı an ile katılma gösterdiği an arasındaki süreye “priz süresi” denilmektedir.

Taze betona uygulanacak taşıma, yerleştirme, sıkıştırma ve yüzey düzeltme işlemleri beton katılma göstermeden önce yapılmaktadır. O nedenle, priz sürelerinin uzunluğu veya kısalığı önemli bir özellik durumundadır.

2.2.7. Terleme

Yerine yerleştirilen taze betonun içerisindeki katı malzemelerin, yerçekimi etkisiyle, dibe doğru hareket etme eğilimleri vardır. Bu etki nedeniyle, taze betonun içerisinde yer alan suyun da yukarıya doğru hareket etme eğilimi olmaktadır. Taze betonun içerisindeki suyun yukarıya, beton yüzeyine çıkma eğilimine “terleme” denilmektedir. Taze betonun, mümkün olabildiği kadar, az terleme yapması istenmektedir.

2.2.8. Beton dayanımı

Üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyetine, “beton dayanımı” denilmektedir.

Betonun üzerine gelen yükler, betonda basınç etkisi yaratan türde ise, bu yükler altında kırılmaya karşı betonun gösterebileceği direnme kabiliyetine “betonun basınç dayanımı” denilmektedir.

2.2.9. Betonun dayanım kazanma hızı

Beton dayanımı betonda kullanılan çimento hamurunun dayanımının, agrega dayanımının ve çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansın ne kadar iyi olduğuna bağlıdır. Çimento hamurunda ne kadar hızlı ve çok miktarda hidrasyon olur ise, çimento hamuru (ve ona bağlı olarak, beton) daha hızlı dayanım kazanır.

Betonun ilk günlerdeki dayanımının yüksek olması, kalıpların daha erken sökülebilmesini sağlar.

2.2.10. Dayanıklılık

Hava koşullarından, sülfatlı veya asitli sulardan, ve/veya betonun kullanıldığı ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında, betonun hizmet süresi boyunca gösterebileceği direnme kabiliyetine “dayanıklılık” veya “durabilite” denilmektedir.

2.2.11. Ekonomiklik

Betonun ekonomik olması, gerek üretim esnasında ve gerekse daha sonraları daha az masraf gerektiriyor olmasıdır.

Betonu oluşturan temel malzemelerden en pahalı olanı çimentodur. Betondan istenilen özelliklerden vazgeçmemek kaydıyla, mümkün olan en az miktardaki çimentoyu kullanmak, betonda ekonomikliği yol açmaktadır.

Ayrıca, betonun bir an önce yeterli dayanımı kazanması sonunda kalıpların daha erken sökülerek bir başka iş için kullanılmaya uygun duruma getirilmesi, işlenebilmesi iyi olan betonla işçilerin daha az zahmetle daha randımanlı çalışabilmeleri ve benzeri olaylar betonu daha ekonomik kılmaktadır.

2.3. Katkı Maddelerinin Uygulama Esasları

Beton katkı maddeleri, taze ve sertleşmiş betonun birçok özelliklerinde olumlu değişiklikler sağlayabilmektedir. Ancak, katkı maddelerinin kullanımında bazı hususların bilincinde olmak çok büyük önem taşımaktadır. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır:

1. Katkı maddesi, kötü bir beton karışımının veya kötü bir uygulamanın neden olduğu eksiklikleri gidermeye yeterli değildir. Katkı maddesi, beton karışımında yer alan malzeme türlerinin ve miktarının doğru seçilmemiş olmasından veya betona uygulanacak taşıma, yerleştirme, sıkıştırma, kür gibi işlemlerin uygun tarzda yapılmamış olmasından kaynaklanan eksiklikleri ortadan kaldıramamaktadır.

2. Katkı maddesi, standartlarda belirtilmiş olan değerlere uygun olmalıdır. Türk standartları, ASTM ve diğer ülke standartları, katkı maddesinin kullanılması durumunda beton performansında yer alması gereken değişikliklere dair bazı sınır değerler vermektedirler.

Katkı maddelerinin kullanılması halinde, standartlarda belirlenmiş olan performansın elde edilip edilmeyeceği (katkı maddesinin kabul veya reddedilir olması) deneylerle araştırılmalıdır.

3. Katkı maddesi hakkında üretici tarafından belirtilmiş olan hükümlere dikkat edilmelidir.

Tanınmış bir üretici bir firma, katkı maddesi hakkında yeterli teknik özellikleri vermek durumundadır. Bunlar:

- Katkı maddesinin, beton performansı üzerindeki ana etkisi,
- Katkı maddesinin, beton performansına yararlı veya zararlı yan etkileri,
- Katkı maddesinin fiziksel özellikleri ve içerdiği aktif maddelerin konsantrasyonu,
- Katkı maddesinin içerisinde betonda potansiyel hasar yaratabilecek klorür, şeker, sülfid gibi maddelerin bulunup bulunmadığı,
- Katkı maddesinin beton karışımına nasıl katılması gerektiği,
- Katkı maddesinin kullanılması gereken dozajı ve bu dozun altında veya üstünde kullanılması durumunda beton özelliklerine etkisi ve
- Katkı maddesinin, etkisini kaybetmeden, nasıl ve ne kadar süreyle saklanabileceğidir.

4. Katkı maddesinin ne dozda kullanılması gerektiğine dair üretici tarafından belirtilen değer, şantiyedeki malzemelerle ve şantiye koşullarında yapılacak betonlar üzerinde denenmeli, üreticinin belirtmiş olduğu değerlerin yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir.

Katkı maddesinin ne miktarda kullanılmasına dair üretici tarafından verilen değer çok önemli olmakla birlikte, bazen o bilgi yeterli olmamakta, istenilen beton performansı elde edilememektedir. O nedenle, istenilen betonun yapımında kullanılacak türdeki malzemelerle önceden deney yapılmalı ve katkı maddelerinin hangi dozda kullanılması gerektiği saptanmalıdır.

5. Katkı maddesi betonun birden çok özelliğini etkileyebilmektedir.

Katkı maddesi betonun belirli bir özelliğini etkilemek üzere kullanıma sunulmaktadır. Ancak, aynı katkı maddesi, bu ana amacın dışındaki bazı beton özelliklerini de yararlı veya zararlı olarak etkileyebilmektedir. O nedenle, özellikle betona zararlı olabilecek yan etkilerinin bilinmesi gerekmektedir.

6. Katkı maddesinin betona katılmasına dair güvenilir yöntemlerin belirlenmesi gerekmektedir.

Hava sürükleyici katkı maddeleri gibi bazı katkı maddeleri çok az miktarlarda kullanılmaktadır. O nedenle katkı maddesinin ne miktarda ve nasıl bir yöntemle betona katılacağı önemli olmaktadır.

7. Katkı maddesinin etkisi, beton içerisinde yer alacak malzemelerin tipine ve miktarına göre değişiklik gösterebilmektedir.

Katkı maddesinin beton performansına yapacağı etki şu faktörlere bağlıdır:

- Çimentonun kompozisyonu,
- Agregada gradasyonu ve agreganın zararlı madde içerip içermediği,
- Beton karışımındaki malzemelerin oranı,
- Bir başka katkı maddesinin beton içerisinde ayrıca yer alıp almadığı,
- Betonun karılma süresi,
- Katkı maddesinin beton içerisine katılmasında takip edilen yöntem,
- Betonun sıcaklığı ve
- Kür koşulları.

8. Katkı maddesinin kullanımında, beton özelliklerinde sağlanacak iyileştirme, beton kullanımında elde edilecek kolaylık ve beton ekonomikliği gibi faktörler göz önünde tutularak bu faktörler bir arada ve çok iyi değerlendirilmelidir.

Beton katkı maddesi, beton üretiminde kullanılmakta olan çimento, agrega ve su gibi temel malzemelerin ışında olan ek bir maddedir. O nedenle, katkı maddesinin kullanımıyla, fazladan bir masraf ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, katkı maddesi kullanımıyla, istenilen kalitedeki beton daha az miktarda çimento ile üretilebilmekte, daha ekonomik beton elde edilebilmektedir. Ayrıca, katkı maddesi kullanılması ile, betonun işlenebilirliği, pompalanabilirliği, yerleştirilmesi, sıkıştırılması, ilk günlerdeki dayanımı daha iyi olabilmekte ve kalıplar daha erken sökülebilmektedir. Beton üretiminde katkı maddesi kullanımına karar verilmesinde, bütün bu faktörler bir arada ve gerçekçi olarak değerlendirilmelidir.

2.4. Kimyasal Katkı Maddeleri

Katkı maddesini tümünün işlevlerinde kimyasal özellikler ve kimyasal olaylar ön planda olmakla beraber, beton teknolojisinde “kimyasal katkı maddeleri” denildiğinde “su içerisinde çözünme gösteren katkı maddeleri” anlaşılmaktadır. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2. Kimyasal katkı maddeleri

“Su-azaltıcı katkı maddeleri” olarak adlandırılan ve taze betonda olması istenilen işlenebilme özelliğini elde edebilmek üzere beton karışımının su ihtiyacını azaltan katkıları, “kimyasal katkı maddeleri” olarak anılan katkı grubunda yer almaktadırlar. (Beton karışımında kullanılan çimentonun, agreganın ve suyun miktarları değiştirilmediği, fakat bunlara ek olarak bir de “su-azaltıcı katkı” kullanıldığı takdirde, katkılı betonun kıvamı, katkısız betonunkinden çok daha fazla olabilmektedir. O nedenle, su-azaltıcı katkı maddesi, “plastikleştirici” veya “akışkanlaştırıcı” katkı maddesi isimleriyle de anılmaktadır).

“Priz-geciktirici katkı maddeleri” olarak adlandırılan ve taze betonun priz süresini uzatan katkıları ile “priz-hızlandırıcı katkı maddeleri” olarak adlandırılan ve taze betonun priz süresini kısaltan katkıları da “kimyasal katkı maddeleri” grubunda yer alan katkılarıdır.

Kimyasal katkı maddeleri, karışım suyu içerisinde çok az miktarda katılarak (çimento kütlelerinin % 5'ini geçmeyecek şekilde katılarak) kullanılmaktadır.

Kimyasal katkı maddelerinden ayrı bir grupta yer verilen “hava sürükleyici katkı maddeleri” , taze beton karışımındaki çimento hamurunun içerisinde milyonlarca sayıda çok küçük boyutlardaki hava kabarcıklarının düzenli bir şekilde ve aralarında bağlantı olmaksızın yer alabilmesine yol açan maddelerdir. Bu hava kabarcıkları kararlılık göstermekte, yani beton sertleştikten sonra da kaybolmamaktadır. Betonun içerisinde oluşturulan sürüklenmiş hava kabarcıkları, suya doymun durumdaki sertleşmiş betonda çok soğuk havalarda tekrar tekrar yer alacak donma-çözülme olayı karşısında, betonun daha iyi dayanıklılık gösterebilmesini sağlamaktadırlar.

“Hava sürükleyici katkı maddesi” olarak adlandırılan katkı maddelerinin tümü su içerisinde çözünme özelliği göstermemektedirler. O nedenle, “kimyasal katkı maddeleri” grubundan farklı bir grup olarak sınıflandırılmaktadırlar. Hava sürükleyici katkı maddeleri de, karışım suyu içerisinde çok az miktarda katılarak kullanılmaktadırlar.

“Kimyasal katkı maddeleri” ve “hava sürükleyici katkı maddeleri”, gerek beton karışımının içerisinde çok az miktarlarda kullanıldıklarından ve gerekse beton karışımının içerisinde dahil edilme yöntemlerinde benzerlik olmasından dolayı, bu bölümde bir arada ele alınmaktadırlar.

2.4.1. Su-azaltıcı katkı maddeleri (akışkanlaştırıcılar)

Kıvamı değiştirmeden su miktarının azalmasını sağlayan veya su miktarı değişmeden çökmeyi/yayılmayı artıran veya her iki etkiyi birlikte yapan kimyasal katkı maddesidir.

2.4.1.1. Su-azaltıcı katkı maddelerinin sınıfları

Türk standartlarına ve ASTM standartlarına göre betonda su-azaltıcı etki yapan katkı maddeleri, azalttıkları su miktarına göre ve ayrıca su azaltmanın yanı sıra betonun

priz süresinde yaptıkları etkiye göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadırlar.

1. Normal miktarda su-azaltıcı katkı maddeleri (akışkanlaştırıcılar),
2. Yüksek miktarda su-azaltıcı katkı maddeleri (süper akışkanlaştırıcılar),
3. Su tutucu katkı maddeleri,
4. Hava sürükleyici katkı maddeleri,
5. Sertleşme hızlandırıcı katkı maddeleri,
6. Su geçirimsizlik katkı maddeleri,
7. Su-azaltıcı ve priz-geciktirici katkı maddeleri,
8. Su-azaltıcı ve priz-hızlandırıcı katkı maddeleri ve
9. Yüksek miktarda su-azaltıcı ve priz-geciktirici katkı maddeleri

1. Normal miktarda su-azaltıcı katkı maddeleri (Akışkanlaştırıcılar):

Karışım suyunda katkı maddesinin yol açtığı azalmanın miktarı %12'den az olduğu takdirde, bu tür katkı maddelerine, “normal miktarda su-azaltıcı katkı maddeleri” veya “plastikleştirici”, veya “akışkanlaştırıcı” denilmektedir. Bu tür katkı maddeleri, genellikle %5 - %11 kadar su azaltmaktadır. (Tablo 2.1)

Tablo 2.1. Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkılar için ek özellikler (eşit kıvamda)

No	Özellik	Şahit beton	Deney metodu	İstenen değerler
1	Su azaltma	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-2'ye göre çökme veya EN12350-5'e göre yayılma	Deneme betonunda şahit betona kıyasla en az % 5
2	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton I	prEN 12390-3:1999	7 ve 28 günde, deneme betonu, şahit betonun en az % 110'u
3	Taze betondaki Hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun en çok % 2 (hacimce) üzerinde

2. Yüksek miktarda su-azaltıcı katkı maddeleri (Süper sıkışkanlaştırıcılar):

Karışım suyunda katkı maddesinin yol açtığı azalmanın miktarı en az %12 olduğu takdirde, bu tür katkı maddelerine “yüksek miktarda su-azaltıcı katkı maddeleri”,

veya “süper plastikleştirici”, veya “süper akışkanlaştırıcı denilmektedir. (Tablo 2.2, Tablo 2.3)

Tablo 2.2. Yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkıları için ek özellikler (eşit kıvamda)

No	Özellik	Şahit beton	Deney metodu	İstenen beğler
1	Su azaltma	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-2'ye göre çökme veya EN12350-5'e göre yayılma	Deneme betonunda şahit betona kıyasla en az % 12
2	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton I	prEN 12390-3:1999	1 günde, deneme betonu, şahit betonun en az % 140'ı; 28 günde, deneme betonu, şahit betonun en az % 115'i
3	Taze betondaki hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun Hacimce en çok % 2 üzerinde

Tablo 2.3. Yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkıları için ek özellikler (eşit su/çimento oranında)

No	Özellik	Şahit beton	Deney metodu	İstenen değerler
1	Kıvamdaki artış	EN 480-1 Şahit beton IV	EN 12350-2'ye göre çökme veya EN12350-5'e göre yayılma	Başlangıç (30±10) mm olmak üzere, çökme artışı en az 120 mm, başlangıç (350±20) mm olmak üzere, yayılma artışı en az 160 mm,
2	Kıvam koruma	EN 480-1 Şahit beton IV	EN 12350-2'ye göre çökme veya EN12350-5'e göre yayılma	Deneme betonunun katkı katıldıktan 30 dakika sonraki kıvamı, şahit betonun ilk kıvamının altına düşmemelidir.
3	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton IV	prEN 12390-3:1999	28 günde, deneme betonu, şahit betonun en az % 90'ı
4	Taze betondaki Hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton IV	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun en çok % 2 (hacimce) üzerinde

3. Su tutucu katkı maddeleri

Terlemeyi azaltarak su kaybını düşüren kimyasal katkı maddeleridir. Geniş yüzeyli betonlarda, su kaybından (terleme) kaynaklanabilecek oturmaları engeller. Yüzey dayanımını artırır. Plastik rötre çatlaklarını artırır. (Tablo 2.4)

Tablo 2.4. Su tutucu katkıları için ek özellikler (eşit kıvamda)

No	Özellik	Şahit beton	Deney metodu	İstenen değerler
1	Terleme	EN 480-1 Şahit beton II	EN 480-4	Deneme betonu, şahit betonun en çok % 50'si
2	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton II	prEN 12390-3:1999	28 günde, deneme betonu, şahit betonun en az % 80'i
3	Taze betondaki hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton II	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun en çok % 2 (hacimce) üzerinde

4. Hava sürükleyici katkı maddeleri

Karıştırma sırasında taze betona kontrollü miktarda küçük, düzgün dağılmış ve sertleşme sonrasında da kalıcı hava kabarcığı sürükleyen kimyasal katkı maddeleridir.(Şekil 2.3) (Tablo 2.5)



Şekil 2.3. Hava sürükleyici katkı maddeleri

Tablo 2.5. Hava sürükleyici katkıları için ek özellikler (eşit kıvamda)

No	Özellik	Şahit beton	Deney metodu	İstenen değerler ^a
1	Taze betondaki hava miktarı (sürüklenmiş hava)	EN 480-1 Şahit beton III	EN 12350-7	Deneme betonu, şahit betonun hacimce en az % 2,5 üzerinde. Toplam hava miktarı hacimce %4 - %6 ^b
2	Sertleşmiş betondaki hava boşluğu Karakteristikleri	EN 480-1 Şahit beton III	EN 480-11 ^c	Deneme betonundaki aralık faktörü en çok 0,200 mm
3	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton III	prEN 12390-3:1999	28 günde, deneme betonu, şahit betonun en az % 75'i
<p>^a Tüm özellikler aynı deneme betonu için geçerlidir.</p> <p>^b Uygun miktar belirtilemez, miktar, istenen hava miktarını elde edecek şekilde ayarlanmalıdır.</p> <p>^c EN 480-11 referans metottur. Aralık faktörü belirlenmesinde, EN 480-11'deki metotla aynı sonuçları verdiğinin gösterilebilmesi kaydıyla diğer metotlar (örneğin, değiştirilmiş nokta sayma metodu) da kullanılabilir.</p>				

5. Sertleşme hızlandırıcı katkı maddeleri

Priz süresini etkileyerek veya etkilemeksizin betonun erken dayanım kazanma hızını artıran kimyasal katkı maddeleridir. Buhar kürü süresini ve derecesini azaltır. Kalıp alma süresini azaltır. (Tablo 2.6)

Tablo 2.6. Sertleşmeyi hızlandırıcı katkıları için ek özellikler (eşit kıvamda)

No	Özellik	Şahit beton	Deney metodu	İstenen değerler
1	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton I	prEN 12390-3:1999	20°C'de ve 24 saatte: deneme betonu şahit betonun en az % 120'si. 20°C'de ve 28 günde: deneme betonu, şahit betonun en az % 90'ı. 5°C'de ve 48 saatte: deneme betonu şahit betonun en az % 130'u.
2	Taze betondaki hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun hacimce en çok % 2 üzerinde

6. Su geçirimsizlik katkı maddesi

Sertleşmiş betonun kılcal su emmesini azaltan kimyasal katkı maddesidir. (Tablo 2.7)

Tablo 2.7. Su geçirimsizlik katkıları için ek özellikler (eşit kıvamda veya eşit S/Ç oranında)^a

No	Özellik	Şahit harç/beton	Deney metodu	İstenen değerler
1	Kılcal su emme	EN 480-1'e uygun harç	EN 480-5	7 günlük kürden sonra, 7 günlük deney için; deneme betonu şahit betonun en çok % 50'si; 90 günlük kürden sonra, 28 günlük deney için; deneme betonu şahit betonun en çok % 60'ı
2	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton I	prEN 12390-3:1999	28 günde, deneme betonu şahit betonun en az % 85'i
3	Taze betondaki hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun hacimce en çok % 2 üzerinde

^a Bütün deneyler eşit kıvam veya eşit S/Ç oranında yapılmalıdır.

7. Su-azaltıcı ve priz-geciktirici katkı maddeleri:

Bazı katkı maddeleri, hem sabit bir kıvam için gerekli su miktarını %5-%11 kadar azaltmakta, hem de taze betonun priz (katılaşma) süresini uzatabilmektedir. Bu iki işlevi yerine getiren katkı maddeleri, "su-azaltıcı ve priz-geciktirici katkı maddeleri olarak adlandırılmaktadır. (Tablo 2.8)

Tablo 2.8. Priz geciktirici / su azaltıcı / plâstikleştirici katkıları için ek özellikler (eşit kıvamda)

No	Özellik	Şahit harç/beton	Deney metodu	İstenen değerler
1	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton I	prEN 12390-3:1999	28 gün için deneme betonu şahit betonun en az % 100'ü
2	Priz başlangıcı	EN 480-1'e uygun harç	EN 480-2	20°C'de: deneme betonu için en az 30 dakika 5°C'de: deneme betonu için şahit betonun en çok % 60'ı
3	Su azaltma	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-2'ye göre çökme veya EN 12350-5'e göre yayılma	Deneme betonunda şahit betona kıyasla en az % 5
4	Taze betondaki hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun hacimce en çok % 2 üzerinde

8. Su-azaltıcı ve priz-hızlandırıcı katkı maddeleri:

Sabit bir kıvam için gerekli su miktarını %5-%11 kadar azaltan ve aynı zamanda beton prizinin daha çabuk olmasını sağlayan katkı maddelerine “su-azaltıcı ve priz-hızlandırıcı katkı maddeleri” denilmektedir.

9. Yüksek miktarda su-azaltıcı ve priz-geciktirici katkı maddeleri:

Sabit bir kıvam için gerekli su miktarını en az %12 kadar azaltan ve aynı zamanda priz geciktiren katkı maddelerine “yüksek miktarda su-azaltıcı ve priz-geciktirici katkı maddeleri” denilmektedir. (Tablo 2.9, Tablo 2.10)

Tablo 2.9. Priz geciktirici / yüksek oranda su azaltıcı / süper plâstikleştirici katkıları için ek özellikler (eşit kıvamda)

No	Özellik	Şahit harç/beton	Deney metodu	İstenen değerler
1	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton I	prEN 12390-3:1999	7 günlük deney için, deneme betonu, şahit betonun en az % 100'ü; 28 günlük deney için, deneme betonu, şahit betonun en az % 115'i
2	Priz süresi	EN 480-1'e uygun harç	En 480-2	Priz başlangıcı: deneme betonu şahit betondan en az 90 dakika fazla Priz sonu: deneme betonu şahit betondan en çok 360 dakika sonra
3	Su azaltma	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-2'ye göre çökme veya EN 12350-5'e göre yayılma	Deneme betonunda şahit betona kıyasla en az % 12
4	Taze betondaki hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun hacimce en çok % 2 üzerinde

Tablo 2.10. Priz geciktirici / yüksek oranda su azaltıcı / süper plâstikleştirici katkılar için ek özellikler (eşit S/Ç oranında)

No	Özellik	Şahit harç/beton	Deney metodu	İstenen değerler
1	Kıvam koruma	EN 480-1 Şahit beton IV	EN 12350-2'ye göre çökme veya EN 12350-5'e göre yayılma	Deneme betonunun katkı katıldıktan 60 dakika sonraki kıvamı, şahit betonun ilk kıvamının altına düşmemelidir.
2	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton IV	PrEN 12390-3:1999	28 gün için deneme betonu şahit betonun en az % 90'ı
3	Taze betondaki hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun hacimce en çok % 2 üzerinde

2.4.2. Priz-geciktirici katkı maddeleri

Taze betona uygulanacak taşıma, yerleştirme, sıkıştırma ve yüzey düzeltme işlemlerinin beton henüz katılaşımadan önce yerine getirilmesi gerekmektedir. Oysa hava sıcaklığının yüksek olması ve/veya rüzgar hızının yüksek olması ve/veya havadaki nemin düşük olması gibi koşullar, beton üzerinde aşağıdaki olumsuz etkilere yol açmaktadır:

1. İstenilen kıvamdaki betonu elde edebilmek üzere gereken su miktarı artmaktadır.
2. Taze betonun karıldığı andaki çökme değeri ile yerleştirildiği andaki çökme değeri arasındaki fark (çökme değeri kaybı) yüksek olmaktadır.
3. Betonun prizi (katılaşması) daha kısa sürede yer almaktadır.
4. Beton yüzeyinde plastik büzülme çatlakları olarak adlandırılan çatlaklar artmaktadır.
5. Betonun yerleştirilmesinde güçlüklerle karşılaşmakta, daha önce yerleştirilmiş beton ile yeni yerleştirilen beton arasındaki bağlantıda “soğuk derz” olarak adlandırılan süreksizlik meydana gelmekte, beton yüzeyinde tozlanmalar olmakta ve büzülme nedeniyle çatlamlar yer almaktadır.

“Priz-geciktirici katkı maddeleri” sıcak hava koşullarının beton üzerinde yaratabileceği çok hızlı priz yapma etkisini telafi edebilmek üzere, betonun priz süresinin daha uzun olmasını sağlayan katkı maddeleridir. (Tablo 2.11)

Tablo 2.11. Priz geciktirici katkıları için ek özellikler (eşit kıvamda)

No	Özellik	Şahit harç/beton	Deney metodu	İstenen değerler
1	Priz süresi	EN 480-1'e uygun harç	EN 480-2	Priz başlangıcı: deneme betonu Şahit betondan en az 90 dakika fazla Priz sonu: deneme betonu Şahit betondan en çok 360 dakika sonra
2	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton I	prEN 12390-3:1999	7 günde: deneme betonu şahit betonun en az %80'i. 28 günde: deneme betonu şahit betonun en az %90'ı.
3	Taze betondaki hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun hacimce en çok % 2 üzerinde

2.4.2.1. Priz-geciktirici katkı maddelerinin beton özelliklerine etkileri

Priz-geciktirici katkı maddelerinin beton özelliklerine olumlu etkileri aşağıda özetlenmektedir.

1. Sıcak havada kullanılan betonların priz süresini uzatarak, hızlı priz beton özellikleri üzerinde yapabileceği olumsuz etkiler ortadan kaldırılmaktadır.
2. Taze betonun yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve yüzeyinin düzeltilmesi için gereken yeterli sürenin elde edilebilmesi sağlanmaktadır.
3. Betonun karıldığı an ile yerleştirildiği an arasındaki zaman içerisinde ortaya çıkabilecek komplikasyonlar ortadan kaldırılmaktadır.

4. Bilindiği gibi, kalıplara beton yerleştirilmesi ile kalıplar küçük bir miktar deformasyon yapmakta ve bu deformasyonun etkisiyle, kalıp içerisinde katılmış durumda olan betonda küçük bir miktar çatlama olabilmektedir. Ancak, kalıpların içerisine yerleştirilen beton priz-geciktirici kullanılmış ise, betonun plastiği daha uzun süre devam etmektedir. Böylece, kalıp deformasyonu nedeniyle betonun karşılaşılabileceği çatlamlar önlenmektedir.

Priz-geciktirici katkıların beton üzerinde olumsuz etkisi de olabilmektedir. Bu tür katkılar taze betonun terlemesini arttırmaktadır.

2.4.3. Priz-hızlandırıcı katkı maddeleri

“Priz-hızlandırıcı katkı maddeleri”, kullandıkları betondaki katılmanın, katısız betondakine kıyasla, daha hızlı oluşmasını sağlayan katkı maddeleridir.

Soğuk havada katısız beton priz süresi daha uzun olmakta, ilk zamanlara kazanılan dayanım daha az olmakta ve buna bağlı olarak, kalıpların sökölme zamanı uzamakta, betonun kür’ü için daha uzun zaman gerekmektedir. Priz-hızlandırıcı katkı maddelerinin kullanılması durumunda, bu gibi olumsuzlukları telafi etmek imkânı elde edebilmektedir. Bu tür katkı maddeleri, betonda ilk zamanlarda yer alan hidrasyonun daha hızlı olmasını sağlamakta, daha hızlı dayanım kazanılmasına yol açmaktadır.

Priz hızlandırma amacıyla kullanılan çok değişik türdeki katkı maddesi bulunmaktadır. Bazıları, portland çimentosunun hidrasyonu ile doğrudan ilişkili olmamakla beraber, “çok hızlı priz” yaratabilmektedir. Bu tür katkıların kullanıldıkları betonun priz başlama süresi 1-4 dakika, priz sona erme süresi 3-10 dakika olabilmektedir. Çok hızlı priz yaratan katkılar, yapıdaki su kaçığını durdurmak için betondaki bir deliğin tıkanması işinde, betondaki bir bölümün yama yapılarak tamiri işinde veya benzeri durumlarda kullanılmaktadır. Ancak, bu bölümde priz-hızlandırıcı katkı maddeleri olarak “çok hızlı priz-hızlandırıcılar” ele alınmamakta, sadece geleneksel priz-hızlandırıcı katılara yer verilmektedir. (Tablo 2.12)

Tablo 2.12. Priz hızlandırıcı katkıları için ek özellikler (eşit kıvamda)

No	Özellik	Şahit harç/beton	Deneysel metodu	İstenen değerler
1	Priz başlangıcı	EN 480-1'e uygun harç	EN 480-2	20°C'de: deneme betonu için en az 30 dakika 5°C'de: deneme betonu için şahit betonun en çok % 60'ı
2	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton I	prEN 12390-3:1999	28 günde, deneme betonu şahit betonun en az % 80'i 90 günde, en az 28 günlük değer kadar
3	Taze betondaki hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton I	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun hacimce en çok % 2 üzerinde

2.4.3.1. Priz-hızlandırıcı katkı maddelerinin beton özelliklerine etkileri

Priz-hızlandırıcı katkı maddelerinin beton özelliklerine olumlu etkileri aşağıda özetlenmektedir.

1. Taze betonun priz süresini kısaltmaktadır. O nedenle,
 - Beton yüzeyinin düzeltilmesi işlemi daha kısa sürede tamamlanmaktadır.
 - Kalıplardaki basınç azalmaktadır.
2. İlk zamanlarda betondaki dayanım artışı daha hızlı olmaktadır.
 - Kalıplar daha erken sökülebilmektedir.
 - Taze betonun kür'ü için gerekli olan süre azalmaktadır.
 - Soğuk havanın yarattığı yavaş hidrasyon nedeniyle oluşabilecek olumsuzluk önlenmektedir.
 - Yapı veya yapıdaki tamir işlemi, daha kısa sürede tamamlanabilmektedir.

Priz-hızlandırıcı katkıların kullanılması durumunda, taze betonun taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve yüzeyinin düzeltilebilmesi için gereken sürenin çok iyi ayarlanması, doğru programlama yapılması özellikle önemlidir. Fazla miktarda kullanılan katkı maddeleri, ani prize yol açabilmektedir. Ayrıca, priz-hızlandırıcılar, ilk günlerdeki beton büzülmesinin biraz daha fazla, betonun nihai dayanımının ise biraz daha az olmasına neden olabilmektedir.

2.4.4. Hava sürükleyici katkı maddeleri

Kapiler boşlukları suyla dolu olan betonun boşluklarındaki suyun çok soğuk hava koşullarında donarak genişmesi sonucunda, betonda büyük iç gerilmeler meydana gelmektedir. Bu gerilmeler, beton içerisinde bir takım kılcal çatlakların oluşmasına neden olabilmektedir. Hava sıcaklığının artması ve daha önce oluşan buzların çözülmesiyle, gerilmeler ortadan kalkmaktadır. Ancak, bir başka çok soğuk hava koşulunda aynı olaylar tekrarlanmakta ve bu donma-çözülme devirlerinin sayısı arttıkça, beton içerisinde yeni çatlaklar oluşmakta, daha önce oluşmuş çatlaklar giderek büyümekte ve betonun yıpranıp kırılması kaçınılmaz olmaktadır.

İyi kalitede bir beton elde edebilmek için betonu oluşturan malzemelerin iyi kalitede olmaları, uygun malzeme oranlarının kullanılması, taze betonun yerleştirilme, sıkıştırılma ve kür işlemlerinin eksiksiz uygulanması muhakkak ki vazgeçilemeyecek unsurlardır. Buna rağmen, dışarıyla temasta olan ve boşluklarında su bulduran beton, çok iyi kalitede bir beton olsa dahi, tekrar eden donma-çözülme olayları karşısında yeterli dayanıklılığı gösterememektedir.

Çok soğuk hava koşullarına maruz kalacak betonların donma-çözülme olaylarına yeterli dayanıklılığı gösterebilmeleri için, "hava sürüklenmiş beton" olarak üretilmiş olmaları gerekmektedir.

"Hava sürüklenmiş beton", çimento hamurunun içerisinde, birbirine çok yakın aralıklarla düzenli dağılım gösteren, birbirinden bağımsız (aralarında bağlantı bulunmayan), çok sayıda ve çok küçük hava kabarcıkları içeren bir betondur.

Betonun içerisine hava sürüklenmesi ile donma-çözülme ve/veya buz çözücü tuzların etkileri karşısında, betonun daha dayanıklı olması sağlanmaktadır. Buna ek olarak, beton yapımı sırasında çimento hamuru içerisine dahil edilen milyonlarca hava kabarcığı, hava sürüklenmiş taze betonların işlenebilme özelliklerini önemli ölçüde arttırabilmekte, bu tür betonların daha az terleme ve daha az segregasyon göstermesine neden olmaktadır.

"Hava sürükleyici katkı maddeleri", beton yapımı esnasında taze betondaki çimento hamurunun içerisinde küçük boyutlu (0.05 – 1.25 mm mertebesinde) ve kalıcı hava kabarcıklarının oluşmasını sağlayan katkı maddeleridir.

2.4.4.1. Hava sürükleyici maddeler

Hava sürükleyici etki yaratacak maddeler değişik kaynaklardan elde edilebilmektedir. Şimdiye kadar hava sürüklemek amacıyla kullanılmış olan maddelerin kaynaklarını aşağıdaki gibi sınıflandırabilmek mümkündür.

1. Agregâ reçinelerinin tuzları (çam kütüklerinden)
2. Sentetik deterjanlar (petrol fraksiyonundan)
3. Linyosülfonatlar (kağıt endüstrisinden)
4. Petrol asitleri tuzları (petrol arıtmadan)
5. Proteinli malzemelerin tuzları (hayvan derisinden)
6. Yağlı ve reçineli asitler ve tuzları (kağıt endüstrisi ve hayvan derisinden)
7. Sülfonatlaştırılmış hidrokarbonların organik tuzları (petrol arıtmadan)

Hava sürükleyici olarak kullanılan malzemelerin büyük bir bölümü yukarıda birinci grupta yer alan malzemelerden elde edilmektedir. Bunlar arasında en tanınmış olanı, çam kütüğünden elde edilen ve ticari adı Vinsol Resin (Vinsol Reçinesi) olan maddedir. Bunun yanısıra, kimyasal olarak aril-alkil-sülfonat grubuna dahil olan sentetik deterjanlar da büyük miktarlarda kullanılmaktadır.

2.4.4.2. Betonun içerisine hava sürükleme yöntemleri

Beton gerisine hava sürükleme işlemi iki değişik yöntemle yapılabilmektedir:

1. Beton yapımında özel olarak üretilmiş olan "hava sürükleyici çimento" kullanılması ve

2. Beton üretimi için normal olarak kullanılan portland çimentosu, su ve agregaya bir de hava sürükleyici katkı maddesinin eklenmesi ve bu malzemelerin birlikte karılması.

Bilindiği gibi, portland çimentosu, uygun oranlardaki killi ve kalkerli hammaddelerin döner fırında pişirilmeleri sonunda üretilen klinkerin küçük bir miktar alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilmektedir.

Hava sürükleyici çimento üretiminde, klinker ve alçıtaşına ek olarak küçük bir miktar hava sürükleyici malzeme de katılmakta ve bu üç malzeme birlikte öğütülmektedir. Beton yapımında bu tür bir çimentonun kullanılması, üretilen betonun sürüklenmiş hava kabarcıkları içeren bir beton olmasını sağlamaktadır. Türkiye’de hava sürükleyici çimento üretilmemektedir.

Hava sürükleyici beton elde edebilmek için yukarıda ikinci sırada belirtilen yöntemde, portland çimentosu, su ve Agregaya karışımına, hava sürükleyici katkı maddesi de eklenmekte ve karışım işlemi birlikte yapılmaktadır. Hava sürükleyici katkı maddesinin beton karışımı içerisine dahil edilme işlemi, genellikle, karışım suyu içerisine dahil edilmek tarzında olmaktadır; bazen, hava sürükleyici katkı maddesi ve su ile bir eriyik hazırlanmakta ve bu eriyik beton karışımı esnasında karışım suyunun yanısıra katılmaktadır. Beton içerisine sürüklenen hava kabarcıkları beton malzemelerinin karılması sonucunda oluşturulmaktadır. Hava sürüklemek için kullanılan katkı maddesinin miktarı, katkı maddesinin cinsine göre değişiklik göstermekle beraber, tipik olarak katkıdaki katılar betondaki çimento ağırlığının %0.01’i civarındadır.

Hava sürüklenme işleminin beton yapımı esnasında hava sürükleyici katkı maddesi ekleyerek yapılması yöntemi, bütün dünyada oldukça yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Zira, beton içerisine sürüklenmesi istenen hava miktarı sadece hava katılı çimento tarafından değil, betona uygulanan diğer işlemler tarafından da etkilenmektedir.

Betona hava sürüklenme işleminin katkı maddesi ile yapılması, hem özel olarak üretilen "hava sürükleyici çimento" gereksinimini ortadan kaldırmakta, hem de katkı maddesinin miktarında değişiklikler yapmak suretiyle beton içerisinde oluşturulmak istenen hava kabarcıklarının miktarının daha kolay kontrol edilebilmesini sağlamaktadır.

2.4.4.3. Sürüklenmiş havanın beton özelliklerine etkisi

Beton içerisine sürüklenmiş hava kabarcıkları dahil edilmesindeki en büyük amaç, sertleşmiş betonun donmaya ve/veya sodyum klorür, kalsiyum klorür gibi buz çözücü tuzlara karşı yeterli dayanıklılıkta olmasını sağlayabilmektedir.

Beton malzemelerinin karışımı esnasında oluşturulan hava kabarcıkları, sertleşmiş betonun dayanıklılığını artırmanın yanı sıra, taze betonun da özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Taze çimento hamuruna küresel şekilli ve milyonlarca hava kabarcıklarının dahil edilmesiyle çimento hamurunun hacminde bir artma yaratıldığından, betonun daha akıcı ve işlenebilir olması sağlanabilmektedir. Bir başka deyişle, sabit bir işlenebilirlik değeri için, hava sürüklenmiş betonların yapımında daha az su gerekmede ve böylece daha küçük su/çimento oranı kullanılmaktadır. Sürüklenmiş hava kabarcıklarının betondaki su ihtiyacını azaltma, ya da, işlenebilirliği artırma özelliği, düşük dozlu (çimento miktarı $< 300 \text{ kg/m}^3$) betonlarda daha belirgindir.

Taze betonun içerisinde sürüklenmiş hava kabarcıklarının yer alması, yerine yerleştirilen betonun içerisindeki suyun yüzeye çıkma eğilimini, yani, terlemeyi azaltmaktadır. Böylece iri Agregatanelerinin ve donatının altında su cepleri oluşmamakta, betonun yüzeyine çok ince malzemeler birikmemekte, daha dayanıklı bir beton elde edilebilmektedir. Sürüklenen hava kabarcıklarının beton üzerindeki olumlu etkileri aşağıda özetlenmektedir.

1. Betonun donma-çözülme dayanıklılığını artırmaktadır.
2. Buz çözücü tuzlara karşı beton dayanıklılığını artırmaktadır.
3. Taze betondaki işlenebilirliği artırmaktadır.

4. Özellikle düşük dozlu taze betonlarda, segregasyonu ve terlemeyi azaltmaktadır.
5. Özellikle düşük dozlu betonların üretiminde, su ihtiyacını azaltmaktadır.
6. Su/çimento oranındaki azalma yaratması nedeniyle daha düşük su/çimento oranına sahip olacak tarzda üretilen sertleşmiş betonun dayanımını artırmakta, su geçirgenliğini azaltmaktadır.

Beton içerisinde yer alan hava boşluklarının miktarı arttıkça betonun basınç dayanımında, doğal olarak, bir miktar azalma meydana gelmektedir. Ancak, sürüklenmiş hava kabarcıkları işlenebilmeyi arttırdığı için ve sabit bir işlenebilme için daha küçük su/çimento oranına gerek olduğundan, bu tür betonların karışım hesaplarını tekrar gözden geçirmek gerekmektedir; daha küçük su/çimento oranı ve daha az miktarda ince kum kullanarak istenilen sabit işlenebilme değeri elde edilebilmekte ve basınç dayanımındaki azalmalar önemli ölçüde telafi edilebilmektedir.

Karışım hesaplarında bir ayarlama yapılmadığı takdirde, beton basınç dayanımındaki azalma %10 - %25 mertebesinde olabilmektedir. Ayarlama yapıldığı takdirde, düşük dozlu betonlarda basınç dayanımı azalması ortadan kalkabilmekte, yüksek dozlu betonlarda ise, azalma %10 mertebesinde olmaktadır.

Hava miktarı %1 - %8 olan betonlarda, hava miktarının her %1 artışı ile, beton elastiklik modülü 7000 – 14000 kg/cm² mertebesinde azalmaktadır.

2.4.4.4. Yeterli don dayanıklılığı için betonda bulunması gereken hava miktarları

Yapılan araştırmalara göre, betonun don dayanıklılığı için gereken optimum hava miktarı, harç hacminin %9'u kadardır. Ancak, beton içerisindeki hava miktarı, beton hacmine göre ifade edilecek olursa, yeterli don dayanıklılığı için gereken hava miktarı %4 olarak belirtilmektedir.

Betondaki toplam hava miktarının bir bölümü sürüklenmiş hava kabarcıklarına ait iken bir bölümü de, beton karışımında kullanılan en büyük Agrega boyutuna bağlı olarak değişik miktarlarda yer alan hapsolmuş havaya aittir.

İçerisinde sürüklenmiş hava bulundurmayan betonlarda, kullanılan en büyük Agrega boyutu 9.5 mm, 12.5 mm, 19.0 mm, 25.0 mm, 38.C ve 50.0 mm olarak değiştiği takdirde, beton içerisinde yer alan hapsolmuş havanın yaklaşık miktarı, sırasıyla, %3, %2.5, %2, %1.0 ve %0.5 olarak değişiklik göstermektedir.

Tablo 2.13'de değişik ıslanma ve donma-çözülme koşullarına maruz kalan betonlarda bulunması gereken hava miktarları verilmektedir.

Tablo 2.13. Betonun yeterli don dayanıklılığına sahip olabilmesi için amerikan beton enstitüsü tarafından önerilen hava miktarları

En Büyük Agrega Tane Boyutu, mm	Hava Miktarı, %	
	Orta Şiddetteki Hava Koşullarında*	Şiddetli Hava Koşullarında**
9.5	6.0	7.5
12.5	5.5	7.0
19.0	5.0	6.0
25.0	4.5	6.0
38.0	4.5	5.5
50.0	4.0	4.5

* Orta şiddetteki hava koşulları, soğuk havada betonun zaman zaman ıslanmaya maruz kaldığı ve donmanın yer aldığı koşullardır. Örnek: Bazı dış duvarlar, kirişler ve toprakla doğrudan teması olmayan döşemeler.

** Şiddetli hava koşulları, betonun sık sık ıslanmaya maruz kaldığı ve donmanın yer aldığı koşullardır. Örnek: Hava alanı pistleri, köprüler, kaldırımlar, su depoları.

2.5. Mineral Katkı Maddeleri

Beton üretiminde mineral katkı maddesi olarak kullanılan birçok malzeme türü mevcuttur. Elde edildikleri kaynaklara göre, mineral katkı maddelerini üç grupta toplayabilmek mümkündür:

1. Doğal malzemeler (volkanik küller, traslar, diatomlu topraklar ve taşunu),
2. Beton üretimi ile doğrudan ilgili olmayan bir endüstri kolunda yan ürün olarak elde edilen malzemeler (uçucu küller, silis dumanı ve granüle yüksek fırın cürufu),
3. Isıl işlem uygulanmış olan malzemeler (pişirilmiş kil, pişirilmiş seyl).

Betonda katkı maddesi olarak kullanılan mineral malzemelerin mutlaka ince taneli durumda olmaları gerekmektedir. (Şekil 2.4)



Şekil 2.4. Mineral katkı maddeleri

Uçucu kül ve silis dumanı gibi malzemeler, yan ürün olarak elde edildikleri halleriyle, ince taneli malzemelerdir. Öte yandan, volkanik tuf, granüle yüksek fırın cürufu, pişirilmiş kil gibi bazı malzemelerin beton katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için, öğütülmeleri ve tanelerinin inceliğinin en az portland çimentosu tanelerinkine getirilmeleri gerekmektedir.

İnce taneli mineral katkı maddeleri beton üretiminde kullanılan temel malzemelerin (çimentonun, agreganın ve suyun) yanı sıra ayrı bir malzeme olarak beton karışımına doğrudan dahil edilmekte ve temel malzemelerle beraber karılmaktadırlar. Bunların

kullanıldıkları oran, genellikle, beton karışımında yer alan çimento miktarının %10 - %50'si kadardır. Çoğu zaman, beton karışımında kullanılacak çimento miktarı azaltılmakta ve azaltılan miktar kadar ince taneli katkı maddesi konulmaktadır. Gerek görüldüğünde, ince taneli mineral katkı maddelerinin yanı sıra kimyasal katkı maddeleri de kullanılmaktadır.

İnce taneli mineral katkı maddeleri, kullanılan malzemenin tipine ve oranına bağlı olarak, taze ve sertleşmiş betonun birçok özeliğini etkileyebilmektedir.

Mineral katkı maddesi kullanarak aşağıda sıralanan amaçlardan birisine veya birden fazlasına ulaşabilmek mümkün olabilmektedir.

1. Taze betonun islenebilmesini artırmak,
2. Betonun belirli bir özeliğini (veya belirli birkaç özeliğini) geliştirmek.
Örneğin,
 - Terlemeyi ve segregasyonu azaltmak,
 - Hidratasyon ısını azaltmak,
 - Alkali-silika reaksiyonu nedeniyle oluşacak genleşmeyi azaltmak,
 - Su geçirgenliği azaltmak,
 - Nihai dayanımı artırmak,
 - Sülfatlara karşı dayanıklılığı artırmak,
3. Daha ekonomik bir beton elde etmek.

Taşunu dışında, betonda ince taneli mineral katkı maddesi olarak kullanılan malzemelerin hemen hemen tümü puzolanik özellikli malzemelerdir.

2.5.1. Puzolanik malzemeler hakkında genel açıklamalar

Beton teknolojisinde puzolanik malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı yöntem, bu malzemelerin beton üretiminde ince taneli mineral katkı maddesi olarak kullanımları tarzındadır.

2.5.1.1. Puzolanik malzemelerin tanımı ve genel sınıfları

Puzolanlar kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık gösterebilen, fakat ince taneli durumda olduklarında ve sulu ortamda kalsiyum hidroksit ile birleştirildiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip olan silisli veya silis ve alüminli malzemeler olarak tanımlanmaktadır.

Puzolanların yapısında büyük miktarda yer alan silisin ve slüminin yanı sıra, bir miktarda demir oksit, kalsiyum oksit, alkaliler ve karbon bulunabilmektedir.

Puzolanlar iki genel gruba ayrılmaktadır:

(1) Doğal puzolanlar,

Doğada bulunan volkanik küller, volkanik tüfleri volkanik camlar, ısıtılmış işlem görmüş killer ve şeyller ve diatomlu topraklar bu grup içerisindeki puzolanlardır.

(2) Yapay puzolanlar,

Bunlar endüstriyel yan ürünlerdir. Uçucu küller, silis dumanı ve granüle yüksek fırın curufu, yapay puzolanlardır.

2.5.1.2. Puzolanik reaksiyon ve puzolanik malzemelerin aktivitesi

Puzolanların kompozisyonu büyük ölçüde silis ve alüminden oluşmaktadır. İnce taneli durumdaki puzolanlar, söndürülmüş kireç ve su ile birleştirildiğinde, bu malzemeler arasındaki bir takım kimyasal reaksiyonlar yer almaktadır. Kalsiyum hidroksit, silis ve su arasındaki reaksiyonlar, aynen portland çimentosunun hidrasyonunda olduğu gibi, hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jellerinin oluşmasına yol açmaktadır.

Puzolanik malzemelerin söndürülmüş kireçle ve su ile ne ölçüde reaksiyona girebileceği, ne ölçüde bağlayıcılık sağlayabileceği, “puzolanik aktivite” olarak tanımlanmaktadır.

Puzolanik malzemelerin yeterli aktiviteyi gösterebilmesi için, yeterince ince taneli olması, amorf yapıya sahip olması ve yeterli miktarda “silis+ alümin+ demir oksit” içermesi gerekmektedir.

2.5.2. Doğal puzolanlar

Doğada bulunan ve ince taneli duruma getirildikten sonra kalsiyum hidroksit ve su ile birleştirildiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliği gösteren silisli ve alüminli malzemelere, doğal puzolanlar denilmektedir.

Volkanik orjinli malzemelerin puzolanik özellik gösterebilmeleri için, çok ince taneli duruma (en az portland çimentesunun inceliğine) getirilmek üzere öğütülmeleri gerekmektedir. Öte yandan, kil, şeyl ve diatomlu toprak, önce ısı işleme tabi tutulup (pişirilip) daha sonra ince taneli duruma getirildiklerinde (öğütüldüklerinde) puzolanik özellik kazanabilmektedir.

2.5.2.1. Doğal puzolan tipleri

1. Volkanik orjinli puzolanlar : Doğal puzolanların büyük bir bölümü volkanik orjinli malzemelerdir. Volkanik püskürme sırasında silisli ve alüminli malzemelerden oluşan eriyik durumdaki magma, yüzeye lav olarak çıkarak çok çabuk soğuma gösterdiği takdirde, camsı (amorf) yapıya sahip olmaktadır. Püskürme esnasında gazların da bulunması, malzemenin gözenekli yapıya ve çok büyük yüzey alanına sahip olmasına neden olmaktadır.

Volkanik camlar, volkanik tüfler, traslar ve volkanik küller, en çok kullanılan volkanik orjinli puzolanlardır.

2. Pişirilmiş kil ve şeyl : Büyük miktarda silis ve alümininden oluşan kil ve şeyl mineralleri kristal yapıya sahiptir. Doğal yapıları itibariyle puzolanik özellik göstermemektedir. Ancak bir-iki saat kadar 700-900 °C civarında sıcaklığa tabi tutulduklarında, bu malzemelerin düzenli kristal yapısı bozulmakta ve yarı amorf veya düzensiz alümino silisli bir yapı elde edilmektedir. Böylece, puzolanik malzeme durumuna gelmektedir.

3. Diatomlu topraklar : Diatomlar, silisli hücrelere sahip olan mikroskobik büyüklükteki tek hücreli su bitkileridir. Diatomlu topraklarda, bu organik kalıntılardan kaynaklanan ve amorf yapıda olan büyük miktarda silis bulunabilmektedir.

2.5.2.2. Doğal puzolanların kimyasal kompozisyonu

Tablo 2.14. de bazı doğal puzolanlarda yer alan oksit miktarları verilmektedir. Doğal puzolanların yapısını oluşturan ana oksitler, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃'dür. Killerde, oksitlerin yanı sıra, %20 civarında CaO yer almaktadır.

Tablo 2.14. Bazı doğal puzolanlardaki oksitlerin miktarı, %

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alkali
Volkanik cam	65.1	14.5	5.5	3.0	1.1	6.5
Volkanik tuf	52.1	18.3	5.8	4.9	1.2	6.6
Diatomlu Toprak	86.0	2.3	1.8	-	0.6	0.4
Pişirilmiş kil	42.2	16.1	7.0	21.8	1.9	1.3

2.5.3. Yapay puzolanlar

2.5.3.1. Uçucu kül

Kömürle çalışan termik elektrik santrallerinde ortaya çıkan bir atık ürünü olan uçucu kül silisli ve alüminli bileşimi nedeniyle puzolanik özellik göstererek çimento ve betonda katkı maddesi kullanılmaktadır. İnce ve küresel taneleri sayesinde taze betonda islenebilmeyi arttırır; ayrıca hidrasyon ısını azaltır. Çimentonun

hidratasyonu sonucu oluşan kireçle reaksiyona girerek ilave bağlayıcı jel oluşturur ve bu sayede çimento hamurundaki boşlukları doldurarak betona dayanıklılık kazandırır.

2.5.3.2. Yüksek fırın cürufu

Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu (ÖGYFC), ham demir üretiminde yüksek fırınlarda atık malzeme olarak elde edilir. Ham demir üretiminde kullanılan demir filizi, kok kömürü ve kireçtaşının, yüksek fırınlarda pişirilmesi, yoğunluğu ham demire göre daha az olan ÖGYFC, ham demirin üzerinde erimiş halde yer alır. Ham demir ve ÖGYFC ayrı ayrı çıkışlardan dışarı çıkar. Dışarıya çıkan yaklaşık 1500°C'deki ÖGYFC ($\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$), su içerisinde hızlı bir şekilde soğutulması sonucunda, hem irili ufaklı kum taneleri boyutunda granüle duruma gelmekte, hem de büyük oranda amorf (camsı) yapı kazanmaktadır. Meydana gelen bu yarı kararlı camsı yapı sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit gibi aktivatörler kullanılarak ya da ince öğütülmek ve portland çimentosunun hidratasyonu ile ortaya çıkan Ca(OH)_2 'yi kullanmak sureti ile hidrolik özelliğe sahip olur.

ÖGYFC uygulamada üç farklı şekilde kullanılmaktadır:

- Kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştirilerek, hidrolik bağlayıcı madde olarak doğrudan kullanılabilen,
- Portland çimentosu klinkeri ve küçük miktarda alçıtaşı ile birlikte öğütülerek, "cürufu çimento" üretiminde kullanılabilen,
- Beton katkı maddesi olarak kullanılabilir.

2.5.3.3. Silis dumanı

Silis dumanı silisyum metali veya ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının üretimi sırasında elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kok kömürü ve odun parçacıkları ile redüksiyonu sonucunda elde edilen çok ince taneli tozdur. Yüksek

sıcaklıkta gaz haline geçen SiO, elektrik ark fırınının daha düşük sıcaklıktaki üst kısımlarında ya da sisteme ilave edilen kollektörlerde hızla okside olur ve amorf yapıda SiO₂ olarak yoğunlaşarak yüzey alanı 220,000-300,000 cm² olan silis dumanı bileşiminin hemen tamamını oluşturur. Silis dumanının çimentoda katkı olarak kullanılması 1969 yılında Norveç’de denenmiş ancak betonda katkı olarak kullanılmaya başlaması beton akışkanlaştırıcıların kullanıma girmesiyle birlikte olmuştur. Silis dumanı ülkemizde Antalya’da bulunan Eti Elektrometalurji A.S. tesislerinde elde edilmektedir. Silis dumanının piyasaya arzında 80x80x140 cm ebatlarında bez torbaları kullanılmaktadır. Ultra ince taneli oluşu sebebiyle nakliyesi ve depolaması sırasında mümkün olduğunca dikkatli olunmalıdır. Ayrıca boşaltma sırasında ince toz halinde ortama kolayca yayılabilir. Bu gibi sakıncaların önüne geçebilmek için piyasaya arz sırasında ağırlıkça ortalama %50 oranında su ile karıştırılabilir, ayrıca bu haldeki silis dumanının varillerle taşınması da mümkündür. Çok ince bir malzeme olduğundan, silis dumanı ile çalışırken ortamın havasında bulunan tozlanmanın en aza indirilmesi ve çalışan kişilerin maske ile kendilerini koruyucu önlemleri almaları gerekmektedir.

BÖLÜM 3. SİLİS DUMANI KATKILI BETONLAR

3.1. Silis Dumanı

Silis dumanı, silisyum veya demir silisyum alaşımlarının ergime yöntemi ile üretimi sırasında elde edilen, ana bileşeni 1 µm' den küçük, küresel, amorf, camsı silis (SiO₂) partiküllerinden oluşan, yüksek düzeyde puzolanik aktiviteye sahip bir yan üründür [1].

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi esnasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutulmasıyla yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen ve %85 - %98 kadar silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı parçacıklardan oluşan malzemeye “yoğunlaştırılmış silis dumanı” veya kısaca “silis dumanı” adı verilmektedir. Bu malzeme, “mikrosilis”, veya “silis tozu”, veya “silika fume” gibi isimlerle de anılmaktadır. Silis dumanı, amorf yapıda ve çok ince taneli malzeme olmasından dolayı ve yüksek miktarda SiO₂ içermesi sebebiyle, mükemmel bir puzolanik malzemedir [2].

3.2. Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri

3.2.1. Renk

Silis dumanının rengi açık griden koyu griye değişen renkte olabilir. Koyuluk, içeriğindeki karbonun artmasıyla artmaktadır. Silis dumanı su ile karıştırıldığında rengi koyulaşmakta hatta siyaha dönüşmektedir. rengi koyulaşmakta hatta siyaha dönüşmektedir.[3].

3.2.2. İncelik

Silis dumanı çok ince öğütülmüş parçalar içermektedir. Parçaların büyük çoğunluğunun boyu 0.1-0.2 μm arasındadır. Bu boyut, bir Portland çimentosunun taneciklerinin ortalama boyutundan 100 kat daha küçüktür. Genelde 45 μm eleğinin üzerinde kalan malzeme boyut üstü (kalın) olarak kabul edilmektedir[2].

Kalın malzemenin silis dumanı içindeki yeri genellikle %6'nın altındadır. Silis dumanının özgül alanı Blaine aleti ile ölçülememektedir. Özgül yüzey tayini için nitrojen emme yöntemi kullanılmaktadır. Nitrojen emme yöntemi ile ölçülen özgül yüzeyi çoğunlukla 130.000-280.000 cm^2/gr arasında değişmektedir. Betonda kullanılan silis dumanı özgül yüzeyi 200.000 cm^2/gr civarındadır.

Silis dumanının inceliği diğer malzemelerle karşılaştırıldığında daha iyi görülmektedir:

Silis: $\sim 200.000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

Tütün Kulu: $\sim 100.000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

Ucucu Kul: $4.000\sim 7.000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

Normal Portland Cimentosu: $3.000 \text{ cm}^2/\text{gr}$

3.2.3. Özgül ağırlık

Beton için uygun olan silis dumanlarının özgül ağırlıkları 2.2-2.3 arasındadır.(Portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.1 civarındadır).

3.2.4. Gevşek birim ağırlık

Silis dumanının üretildiği gevşek haldeki birim ağırlığı genelde $200\sim 300 \text{ kg/m}^3$ arasındadır.

Gevşek haldeki Portland çimentosunun birim ağırlığı ise 1500 kg/m^3 'tür. Yani 50 kg portland çimentosu alan torbaya ancak 10 – 12 kg kadar gevşek durumundaki silis

dumanı yerleştirilebilmektedir.

3.2.5. Su ihtiyacı ve puzolanik aktivite

Silis dumanı, çok ince olması ve yüksek silis içeriğinden dolayı genel olarak oldukça yüksek puzolanik aktiviteye sahiptir. Çimentolu ortamda bulunduğu en önemli görevi, C_2S ve C_3S hidratasyonları sonucu oluşan $Ca(OH)_2$ 'i bağlamak ve yeni bir CSH jeli meydana getirmektir. Bu jel çimento hamurunda normal olarak oluşan CSH jellerinden biraz farklıdır, yoğunluğu daha azdır ancak geçirimsizliği daha fazladır. Böylece silis dumanı taneleri, büyük kristaller yerine çok sayıda daha küçük ve daha sağlam $Ca(OH)_2$ kristallerinin oluşmasına yardımcı olmaktadır. Küçük kürecikler halindeki silis dumanı tanecikleri, uygun oranda akışkanlaştırıcı katkı kullanılması halinde, çimento taneleri arasındaki boşluklarda suyun yerini alarak daha yoğun bir çimento hamuru meydana getirebilmektedirler [4].

Aşırı ince olmasından dolayı, silis dumanının su ihtiyacı oldukça fazladır. Bu su ihtiyacı, uçucu kül ve doğal puzolanlar için verilen üst sınırların çok üzerindedir. Tablo 3.1'de silis dumanının puzolanik aktivitesi ve su ihtiyacı için bulunan sonuçlar, uçucu kül ve doğal puzolanlardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.1. Silis dumanının puzolanik aktivitesinin ve su ihtiyacının uçucu kül ve doğal puzolan ile karşılaştırılması [2]

ASTM C618'in sınırları				
	Doğal Puzolan	F sınıfı uçucu kül	C sınıfı uçucu kül	Silis dumanı
Dayanım aktivite indisi 28 günde kontrol numunesine oranla % min.	75	75	75	110
Su ihtiyacı Kontrol numunesinin % max.	115	105	105	134

Silis dumanının beton ve harç için etkili bir puzolanik malzeme olduğu ve elde edilen betonların düz çimento hamuruna göre, daha süreksiz ve su geçirimsiz boşluk yapısına sahip olduğu belirtilmektedir [5].

3.3. Silis Dumanının Kimyasal Özellikleri ve Kompozisyonu

Silis dumanının esas bileşeni kristalize olmayan amorf haldeki silistir. Genelde, beton içinde katkı olarak kullanılan silis dumanının SiO_2 içeriği %85'in üzerindedir. İkinci esas bileşeni ise yanmamış karbon kalıntılarıdır. Fe_2O_3 içeriği ise %1 ile %2 civarındadır. Al_2O_3 , SO_3 , MgO , Na_2O ve K_2O gibi oksitler ise genelde %1'den az miktarda bulunur. Silis dumanının kimyasal özelliği, üretilen metalin ya da alasımın tipine göre değişebilir. Demir silikon üretiminden elde edilen silis dumanının, demir ve magnezyum içeriği diğer silikon metal üretilen fırınlardan elde edilen silis dumanının demir ve magnezyum içeriğinden daha fazladır. Tablo 3.2'de bazı tipik silis dumanlarının kimyasal kompozisyonu verilmiştir.

Tablo 3.2. Silis dumanının kimyasal kompozisyonu (% olarak) [6]

Bileşen	USA	Norveç	Kanada	Türkiye
SiO_2	90-93	90-96	89.0-95.0	93-95
C	1.3-2.6	0.5-1.4	2.1-4.2	0.8-1
Fe_2O_3	0.4-0.7	0.2-0.8	0.1-3.1	0.4-1
Al_2O_3	0.5-1.6	0.5-3	0.1-0.7	0.4-1.4
MgO	0.3-0.5	0.5-1.5	0.3-1.0	1-1.5
CaO	0.5-0.8	0.1-0.5	0.1-1.0	0.6-1
Na_2O_3	0.1-0.3	0.2-0.7	0.1-0.2	0.1-0.4
K_2O	1-1.2	0.4-1	0.5-1.4	0.5-1
S	0.1-0.2	0.1-0.4	0.1-0.2	0.1-0.3
Kızdırma Kaybı	1.4-2.8	0.7-2.5	2.3-4.4	0.5-1

3.4. Silis Dumanının Beton Özelliklerine Etkileri

Silis dumanının beton üretiminde kullanılmasıyla elde edilen olumlu özellikler ve potansiyel zararlı etkiler maddeler halinde özetlenmiştir:[2]

Olumlu Etkileri

- Betonda yüksek basınç dayanımı elde edilmesini sağlamaktadır.
- Taze betondaki terlemeyi ve ayrışmayı azaltmaktadır.
- Betonun hidratasyon ısısını azaltmaktadır.
- Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltmaktadır.
- Sertleşmiş betondaki alkali-silika reaksiyonunu azaltmaktadır.
- Sertleşmiş betonun sülfatlara karşı dayanıklılığını artırmaktadır.

Potansiyel Zararlı Etkileri

- Silis dumanı kullanarak üretilen betonların yüksek miktarda karışım suyu ihtiyacı vardır. Bunu telafi edebilmek için su azaltıcı katkılarla birlikte kullanılmaları gerekmektedir.
- Silis dumanı çok ince taneli olduğundan ve terlemeyi azalttığından, betonun yüzeyinin düzeltilmesi işlemi daha zor olabilmektedir.
- Silis dumanı kullanılması durumunda, daha çok miktarda plastik büzülme çatlağına yol açabilmektedir.
- Silis dumanı, nispeten daha koyu renkli beton elde edilmesine neden olmaktadır.

3.4.1. Taze beton özellikleri üzerine etkisi

3.4.1.1. Su ihtiyacı

Silis dumanı tanelerinin çok ince olmasından dolayı, belirli bir çökme değeri için betonun su ihtiyacı artmaktadır. Bu yüzden, betonda daha az su kullanmak amacıyla, silis dumanlı katkılarla yapılan betonlarda su azaltıcı katkı malzemelerinin de

kullanılması gerekmektedir. Genel olarak, her 1 kg/m^3 silis dumanı katkısı için, taze betondaki su ihtiyacı yaklaşık olarak 1 lt/m^3 kadar artmaktadır [7].

3.4.1.2. İşlenebilirlik

Silis dumanlı beton, sadece Portland çimentosu ile yapılmış olan betondan çok daha koheziftir. Gerek yüksek kohezyondan ve gerekse ince katı taneciklerin arasında daha çok temas olmasından, silis dumanlı betonların işlenebilmesi azdır. Betona katılan silis dumanının oranı çimento ağırlığının %5'inden daha yukarılara çıktıkça, beton daha yapışkan olmakta, yüzey düzeltme işlemlerinde kullanılan malzemelere yapışarak güçlük çıkarmaktadır [7].

3.4.1.3. Kanama ve ayrışma

Silis dumanı tanecikleri aşırı derecede ince olduklarından ve özgül yüzeyi artırdığından bir kısım su, taze beton halinde, bu tanecikler tarafından tutulmaktadır. Böylece taze beton içerisinde yükselecek olan su azaldığından bu durum terlemeyi de azaltmaktadır.

Silis dumanı tanelerinin büyük yüzey alanı taze beton içindeki serbest suyun büyük bir kısmını bağlamakta ve oldukça ince olan silis dumanı tanecikleri çimento tanelerinin aralarına girerek yüzeye sızıntı olabilecek kanalları azaltmaktadır. Böylece çok az suyun serbest kalmasına ve terlemenin azalmasına katkıda bulunmaktadır [8].

Silis dumanlı beton vizkositeyi ve iç kohezyonu artırmaktadır. Bu nedenle normal betona göre ayrışmaya daha az eğilimlidir. Ancak silis dumanlı betona akışkanlaştırıcı ilave edildiğinde ve taze beton uzun süre vibrasyona maruz kaldığında, slump yüksek ise ayrışma meydana gelebilir [9].

3.4.1.4. Rötire

Silis dumanı doldurucu özelliğinden dolayı betona yüksek kohezyon vermektedir. Bu nedenle taze betonda terlemenin çok azalması veya hiç meydana gelmemesi, özellikle beton yüzeyinde buharlaşmanın olduğu ortamlarda plastik büzülmeden dolayı çatlama riskini artırabilmektedir. Çatlakların oluşması priz başlangıcına kadar sürebilmektedir.

Mazloom'a göre, silis dumanı miktarının artması, toplam rötreyi önemli derecede etkilememektedir fakat karışımdaki silis dumanı oranı arttıkça, otojen rötire de artmaktadır[10].

3.4.1.5. Priz süresi

Silis dumanı katkılı çimento hamurları genellikle daha gec priz alırlar. Katkı miktarı çimento ağırlığının %10'unu geçmedikçe bu etki önemsenebilir. Betonda kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkıların da priz süreleri üzerinde etkileri mevcuttur. Örneğin, çimentoyla %15 oranında yer değiştirilen silis dumanı katkılı ve süper akışkanlaştırıcı betonlarda, priz başlangıç ve bitiş süresinde sırası ile 1 ve 2 saatlik uzamalar gözlenmiştir [11].

3.4.1.6. Hidratasyon

Hidratasyon Isısı

Çimento ağırlığının %7-%10'u kadar silis dumanı kullanılarak yapılan betonların ilk 72 saat içerisindeki hidratasyon ısısı, silis dumanı kullanılmayan betonlardan biraz daha fazla olabilmektedir. Ancak, silis dumanlı betonlarda, silis dumanı kullanılmayan betonlarınkine göre, yaklaşık %8-%10 kadar daha az hidratasyon ısısı çıkmaktadır [2].

Silis dumanı katkısının hidrasyon ısısı üzerindeki etkileri değişebilmektedir. Bazı araştırmacılar, silis dumanı ilavesiyle hidrasyon ısısının ilk günlerde arttığını, sonraları ise azaldığını belirtmekte iken; bazı araştırmacılar ise silis dumanlı betonlarda ileri yaşlarda toplam ısının arttığını belirtmektedir.

Hidrasyon Hızı

Silis dumanının çok etkin bir puzolan olarak hidrasyon reaksiyonlarını hızlandırdığını ve daha yoğun olarak devam ettirdiğini belirtmektedir [4].

Silis dumanı katkısı; OH⁻ iyonlarının ve alkalilerin gözenekli sıvılarda serbest kalmasından dolayı, çimentonun erken yastaki hidrasyon hızını artırmaktadır. Silis dumanı, ilk birkaç saat boyunca C₃A ve C₃S hidrasyonlarını hızlandırmaktadır. Bu kireç, CSH ve etrengit gibi hidrasyon ürünlerine çekirdekleşme alanları yapmayı sağlamaktadır[12].

3.4.1.7. Hava sürüklenme

Silis dumanının beton karışımına ilavesi ile karışım için gerekli hava katkı maddesi ihtiyacı, portland çimentosuna göre daha fazla artmaktadır. Bunun sebebi, silis dumanın özgül yüzeyinin yüksek olmasına (çok ince taneli olmasına) ve içerdiği yanmamış karbona bağlanabilmektedir [12].

3.4.2. Sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkisi

3.4.2.1. Dayanım

Silis dumanının betona ilavesi basınç dayanımını oldukça arttırmaktadır. Silis dumanının betondaki boşlukları doldurma ve puzolanik etki olmak üzere iki işlevi vardır. Bunlardan hangisinin belirleyici olduğu yönünde değişik görüşler vardır. Ancak silis dumanının puzolanik etkisinin betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-çimento hamuru temas yüzeyini güçlendirmede önemli olduğu, mikro yapısal ve mekanik incelemelerle kanıtlanmıştır [13].

Tanecik yapısının çok ince olması nedeniyle çimento tanecikleri arasına girerek boşlukları doldurmakta ve agrega-çimento hamuru ara yüzeyini geliştirmektedir[14]. Silis dumanının beton basınç dayanımına olumlu etkisi erken yaşlarda daha belirgindir. Betonun 28 günlük dayanımını artırmayı amaçlayan çalışmalarda silis dumanının genellikle çimentonun %10-20'si oranında betona katıldığı ve gerekli islenebilmeyi sağlamak için %10'dan yukarı miktarların süper akışkanlaştırıcı katkılarla birlikte kullanıldığı görülmektedir [4].

3.4.2.2. Permeabilite (Geçirimsizlik)

Silis dumanı içeren betonların, portland çimentosuna göre daha az geçirimsiz olduğu bulunmuştur. Toplam porozitenin yaklaşık aynı kalmasına rağmen, çimento-silis dumanı hamuru içindeki büyük gözeneklerin azalması nedeniyle hamurun daha homojen olduğu ve geçirimsizliğin azaldığı düşünülmektedir [4].

3.4.2.3. Aşınma direnci

Silis dumanlı betonun aşınma direncinin iyileştiği görülmektedir. Bu durum yüksek dayanıma bağlanabilir[15]. Silis dumanı betonu çelik paletli araçların kullanıldığı yollarda kaplama olarak başarı ile kullanılmıştır[16]. Düşük S/B oranlarında, silis dumanının aşınma direncini artırdığını; 0,50 ve 0,60 S/B oranlarında ise aşınmayı artırıcı yönde etkisi olduğunu belirtmektedir.

3.4.2.4. Kimyasal direnç

Betonun geçirgenliği ve Ca(OH)_2 içeriği betonun birçok kimyasala karşı direncinde rol oynayan iki faktördür. Silis dumanı %12'den %20'ye kadar yüksek oranlarda kullanılarak Ca(OH)_2 içeriği ve geçirgenliğin azaltılması sağlanmaktadır. Portland çimentosu ile karşılaştırıldığında, yüksek dozlu silis dumanının betonda kullanımının betonun direncini amonyum nitrat, sülfürik asit, hidroklorik asit, asetik asit, laktik asit, gibi birçok solüsyona karşı iyileştirdiği bulunmuştur [3].

3.4.2.5. Sulfat direnci

Silis dumanı ile elde edilen betonun sulfata karşı direnci iyileşmektedir. Norvec'te yapılan araştırmalarda, silis dumanı katkılı betonların sulfata karşı gösterdiği direncin, Tip V- Sulfata Dayanıklı Portland Çimentosu ile yapılan betonlardaki kadar yüksek olduğu sonucuna varılmıştır [16].

3.4.2.6. Alkali-silika reaksiyonu

Yüksek oranda alkali içeren çimento ve reaksiyona hazır agreganın mevcudiyetinde silis dumanı ilavesiyle üretilen (%5-%10) betonlarda alkali-silika reaksiyonunun bozuculuğu önlenmiş ya da geciktirilmiştir.

3.5. Silis Dumanı Konusunda Standartlar

Silis dumanı konusundaki standartların çoğu bu katkının harç ve beton üretimi sırasında kullanılacağı düşünülerek hazırlanmıştır. Aranılan özelliklerin silis dumanının çimento katkısı olarak kullanılması halinde de büyük ölçüde geçerli olacağı ve bir bölümünün çimento özellikleri ile birlikte ele alınacağı düşünülmektedir. Örneğin TS EN 197-1 Portland Silis Dumanlı Çimento üretiminde kullanılacak silis dumanının bileşimi konusunda aşağıdaki sınırları getirmektedir:

Amorf SiO_2 = en az %85

Kızdırma kaybı = en fazla %4

Özgül yüzey (BET) = en az $15 \text{ m}^2/\text{g}$

Standartta çimentoların kimyasal özellikleri ile ilgili olarak SO_3 miktarının %3,5-%4,0'ü; klorür miktarının %0,1'i geçmemesi gerektiğini belirtmekte ve dolaylı olarak kullanılacak silis dumanı (veya mineral katkı) bileşimi de kontrol altına alınmaktadır. Ayrıca puzolanik katkıların hazırlanması ve homojenliği konularında genel hususlara değinilmektedir (TS EN 197-1, 2002).

BÖLÜM 4. BETONDA LİFLERİN KULLANIMI

4.1. Lifler Hakkında Genel Bilgiler

Doğal kaynaklardan elde edilen ya da endüstriyel olarak üretilen, uzunluğu, bükülgenliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan maddelere lif denir. Lifler, doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Bitki, hayvan, mineral gibi doğal kaynaklardan elde edildiği biçimi ile doğrudan kullanılabilen maddeler doğal liflerdir. Yapay lifler, aranan belirli özellikleri taşıyacak biçimde özel olarak geliştirilen ve bu amaçla insan yapısı olarak üretilen maddelerdir [17].

Lifler doğal ve yapay olmak üzere aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir. Bu çalışmanın konusu içine giren yapay lifler olduğu için doğal liflerin detayına girilmemiştir.

a. Doğal Lifler

b. Yapay Lifler

1. Cam Yünü

2. Polimer Lifler

Polimer lifler de aramid, karbon, naylon, polyester, polietilen, polipropilen, poliüretan lifler olmak üzere gruplandırılabilir.

Lif üretiminde kullanılacak hammadde sıvı ya da yarı sıvı hale getirilir. Yas çekme, kuru çekme gibi işlemler ile lifler oluşturulur.

Hem tekil hem de hamur biçiminde bulunurlar. Uzunlukları 3-50 mm arasında değişir. Kısa lifler hamur, uzun lifler tekil halde bulunur. Polipropilen hamuru, polietilen hamurunda daha düşük dayanıma sahiptir. Tablo 4.1’de polimer liflerin fiziksel özellikleri gösterilmiştir [18].

Tablo 4.1. Polimer liflerin fiziksel özellikleri[19]

Lif tipleri	Etkili çap (10-3 mm)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastiklik modülü (GPa)
Akrilik	13-104	1,17	207-1000	14,6-19,6
Aramid	12	1,44	3620	62
Aramid II	10	1,44	3620	117
Naylon	10	1,16	965	5,17
Polyester	10	1,34-1,39	896-1100	17,5
Polietilen	25-1020	0,96	200-300	5,0
Polipropilen	25-1020	0,90-0,91	310-760	3,5-4,9

4.2. Polimer Lif Katkılı Saha Betonları

Polimer liflerden saha betonlarına katılan ve en iyi sonuç veren lif polipropilen liflerdir. Tıpkı çelik lifler gibi polipropilen lifler de saha betonlarının bazı özelliklerini artırabilirler. Polietilen ve naylon kullanımları, gerek yüksek maliyeti gerekse dayanım yetersizliğinden dolayı polipropilen lifler kadar yaygın değildir. Şimdiye kadar yapılan çoğu araştırmada da polipropilen lifler kullanılmış ve sonuçları belirtilmiştir.

4.2.1. Polimer liflerin yapısı ve özellikleri

Kullanılan polimer liflerin hacimce betona katılma oranları çok düşüktür. Çoğu durumlarda %0,1 ile sınırlanır (1 kg/m³ saha betonu için). Lif katma oranı ve hava miktarı minimum işlenebilirlikle değişir. Lifler hazır beton tesislerinde ya da beton döküm sahasında eklenebilir. Lifler katıldıktan sonra en az 10 dakika karıştırılır. Bazı araştırmacılar %2 hacim oranında denemeler yapmıştır. Fazla oranlarda katıldığında

saha betonlarının işlenebilirliği azalır ve içindeki hava miktarı artar. İşlenebilme problemleri su azaltıcı katkıların dozajını artırmakla çözülebilir. Hava miktarı kontrol edilebilir. İşlenebilirlik, tekil lif formundaki liflere nazaran hamur formundaki liflerde daha azdır. Çünkü tekil lif formundaki lifler daha homojen dağılabilir ve işlenebilirlik daha iyi olur. Lif boyutları bu iki özelliğe yakından etki eder. Lifler hamur formundayken uzunlukları birkaç mm ile sınırlıdır. Hacimce katılma oranı, karışımın %5'idir. Genellikle kullanılan lifler tekil ve boyları 12-50 mm olanlardır [18].

4.2.2. Polimer lifli saha betonlarının özellikleri

Polimerler inşaat alanında yüz yıllardır kullanılırlar. Babylonia' nın tuğla duvarlarındaki harcı içinde doğal polimer asfalt kullanılmıştır. Yine, Kish şehrindeki Ur-Nina tapınağının yapımında kullanılan harca %25-35 oranında polimer katılmıştır. Şimdiye kadar çeşitli polimerler anıtlarda da kullanılmıştır. Sentetik polimerler 1940'larda bulunmuştur. 1950'lerde ise Portland çimentolu beton ve harçlarda polimerler kullanılmıştır. Yeni uygulamalarda ise polimer, katkılı saha betonlarında, yollarda, köprülerde ve tamir işlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca geçirimsizlik istenen yerlerde, döşeme ve su tanklarında, yüzme havuzlarında kullanımı ile yaygınlaşmışlardır[20].

Polipropilen, naylon hammaddelerinden biri olan naylon 6 ve polyester lifleri çok yaygın olarak kullanılan bazı polimer esaslı liflerdir. Hacim oranları %0,1- %0,05 arasında değişen bu lifler betonda plastik rötreyi azaltırlar. Polipropilen lifler, hem lif hamuru hem de tekil halde bulunurlar. Polimer lifli saha betonlarının işlenebilmesi, liflerin tipine, uzunluklarına, içeriklerine ve betonun dayanımına bağlıdır. Betonun plastik davranış sergilediği belirli bir süreçte betonun gerilme taşıma kapasitesi, oluşan iç gerilmelere göre yetersiz kalmaktadır. İşte bu noktada beton yüzeyinde rast gele, yapısal olmayan kılcal çatlaklar oluşur. Plastik rötre çatlakları olarak adlandırılan bu oluşum betonun dürabilitesi için son derece zararlıdır. Yasam alanlarının birçok bölgesinde karşımıza çıkan saha betonları, bu tür çatlakların en fazla görüldüğü beton imalatlarıdır. Ancak sadece fiziksel ve kimyasal etkiler olmamakla birlikte, saha betonlarının uzun süreler sağlıklı olarak hizmet vermesi için

beton dökümü öncesinde ve dökümünde dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Bu hususlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Minimum beton kalınlığının belirlenmesi
2. Taban zeminin iyi sıkıştırılması
3. Gerekli eğim
4. Yeterli genişleme derzi bırakılması
5. Doğru beton yerleştirilmesi
6. Kürleme ve koruma
7. Derz kesme (gerekli ise)

Sadece beton kalitesini yükselterek saha betonlarının kullanım ömrünü uzatmak mümkün değildir. Yukarıda sıralanan şartlar sağlandıktan sonra yapılan imalatlar sonucu saha betonlarından uzun süre sağlıklı olarak faydalanılabilir.

Su ve diğer zararlı akışkanlar saha betonlarında rötreten kaynaklanan kılcal çatlaklar boyunca hareket ederek beton bünyesine nüfuz eder. Donma-çözünme çevrimi sonrası betonun bozulması rötre çatlamlarının sonucudur. Beton dökümünü takip eden ilk 15 dakika ile hidrasyon sürecinin devam ettiği 3 saat boyunca ortaya çıkan plastik rötre çatlaklarının önlenmesinde iki yöntem vardır. Birincisi, iç gerilmeleri azaltmaktır. İç gerilmeler aşırı ve kontrolsüz su kaybının neden olduğu büzülme kuvvetlerinin bir sonucudur. Beton için faydalı karma suyunu bir karışım içinde korumak, diğer bir deyişle büzülmeyi azaltmak bir çözümdür. Ancak rüzgâr, hava sıcaklığı, beton ile ortam arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle buharlaşmayı engellemek imkânsızdır. Çünkü her sıcaklık derecesinde buharlaşma meydana gelir. Buharlaşmayı engellemek mümkün olmadığından, azaltmak için saha betonunun üzeri örtülebilir ya da kür maddesi sürülebilir. Ancak rötre çatlamlarının olduğu dönemde beton henüz sıvı-plastik bir yapıya sahip olduğundan yapılacak bu işlemler yetersiz olacak ve yüzey tabakasının zedelenmesine sebep olacaktır. Karma suyunun kalıptan sızması ve toprağa akması da büzülmeyi artıran etkilere sahiptir. Bu amaçla beton döküm öncesinde zemini yalıtkan bir örtü ile kaplamak, kalıp birleşim noktalarını iyice sızdırmaz hale getirmek gibi önlemler alınabilir [19].

İkincisi ise, şekil değiştirme kapasitesini artırmaktır. Polipropilen lifler plastik betonun şekil değiştirme kapasitesini artırarak şekil değiştirme kapasitesi eğrisini yukarıya çeker. Bu etki sayesinde lif tipine, miktarına, cinsine bağlı olarak iç gerilme kuvvetleri taşınabilmekte ve plastik rötre çatlamları azaltılabilmektedir[19,20].

Polipropilen lifler saha betonlarının mekanik özelliklerini ve tozuma pullanma ufalanma kenar-köse kırılmaları gibi durabilite özelliklerini etkiler. Lifli betonlar genellikle, lif katkısız betonlara göre oldukça iyi bir deformasyon ve yüksek dayanıklılık özelliği gösterirler. Lifin saha betonları üzerindeki olumlu etkisi; lifin tipi (uzunluk/çap oranı, lif miktarı), cinsi, şekli, agreganın boyutu, numunenin boyutu ve hazırlanış şekli gibi faktörlere bağlıdır [21,22].

Liflerin geometrik şeklinin hem betonun işlenebilirliğine ve hem de ulaşılan özelliklere büyük etkisi vardır. Farklı lif tipleri farklı amaçlara yöneliktir. Böylece kullanıcı lifleri kendi amacına göre seçebilir[23]. Kısa boylu lifler, lif dağılımı açısından uzun liflerden daha homojen bir oluşuma sahiptir[22]. Araştırmacılar kısa liflerin dayanımı ve etkili takviyesinin, lif hacmine ve lif malzemesine bağlı olduğunu ispatlamışlardır[24].

Polipropilen lifler beton içerisinde üç boyutta yayılarak karışım içerisinde bir ağ doku yaratıp hem agregaları hem de çimento hamurunu sarmalar. Dolayısı ile beton için sentetik mikro donatı sistemi sağlayarak tali (ikincil) donatı vazifesi görür. Betonun dayanıklılığına katkıda bulunan lifler sayesinde saha betonlarını da karşılaşılan olumsuzlukların büyük bir kısmı asılmaktadır [19].

4.3. Polipropilen Lif Katkılı Betonlar

4.3.1. Polipropilen lif

Polipropilen lif insanlık tarihi kadar eski olan doğal mikro donatı saman ve hayvan kılları kullanımının günümüz teknolojisine uyumlaştırılmış halidir. Polipropilen lif beton, sıva, harç ve püskürtme beton uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Polipropilen elyafları %100 polipropilen esaslı olup, kullanımında

ilave işçilik gerektirmeyen, kolay uygulanabilen, betonun ve sıvanın kalitesini artırmak için kullanılan çürümeyen bir üründür. Polimer liflerden betona katılan ve en iyi sonucu veren ve en yaygın kullanılanı polipropilen liflerdir. Polipropilen lif betonun içinde üç boyutlu bir mikro donatı ağ oluşturarak, betonda doğal olarak varlığı kabullenilen eksiklik ve zaafı azaltıp betonun bazı özelliklerini iyileştirebilirler. Polipropilen lifleri hasır demir, metal elyaf ve kümes filesi gibi alternatif donatı sistemleri ile karşılaştırıldığında en hafif mikro donatı sistemidir. Metrekare başına ağırlığı 90 gram ila 200 gram arasındadır. Bu nedenle yapıya diğer donatı sistemleri kadar ölü donatı ağırlığı vermezler. Polipropilen liflerle ilgili bilgiler polyfibers mikro donatı lifleri için hazırlanmış broşürlerden yararlanılarak aşağıda özetlenmiştir.

4.3.2. Polipropilen liflerin sınıflandırılması

Polipropilen elyafları %100 homo-polipropilenden F ve M olmak üzere iki tipte imal edilmektedir. F-fibrilize elyafları, M-multifilament elyafları temsil etmektedir. M tipi elyaflar çok ince olup şap yüzeyinde gözükmeklerinden iç mekan şapları için iyi sonuçlar sağlarlar. F tipi lifler ise endüstriyel zemin uygulamalarında ve ağır hizmet zeminlerinde durabilite ve tokluk aranan şap ve betonlar için daha uygundur. Polipropilen lif tipleri ve teknik özellikleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Polipropilen liflerin teknik özellikleri

Tip	Fibrilize	Multifilament	Fibrilize
Polipropilen (%)	100	100	92
Ürün Tipi	Standard F	Standard M	Paint
Yoğunluk (kg/lt)	0.91	0.91	1.00
Kesit	Karesel	Yuvarlak	Karesel
Kalınlık (μ)	36	18	–
Renk	Transparent	Transparent	Renkli
Görünüm	Visible	Invisible	Visible
Gerilme Dayanımı (N/mm ²)	500	700	500
Young Modülü (N/mm ²)	7161.20	7161.20	7161.20
Uzama (%)	Max 10	Min 100	–
Uzunluk (mm)	3-6-9-12-15-19-25-31-37-46-51		

4.3.3. Polipropilen liflerin performansları

Polipropilen lifler kimyasal olarak durağan ve alkali ortamlara dayanıklıdır. Her tip portland çimentosu ile beraber kullanılabilirler. Organik çözücülere ve hidrokarbonlara dirençli olmalarından dolayı petrol ürünlerinin bulunduğu benzin istasyonlarında rahatlıkla kullanılır. Elektriksel ve manyetik alanlardan etkilenmezler ve ısı geçirgenliği son derece düşüktür. Termal uzaması ihmal edilebilir. Yerden ısıtma sistemlerinin koruma şaplarında kullanılırlar. Kayda değer su emişleri olmadığından betonun su/çimento oranını etkilemezler. Oksitliyeciler ve asitler ile reaksiyon vermezler ayrıca paslanmaz ve çürümezler. Polipropilenler kılcal çatlakları ve beton geçirgenliğini azaltır, sıkıştırma faktörünü yükseltirler. Asit, alkali ve tuzlara karşı dirençli bir tali donatıdır. Plastik rötre çatlaklarını, beton yüzeyindeki göllenmeyi ve su geçirimini azaltır. Aşınma direncini sağlar. Köşe ve derz kırılmasını azaltırlar. Polipropilenler şap betonlarının uzak mesafelere ve yüksek kotlara pompalanabilirlik yeteneğini artırır. Pompa basıncını düşürerek enerji tasarrufu sağlarken, aynı zamanda kauçuk parçaların hasar görmesini engeller. Betonun saçılmasını ve ayrışmasını engeller. Betonun pompa ucundan homojen, yoğun, sürekli ve tutunurluğu yüksek bir şekilde akmasını sağlarlar.

Polipropilen ile donatılanmış şap betonlarında, yerleştirme ve mastarlama sonrasında beton yüzeyinde su gölcükleri oluşmaz. Bu gölcükler betonun ayrıştığının ve dayanıklılığın ortadan kalkmasının bir göstergesi olup, tozumaya, çatlamaya, pullanmaya ve ufalanmaya yol açar. Polipropilenler plastik şap betonu içindeki agregaların yerçekimi etkisi dibe çökmesini engeller ve beton yüzeyinde çimento pastası oluşumuna izin vermezler.

Polipropilen şap betonda mikro çatlakları ve kapileriteyi azalttığından sıvı geçirgenliği düşer. Bu sayede donma çözülme çevrimine direnç kazanır. Bu özellik dış mekan şapları ile havaalanı taksi yolları, otoparklar, yürüme yolları ve benzin istasyonları için yaşamsal önem taşımaktadır. Polipropilen atmosfer etkilerine dirençlidir. Dış mekan, çatı, teras ve benzeri koruma ve tesviye şaplarında da kullanılırlar.

4.3.4. Polipropilen liflerin betona katılışı ve kullanım oranları

ASTM C 1116 (2000) standardına göre %100 saf polipropilen ham maddesi kullanılarak üretilen lifler hacimce %0.1=1 litre varlığı 1 m³ beton için yeterlidir. Polipropilen maddesinin yoğunluğu 0.9 kg/litre olduğundan tavsiye edilen lif miktarı en az 0.9 kg/litre olmalıdır. Bu oranların %0.05 ila %2 arasında ve hatta %5'e kadar çıkabilir. Portland çimentolu agregalarına göre uygulamalar betonlar ve harçlar olmak üzere iki gruptur. İçerdiği özel katkıları sayesinde beton içerisinde topaklanmadan beton santralinde, transmikserde, betoniyerde, şap pompasında, püskürtme makinasında, mekanik karıştırma işleminin olduğu her tür makine de kolayca katılabilir. Polipropilen lifler su emmezler, bu nedenle beton ve harçların su çimento oranını etkilemediğinden yeni bir karışım dizaynı ya da karışım oranlarında bir değişiklik gerektirmez. Beş dakika yüksek devirde karıştırıldıktan sonra, polipropilen demetleri çözülür ve binlerce elyaf lif, betonun her tarafına homojen bir şekilde dağılır. Polipropilen lifli betonu yerleştirmekte kolay ve ekonomiktir. Fazla karıştırmanın liflerin performansına bir mahsuru yoktur. Yüksek aşınma direnci ve mikro donatı yoğunluğu gereken yerlerde polipropilen lif dozajı hacimce %0.2 ye kadar artırılabilir.

Polipropilen sıva ve harç betonu için ton başına 2 kg ilave edilir. Özel amaçlı yapıştırıcılar, tamir harçları, derz dolguları için bu oran 5 kg düzeyine kadar çıkarılır. Kuru karışıma ilave edilecek polipropilen lifler homojen ve topaklanmadan kolaylıkla dağılır. Lif miktarı ve uzunluğu ihtiyaca göre değişim gösterebilir. Polipropilenler için tavsiye edilen kullanım dozajları tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3. Polipropilen lif kullanım dozajları

Polipropilen	İç Mekan	Dış Mekan	Ağır Hizmet
Elyaf Tipi	M	F	F
Minimum Dozaj (gr/m ³)	600	900	1800
Full Etki (gr/m ³)	1200	2700	3600
Uzunluk (mm)	6-9-12-15	6-9-12-15-19-25	

4.3.5. Polipropilen lifli betonun teknik özellikleri

Beton veya sıvada polipropilen lifli betonun en önemli etkisi, sermeden sonraki ilk birkaç saat içinde plastik büzülme dolayısı ile oluşacak çatlakları kontrol altına almasıdır. Sertleşme prizlenmenin ilk safhasında beton mukavemetinin oluşma hızı, büzülme dolayısı ile meydana gelen iç çekme gerilmelerinin oluşum hızından daha yavaştır. Bu plastik büzülme esas itibarıyla su ve çimento arasında başlayan kimyasal reaksiyon ve buharlaşmanın tabii bir sonucudur [25].

Polipropilen lifler,

1. Büzülme gerilmelerine karşı bir direnç meydana getirirler,
2. Büzülmeden dolayı oluşacak çatlak tehlikesini asgari düzeye indirirler,
3. Beton içinde homojen olarak dağılırlar,
4. Kg başına yüzey alanı çok geniştirler,
5. Betona çok iyi şekilde yapışırlar,
6. Elastisite modülü değeri plastik haldeki betona oranla oldukça yüksektirler,
7. Polipropilen lifler sertleşmiş betonda dayanım artırıcı bir etki yaratmazlar,
8. Etkileri betonun plastiklik safhasında geçerlidir ve bir nevi katkı malzemesi görevi görürler.

Polipropilen lifler çelik liflere nazaran betonun mekanik mukavemetlerini arttırmada çok etkili olmazlar. Yinede azda olsa betona enerji yutma özelliği kazandırır ve özelliklede plastik rötrede çok etkili olurlar. Özellikle çok güçlü olmayan büzülmelere karşı polipropilen lifler tercih edilmektedirler. Polipropilen liflerin fonksiyonu betonun yumuşak, plastik safhasıyla sınırlı iken, çelik liflerin mukavemet arttırıcı etkisi beton prizini alıp sertleştikten sonra da belirgin şekilde devam eder. Betonun plastik safhasında çelik liflerin çatlak önleyici ve sınırlayıcı etkisi de mevcuttur. Ancak, betonda mükemmel şekilde dağılmış olan polipropilen liflerin etkisine göre zayıftır. Bununla birlikte sertleşmiş betonda uzun dönemde kuruma büzülmelerinden dolayı oluşacak çatlakların azaltılmasında çelik lifler malzemeye belirli bir dayanıklılık ve tokluk vererek betonun mukavemetini önemli ölçüde arttırmaları [25].

Plastik sıva ve betondaki rötred ve büzülme çatlaklarını azaltır, segregasyonu azaltır, betona tokluk kazandırır ve geçirimsizleştirir, betonun darbeye karşı dayanımını artırır, betonun aşınma mukavemetini artırır, asit ve bazlardan etkilenmez.

Polipropilen lifler donatının korozyonunu ve paslanmasını geciktirir, betonun dağılmasını önler. Yapılar depremde az hasar görür ve çökme riski azalır, betonun tutunmuşluğu artar, kayar kalıplarda betonun şişmesini önler, yorulma dayanımını kazandırır ve beton hizmet ömrünü artırır, aşındırıcı kimyasallara karşı dayanımı artırır, yüzey tozumasını ve pullanmasını engeller.

4.3.6. Polipropilen liflerin kullanım alanları

Fibrilize standard F tipi polipropilen lifler beton, prefabrikasyon, şap, püskürtme sıva, harç ve kaplama, multiflament standard M tipi polipropilenler şap, kaplama, püskürtme sıva, harç, prefabrikasyon ve alçı, fibrilize paint ise boya, bitüm ve alçı işlerinde kullanılması tavsiye edilmektedir. Polipropilen liflerin başlıca kullanım alanları aşağıda belirtilmektedir [26].

4.3.6.1. Bitüm işlerinde

Polipropilen lifler, çoğu standart soğuk ve sıcak karışım formüllerine uyumlu olması, yüzey tutunmasını arttırması, aşınma ve yırtılmayı azaltması, kullanım kolaylığı ve fiyat avantajı, soğuk havalara karşı dayanımı yüksek oluşu, onarım ömrünü 3 veya 5 kat arttırabilmesi ve yollarda zamanla meydana gelebilecek dalgalanmaları önleyebilmesinden dolayı otoyollarda, anayollarda, köprü ayakları, park, havaalanı ve yürüyüş yollarında kullanılırlar. Ayrıca kısa uzunluktaki polipropilen lifler, asfalt onarım uygulamaları için üç boyutlu tasarlanmış ve iyileştirilmiş asfalt hamurunun yapışkan ve bağlayıcı güçlerini desteklerler.

4.3.6.2. Taşıyıcı sistemlerde

Deprem, aşırı ani yük binmesi, korozyon, yangın gibi dış etkenlerden betonun patlayıp dağılması ve yalnız kalan çelik donatının tek başına basınca dayanamayarak yapının çökmesi ile sonuçlanan sürece maruz kaldıkları bilinen bir gerçektir. Polipropilenler betonun dayanıklılığını arttırır ve yıllara meydan okuyan sağlam yapılar, polipropilen lifli beton ile mümkün olabilir. Polipropilen lif beton içinde homojen şekilde dağılırlar. Beton içinde mükemmel dağılan polipropilen lifleri agrega ve karışımı, mükemmel şekilde birbirlerine tutunmasını sağlayarak betonun dayanıklılığını arttırmış olur. Böylelikle saydığımız dış kuvvetlerden beton patlamasını ve dağılmasını engelleyerek yapının ayakta kalmaya devam etmesini sağlarlar. Bina tahliyesi için zaman kazandırırılar.

Yangınlarda yüksek sıcaklıklara maruz kalan betonlar ısınınca iç basınca maruz kalırlar. Bu basınç tahliye olamaz ve betonu patlatır. Patlayan betonun mukavemeti kalmaz ve yalnız kalan çelik donatı çöker. Polipropilen lifleri beton içinde 160°C'de erir ve 250°C'de yok olur. Bu sayede beton içinde kanallar oluşur ve beton içinde oluşan buhar, basınç oluşturmada kanalcıklar yoluyla tahliye olur. Dolayısıyla beton patlamaz.

Polipropilen lifler beton içinde mükemmel dağıldığı için, betonda oluşan rötre çatlaklarını %80-100 azaltırlar. Çatlaklar gözle görülemeyen mikro çatlaklar kadar

olur. Sıkıştırma (kompaktlık) faktörünü yükseltirler. Asit, alkali ve tuzlara dirençli olduklarından arıtma tesislerinde uygulanabilirler.

4.3.6.3. Saha betonu ve şap işlerinde

Endüstriyel yüzey ve ağır yüklere maruz kalan zeminlerde polipropilen lifler kırılma, çatlama, aşınma problemlerini çözerken çarpma ve parçalanma dayanımı yüksek betonlarla tesis ömrünü ve kalitesini arttırmaları. Tersane ve limanlarda deniz suyuna karşı ekstra koruma sağlarlar. F fibrilize elyaflar ağır hizmet zeminlerinde durabilite ve tokluk aranan şaplar için uygundur. Multiflament polipropilen elyaflar çok ince olup şap yüzeyinde gözükmediklerinden iç mekan şapları için iyi sonuç verirler.

Benzin istasyonları ve petrokimya depolama tesislerinde bulunan saha betonları aşırı trafik, ağır yükler ve kimyasallara maruz kalır. Betonun aşınması, ömründen kısılması, dayanıklılığın azalması kırık ve çatlaklara sebep olunmaması için polipropilen lifler ekonomik ve uzun ömürlü çözümlerdir. Beton yollar 30-40 yıllık hizmet süreleri için projelendirilmiştir. Beton yollar tüm hizmet ömürleri boyunca çok az miktarda bakım gerektirirler. Periyodik olarak yapılması istenen ve gereken bakım yaklaşık 4-5 yılda bir derz dolguların yenilenmesidir. Çimento fabrikaları tüm yurt çapında yayıldığı için çimento taşıma ücreti asfalta göre daha az düzeydedir. Polipropilen beton yollarda kullanıldığında yolda meydana gelecek dalgalanmaları önler. Kılcal çatlakları ve beton geçirgenliğini azaltır.

4.3.6.4. Su yapılarında

Polipropilen lifler çatlak ve yarıklardan kurtulmak, suyun aşındırıcı etkisine dayanmak, şevlerde oluşan derin yarıklar ve kopmaları önlemek, kenarlarda ve derzlerde oluşacak kırıkları önlemek, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak, oturma ve çökmeleri önlemek, homojen, boşluksuz tok bir yapı elde etmek, malzemenin su emmesini önlemek amacıyla su yapılarında kullanılırlar.

Beton boru ve elemanlarında ise, kenar köşe kırıklarını engellemek, erken kalıp almada oluşan kopmaların önüne geçmek, rötre çatlaklarını engellemek, yüklenme,

taşıma ve depolama kayıplarını azaltmak, eleman ömrünü uzatmak, boşluksuz ve su geçirimi düşük bir yapı sağlamak ve kimyasallara karşı dayanımı arttırmak amacıyla kullanılırlar.

4.3.6.5. Püskürtme sıva ve betonlarda (Shotcrete)

Püskürtme sıva ve beton (shotcrete) uygulamalarında çelik hasır her zaman iyi sonuç vermeyebilir. Polipropilen lif kullanmak, geri düşmeyi azaltarak kaliteyi artırır ve malzeme israfını önler. Oluşturduğumuz tabaka sürekli, çatlaksız ve yarıksız olur. Tutunma kabiliyeti yüksek ve geçirimsiz bir yapı elde edilebilir. Özellikle büyük kot farklarında çalışmayı kolaylaştırır, kimyasallara karşı dayanım sağlar. Betonunuzu ve içindeki donatıyı korozyona karşı korunmasına yardımcı olurlar. Uygulamada oluşan çatlak ve yarıklar yapının ömrünü kısaltır. Buralardan sızan sular ek maliyetlere ve iş zorluğuna sebep olur. Bu etki zaman zaman yapının zarar görmesine ve yeniden inşa edilmesine sebep olabilir.

4.3.6.6. Boya ve mimari uygulamalarda

Dış cephe boyalarında polipropilen elyaf kullanılması ufalanmayı ve boyanın daha pürüzsüz olmasını sağlar. Su yalıtımında riskli olarak kabul edilen bölgeler için geliştirilmiş polipropilen mikro elyafları kullanılabilir. Boyanın, güneş ışınlarına maruz kaldığı bölgelerde hızla solduğu, soyulduğu ve çatladığı görülür. Güneş, yağmur, rutubet gibi olumsuz hava koşullarına karşı polipropilen kullanılabilir.

Çatılar, temeller, bodrum duvarları, köşe birleşim noktaları polipropilen elyaf ile su geçirimsiz hale getirilebilir.

Kartonpiyer uygulamalarında polipropilen tercih edilir. Polipropilen elyaf kartonpiyerde çatlama önler, daha dayanıklı olmasını sağlar. Mimari yapılarda alçı, korkuluklarda, kartonpiyer uygulamalarında mimarlar için polipropilen elyaf kullanmak vazgeçilmez bir alternatif oluşturmaktadır. Pencere ve köşebent uygulamalarında polipropilen kullanımı malzemenin daha dayanıklı olmasını sağlar.

Parke taşlarında kullanılan polipropilen homojen ve topaklanmadan kolaylıkla dağılır ve dayanıklılığı artar. Ayrıca parke taşlarında tutunmayı artırır, yüzey direncini ve aşınmayı engeller.

4.3.6.7. Toz ürünlerde

Polipropilen hazır beton harcı, hazır şaplar, hazır sıvalar, yapıştırma harcı, tesviye harcı, yüzey sertleştirici ve püskürtme harcı gibi toz ürünlerin iş arkadaşısıdır.

Aşınma, tozlanma, çatlama, ufalanma sorunlarını engellemek amacıyla tesviye harçlarında yüzey direncini arttırırlar. Beton yapılarından kopan parçaların tamiri sorun oluşturur. Tamir harçları yüzeye tutunmakta zorlanır. Polipropilen tutunganlığı arttırarak harcı betona adapte eder. Yapıştırma harçlarında tutunmayı ve kopma dayanımını arttırır. Hazır beton harçlarının dayanıklılığını arttırır.

4.3.6.8. Sıvalarda

Sıvaların uzun ömürlü olması için mikro donatı kullanma fikri çok uzun yıllardır vardır. Eskinin saman ve hayvan kılları gibi malzemelerin yerini organik olmayan, betona zarar vermeyen polipropilen lifler almaktadır.

İlaç, gıda ve spor tesislerinde çatlaksız, boşluksuz, tozumasız ve hijyenik yüzeyler elde etmenize yardımcı olur. Betonun ve içinde bulunan donatıyı kimyasalların korozif etkisinden donma çözülme sonucu oluşan yıpranmadan korur.

Kenar ve köşelerin dayanımını arttırır, parçalanmayı ve dökülmeyi önler. Polipropilen kullanımı işçiliği kolaylaştırır, geri düşme ve sıçrama kaybını azaltır. Tutunmayı arttırır, çatlak ve yarıklarda rötuş yapma ihtiyacını kaldırır. Dış yüklerin açtığı yapısal çatlakların önlenmesi, yapıların taşıma gücünün artırılması, sünmenin azaltılması, taşıyıcı donatının miktarının azaltılması, kiriş, kolon ve döşemelerin kesitlerinin inceltmesi, beton bakımı ve kür maddesi kullanımı yerine ve bu amaçlarla kullanılamazlar.

BÖLÜM 5. SAHA BETONLARI

5.1 Saha Betonları Hakkında Genel Bilgiler

Beton; konut ve benzeri bina inaatlarının yanında, yol, köprü, hava alanı, liman, baraj, endüstriyel alanlarda da oldukça fazla kullanılmaktadır. Bu kullanım alanları arasında yüksek kalite, dayanım ve dayanıklılık bakımından betonu gerekli kılan yerler vardır[27].

Bunlar;

1. Depolar, rıhtımlar, ağır trafiğe maruz yollar
2. Atölyeler, fabrikalar, tersaneler
3. Otopark, servis istasyonları, garajlar
4. Hava alanları, uçak hangarları, helikopter pistleri
5. Yükleme-boşaltma alanları
6. Güç santralleri ve buna benzer fabrika zeminleri'dir.

Ağır kullanım yüklerine maruz alanlarda, beklenen hareketli ve sabit yükleri taşımak için yeterli dayanım ve dayanıklılığa sahip olarak tasarlanan betonlara “saha betonları” denir.

Yapının diğer elemanlarından farklı olarak saha betonlarının iki önemli işlevi vardır.

Bunlar;

1. Saha betonu yapı taşıyıcı sisteminin bir parçasıdır. Saha betonu yapı serviste olduğu süre içinde taşıyıcı özelliğini sürdürür.

2. Saha kullanıcı araçlarının bir parçasıdır. Saha betonları üzerinde kullanıcı araçları yer alır, üzerinde belli bir trafik yükü vardır.

Bu iki işlev saha betonlarının diğer yapı elemanlarından farklı olmasını sağlar. Yük büyüklükleri saha betonlarına etki eden kuvvetleri oluşturur. Tekrarlı yükten dolayı yorulma oluşur ve çatlama ile sonuçlanabilir. Saha betonları için güvenlik katsayısı, betonun eğilme dayanımının döşemenin servis gerilmesine oranıdır. Eğilme gerilmesinin eğilme dayanımına bölünmesiyle elde edilen değere gerilme oranı denir. Gerilme oranı 0,45'den küçük tutulduğu sürece beton yorulma göçmesi olmadan sınırsız sayıda tekrarlı yükleri taşıyabilir[28].

Zemin plağı üzerine etki eden dış yükler, plakta momentlerin oluşmasına neden olurlar. Aynı zamanda, kolon ve taban plakası vasıtasıyla plağa etkiyen tekil yükler plakta kesme kuvvetleri oluştururlar. Dış yüklere ek olarak rötre gerilmelerinin de plakta çatlama oluşturmaması için tedbirler alınmalıdır [28].

Zemine oturan plaklarda üç tür sekil değiştirme ve bundan dolayı meydana gelen gerilmeler söz konusudur. Bunlar;

1. Plastik rötre ve oturma,
2. Sıcaklık değişimlerinin etkisi ile hareket, kıvrılma,
3. Uzun süreli kuruma rötresi

Bu sekil değiştirmelerin oluşturduğu dönemler Tablo 5.1' de verilmiştir.

Tablo 5.1. Plak hareketlerinin oluştuğu tipik dönemler.

Hareket türü	Dönem
Plastik	Dökümden ilk birkaç saat sonra
Sıcaklığa bağlı erken kısılma	Dökümden ilk birkaç gün sonra
Mevsimsel sıcaklık değişimi	İlk yıldaki çevrimlerin en kritik olmasına karşın yıllık/günlük
Kuruma rötresi	Dökümden birkaç ay veya yıl sonra

Saha betonlarındaki şekil değiştirme betonun çekme şekil değiştirme kapasitesini aştığında beton çatlaklar. Bu çatlaklardan bazıları önemsizken bazıları önemli sorunlara yol açar. Çatlaksız bir döşeme garanti edilemez. Ancak, birçok çatlak önlenemez, önlenemeyen çatlaklar ise kontrol edilebilir ve kullanıcı için sorun oluşturmaması sağlanır [27,29].

Saha betonlarında oluşan çatlaklar şu şekilde sınıflandırılabilir.

a. Plastik haldeki betonda:

1. Plastik rötre çatlakları
2. Plastik oturma çatlakları

b. Sertleşmiş betonda:

1. Ağ şeklinde çatlaklar
2. Kuruma rötresi ve yükleme koşullarının ortak
3. Etkisi sonucu oluşan çatlaklar
4. Sıcaklık değişimine bağlı çatlaklar
5. Aşırı yükleme sonucu oluşan çatlaklar.

5.2. Saha Betonlarında Karşılaşılan Sorunlar ve Çözümleri

Çeşitli yüklere maruz kalan saha betonlarında gerek sabit ve hareketli yükler, gerekse fiziksel ve kimyasal etkiler nedeni ile mekanik ve dürabilite özelliklerinde azalmalar oluşmaktadır. Servis ömrü uzun saha betonları üretilmesi için söz konusu azalmaların giderilmesi veya etkisinin geciktirilmesi yoluna gidilmelidir.

Saha betonlarında karşılaşılan başlıca sorunlar şunlardır;

1. Rötre'ye bağlı çatlaklar
2. Aşınma
3. Darbeler
4. Asit ve bazlardan etkilenme
5. Geçirgenlik

6. Yüksek sıcaklık etkisi
7. Donma-çözülme etkisi
8. Yüzey tozlanması

Yapım sırasında saha betonları genellikle az ilgi görür. Bununla birlikte iyi bir betonun zemine oturan döşemenin servis durumunu kontrol ettiği gibi bazı yanlış düşünceler gelişmiştir. Saha betonları yapının herhangi bölümüne göre daha fazla sorun yaratır. Bu sorunları düzeltmek için zemin performansını etkileyen aşağıdaki faktörlere dikkat edilmelidir [30].

1. Alt temelün üniform olması ve taşıma kapasitesinin uygunluğu,
2. Beton kalitesi,
3. Yük taşıma kapasitesinin uygun olması,
4. Yüzey düzgünlüğü,
5. Derzlere yük aktarımı,
6. Derzlerin türü ve genişliği,
7. İşçilik,
8. Plak altı işlemleri(buhar kesiciler, kapiler su yükselmesini önleyiciler),
9. Betonun nem içeriği ve kuruma hızı,
10. Özel yüzey işlemleri ve kaplama,
11. Bakım ve onarım.

Bütün bu etkenler detaylı olarak ele alınmalıdır. Teknoloji ve detaylar her boyuttaki ve çeşitli kullanım alanlarındaki sahalar için geçerlidir. Konut veya küçük endüstri yapılarındaki küçük alanlı sahalardan geniş depolama sahalarına sahip ağır endüstri tesislerindeki zeminlere kadar uygulanan teknoloji benzerdir [27,30].

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Deneysel Çalışmanın Amacı

Bilindiği gibi betonların daha dayanımlı ve daha geçirimsiz olması için çeşitli puzolonik maddeler kullanılmaktadır. Bunlardan biride silis dumanıdır. Ayrıca betonun çekme dayanımı zayıf olduğundan çekme dayanımını arttırmak amacı ile çeşitli lifler kullanılmaktadır. Bu çalışmada da silis dumanının betonun basınç dayanımına etkilerinin araştırılması ve hava alanı betonları, yol betonları gibi, yüzey alanı fazla olan betonlarda yüzeyde oluşacak çekme gerilmelerinden dolayı betonun çatlamasının önlenmesinde Polipropilen Liflerin etkinliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu nedenle C25/30 beton karışımı yapılarak katkısız beton üretimi yapılmıştır. Bu beton karışımına çeşitli oranlarda silis dumanı ve polipropilen lifler katılarak silis dumanlı ve lifli betonlar üretilmiştir. Bu betonlar üzerinde basınç dayanım, su emme ve eğilme deneyleri yapılmıştır.

6.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler

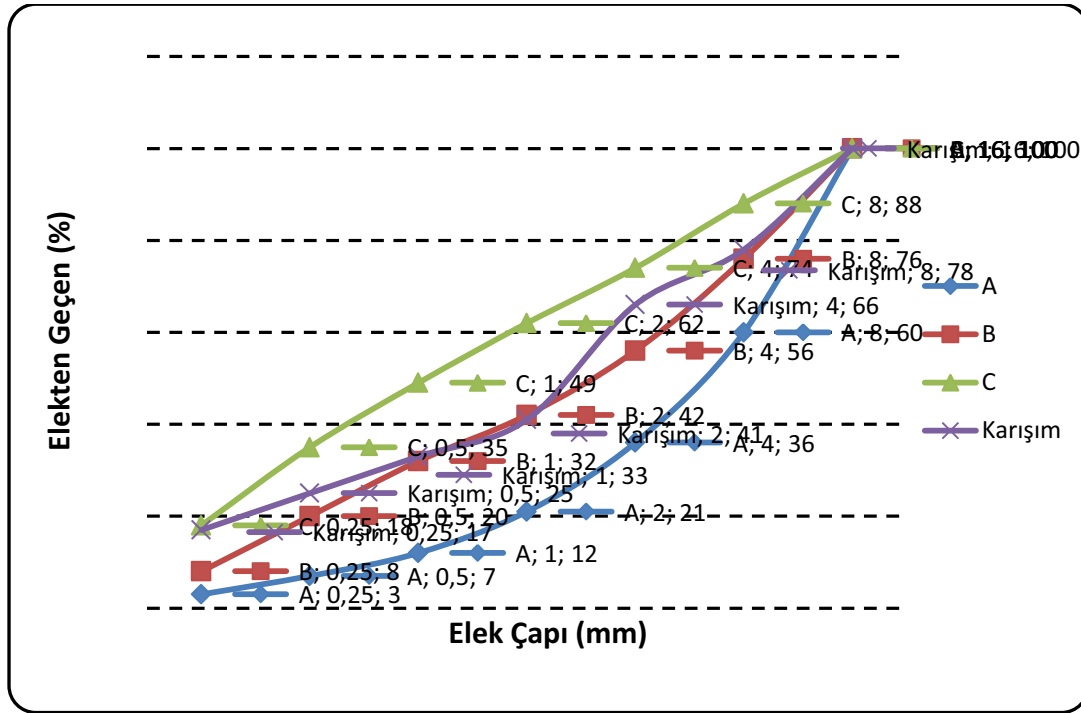
6.2.1. Agregalar

Deneysel çalışmalarda beton üretimine giren agregalar Sakarya bölgesinden sağlanan (0-4 mm) Kum , (4-12mm) kırmataş kullanılmıştır. Kullanılan agregaların özgül ağırlıkları ve granülometri deney sonuçları Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Agregaların granülometri deney sonuçları ve özgül ağırlıkları

Malzeme	Elekten Geçen %							Özgül ağırlık kg/dm ³
	16	8	4	2	1	0.5	0.25	
Kum (0-4)	100	100	100	80	65	50	33	2.65
1 No Mıdır (4-12)	100	55	32	2	0	0	0	2.72
Karışım	100	78	66	41	33	25	17	

Yapılan elek analizi sonucunda elde edilen değerlerden faydalanılarak agrega granülometrisi belirlenmiştir. Şekil 6.1' de üretimde kullanılan agregaların granülometri eğrisi görülmektedir.



Şekil 6.1. Agregaların granülometri eğrisi

6.2.2. Portland çimentosu

Deneysel çalışmalarda kullanılan çimento, normal portland çimentosu PÇ 42.5' dur. Kullanılan çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler tablo 6.2' de verilmiştir.

Tablo 6.2. Çimentonun özellikleri

Bileşen	%
SiO ₂	20.63
Fe ₂ O ₃	3.41
Al ₂ O ₃	4.71
CaO	63.64
MgO	1.24
SO ₃	2.98
Cl	0.04
Kızdırma Kaybı	1.25
K ₂ O	0.91
Na ₂ O	0.23
Serbest kireç CaO	1.1
Fiziksel Özellikleri	
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	3.12
İncelik (Blaine) (cm ² /g)	3545

6.2.3. Kimyasal katkı

Taze beton karışımında işlenebilirliği sağlamak amacıyla su ihtiyacını yüksek oranda azaltan sikacret PP1-H12 isimli Süper Akışkanlaştırıcı beton katkı maddesi kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcı % 1 oranında beton karışımına katılmıştır.

6.2.4. Polipropilen lif

Beton üretiminde (polimerize Olofin) tipi lif kullanılmıştır. Polipropilen liflerin özellikleri Tablo 6.3'de verilmiştir.

Tablo 6.3. Polipropilen liflerin özellikleri

Malzeme Sembolü	MF20
Uzunluk (mm)	20
Çap (μ)	34
Malzeme	Polimerize olefin
Yoğunluk	0,910 g / cm ³
Erime noktası	160°C - 170°C
Renk	Beyaz
Çekme dayanımı	300 - 400 N / mm ²
Kimyasal dayanım	Mükemmel

6.2.5. Silis dumanı

Literatür çalışması bölümünde detaylı olarak anlatılan silis dumanı, çimento ile ikameli olarak karışıma dahil edilmiştir. Farklı oranlarda silis dumanı içeren beton karışımları elde edilmiştir. Beton üretiminde kullanılan silis dumanının kimyasal özellikleri Tablo 6.4' de verilmiştir.

Tablo 6.4. Silis dumanının özellikleri

Bilesen	%
SiO ₂	94
C	0.9
Fe ₂ O ₃	0.7
Al ₂ O ₃	1.2
MgO	1.3
CaO	0.8
Na ₂ O ₃	0.3
K ₂ O	0.9
S	0.2
Kızdırma kaybı	0.7

6.3. Beton Karışım Oranları

Yukarıda özellikleri verilen agrega ve çimento kullanılarak C25/30 şahit beton karışım oranları hesaplanmıştır. Hesaplarda çökme değeri 15 cm sabit tutulmuştur. Çimento miktarı 250 kg/m^3 olarak alınmıştır. Teorik malzeme miktarları kullanılarak su miktarı 15 cm' lik çökmeye göre ayarlanmıştır. Daha sonra şahit beton için belirlenen miktarlara çimento ağırlığının %5 ve %10 oranında silis dumanı ilave edilerek betonlar üretilmiştir. Üretilen silis dumanlı betonlardan % 10 silis dumanı ilaveli beton karışımlarına % 0,1, % 0,5 ve % 1 oranında polipropilen lif ilave edilerek betonlar üretilmiştir. Lif miktarı çimento hacmi yerine konulmuştur. Her seriden 6 adet 10 cm lik küp numuneler ve 1 adet 30x30x10 cm' lik plak numuneler üretilmiştir. Her karışımda 20 lt beton üretilmiştir.(Şekil 6.2, Şekil 6.3) Üretilen betonlarda kullanılan malzeme miktarları ve kodlamalar aşağıda Tablo 6.5 'de verilmiştir.

Tablo 6.5. 1 M³'e giren malzeme miktarları ve beton kodlamaları

Numune Cinsi	Numune Kodu	Çimento (kg)	Kum (kg)	I No kırmataş (kg)	Su (kg)	Silis Dumanı (kg)	Polipropilen Lif(kg)
Şahit Beton	ŞB	250	912	1070	175	0	0
% 5 Silis Dumanlı Beton	ŞBS5	250	912	1070	180	12.5	0
%10 Silis Dumanlı Beton	ŞBS10	250	912	1070	190	25.0	0
% 10 Silis Dumanlı % 0.1 Polipropilen Lifli Beton	ŞBS15 P.0,1	250	912	1070	195	25.0	0.9
%10 Silis Dumanı % 0.5 Polipropilen Lifli Beton	ŞBS15 P.0,5	250	912	1070	207	25.0	4.5
% 10 Silis Dumanlı % 1 Polipropilen Lifli Beton	ŞBS15 P.10	250	912	1070	210	25.0	9



Şekil 6.2. 10cm'lik küp numunelerin görünüşü



Şekil 6.3. 30x30x10 cm'lik plak numuneleri

6.4. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

Üretilen plak numuneler oda sıcaklığında saklanarak yaklaşık 90 gün boyunca takip edilmiştir. Bu süreç içerisinde betonların yüzeylerinde herhangi bir nedenle çatlak olup olmayacağı gözlenmiş, ancak herhangi bir yüzeysel çatlağın oluşmadığı belirlenmiştir. Genelde yüzey alanı büyük olan betonlarda sıcaklık ve su kaybı

nedeniyle çekme gerilmelerinin oluşması nedeniyle yüzeysel çatlamlar görülebilmektedir. Çalışmamızda yüzeysel çatlak görülmesi ve bunların polipropilen liflerle önlenemesinin mümkün olduğunu görmek amaçlanmıştır. Ancak deneysel çalışmalarımızın sonbahar ve kış aylarına rastlaması bunu engellediği görüşülmüştür.

Ancak betonlarda silis dumanı ve polipropilen liflerin etkisini görmek için üretilen betonlar üzerinde basınç, su emme ve eğilme deneyleri yapılmıştır.

Küp numuneler üzerinde 28 gün sonra yapılan basınç ve su emme deneyleri yapılmıştır ve sonuçları Tablo 6.6 ve Tablo 6.7’ de verildiği gibi saptanmıştır. Plaklar ikiye bölünerek 15x30x10 cm lik çubuklar üzerinde eğilme deneyleri yapılmış bulunan değerler Tablo 6.8’ de verilmiştir.

Tablo 6.6. Beton basınç dayanımları

Numune NO	Kırılma Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)
Şahit Beton	229500	22.90	23.65
	272800	27.28	
	207600	20.76	
% 5 Silis Dumanlı Beton	313400	31.34	29.27
	293000	29.30	
	271800	27.18	
% 10 Silis Dumanlı Beton	300400	30.00	31.98
	372400	37.20	
	287500	28.75	
% 10 Silis Dumanlı % 0.1 Polipropilen Lifli Beton	342900	34.29	34.09
	315900	31.59	
	363900	36.39	
% 10 Silis Dumanlı % 0.5 Polipropilen Lifli Beton	350400	35.04	33.45
	327200	32.72	
	324600	32.46	
% 10 Silis Dumanlı % 1 Polipropilen Lifli Beton	308000	30.80	30.60
	317000	31.70	
	293000	29.30	

Tablo 6.7. Betonların su emme değerleri

Numune NO	Kuru ağırlığı (gr)	Su emmiş ağırlığı (gr)	Emilen su Miktarı (gr)	Ağırlıkça Su Emme oranı %	Ortalama Ağırlıkça Su Emme oranı %
Şahit Beton	2220	2272	52	2.34	2.61
	2396	2460	64	2.67	
	2196	2258	62	2.82	
% 5 Silis Dumanlı Beton	2232	2280	48	2.15	2.06
	2356	2404	48	2.04	
	2218	2262	44	1.98	
% 10 Silis Dumanlı Beton	2304	2342	38	1.65	1.70
	2394	2434	40	1.67	
	2260	2300	40	1.77	
% 10 Silis Dumanlı % 0.1 Polipropilen Lifli Beton	2244	2290	50	2.23	2.03
	2204	2248	44	2.00	
	2348	2392	44	1.87	
% 10 Silis Dumanlı % 0.5 Polipropilen Lifli Beton	2216	2266	50	2.26	2.06
	2342	2388	46	1.96	
	2230	2274	44	1.97	
% 10 Silis Dumanlı % 1 Polipropilen Lifli Beton	2292	2345	53	2.31	2.18
	2252	2302	50	2.22	
	2386	2438	48	2.01	

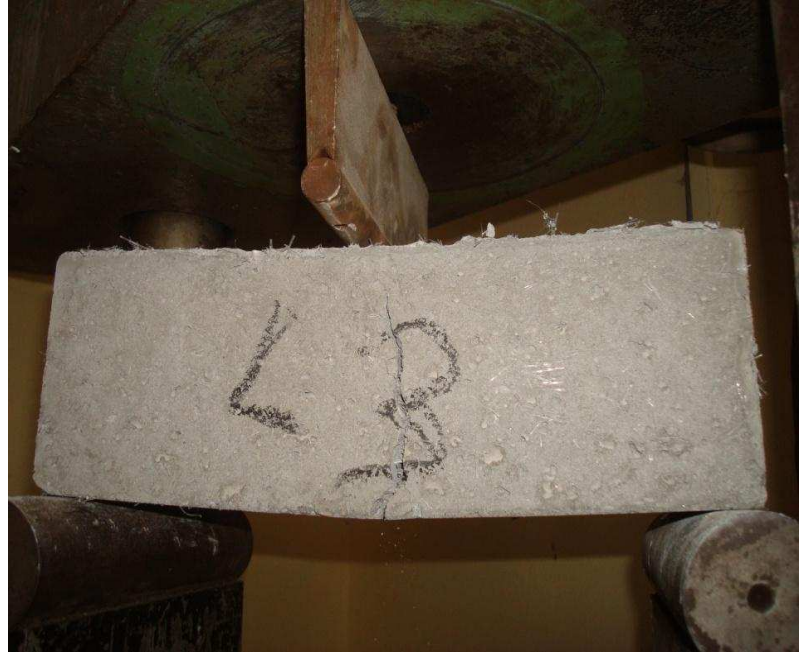
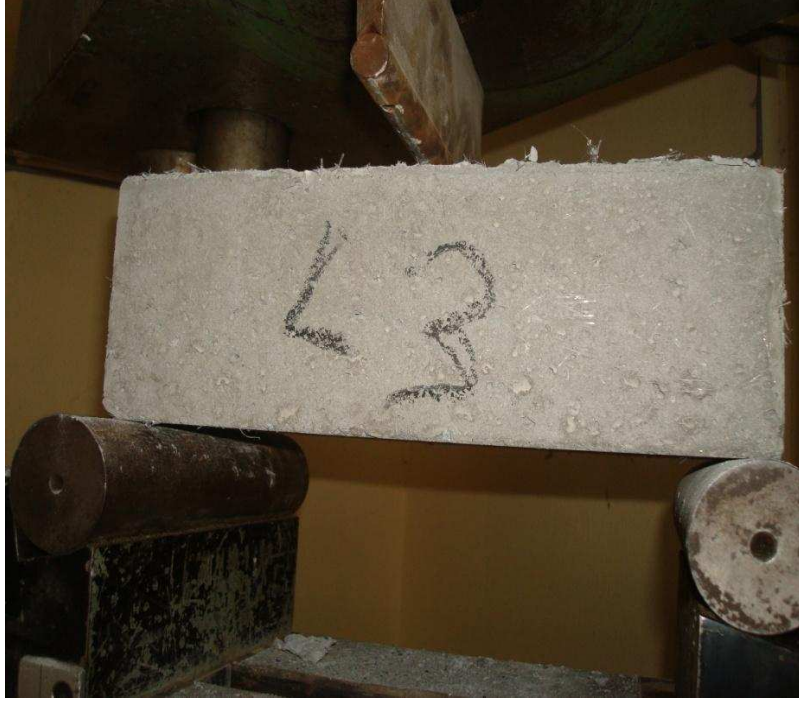
Tablo 6.8. Betonların eğilme deneyi sonuçları

Numune NO	Açıklık L (cm)	Eni b (cm)	Kalınlık h (cm)	Eğilme Yükü P (kg)	$\sigma=3PL/2bh^2$ (N/mm ²)	Ortalama Eğilme Dayanımı (N/mm ²)
Şahit Beton (k1)	25	15	10	1800	4.50	4.38
	25	15	10	1700	4.25	
% 5 Silis Dumanlı Beton (k2)	25	15	10	2050	5.13	4.82
	25	15	10	1800	4.50	
% 10 Silis Dumanlı Beton (k3)	25	15	10	1950	4.88	5.19
	25	15	10	2200	5.50	
% 10 Silis Dumanlı %0.1 Polipropilen Lifli Beton (L1)	25	15	10	2200	5.50	5.70
	25	15	10	2300	5.75	
% 10 Silis Dumanlı %0.5 Polipropilen Lifli Beton (L2)	25	15	10	2450	6.13	6.09
	25	15	10	2450	6.13	
% 10 Silis Dumanlı %1 Polipropilen Lifli Beton(L3)	25	15	10	1900	4.75	4.84
	25	15	10	2050	5.13	

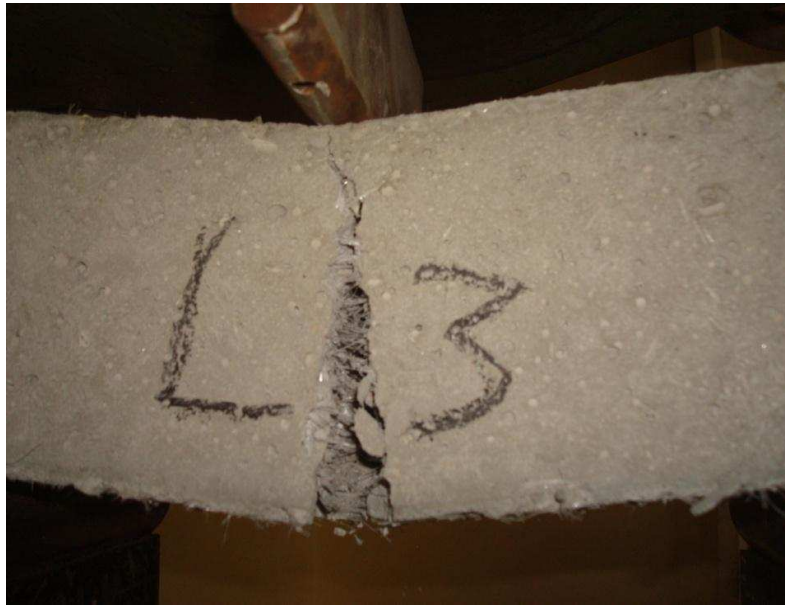
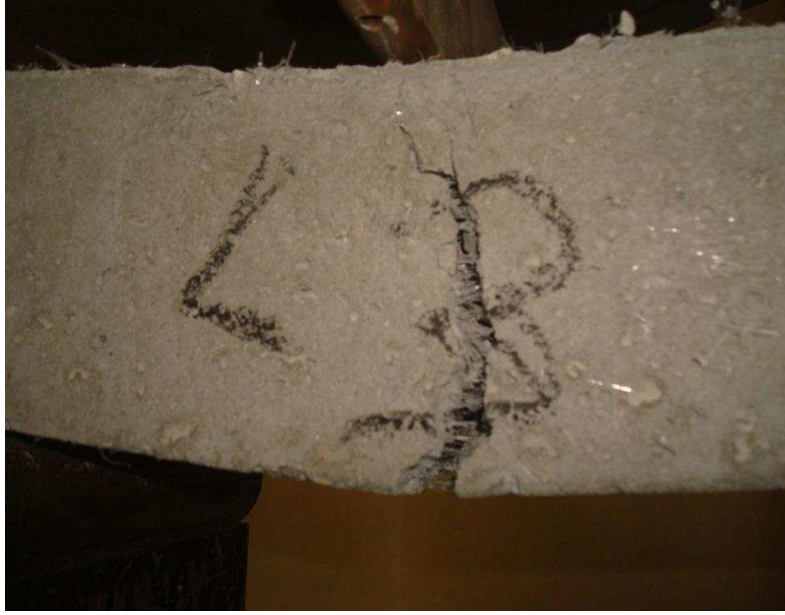
Deneylerin yapıları ile ilgili resimler Şekil 6.4 ve Şekil 6.5,'de verildiği gibidir. Şekil 6.4' deki resimde görüldüğü gibi lif konulmamış betonlarda çatlaktan sonra yük taşıması sona ermiştir. Kiriş iki parça halinde parçalanmıştır. Şekil 6.5' deki resimde ise lifli kiriş kırılması görülmektedir. Çatlak büyümesine karşılık yükleme tablasında yük birden sıfıra düşmemiş, yük taşımaya devam etmiştir.



Şekil 6.4. Lifsiz kiriş eğilme deneyi



Şekil 6.5. Lifli kiriş eğilme deneyi

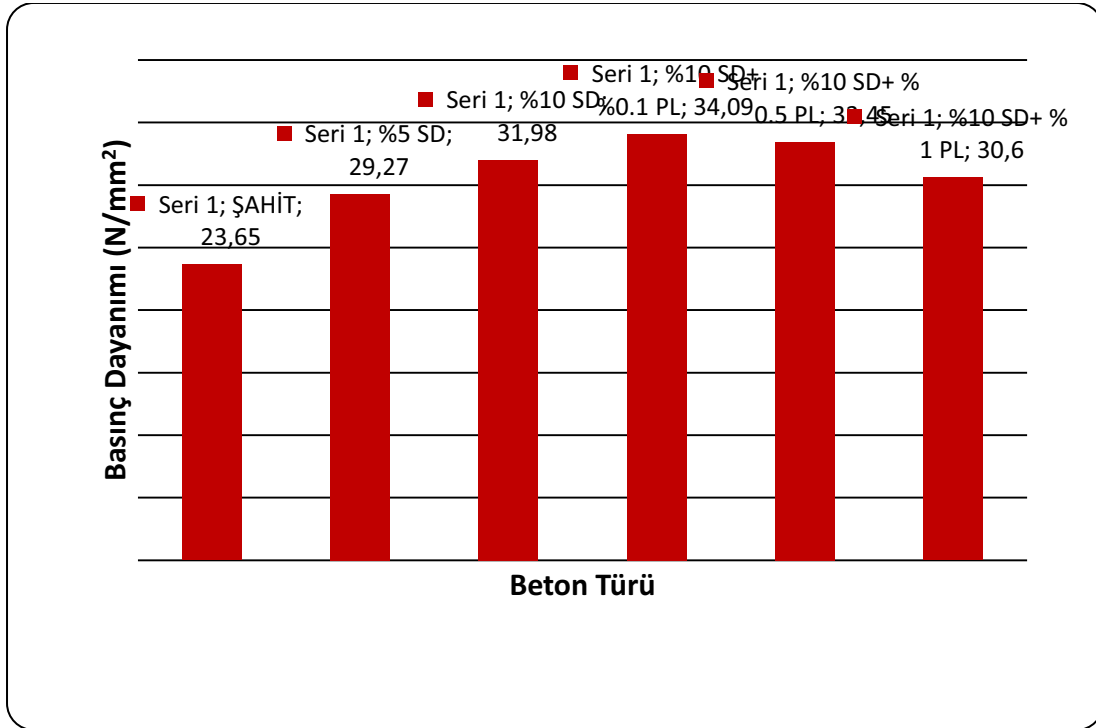


Şekil 6.5. (Devam) Lifli kiriş eğilme deneyi



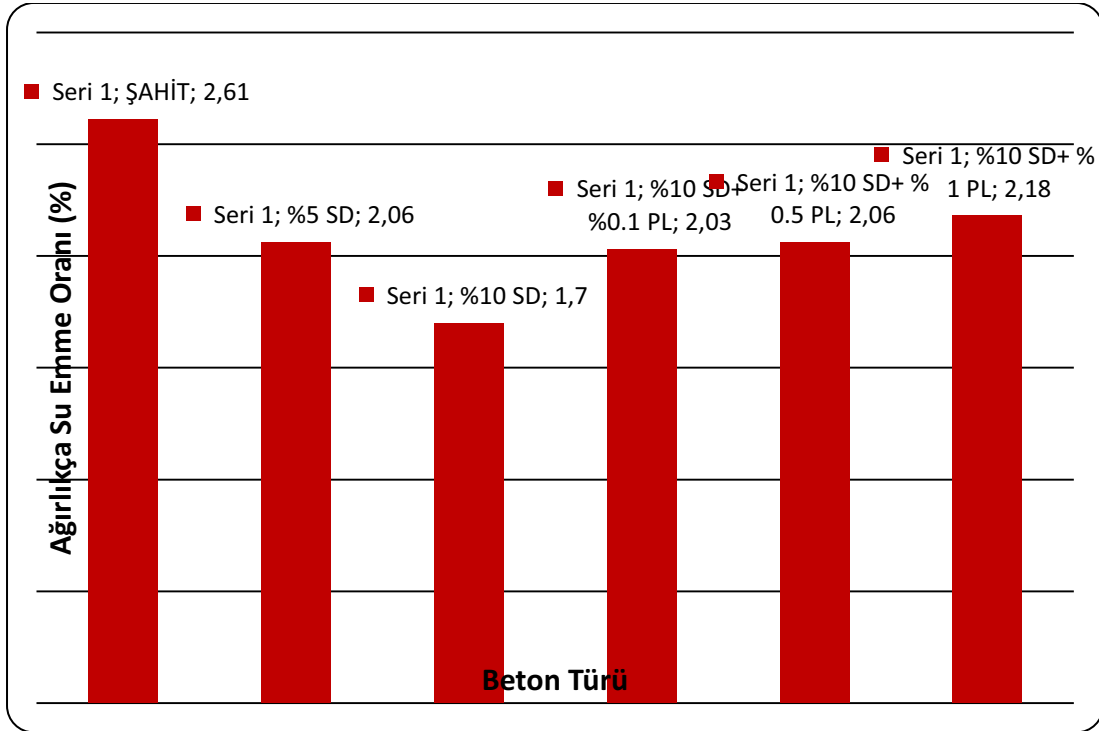
Şekil 6.5. (Devam) Lifli kiriş eğilme deneyi

Deneyde elde edilen sonuçlar irdelendiğinde betonlarda silis dumanının kullanılması olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir. Genelde % 10 Oranında silis ilaveleri yeterli olmaktadır. Daha fazla silis kullanımı uygun olmamaktadır. Çünkü silis dumanı miktarı arttıkça işlenebilirlik azalmaktadır. İşlenebilirliği arttırmak için akışkanlaştırıcı kullanılmaktadır. Aynı zamanda silis dumanının maliyeti çimentodan daha fazladır bu nedenle silis dumanı oranı arttıkça maliyette artmaktadır. Bu sebeple silis dumanı deneylerde en fazla %10 oranında katılmıştır. Çalışmamızda silis dumanının artmasıyla basınç dayanımlarının arttığı ve su emmelerin azaldığı, dolayısıyla geçirimsizliğin arttığı görülmüştür. (Şekil 6.6, Şekil 6.7)



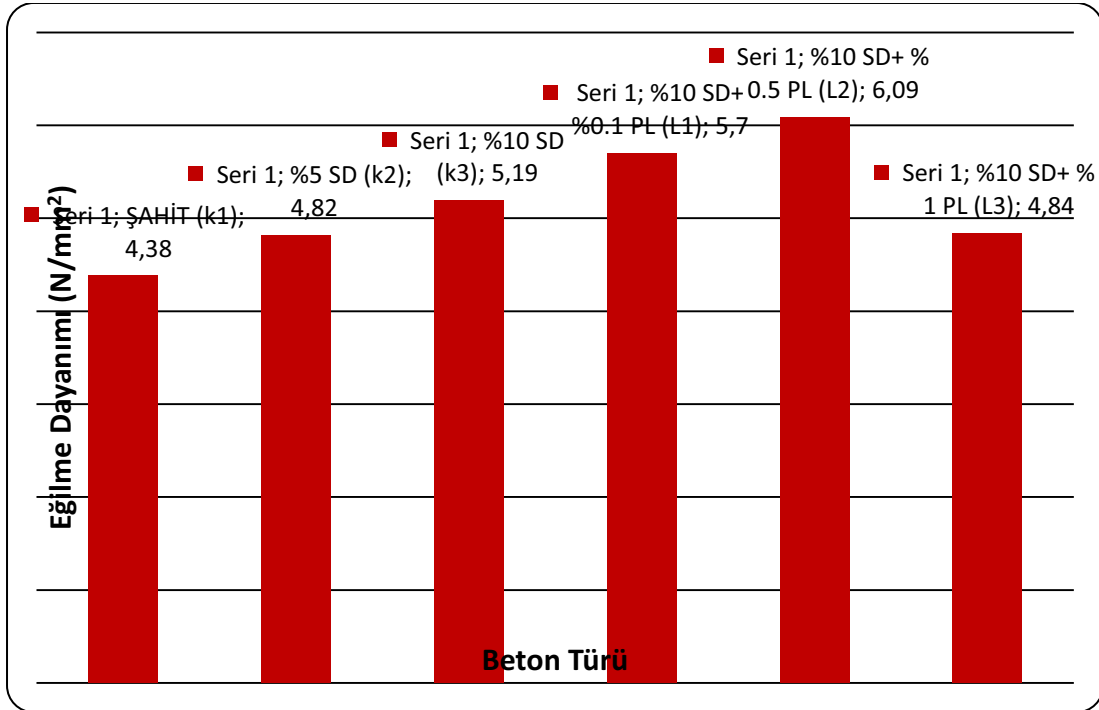
Şekil 6.6. Basınç dayanımlarının değişimi

Elde edilen basınç dayanımları analiz edilmiş ve grafiklerde farklı oranlarda silis dumanının ve polipropilen lifin betona katılmasıyla, basınç dayanımında meydana gelen değişiklikler izlenmiştir. %0.1 %0.5 ve %1 Polipropilen lifle güçlendirilmiş % 10 silis dumanı içeren betonların basınç dayanımlarının tayini 28 günlük küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Şekil 6.6' daki grafikte görüldüğü gibi polipropilen lif ve silis dumanı miktarı arttıkça basınç dayanımlarının artmıştır. % 5 ve % 10 Silis dumanı katkılı betonların basınç dayanımları şahit betona kıyasla yaklaşık sırasıyla % 23 ve %35 oranlarında artmıştır. En yüksek basınç dayanımını % 10 silis dumanı katkılı betonda görüldüğü için polipropilen lif % 10 silis dumanı katkılı betona %0.1, % 0.5 ve %1 oranlarında katılmıştır. Polipropilen lifin basınç dayanımına etkisi şahit betona kıyasla yaklaşık sırasıyla % 44, %41 ve %30 oranlarında artış görülmüştür. Polipropilen lif arttıkça basınç dayanımının azaldığı görülmektedir. Çünkü polipropilen lif oranı arttıkça buna bağlı olarak işlenebilirlik azalmakta ve matris bazında homojen bir karışım sağlanmadığından betondaki kusurlar artabilmektedir. Ancak polipropilen liflerin miktarı arttıkça daha sünek davrandığı patlamadıkları ve basınç altında da enerji yutma özelliğinin arttığı görülmüştür.



Şekil 6.7. Betonlarda su emme oranının Değişimi

Silis dumanı ve polipropilen lifle güçlendirilmiş betonların su emme oranlarının tayini 28 günlük küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Silis dumanı miktarı arttıkça su emme oranlarının azaldığı polipropilen lif miktarı arttıkça su emme oranlarının arttığı görülmüştür.(Şekil 6.7.) %5 ve % 10 silis dumanı katkılı betonların su emme oranlarına etkileri şahit betona kıyasla sırasıyla yaklaşık %21 ve %35 oranlarında azalma görülmüştür. % 10 silis dumanı katkılı betona %0.1, %0.5 ve %1 oranlarında polipropilen lif katılmış ve su emme oranlarına etkileri %10 silis dumanı katkılı betona kıyasla sırasıyla yaklaşık olarak %20, %21 ve %28 oranlarında artış ve şahit betona kıyasla sırasıyla yaklaşık olarak %22, %21 ve %15 oranlarında azalma görülmüştür.(Şekil 6.7.)

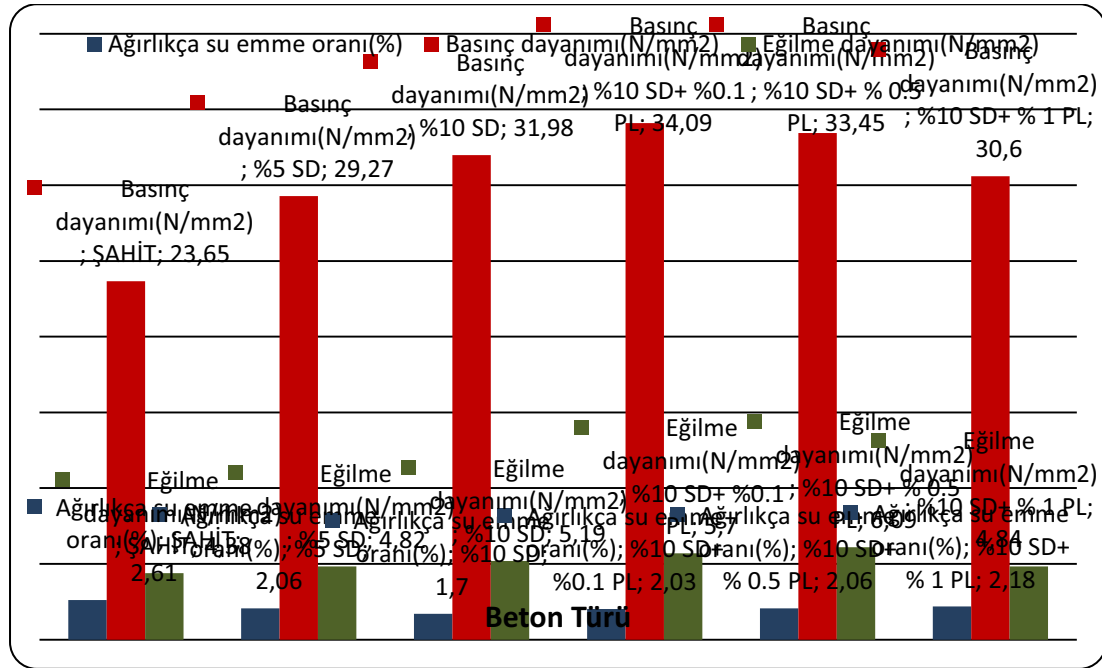


Şekil 6.8. Eğilme dayanımlarının değişimi

Polipropilen liflerle güçlendirilmiş ve silis dumanı katkılı betonların eğilme dayanımı deneyleri 30x30x10 cm'lik plak numuneler ortandan ikiye bölünerek 15x30x10 cm'lik çubuklar üzerinde yapılmıştır. %5 ve %10 silis dumanı katkılı betonların eğilme dayanımları şahit betona kıyasla sırasıyla yaklaşık olarak %10 ve %18 oranlarında artış görülmüştür. En fazla eğilme dayanımı %10 silis dumanı katkılı betonda görülmüş ve %10 silis dumanı katkılı beton %0.1, %0.5 ve %1 oranlarından polipropilen lif katılmıştır. Polipropilen lif ve silis dumanı katkılı betonların eğilme dayanımları şahit betona kıyasla sırasıyla yaklaşık olarak %30, %39 ve %10 oranlarında artış görülmüştür.(Şekil 6.8.) Silis dumanı ve polipropilen lif miktarı arttıkça eğilme dayanımının arttığı görülmektedir. Ancak % 1 oranında lif kullanımının betonun sıkıştırılmasını zorlaştırdığı için uygun olmadığı görülmüştür. Eğilme dayanımını etkileyen faktörler, lifin şekli, lif görünüm oranı, lif hacmi, deney numunesi boyutları ve liflerin beton içerisindeki dağılımları ve esas olarak betonla lif arasındaki aderans gerilmesinin arttırılmasıdır.

Betonlarda lif kullanımının %0.1 ve %0.5 oranında kullanılmasının basınç dayanımlarını arttırdığı ve su emme oranlarını azalttığı saptanmıştır. Plaklarda

yüzeysel çatlaklarını önlemesi de olasıdır. Çünkü yapılan eğilme deneylerinde eğilme dayanımlarının arttığı saptanmıştır. % 1 oranında lif kullanımının betonun sıkıştırılmasına olumsuz katkısı olduğundan uygun olmayacağı görülmüştür. Yapılan basınç, su emme ve eğilme deneylerinin sonuçları Şekil 6.9’ da bir arada değişim grafikleri verilmiştir.



Şekil 6.9. Basınç, Su emme ve Eğilme dayanımlarının değişimi

Silis dumanı katkılı betonlarda su emme oranı azaldıkça eğilme ve basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Polipropilen lif ve silis dumsnu katkılı betonlarda ise su emme oranı azaldıkça eğilme dayanımının arttığı görülmüş fakat %10SD+%1PL katkılı betonda su emme oranında artış eğilme dayanımında azalma görülmüştür.

6. 5. Sonuç ve Değerlendirme

Betonlarda çeşitli puzolonik maddeler kullanılarak betonların performanslarında iyileştirmeler yapılmaktadır. Bu çalışmada da çok ince madde olan silis dumanı ve polipropilen lif kullanılmıştır

Deneysel çalışmaların ışığı altında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Silis dumanının ince olması nedeniyle yapılan deneylerde de görüldüğü gibi su ihtiyacı aynı çökme değeri için artmıştır. Çok ince madde olan silis dumanı betonun en küçük boşluklarını doldurmakta ve betonu iyileştirmektedir. Ancak silis dumanı betonlarda fazla su nedeniyle kusmanın fazla olması ve sıcak havalarda buharlaşma hızının çok olması yüzeysel çekme gerilmeleri nedeniyle çatlama olmaktadır. Bu yüzey alanı büyük olan hava alanı gibi betonlarda olmaması istenir ve çeşitli tedbirler alınır. Bunlardan biride lif kullanımındır. %10 silis dumanı katkılı betonlara %0.1, %0.5 ve %1 oranlarında polipropilen lif katılmış ve su ihtiyacı aynı çökme değeri için artmıştır. Farklı dozlarda ve değişik katkı içeriklerinde hazırlanan numunelerde kontrol karışımına kıyasla, karışım suyu %2 ile %20 arasında artmıştır.

2. Silis dumanını aşırı ince malzeme olmasından dolayı su ihtiyacını arttırmaktadır. Silis dumanlı betonların işlenebilmesi azdır. Betona katılan silis dumanının oranı çimento ağırlığının %5'inden daha yukarıya çıktıkça, beton daha yapışkan olmakta, yüzey düzeltme işlemlerinde kullanılan malzemelere yapışarak güçlük çıkarmaktadır. Polipropilen lif kullanımında işlenebilirliği azalttığı görülmüştür. Bu nedenle yapılan deneylere işlenebilirliği arttırmak için süper akışkanlaştırıcı katılmıştır.

3. Silis dumanı ve polipropilen lif kullanımı katkı içeriğine bağlı olarak şahit numunelerine nazaran basınç dayanımında %23 ile %44 arasında artış sağlamıştır. %10 silis dumanına % 0.1 ve %0.5 oranında katılan polipropilen lifler basınç dayanımını arttırmış fakat %1 polipropilen lif oranında artan lif hacimleri ile beton basınç dayanımını azaltma eğiliminde olduğu görülmüştür.

4. Eğilme dayanımı sonuçlarına göre %5 ve % 10 silis dumanı katkılı betonlarda ve %10 SD+%0.1 PL ile %10 SD+%0.5 PL katkılı betonlarda şahit betona kıyasla eğilme dayanımı %10 ile %39 arasında artış görülmüştür. %10SD+%1 PL katkılı betonlarda ise eğilme dayanımında azalma görülmüştür. % 1 oranında polipropilen lif kullanımı beton karışımına fazla gelmiş ve olumsuz etkileyerek eğilme dayanımını azaltmıştır.

5. Betona katılan silis dumanı artıkça şahit betona kıyasla su emme oranları azalmıştır. %10 silis dumanı katkılı betona belirli oranlarda polipropilen lif katılmış lif oranı arttıkça su emme oranının %10 silis dumanı katkılı betona kıyasla arttığı şahit betona kıyasla azaldığı görülmüştür. Polipropilen lifin silis dumanıyla kullanımında, polipropilen lif oranı arttıkça silis dumanının su emme oranlarına olan olumsuz etkilerinin azaldığı görülmüştür.

Bu çalışmada da silis dumanlı betonlara lif ilavesinin basınç ve eğilme dayanımını arttırdığı saptanmıştır. Polipropilen liflerin saha betonlarında kullanılmasının uygun olacağı deneysel çalışma ile vurgulanmıştır. Yapılan deneyler sonbahar ve kış aylarına denk geldiği için yüzeysel çatlak olup olmadığı izlenememiştir. Bu deney yaz aylarında yapılarak silis dumanlı betonlara lif ilavesinin betonda yüzeysel çatlakları ne yönde etkilediği görülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] KOCA, C., 1996. Yüksek Performanslı Beton Üretiminde Mikrosilis, Curuf, Klinker Karışımı Çimento Kullanımı. 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, s.381-394.
- [2] ERDOĞAN, T.Y. 2003. Beton. ODTU Gelistirme Vakfı ve Yayıncılık A.S., Ankara, 741s.
- [3] MALHOTRA, V.M., 1997. Mineral Admixtures. Concrete Construction Engineering Handbook, Nawy Edward G. CRC Press, New York, pp.27-36.
- [4] YEĞİNOBALI A, 1993. Silis Dumanının Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildirileri, Ankara, s.149-167.
- [5] BAYASI, Z., ZHOU, J., 1993. Properties of Silica Fume Concrete and Mortar, ACI Materials Journal 90 (4) pp.349-356.
- [6] YAZICI, S., 1996. The Mechanical Properties and Durability of High Strength Concrete with Silica Fume and Fly Ash. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 115s.
- [7] ERDOĞAN T.Y. 2007. "BETON". ODTÜ Gelistirme Vakfı Yayıncılık Ve İletişim A.S. Genişletilmiş 2. Baskı. Ankara.
- [8] ÖZBEK, R., 1998. Silis Dumanın Betonun Fiziksel ve Mekanik özelliklerine Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 86s.
- [9] KHAYAT, K.H., VACHON, M., LANCTOT, M.-C., 1997. Use of Blend Silica Fume Cement in Commercial Concrete Mixtures. ACI Material Journal, v.94, n.3, pp.183-192.
- [10] MAZLOOM, M., RAMEZANIANPOUR, A.A., BROOKS, J.J., 2004. Effect Of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete. Cement & Concrete Composites, v. 26, pp.347-357.
- [11] KHAYAT, K.H., AITCIN, P.C., 1992. Silica Fume in Concrete: an Overview. ACI Sp Publication S132, Detroit, pp.835-872.

- [12] LARBI, J.A., FRAAY, A.L.A., BIJEN, J.M., 1990. The Chemistry of The Porefluid of Silica Fume-Blended Cement Systems. *Cement and Concrete Research* 20 (4), pp.506-516.
- [13] AKCAOZOĞLU, K., 2007. Silis Dumanı İçeren Yüksek Dayanımlı Harçlarda Numune Boy Değişiminin Basınç Dayanımı ve Birim Kısılma Üzerindeki Etkisi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.
- [14] TOUTANJİ, H., Delatte, N., Aggoun, S., Duval, R., Danson, A., 2004. Effect Of Supplementary Cementitious Materials On The Compressive Strength And Durability Of Short-Term Cured Concrete, *Cement And Concrete Research*. 311-319.
- [15] EKİNCİ, C.E., 1995. Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesi Silis Dumanlarının Çimento ve Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 204s.
- [16] ÖZCAN, F., 2005. Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların Özellikleri ve Hızlandırılmış Kür ile Dayanım Tahmini. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 173s.
- [17] TÜRKER, S., Balanlı, A., (1992). Yapı Malzemeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 45-72.
- [18] SHAH, B., (1995). Fiber Reinforced Composites, American Concrete Institute, Detroit, USA, pp. 142-149.
- [19] ERBAŞ, M. (2003) Polipropilen Lifler ve Betonun Dürabilitesine Etkisi., *5. Ulusal Beton Kongresi*, _MMO Yayınları, _stanbul, s.82-86.
- [20] JOHNSTON, C.D., (2000) Fiber-Reinforced Cements and Concretes. *Advances in Concrete Technology*. International Centre for Sustainable Development of Cement and Concrete. [ICON], Ottawa, Ontario, Canada. V.3. pp 332-335
- [21] ACI Committee 182 (1989) *544.4R*, Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit, pp.182-191.
- [22] HALM, J., (1992) Ausgangstoffe, Herstellverfahren und Eigenschaften von Glasfaserbeton, Faserbeton, Vorträge der DBV(Deutscher Beton Verein e.V.)-Arbeitstagung, 40-45, Duisburg.
- [23] SCHNÜTGEN, B., (1992) Technologie des Stahlfaserbetons und Stahlfaserpripbetons, Faserbeton, Vorträge der DBV(Deutscher Beton Verein e.V.)-Arbeitstagung, 6-12, Duisburg.

- [24] NAKAGAWA, H., Akihama S. Suenaga, .T., (1989) Mechanical Properties of Various Types of Fibre Reinforced Concretes, Fiber Reinforced Cement and Concretes, London, pp 523-532.
- [25] BEKAERT, 1998. Duomix Hakkında Genel Bilgier Klavuzu. Bekaert, Belgium.
- [26] www. polyfibers.com (Mayıs 2011)
- [27] GARBER, G., (1991) Design and Construction of Concrete on Floors, Edward Arnold, London, p. 287.
- [28] TAŞDEMİR, M.A., Şengül, Ö., Samhal. E., Yerlikaya, M., (2006) Endüstriyel Zemin Betonları, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul.
- [29] The Concrete Society, (1987) Concrete Industrial Ground Floor, Technical Report 34, Concrete Society, London, p. 104.
- [30] FARNY, J.A., (2001) Concrete Floors on Ground, *EB 075*, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, p. 136.

ÖZGEÇMİŞ

Betül Sümer1983 yılında Düzce' de doğdu. İlkokulu Adapazarı Ahmet Akkoç ilkokulunda, orta ve lise öğrenimini ise Sakarya İmam Hatip Lisesinde tamamladı. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümünden mezun oldu. 2006 yılında dikey geçiş yaparak Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği Bölümünde sürdürdüğü Lisan eğitimini 2009' da tamamladı. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği Bölümü'nde Yüksek Lisans programına başladı.