

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KATKILI BETONLARIN ADERANS DAYANIMININ
İNCELENMESİ**

Kemal Muhammet ERTEN

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA-2009**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma jürimiz tarafından İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda oybirliği /oy çokluğu ile YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT

S.D.Ü. Tek. Eğt. Fak. Yapı Eğt. Böl.

Üye : Yrd. Doç. Dr. Zeki AY

S.D.Ü. Müh. Mim. Fak. İnş. Müh. Böl.

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL (Danışman)

S.D.Ü. Müh. Mim. Fak. İnş. Müh. Böl.

ONAY

Bu tez 25/03/2009 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../2009

Prof. Dr. Mustafa KUŞCU
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Beton	4
2.1.1. Çimento.....	5
2.1.2. Agrega.....	8
2.2. Beton Katkı Maddeleri.....	10
2.1.1. Mineral Katkı Maddeleri.....	11
2.1.2. Kimyasal Katkı Maddeleri	17
2.1.3. Fiber Katkı Maddeleri.....	21
2.3. Aderans ve Kenetlenme	23
2.4. Bulanık Mantık	33
2.5. Veri Madenciliği	36
2.6. Konu ile İlgili Yapılmış Bazı Çalışmalar.....	36
3. MATERYAL ve METOD	41
3.1. Materyal	41
3.1.1. Agregalar.....	41
3.1.2. Çimento.....	41
3.1.3. Kimyasal Katkılar	42
3.1.4. Mineral Katkılar	42

3.1.5. Fiber Katkı	42
3.1.6. Çelik Donatı Çubukları	42
3.2. Beton Karışım Hesapları	43
3.3. Metot	46
3.3.1. Çökme (Slump) Deneyi	46
3.3.2. Birim Ağırlık Deneyi	47
3.3.3. Aderans Deneyi.....	47
3.3.4. Basınç Dayanımı Deneyi	49
3.3.5. Modelleme	50
4. BULGULAR.....	54
4.1 Agregaların Granülometrik Özellikleri	54
4.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri.....	55
4.3. Karışım Agregalarının Oranları ve Granülometrileri.....	56
4.4. Kimyasal Katkı	56
4.5. Çimento	57
4.6. Silis Dumanı.....	58
4.7. Uçucu Küller	58
4.8. Çalışmada Kullanılan Çelik Donatılar	59
4.10. Çökme deneyi sonuçları.....	65
4.11. Birim Hacim Ağırlık ve Basınç Dayanımı Sonuçları	74
4.12. Aderans Deneyi Sonuçları	76
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	79
6. KAYNAKLAR	80
EKLER.....	88
ÖZGEÇMİŞ	89

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi
KATKILI BETONLARIN ADERANS DAYANIMININ İNCELENMESİ

Kemal Muhammet ERTEN

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Juri: Doç. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT
Yrd. Doç. Dr. Zeki AY
Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL (Danışman)

Betonarmenin, betonla çeliğin beraber çalıştığı kompozit bir malzeme olduğu bilinmektedir. Beraber çalışma özelliğinin ancak çeliğin beton içerisinden sıyrılmaması halinde mümkün olacağı açıktır. Sıyrılmamanın olmaması için iki malzeme arasında meydana gelen bağ kuvvetinin kalıcı olması gerekir. Deneylerle varlığı kanıtlanan bu bağ kuvvetine aderans denir. Aderans olayı betonarmenin en önemli ve faydalı özelliklerinden biridir. Aderans sayesinde iki malzemenin beraberce kullanılması ve birbirini tamamlaması mümkün olur. Bu çalışmada, mineral, kimyasal, fiber katkıların ilavesiyle beton-donatı arasındaki aderansın nasıl değiştiği incelenmiştir. Kullanılan katkılar, beton, donatı özelliklerinden bahsedilmiş ve aderansın önemi üzerinde durulmuştur. Aderans deneyleri 15 x 15 x 60 cm. lik boyutlardaki prizmatik numuneler içerisine gömülü olan 14mm (Ø14) çapındaki düz ve nervürlü, 18 mm. (Ø18) çapındaki nervürlü donatıların 28 günlük beton numuneler üzerinde pull-out deneyi yapılmasıyla belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bulanık mantık (Fuzzy Logic) ve veri madenciliği (Data Mining) yöntemleri ile modellenmiştir. Çalışma sonucunda, betonun basınç dayanımıyla birlikte aderans dayanımının da arttığı görülmüştür. Ayrıca, modelleme ile deneysel verilerin birbirine çok yakın olduğu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aderans, Beton, Mineral Katkılar, Kimyasal Katkılar, Fiber Katkılar

2009, 89 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF STEEL-CONCRETE BOND OF CONCRETES WITH ADDITIVES

Kemal Muhammet ERTEN

**Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences
Civil Engineering Department**

Thesis Committee: Assoc. Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT

Assist. Prof. Dr. Zeki AY

Assist. Prof. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL (Supervisor)

It is well known that reinforced concrete is a composite material where the concrete and the rebar work together. It is obvious that this unity is possible only under condition when the rebar does not squirmed out of the concrete. In order to prevent the squirming out, the binding force between these materials should be lasting and consistent. By means of experiments as proven circumstances, this binding force is called as adherence. Adherence fact is one of the most important and useful characteristic of the reinforced concrete. Thanks to adherence for these materials it is possible to use them together and they can be integrated to each other. In this study, it is worked out and mentioned that how the adherence changes between the concrete and the rebar in case of adding mineral, chemical and fiber additives. It is referred to the used additives, features of concrete and the features of rebar and it is expressed the importance of the adherence. The adherence experiments have been determined by making the pull out experiments on 28 days concrete samples where 14 mm flat surface steel bars and 14 mm diameter rebars and 18 mm rebars are embedded on a prismatic concrete samples having dimensions of 15 x 15 x 60 cm. the obtained results have been evaluated and modeled by Fuzzy Logic Method and Data Mining methods. As a result of this study; it is observed that the compressive strength and the adherence of the reinforced concrete has increased. Besides it is obtained the modeling and the experimental values are very close to each other.

Key Words: Adherence, Concrete, Mineral Admixtures, Chemical Admixtures, Fiber Admixtures

2009, 89 pages

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışma konumun belirlenmesinde ve tezimin her aşamasında engin bilgi, görüş ve desteğini benden esirgemeyen, her zaman bir yol gösterici ve her türlü zorlukta yanımda olan değerli Danışman Hocam, Yrd. Doç. Dr. Kemal Tuşat YÜCEL'e (S.D.Ü. Müh-Mim Fak. İnşaat Müh. Böl.), tezimi hazırlamam sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli Hocam, Öğrt. Gör. Cengiz ÖZEL'e (S.D.Ü. Tek.-Eğt. Fak. Yapı Eğt. Böl.), teşekkürü bir borç bilirim.

1621 YL 08 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Çalışmalar sırasında kullanılan aderans deney ekipmanları, TÜBİTAK İÇTAG A049 ve 106M155 proje destekleriyle sağlanmıştır. Bu nedenle bu çalışmalara destek veren TÜBİTAK' a teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında maddi manevi beni destekleyen, bitmeyen sabır ve sevgileriyle üzerimde büyük emeği olan canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kemal Muhammet ERTEN

ISPARTA, 2009

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Mineral katkıların işlenebilirlik üzerindeki etkileri	12
Çizelge 2.2. Uçucu küllerin betonun çeşitli özelliklerine etkileri (Tokyay, 1990)	16
Çizelge 2.3 Fiber tipleri ve bazı özellikleri (Daniel, 1998).....	23
Çizelge 2.3. TS 708'e göre yapı çeliklerinin sınıfları ve mukavemet değerleri.	29
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan polipropilen fiber katkının özellikleri.....	42
Çizelge 3.2. Araştırma deneyleri karışım bileşenleri	45
Çizelge 4.1. İri ve ince agregaların tane yoğunlukları ve su emme oranları.....	55
Çizelge 4.2. İri ve ince agreganın sıkışık ve gevşek birim hacim kütleleri (yığın yoğunlukları, kg/m ³)	55
Çizelge 4.3. Agregası karışım oranları (%)	56
Çizelge 4.4. Kimyasal katkıların özellikleri.....	57
Çizelge 4.5. Deneylerde kullanılan PÇ 42.5 R'nin özellikleri.....	57
Çizelge 4.6. Silis dumanının (FeSi) kimyasal özellikleri.....	58
Çizelge 4.7. Uçucu küllerin kimyasal özellikleri ve görünen tane yoğunlukları.....	59
Çizelge 4.8. Kullanılan çelik donatıların özellikleri	60
Çizelge 4.9. Kırmataşlı serilerin, karışım bileşenleri ve 1 m ³ için ağırlıkları (kg)	60
Çizelge 4.10. Çakıllı serilerin, karışım bileşenleri ve 1 m ³ için ağırlıkları (kg)	61
Çizelge 4.11. Üretilen betonların, kimyasal katkı oranı ve çökme (slump) değerlerindeki değişimleri.....	63
Çizelge 4.12. Veri madenciliğinden elde edilen modeller	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Beton ve agrega ve çimento hamurunun deformasyon-gerilme grafiği (Felekoğlu ve Türkel, 2004).....	9
Şekil 2.2. Silis dumanının bağlayıcılık etkisi (Hijorth, 1983).....	14
Şekil 2.3. Süper akışkanlaştırıcı katkı ile çimento tanelerinin etkileşiminin mikro boyuttaki fotoğrafıdır (Karabulut, 2006).....	19
Şekil 2.4. Beton ve çelik çubuk yüzeyindeki dişler (Yücel vd., 2006).....	25
Şekil 2.5. Beton içerisindeki çubuğun çekilmesiyle, betonda oluşan çatlamlar (Yücel vd., 2006)	27
Şekil 2.6. TS 708'e göre bir yumuşak çeliğin σ - ϵ diyagramı (Yücel, 2003)	31
Şekil 2.7. Bulanık Mantığın Temel Elemanları	35
Şekil 3.1. Betonların üretildiği betoniye	43
Şekil 3.2. Üretilen betonlara ait kodlama	44
Şekil 3.4. Aderans deneyi uygulanmış ve uygulanmamış bazı numuneler.....	46
Şekil 3.5. Aderans deney çerçevesi ve aderans deneyinin yapılışı	48
Şekil 3.6. Deneylerde kullanılan aderans ölçüm ekipmanın şeması	49
Şekil 3.7. Donatı sıyrıldıktan sonra numune kesit görünümü.....	50
Şekil 3.8. Basınç, eğilme ve donatının çekme dayanımı için oluşturulan üyelik fonksiyonları	51
Şekil 3.9. Aderans dayanımı için oluşturulan üyelik fonksiyonu	51
Şekil 3.10. Aderans dayanımı için oluşturulan kural tabanları	52
Şekil 4.1. Kum granülometreleri	54
Şekil 4.2. İri agrega granülometreleri	54
Şekil 4.3. I. ve II. Seri için karışım agregası granülometrisi ve sınır değerleri.....	56
Şekil 4.4. Kullanılan çelik donatıların gerilme şekil değiştirme grafiği	60
Şekil 4.5. Karışım serileri ve kullanılan kimyasal katkı oranları (katı oranı)	64
Şekil 4.6. KIS40 serisi betonların çökme deney sonuçları.....	66
Şekil 4.8. KIS30 serisi betonların çökme deney sonuçları.....	67
Şekil 4.9. KIS40 serisi betonların çökme deney sonuçları.....	68
Şekil 4.10. KIH35 serisi betonların çökme deney sonuçları	68
Şekil 4.11. KIH30 serisi betonların çökme deney sonuçları	69
Şekil 4.12. CIS40 serisi betonların çökme deney sonuçları.....	70

Şekil 4.13. CIS35 serisi betonların çökme deney sonuçları.....	70
Şekil 4.14. CIS30 serisi betonların çökme deney sonuçları.....	71
Şekil 4.15. CIS40 serisi betonların çökme deney sonuçları.....	72
Şekil 4.16. CIH35 serisi betonların çökme deney sonuçları	72
Şekil 4.17. CIH30 serisi betonların çökme deney sonuçları	73
Şekil 4.18. Fiber katkılı betonların çökme deney sonuçları.....	74
Şekil 4.20. Kırmataşlı beton serisi birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı sonuçları	75
Şekil 4.21. Çakıllı beton serisi aderans deneyi sonuçları.....	76
Şekil 4.22. Kırmataşlı beton serisi aderans deneyi sonuçları.....	77
Şekil 4.23. Aderans deneyi çıktıları (kuvvet, uzama) ve model çıktıları arasında ilişki	78

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

UK: Uçucu Kül

YFC: Yüksek Fırın Cürufu

YPB: Yüksek Performanslı Beton

UC: C Tipi Uçucu Kül

UF: F Tipi Uçucu Kül

SD: Silis Dumanı

PVA: Polivinilalkol

AF: Aderans kuvveti (kgf),

AU: Aderansda uzama (mm),

AEF: Aderanslı eğilmede kuvvet (kgf),

AES: Aderanslı eğilmede sehim (mm),

BD: Basınç dayanımı (MPa),

ED: Eğilme dayanımı (MPa),

CCF: Donatının çekme kuvveti (kgf)

FESİ: Silis Dumanı

PÇ: Portland Çimentosu

l_b : Kenetlenme Boyu

τ_b : Aderans Dayanımı

f_{ctd} : Betonun Çekme Dayanımı

f_{yd} : Çeliğin Akma Dayanımı

1. GİRİŞ

Günümüzde beton teknolojisi ve yapı endüstrisinde büyük gelişmeler kat edilmiştir. Ülkemizin deprem kuşağında yer alması ve yapı alanlarının zeminlerinin sorunlu olması ya da doğal yapı olaylarına maruz kalması dikkate alındığında üretilen betonların dayanım ve dayanıklılık kriterlerini bir arada içermesi gerekliliği zorunlu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu da ancak yüksek performanslı betonların üretilmesi ile mümkün hale gelebilecektir. Üretilen betonlardan; işlenebilirlik, durabilite (dayanım ve dayanıklılık) özellikleri beklenmektedir. Bu özelliklerin yükseltilmesi için fiber (lif), mineral ve kimyasal katkı maddelerinin kullanılması kaçınılmaz olmaktadır.

Beton; çimento, agrega (kum, çakıl ve/veya kırmataş), su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarla karıştırılmasıyla elde edilen plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu nedeniyle katılaşıp istenilen şekli alan ve zamanla dayanım kazanan kompozit bir malzemedir. Beton katkı maddeleri ise beton içerisine karışım öncesi veya karışım sırasında çok düşük miktarlarda ilave edilen organik veya inorganik maddelerdir (Topçu, 1996).

İyi bir betonarme yapı elemanında çelik çubuklar, matris malzemesi olan beton ile çok iyi bir şekilde kuşatılması gereklidir. İyi bir betonda ise tüm ince agrega tanelerinin çimento hamuruyla; tüm kaba agrega tanelerinin de harçla bütünüyle kaplanmış olması gerekir. Betonlardan, en genel anlamda beklenen üç ana nitelik; işlenebilme, dayanım ve dayanıklılık (durabilite)'tir (Özkul vd., 1999).

Mineral katkıların kullanılması ekonomik yarar sağladığı gibi doğru oranlarda kullanıldığında betonun dayanım, dayanıklılık ve işlenebilme gibi daha birçok özellikleri üzerinde de olumlu etkiler yaparlar. Kimyasal katkı maddeleri ülkemizde kullanımları son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan betonun işlenebilme, dayanım, dayanıklılık gibi daha birçok özelliğine olumlu yönde etkiler yapabilen katkı maddeleridir. Kullanımı ileri teknolojiye sahip ülkelerde daha yaygındır. Fiber katkıları ise betonun çatlak ilerlemesi, eğilme ve rötne gibi karakteristik özellikleri üzerinde etkilidirler. Bu katkıları beton içindeki boşlukların daha az olması ve havanın sürüklenmesi ve böylece donatının beton tarafından daha iyi sarılması, donatı korozyonunun önlenmesi, çimento hamuru-agrega birleşiminin daha iyi

olması gibi betonun durabilitesi ve beton-donatı arasındaki aderans üzerinde önemli etkilere sahiptirler.

Beton ve çelik çubuklardan oluşan bir yapı elemanının betonarme olarak davranabilmesi için, donatı çubuklarının betona kenetlenmesi gerekir. Çelik çubukla beton arasında kenetlenmeyi sağlayan kesme gerilmelerine, aderans denir. Donatı ve beton arasında var olan bu bağ kuvvetleri nedeniyle donatıdaki gerilme, moment değişimine paralel olarak artar veya azalır. Aderans nedeniyle, büzülme ve sünme gibi betona özgü deformasyonlar, donatıyı da etkiler (Ersoy ve Özcebe, 2001).

Çelik ve beton arasındaki bağ, betonarmenin başlangıcından beri birçok araştırmacı ve uygulayıcının dikkatlerini çekmiş ve bu konuda çok sayıda araştırmalar yapılmıştır. Yüksek mukavemetli beton çeliklerinin üretiminden önce, betonarmede aderans üzerine son sözün söylenmiş olduğu, nedenlerinin ve etkilendiği faktörlerin tümüyle bilindiği şekilde yaygın bir görüş mevcuttur. Yüksek mukavemetli çeliklerin uygulama alanındaki ilk öncüleri, yuvarlak ve düz yüzeyli enkesitleriyle, klasik yumuşak betonarme demirlerinden pek farklı olmayan aderans özelliklerine sahiptiler. Ancak bir süre sonra bu yeni tür çeliklerin yüksek mukavemetlerinden yararlanabilmek için betonla bağlantılarının artırılmasının gerekli olduğu anlaşılmış ve yüzeylerindeki çıkıntı, girinti ve nervürlerle aderansı geliştirilmiş modern betonarme donatısı türleri uygulama alanına sokulmuştur. Bunun yanı sıra yüksek mukavemetli betonların da geniş ölçüde kullanılmaya başlamasıyla aderans problemi yeniden önem kazanmıştır (Arda, 1968).

Deneysel çalışmalarda günümüz teknolojisine uygun yüksek dayanımlı bir beton karışımı elde etmek üzere aşağıdaki kriterler kabul edilmiştir.

- Beton en az C 30 kalitesinde olacaktır.
- Çimento dozajı $C = 350-400 \text{ kg/m}^3$ alınacaktır.
- su/çimento (w/c) oranı 0.38 olacaktır.
- Betonun çökmesi en az 16 cm olacaktır.

Bu kriterler çerçevesinde Tübitak 104M568 No'lu projede belirtilmiş olan karışım hesaplarına göre beton numuneleri üretilmiş ve pull-out testleri uygulanmıştır. Sonuçlar bulanık mantık ve veri madenciliği programlarında modellenip sonuçları yorumlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Beton

Beton; su, çimento, kullanım alanlarına göre çeşitli agregalar ve gerekli hallerde bazı katkı maddelerinin birlikte kullanılmasıyla elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir. Betonun matrisini su, çimento ve agrega oluşturmaktadır (Demirel ve Yazıcıoğlu, 2007).

Yüksek Dayanımlı Beton (YDB); iyi kalitede çimento ve agrega ile kimyasal-mineral ve fiber katkıları kullanılarak, su/çim. Oranı 0.20'lere düşürülerek basınç dayanımı 100 N/mm² ye kadar çıkabilen ve yüksek işlenebilirliğe ve pompalanabilirliğe sahip özel bir beton türüdür.

YDB'lerin dayanımı üç özelliğe bağlıdır:

- Çimento hamuru boşluk yapısı
- Agrega özelliği
- Agrega –çimento hamuru geçiş yapısı

Bunların içerisinde en zayıf olanı Agrega–çimento hamuru geçiş yapısıdır. w/c oranı düşürülerek ve aynı zamanda agrega danesi maksimum çapı küçültülerek bu yapı iyileştirilebilmekle beraber iki yaklaşımında bir üst sınırı vardır (İnşaat mühendisliği, 2008).

Çimento hamuru ve agrega taneleri arasındaki temas yüzeyi betonda en zayıf halkadır. Silis dumanı gibi ultra incelikteki tanelerin kullanımı, yoğunluğun artırılması dolayısıyla boşlukların azaltılması taze betonun stabilitesinin geliştirilmesi için önemlidir. Böylece durabilite iyileştirilir ve dayanım yükseltilir (Taşdemir ve Bayramov, 2002).

Yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirebilmelerine durabilite denir (Baradan vd., 2002).

Son yıllarda, beton teknolojisinde inanılması güç gelişmeler kaydedildi. Sadece 30 yıl önce betonarme yapılarda kullanılan betonun basınç dayanımı en fazla 40 MPa idi. Tanımlanan bu betonlar; küp basınç dayanımları 200–800 MPa arasında, çekme dayanımları 25–150 MPa arasında ve kırılma enerjileri ise yaklaşık 30000 J/m² olan yüksek performanslı modern betonlar ile kıyaslandığında, gerçekten oldukça düşük dayanımlı malzemeler olarak kabul edilebilir (Walraven, 1999).

Beton üretiminin en önemli aşamalarından birisi de betonun kür edilmesi ve bu süreci tamamlayan işlemlerdir. Genel anlamıyla kür; betonun mukavemet kazanması için çimento hidrasyonunu ilerletmek amacıyla kullanılan yöntem ve yapılan uygulamalara verilen addır. Bu olay teknik anlamda taze çimento hamuru üzerindeki su ile dolu boşlukların çimento hidrasyonu sonucu meydana gelen ürünler ile en yüksek düzeyde doldurulması işlemidir. Betonun dürabilitesi de betonun kalitesine bağlı olup, performansta bileşen malzemeler, karışım oranları, üretim yöntemi, betonun bakım ve kürü gibi süreçler ile çevre koşulları etkilidir. Çevresel etki sınıfları göz önüne alınarak tasarımın gerektiği unutulmamalıdır. Beton uygun şekilde kür edilmemişse mukavemet yaklaşık %30 düşebilir, ancak dürabilite daha da olumsuz etkilenir; kür edilmemiş betonun geçirimsizliği yaklaşık 10 kat artabilir. Bu da korozyonu olumsuz biçimde etkiler (Taşdemir, 2002).

2.1.1. Çimento

Çimento; kalker ve kil taşları karışımının yüksek sıcaklıkta pişirildikten sonra öğütülmesinden elde edilen bağlayıcı bir malzemedir. Çimento su ile karıştırılıp bir hamur haline getirildikten bir süre sonra katılaşarak taşlaşmaya başlar. Priz olarak adlandırılan bu katılaşmanın süresi, ortamın koşullarına bağlıdır. Normal koşullar altında katılaşma 1-10 saatte gerçekleşir. Aşırı olmamak koşulu ile artan sıcaklık altında katılaşma hızlanır. Katılaşma ile birlikte sertleşme olarak tanımlanan betonun dayanım kazanma olayı başlar. Dayanım zamanla artar ve çimento hamurunun tam dayanıma ulaşması uzun bir süre alır (Ersoy ve Özcebe, 2001).

Portland Çimentosu: Portland çimentosu genellikle gri renkli toz halinde maddedir. Elde edilmesi için önce kalker, kil ve gerekiyorsa bir miktar alüminyum ve demir oksitler istenilen kimyasal bileşimi sağlamak üzere orantılı olarak harmanlanıp

öğütülürler. Farin olarak adlandırılan hammadde karışımı döner fırında 1450°C civarında bir sıcaklığa kadar pişirilir. Fırın çıkış ucuna doğru farin taneleri önce ergiyerek ve sonra çeşitli reaksiyonlar sonucu granüle halde klinker adı verilen topakları meydana getirirler. Portland çimentosu elde etmek için klinkerin az bir miktar kalsiyum sülfat (örneğin alçıtaşı) ile birlikte öğütülmesi gerekir. Bu şekilde elde edilen portland çimentosuna klinker ile kalsiyum sülfatın öğütülmesi sırasında veya ayrıca öğütülmüş olarak bazı mineral katkıları katılarak değişik tipli çimentoların üretilmesi giderek yaygınlaşan bir uygulamadır. Portland çimentosunun hidratasyonu sırasında çok miktarda kalsiyum hidroksit Ca(OH)_2 oluşur. Bu kalsiyum hidroksitin betonun dayanım gelişimine hiçbir katkısı yoktur. Aksine, geniş kalsiyum hidroksit kristalleri sadece agrega-çimento hamuru etkileşiminde ve çimento hamurunun kümeleşme evresinde zayıflıkların oluşmasına neden olurlar. Kalsiyum hidroksit, uçucu kül veya silis dumanı gibi mineral katkıların katılımıyla puzolanik reaksiyon sırasında dayanıma katkıda bulunan bir kalsiyum silikat hidrat yapıya dönüşür (Karabulut, 2006).

Bugün dünyada Portland çimentosu ile yapılmış beton, birçok inşaat ve farklı yapılarda kullanılan en seçkin malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun esas nedeni beton yapısı için inşaat işleminin ve malzemelerin ucuz olması ve aynı zamanda kullanım süresince bakımının da düşük maliyetli olmasındadır. Bu nedenle beton teknolojisinde meydana gelen gelişmeler sürpriz değildir. Beton teknolojisindeki gelişmelerde en büyük yenilik katkı teknolojisindeki buluşlar sayesinde betonun performansı üzerinde elde edilen önemli derecedeki artışlardır. Betondan beklenen en büyük özellikler dayanım ve dayanıklılık kriterlerini sağlamasıdır (Yücel vd., 2007).

Çimento, su ile karıştığında “hidratasyon” başlar ve kimyasal reaksiyonlar devam ederken hamurda “priz” denilen katılaşma meydana gelir. Bir süre sonra da hamur tamamen sertleşir. Priz başlangıcına kadar hamur, harç veya beton “taze” haldedir, yani “plastik”tir, kolayca şekillendirilmeleri, kalıplandırılmaları mümkündür. Betonun karıştırılıp, taşınıp, kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılarak düzlenmesi de bu süre içinde tamamlanmalıdır. Dolayısıyla çimentolar, priz başlangıç süreleri en az 45-60 dakika olacak şekilde üretilirler.

Hidratasyon reaksiyonları sırasında ısı açığa çıkar, çimento hamur, harç ve betonlarında iç sıcaklık artar. (bursacimento, 2008).

Çimentoyu oluşturan ana bileşenlerin su ile başlattıkları kimyasal reaksiyonlar egzotermiktir. Çimentoda bu olay, ilk saatlerde hızlı başlar ve zaman ilerledikçe hidratasyon hızı yavaşlar. O halde; Çimentonun hidratasyon ısısı, çimentonun belirli bir sıcaklık koşulunda hidratasyona başlayıp, hidratasyon sonuna kadar açığa çıkardığı ısı miktarıdır. Hidratasyonu etkileyen en önemli faktör zamandır: İlk 5 dakikada hidratasyon ısısının açığa çıkma hızı yüksektir. 1–2 saat durgun dönem yaşanır. Prizin başlaması ile tekrar artar ve priz dönemi sonunda (en çok 10 saat) yüksektir. Daha sonra azalarak artar.

Hidratasyon ısısı: çimentodaki ana bileşenlerin miktarına, çimentonun inceliğine ve hidratasyon sırasında ortam sıcaklığına bağlı değişir. Hidratasyon ısısının önemi kullanılacak çimento açısından önemlidir. Özellikle kütle betonlarda (baraj gibi), çıkan ısı kolayca kaybolmayacak, dış kısım soğuyarak büzülürken, iç kısım aynı şekilde hareket etmeyecektir. Böylece dış kısmın büzülmesi önlenerek betonun çatlayarak geçirimli bir hal alması söz konusu olur (bünyesel ve termik rötre nedeniyle).

Rötre: Fiziko–kimyasal etkiler altında katılaşmakta olan veya sertleşmiş haldeki betonun hacminin küçülmesine denir. Farklı tipler vardır; termik, erken plastik, bünyesel, hidrolik ve karbonatlaşma rötreleri olarak (Yücel, 2003).

Çimentonun C2S ve C3S bileşenlerinin hidratasyonu sırasında esas hidratasyon ürünü kalsiyum silikat hidratların (C-S-H) yanında, betonun en zayıf halkası Ca(OH)_2 'de açığa çıkar. Puzolanlar işte bu zayıf kısım ile reaksiyona girerek hem kendi bağlayıcılık özelliklerini kazanır, hem de daha yoğun ve suda çözülmeyen bir yapıya dönüşür. Ek olarak yüksek inceliğe sahip puzolanlar betondaki boşlukları doldurma etkisine sahip olmaları nedeniyle de dayanım ve geçirimsizliği de arttırırlar (Karabulut, 2006).

Çimento tipleri dayanım sınıflarına göre de alt gruplara ayrılırlar. Çimentonun dayanımı 32.5, 42.5 ve 52.5 sayılarından birisi ile belirtilir. Bu sayı, standard

deneyde çimento numunesinin 28 gün içerisinde ulaşması gereken basınç dayanımının N / mm² veya MPa olarak değeridir (bursacimento, 2008).

2.1.2. Agregası

Beton agregası, beton veya harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme ile birlikte bir araya getirilen, organik olmayan, doğal veya yapay malzemenin genellikle 100 mm' yi aşmayan (hatta yapı betonlarında çoğu zaman 63 mm'yi geçmeyen büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerin oluşturduğu bir yığındır (Agrega, 2007).

Kum ve çakıl(veya kırma taş) karışımı agregası olarak tanımlanmaktadır. Genellikle 0-7mm arasında olan agregası kum, 7-70mm arasında olan ise çakıl olarak adlandırılmaktadır. Agregası, esas olarak bir dolgu malzemesidir ve en önemli fonksiyonu betondaki hacim değişikliklerini azaltmaktır. Su ve çimentodan oluşan hamur, büyük hacim değişiklikleri gösterir. Agregasının betona girmesi, hem bu hacim değişikliğini azaltır hemde agregası çimentodan daha ucuz olduğundan ekonomi sağlar. Betonun iyi işlenebilmesi için agregasının granülometrisi çok önemlidir. Bilindiği gibi granülometre, geçirimsizlik, büzülme (rötre) ve sünmeyi de önemli oranda etkilemektedir (Ersay ve Özcebe, 2001).

Çakıl ve kumun dayanımı hiçbir zaman çimento dayanımından az olmamalıdır (hafif agregası dışında). Agregasının dayanımı, beton dayanımından az olursa, yapılan betonun gücü, çimento dayanımına erişilmeden, agregasının kırılması ile tükenecektir. Bu durumda karışım oranlarını değiştirerek veya çimentoyu artırarak dayanımı yükseltmek olanaksız olacaktır (Ersay ve Özcebe, 2001).

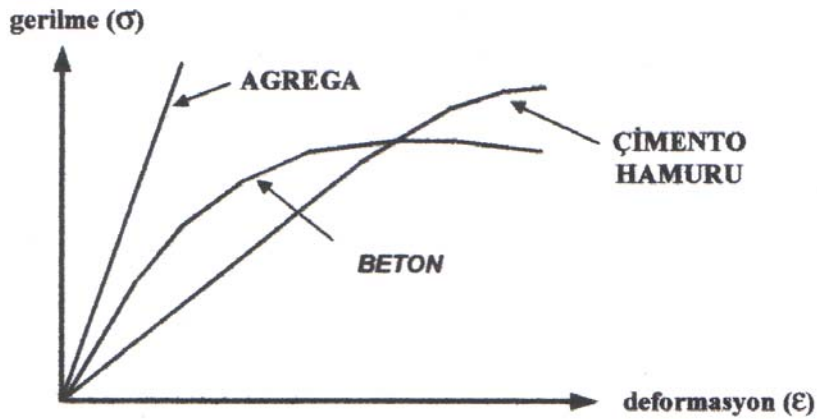
Agregası ile çimento hamuru arasındaki temas yüzeyi betonda en zayıf halka olduğundan betonun mekanik davranışı ara yüzey bölgesinin özelliklerinden belirgin biçimde etkilenir ve söz konusu davranış bu geçiş bölgesinin özelliklerine çok duyarlıdır. Ara yüzey göçmesi mezo düzeyde göz önüne alınabilir. Agregası matris ara yüzeylerindeki bağ çatlaklarının gelişmesi betonun inelastik davranışında önemli bir işleve sahiptir. Toplam şekil değiştirmenin önemli bir bölümü ara yüzeylerde

yoğunlaşır ve ara yüzey çatlaklarının köprülenmesiyle göçme matriste tamamlanır (Sarkar, 1994).

Betonu oluşturan agrega ve çimento hamuru elastik davranış göstermesine karşın kompozit bir malzeme olan beton yüksek gerilme seviyelerinde elastik bir malzeme değildir. Basınç dayanımının %25-40'ından daha yüksek gerilmelerde elastik özelliğini kaybeder. Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi çok büyük gerilme seviyeleri göz önüne alınmadığı takdirde betonu oluşturan bu iki temel malzemenin de gerilme deformasyon diyagramlarının doğrusal olduğu söylenebilir (Felekoğlu ve Türkel, 2004).

Agrega ve çimento hamurunun elastisite modülleri oldukça farklıdır. Betona uygulanan gerilmeye bu iki malzemenin farklı şekilde tepki vermesi, betonu yüksek gerilme mertebelerinde elastik olmayan bir davranışa itmektedir (Ramyar, 2000). Bu durum, betonun kompozit bir malzeme olmasının yanı sıra çimento hamuru ve agrega arasındaki bağın yapısına da bağlıdır. Araştırmalar, çimento hamuru ile agrega arasındaki aderanstaki düşüşün betonun elastik davranıştan uzaklaşmasına neden olduğunu göstermiştir.

Yüksek dayanımlı betonlar, elastik davranışa daha yakın davranışlar göstermektedir. Ayrıca agrega sertliğinin çimento hamurunun sertliğine yakın olduğu durumda betonun elastik davranışa yaklaştığı bilinmektedir (Felekoğlu ve Türkel, 2004).



Şekil 2.1. Beton ve agrega ve çimento hamurunun deformasyon-gerilme grafiği (Felekoğlu ve Türkel, 2004).

2.2. Beton Katkı Maddeleri

Betonun özelliklerini olumlu yönde değiştirmek amacıyla betona ilave edilen katkı maddeleri sayesinde beton ve çeliğin birleşiminden oluşan betonarme yapı elemanının da performansı arttırılarak, basınç ve çekme mukavemetleri yüksek, dış etkilere dayanıklı ve ekonomik bir malzeme elde edilmesi mümkün olmaktadır (Akman, 1992).

Günümüzde en çok tercih edilen yapı malzemesi olan betonda kullanılan katkı maddesi, beton karışımını oluşturmak üzere kullanılan temel malzemelerin (çimentonun, agreganın ve suyun), karılma işleminden hemen önce veya karılma işlemi esnasında beton karışımının içerisine katılan malzemeye denilmektedir. (TS EN 934-2, 2002, 2002).

Katkı maddeleri, kimyasal katkılar, mineral katkılar ve fiber katkılar olarak üç kategoriye ayrılabilir. Bu katkılardan özellikle kimyasal katkılar, büyük oranda betonun su/çimento oranında düzenleme yapmak amacıyla kullanılmaktadırlar. Mineral katkılar, betonun terlemesinin azaltılması, akışkanlığının arttırılması ve bu sayede sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılığının arttırılması amaçlanmaktadır. Fiber katkılarda da, fiberin özelliğine göre, betondaki rötrenin azaltılması, betonda oluşan mikro-makro çatlakların oluşmasının ve ilerlemesinin önlenmesi amaçlandığı belirtilebilir (Yan v.d., 2002).

Kimyasal katkı maddeleri su, agrega ve çimento dışında betonlara çok düşük miktarlarda katılan organik veya inorganik kimyasal maddelerdir. Bunların kullanılması beton üretimi için zorunluluk taşımaz. Ülkemizde kullanımları henüz yaygınlaşmaya başlayan bu maddeler ileri teknolojiye sahip ülkelerde büyük uygulama bulmaktadır, hatta katkı maddesiz beton üretimi giderek azalmaktadır. Mineral katkılar da, uçucu kül ve silis dumanı gibi malzemelerdir. Beton teknolojisinde, silis dumanı (Sd), pulverize edilmiş uçucu kül (UK) ve öğütülmüş taneli yüksek fırın cürufu (YFC) gibi mineral bağlayıcı katkılar önemli bir yer tutarlar. Ekonomik yararları yanında, bu mineral katkılar mekanik dayanım, dayanıklılık ve işlenebilme gibi mühendislik özelliklerini de iyileştirirler. Hatta Sd katılımı yüksek performanslı beton (YPB) elde edilmesi için zorunludur. Bu mineral

katkılar puzolan özelliğine sahiptirler, dayanım ve dayanıklılık üzerindeki olumlu etkileri uzunca bir süre sonra ortaya çıkar. İşlenebilme üzerindeki etkileri ise inceliklerinin ve tane geometrilerinin fonksiyonudur, puzolanik aktivitelerine bağlı değildir. Fiber katkıları arasında günümüzde en yaygın olarak kullanılanı çelik fiberler olup, cam ve polipropilen liflerin de kullanımları günden güne yaygınlaşmaktadır. Bu fiberler betonun eğilme, tokluk, çatlak ilerlemesi ve rötre gibi karakteristik özellikleri üzerinde etkilidirler. Kullanılan liflerin, boyutlar, narinlikleri ve geometrik yapıları farklıdır ve bu farklılıklar mekanik özellikleri etkiler. Farklı türdeki liflerin, bir arada kullanılması, malzeme özelliklerinin iyileşmesinde olumlu etkiler yapabilir (Yücel vd., 2007).

Katkı maddeleri, harç veya betonun özelliklerinin iyileştirerek daha ekonomik ve daha az enerji harcamak için kullanılır. Katkı maddelerinin sağlamış oldukları bazı özellikler;

- Su/çimento oranında değişiklik yapmaksızın işlenebilirliği arttırmak
- Priz süresini ve işlenebilirliği değiştirmeksizin su ihtiyacını azaltmak
- Genleşmeleri sınırlandırmak
- Terleme, segregasyon ve pompalanabilme özelliklerini iyileştirmek
- Dayanım gelişme oranını arttırmak
- Dayanıklılığı (durabiliteyi) arttırmak
- Permeabiliteyi azaltmak
- Alkali-agrega genleşmesini azaltmak
- Yeni veya eski (yaşlı) betonun donatıyla arasındaki kenetlenmeyi arttırmak
- Beton içerisindeki çeliği korumak (Ramachandran, 1995).

2.1.1. Mineral Katkı Maddeleri

ASTM C 219'daki "mineral katkı maddeleri" tanımına göre; Bu maddeler çok ince öğütülmek suretiyle bazen çimento ile sınırlı oranda karıştırılarak bazen de üretim

sırasında betona belli oranda ilave edilerek kullanılan çimentomsu, yani bağlayıcı özelliği olan maddelerdir. Uçucu kül (UK), silis dumanı (SD) ve yüksek fırın cürufu (YFC) gibi ince taneli puzolanik mineral katkı maddeleri beton teknolojisinde büyük ilgi çekmekte, çok sayıda araştırmaya konu olarak giderek artan düzeyde kullanılmaktadır (Yücel, vd., 2006).

Betonda fiber kullanımına ek olarak; silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi mineral katkıların da belirli oranlarda çimento ile yer değiştirilerek kullanılması her geçen gün daha çok araştırılan bir konu olmaktadır. Bu mineral katkıların kullanımı; ince taneli olmaları ve puzolanik reaksiyona girmeleri dolayısıyla betonun mekanik özelliklerini geliştirmekle birlikte, daha yeşil ve temiz bir doğa için atılan büyük bir adımdır (Topçu ve Canbaz, 2001).

Malhotra (1983), Joshi vd. (1986), Akman ve Yücel (1996)'in SD, UK ve YFC içeren süperplastifiye betonların işlenebilirlik ve işlenebilirlik kayıpları üzerine yaptıkları araştırma sonuçları Çizelge de özetlenmektedir

Çizelge 2.1. Mineral katkıların işlenebilirlik üzerindeki etkileri

SD	İşlenebilmeyi artırır (+ pozitif etki)	İşlenebilirlik kaybını azaltır (+ etki)
UK	İşlenebilmeyi azaltır (- negatif etki)	İşlenebilirlik kaybını azaltır (+ etki)
YFC	İşlenebilmeyi artırır (+ pozitif etki)	İşlenebilirlik kaybını artırır (- etki)

Yalnız bu çizelge ihtiyatla kabul edilmelidir. Mineral katkı kalitesi ve miktarı, SP ve çimento ile uyumları bu etkileri farklı kılar (Yücel, vd., 2006).

Mineral katkıların getirebileceği bazı olumsuz etkileri, katkının yanında bir başka çeşitte mineral katkı kullanarak telafi etmek mümkündür. Örneğin uçucu kül külün yavaş gelişen reaksiyonları sonucu erken yaşlardaki dayanım kaybı, hızlı reaksiyon gösteren silis dumanının da aynı betonda kullanılmasıyla giderilebilir. Silis dumanının yol açtığı su ihtiyacındaki artma da uçucu külün küresel şekilli taneleri ile azaltabilir (Mehta, 1982).

Silis dumanı (SD) silisyum ve ferrosilisyum üretiminde elektrik ark fırınlarında kömür ile yüksek saflıktaki kuvarsitin indirgenmesi sonucu baca tozu olarak meydana gelir. Ortaya çıkan SiO gazı fırının üst bölümlerinde okside olup hızla soğuyarak amorf silis haline gelir ve SD bileşiminin büyük bölümünü oluşturur. Baca tozu olarak özel filtrelerde tutulup toplanan SD'nin çoğunlukla küresel olan tanelerinin ortalama çapları 0.1 mikron'dur. Çimento taneciklerinin çapının ortalama 10 mikron olduğu düşünülürse silis dumanının çimentodan 100 kez daha ince olduğu görülür. Yüksek oranda amorf silis içermesi ve çimento ile uçucu küllerden çok daha ince oluşu sebebiyle SD çok aktif puzolanik bir maddedir. Betonda granülometriyi bir miktar iyileştirmesine rağmen katkı miktarına bağlı olarak artan toplam tane yüzey alanı belirli bir kıvam için gerekli su miktarını da arttırır. Bu nedenle SD'nin beton teknolojisinde kullanımı ancak süper akışkanlaştırıcı beton katkı maddelerinin geliştirilmesinden sonra yaygınlaşmıştır (Ekinçi ve Yeğınobalı, 1996).

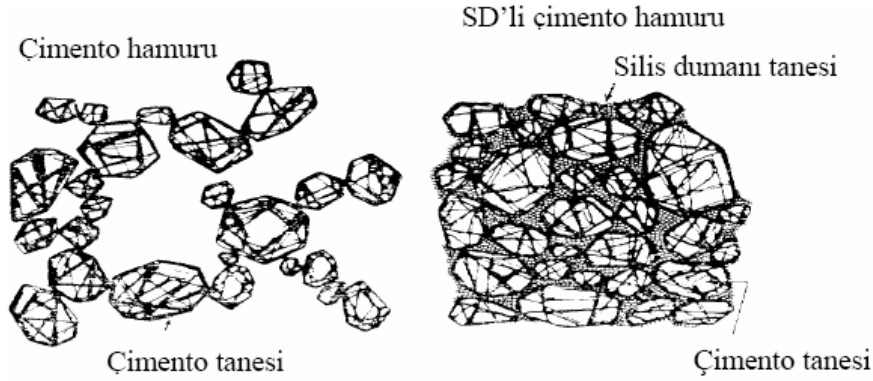
Silis dumanı içeren betonlar üzerine ilk deneyler 1950'li yılların başlarında Norveç Teknoloji Enstitüsü'nde yapılmıştır. Bir ilk uygulama olarak, silis dumanının betonda kullanımı 1971'de yine Norveç'te gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, betonda silis dumanının pratik kullanımında ve araştırmalarda giderek artış görülmüştür. Silis dumanı içeren bir çimento hamurunda Şekil de görüldüğü gibi sıkı bir diziliş elde edilir. 1980'li yıllardan itibaren betonda süper akışkanlaştırıcıların ve silis dumanı gibi ultra incelikteki mineral katkıların birlikte kullanılması dayanımlarda çok yüksek artışlar sağlamıştır. Son 15 yıl boyunca, yüksek dayanımlı beton üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar, şartnamelerin kapsamının genişlemesine ve basınç dayanım sınıfları C100'ü aşan betonarme yapıların tasarımına neden olmuştur (Walraven, 1999). Silis dumanı (SD) içeren betonların özelliklerini göz önüne alarak SD'nin iki şekilde kullanıldığını akılda tutmak gerekir:

- Dürabilitenin yükseltilmesi ve hidratasyon hızının azaltılması gibi nedenlerde çimento miktarında bir miktar azaltma yaparak, çimento ile yer değiştiren bir malzeme olarak kullanılması,
- Hem taze ve hem de sertleşmiş halde beton özelliklerini geliştirmek için bir mineral katkı olarak kullanılmasıdır. Silis dumanı yüksek performanslı beton ve harçların önemli bir bileşeni olup işlenebilmeyi arttırır, kalsiyum hidroksitle

reaksiyona girerek çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansı artırır, sonuçta da betonun dayanımı ve dürabilitesi artar (Taşdemir ve Bayramov, 2002).

Yüksek inceliğe sahip silis dumanı içeren çimento hamurunun da silis dumanı çok etkindir ve sıkı bir diziliş sağlar. Hijorth tarafından belirtildiği gibi, Portland çimentosunun çok ince silis dumanı ile birleşmesi sonucu mikro silika içeren yüksek dayanımlı betonlarda mükemmel bir diziliş elde edilir. Mikro silika taneleri çimento taneleri arasında dolgu etkisi yaratarak daha yoğun bir iç düzenin oluşmasını sağlamaktadırlar (Hijorth, 1983).

Az miktarda silis dumanının yeni tip akışkanlaştırıcılar ile betonda kullanımı betonda işlenebilirliğin yanında basınç dayanımında da ciddi boyutta artışın gözlenmesini sağlamıştır. Son 15 yıl boyunca, yüksek dayanımlı beton üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar, şartnamelerin kapsamının genişletilmesine ve basınç dayanım sınıfları C100'ü aşan betonarme yapıların tasarımına yol açmaktadır (Walraven, 1999).



Şekil 2.2. Silis dumanının bağlayıcılık etkisi (Hijorth, 1983)

Türkiye'de elektrik enerjisi, kömüre dayalı termik santrallerden ve hidroelektrik santrallerinden elde edilmektedir. Son yıllarda bunlara üçüncü olarak doğalgaz santralleri de katılmıştır. Düşük kalorili linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz haldeki kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve elektro filtreler yardımı ile tutularak atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutunda kül tanecikleri meydana gelmektedir. Endüstriyel bir atık olan ve uçabilen bu küllere, uçucu kül (UK) adı verilmektedir (Neville, 1981).

Bu işlem esnasında daha iri taneli olan ve baca gazları ile birlikte atmosfere sürüklenemeyerek kazan tabanına düşen küllere de taban külü denilmektedir. UK'ün tane şekli, yuvarlaktır ve çapları, 1-200 µm arasında değişir (Mehta, 1986).

Hem taze ve sertleşmiş haldeki betonun bazı özelliklerini iyileştirmek, hem de üretimde ekonomikliliği sağlamak amacıyla betonda çimentonun bir kısmı yerine uçucu kül kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Genel olarak küresel tane şekliyle taze betonda işlenebilmeyi iyileştiren, pompalanabilme ve kohezyonu artıran uçucu kül puzolanik özelliği nedeniyle de sertleşmiş betonda dayanım ve dayanıklılığı arttırabilmekte ve terlemeyi azaltmaktadır. Ayrıca, betonda klor geçirimliliğini önemli ölçüde azaltmaktadır (Atis, 2002).

Özellikle uçucu kül, hidrasyon ısısını azaltmak ve erken yaslardaki çatlamları önlemek için kütle betonlarında kullanılmaktadır (Han vd., 2003).

Uçucu külün özellikleri kömürün özelliklerine ve yakılma yöntemine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Genellikle silisli ve alüminli olan bileşimi dolayısıyla puzolanik özellik göstererek çimento ve betonda katkı maddesi olarak yararlı olur. İnce ve küresel taneleri dolayısı ile taze betonda işlenebilmeyi arttırır, ayrıca hidrasyon ısısını azaltır. Çimento hidrasyonu sonucu oluşan kireçle reaksiyona girerek ilave bağlayıcı jel oluşturur, çimento hamurundaki boşlukları doldurur ve betona dayanıklılık kazandırır. Linyit kömürü yakılması ile elde edilen uçucu külden kireç oranı genellikle yüksek olup bu tür küller aynı zamanda hidrolik yani bağlayıcılık özelliği gösterirler (Türker vd., 2003).

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır. ASTM C618 standardı uçucu küllerin kimyasal bileşimlerine ve elde edildikleri kömür cinsine bağlı olarak C ve F sınıfa olarak sınıflandırılmıştır. TS EN 197-1'e göre sınıflandırmada uçucu küller silisli (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar:

Çoğunlukla ülke şartnamelerinde uçucu külün sınıflandırılması ile ilgili bir şart yoktur. Türkiye'de aktif olarak çalışan 12 adet termik santral vardır ancak bunlardan

sadece 1 tanesinden, Çatalağzı Termik Santrali'nden F tipi uçucu kül elde edilmektedir, diğer tüm santrallere ait küller ise C tipidir

Çoğu uçucu küllerin (% 85 den fazla) kimyasal yapısı silika (SO₂), alümin (Al₂O₃), demir oksit (Fe₂O₃) ve CaO den oluşur. Bu oksitlere ilave olarak, az miktarlarda MgO, S₀₃ ve alkalilerde bulunur. Bazı uçucu küllerde, uçucu kül ile birlikte yanmamış karbon parçacıkları da bulunabilir (Karabulut, 2006).

Çizelge 2.2. Uçucu küllerin betonun çeşitli özelliklerine etkileri (Tokyay, 1990)

ÖZELLİK	ETKİ
Su ihtiyacı	Azaltır
İşlenebilirlik	Arttırır
Segregasyon	Azaltır
Kusma	Azaltır
Priz süresi	Uzatar
Hidratasyon ısısı	Azaltır
Erken dayanım	Azaltır
Geç dayanım	Arttırır
Geçirgenlik	Azaltır
Alkali – agrega reaksiyonu	Azaltır
Sülfat direnci	Arttırır
Donma – çözülme direnci	Azaltır

Demir üretiminde kullanılan yüksek fırında, demir cevherinden demir alındıktan sonra geri kalan maddeye letiye (cüruf) denilmektedir. Bunun içinde alumin, silis ve kireç bulunmaktadır. Letiyelerin içine az miktarda bağlayıcı madde katılınca puzolandan da öteye çimento yapısına sahip olmaktadır (Baradan, 2000).

Ham demir üretiminde atık malzeme olarak elde edilen yüksek fırın cürufu daha hafif olmasından dolayı, ham demirin üzerinde yer alır. Demir filiz gangi, kok ve kireçtaşının yanma sonrası atıkları yüksek fırın cürufunu meydana getiriler (Tokyay ve Erdoğan, 1997).

Mineral katkıları kullanılırken unutulmamalıdır ki; Katkı maddeleri kötü bir beton karışımının neden olduğu eksiklikleri gidermeye yeterli değildir ve betonun birden çok özelliğini etkileyebilir. Katkı maddesi betonun belirli bir özelliğini etkilemek üzere kullanılmaktadır ama aynı katkı maddesi bu amacın dışındaki bazı beton özelliklerini de olumlu ya da olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle kullanılan katkı maddelerinin özellikleri iyi bilinmelidir.

2.1.2. Kimyasal Katkı Maddeleri

TS EN 934-2 de kimyasal katkıları “Taze veya sertleşmiş betonun bazı özelliklerini değiştirmek üzere, karıştırma işlemi esnasında betona, çimento kütlelerinin %5’ini geçmemek üzere eklenen madde olarak tanımlanmaktadır.

ASTM C 125, katkı maddesini, betonun geleneksel bileşenleri olan su, çimento ve agrega dışında hemen karıştırma öncesi veya karıştırma sırasında beton harmanına ilave edilen maddeler olarak tanımlamaktadır. Bu maddeler organik ya da inorganik esaslı olup beton bileşimine ağırlıkça toplam bağlayıcının %5’ini aşmayacak oranlarda katılan maddelerdir. Genellikle sıvı halde olan bu maddeler literatürde “kimyasal katkı maddeleri” olarak bilinirler.

Kimyasal katkı maddelerinin betonda kullanımı genellikle taze ve sertleşmiş haldeki betonun bir ya da birden fazla özelliğini iyileştirme amacına yöneliktir. Kimyasal katkı maddelerinin kullanımıyla taze beton özelliklerinde sağlanan iyileştirmeler:

- Su miktarını arttırmaksızın işlenebilirliğini arttırmak,
- Belli bir işlenebilirlik için su ihtiyacını azaltmak,
- Priz süresini uzatmak ya da kısaltmak,
- Su kusmayı önlemek,
- Ayırışmayı (segregasyon) azaltmak,
- Pompalanabilirliği iyileştirmek,
- Kıvam kaybı hızını azaltmak, olarak sıralanabilir.

Kimyasal katkı maddeleri kullanmak suretiyle sertleşmiş betonda sağlanan iyileştirmeler:

- Hidratasyon ısısını erken yaşlarda azaltmak ya da hidratasyonu geciktirmek,
- Dayanım gelişimini erken yaşlarda hızlandırmak,
- Dayanımı arttırmak,
- Zararlı çevresel etkilere karşı dayanıklılığı (durabiliteyi) arttırmak,
- Geçirimsizliği azaltmak,
- Alkali – agrega reaksiyonunu kontrol etmek,
- Donatı – beton aderansını güçlendirmek,
- Betonun dayanımı yanında, pek çok diğer mekanik özelliklerini iyileştirmek,
- Donatı korozyonunu bastırmak veya engellemek,
- Ekonomi temin etmek, şeklinde özetlenebilir (Erdoğan, 1997).

Akışkanlaştırıcılar su kesme yeteneklerine göre normal (%10-15 arası su kesebilenler), süper (%15-30 arası su kesebilenler) ve hiper (%30 un üstünde su kesme özelliği olanlar) olarak sınıflandırılabilir (Ramachandran ve Malhotra, 1984).

TS EN 934-2 aşağıdaki tiplerde katkıları içerir:

- Su azaltıcı / akışkanlaştırıcı katkıları
- Yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı katkıları
- Su tutucu katkı
- Hava sürükleyici katkı
- Priz hızlandırıcı katkı
- Priz geciktirici katkı
- Su geçirimsizlik katkısı
- Priz geciktirici/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları

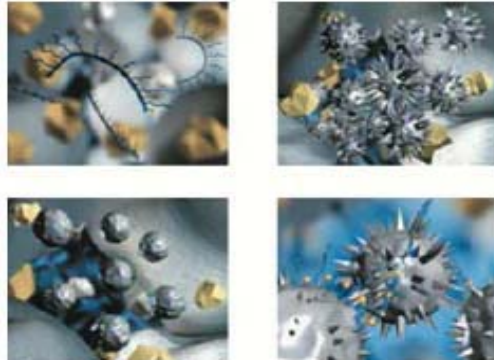
- Priz geciktirici /yüksek oranda su azaltıcı /süper akışkanlaştırıcı katkılar
- Priz hızlandırıcı / su azaltıcı / akışkanlaştırıcı katkılar

Kullanımda olan diğer tip katkılar TS EN 934-2 içermemektedir, fakat TS EN 206-1'e göre uygunluğun sağlanması şartıyla kullanılabilir.

Bu katkı tipleri;

- Rötne engelleyiciler
- Su altı beton katkıları
- Prekast beton katkıları
- Korozyon önleyiciler (as-beton, 2007).

Süper akışkanlaştırıcı katkının dağılıma etkisi ile katkı maddesinin molekülleri, çimento partikülleri tarafından çekilir ve karıştırma sırasında çimento etrafına sarılır. Bu oluşum çimento partiküllerinin yüzeydeki negatif yüklerini artırır ve elektrostatik itmeye neden olur. Çimento tanelerinin çok miktarda dağılımı bunun sonucudur. Bu su içeriğinin azlığına rağmen betonun işlenebilirliğinin önemli ölçüde artışına yol açar (Duyar, 2006).



Şekil 2.3. Süper akışkanlaştırıcı katkı ile çimento tanelerinin etkileşiminin mikro boyuttaki fotoğrafıdır (Karabulut, 2006)

Ramachandran ve Malhotra'ya göre akışkanlaştırıcılar üç amaç için kullanılabilirler:

Katkısız kontrol betonu ile aynı çimento dozajı ve işlenebilirliğe sahip, düşük

su/çimento oranı ile beton üretiminde su kesme amaçlı olarak kullanılabilirler. Böylece betonda dayanım artışı sağlanır.

Hem su hem de çimento miktarını azaltarak katkısız kontrol betonu ile aynı işlenebilirlikte ve aynı dayanıma sahip beton üretiminde kullanılabilirler. Böylece çimentodan tasarruf edilmesi sağlanır.

Katkısız kontrol betonu ile aynı bileşenlere sahip katkılı betonun işlenebilirliğini artırma amacıyla kullanılabilirler (Ramachandran ve Malhotra,1984).

Süper akışkanlaştırıcılar, karışım içerisindeki suyun yüzey gerilmesini düşürerek sistem içerisinde partiküller ile suyun homojen şekilde temasını ve daha fazla sayıda çimento tanelerinin suyla ıslatılmasını sağlamaktadır. Bunlar dışında çimento tanelerinin yüzeylerine yapışarak, oluşturdukları elektrostatik etki ile çimento tanelerinin bir ara gelip folikül yapı oluşturmasını engellemektedir. Birbirinden uzaklaşan çimento taneleri daha fazla ıslanma alanı kazanıp daha süratli bir şekilde hidrasyon işlemine girerler. Ayrıca karışıma sağladıkları akışkanlık özellikleriyle de kalıba yerleştirilmesinde kolaylık sağlar (Karabulut, 2006)

Beton üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcıların kimyasal içerikleri ise melamin folmaldehid sülfonatlar, modifiye edilmiş lignosülfonatlar, naftalin sülfonatlarıdır. Akışkanlaştırıcılar hava sürükleyerek, çimento tanelerinin topaklaşmasını önleyerek ve taneleri beton içine dağıtarak etkili olurlar (Akman ve Yücel, 1996; Uyan vd., 1996; Erdoğan, 1997). Böylece çimento tanelerinin bütünüyle hidrate olmasına sebep olurlar ve suyun yüzey gerilimi azaltır ıslatma gücünü artırır. Betoniyerde çepelere yapışma olmaz, betonda agrega tanelerinin ayrışması minimum düzeye iner. Çimento hamuru ve agrega bağlantısı düzelir (Akman ve Yücel, 1996). Bu katkıları, taze betonda çimento taneleri-su ara yüzeyinde varolan fiziksel ve kimyasal kuvvetlerin etkisinin değişmesine yol açarlar. Bunun nedeni, çimento tanelerini kaplayan yüzey-aktif maddelerin, çimento tanelerinin negatif elektrikle yüklenmesini ve birbirlerini iterek taze beton içinde kolayca yayılmalarını sağlamalarıdır. Çimento taneleri arasındaki bu negatif elektrik yükü çimento tanelerinin bir su tabakasıyla kaplanmasını sağlar ve böylece bu oluşum beton karışımında çimento tanelerinin homojen dağılmasına neden olur. Çimento

tanelerinin bu şekildeki hareketi, taze betonun işlenebilirliğinde önemli bir iyileşmeyle sonuçlanır (Uchikawa vd., 1997; Erdoğan ve Kurbetçi, 2003).

2.1.3. Fiber Katkı Maddeleri

Beton özelliklerini olumlu yönde değiştirerek iyileştirmek amacıyla taze beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik miktarlarda katılan, belirli boy/çap (narınlık oranı) oranına sahip olan metalik, polimerik, mineral veya tabii yapıdaki malzemelere lif (fiber) denilir. Lifler çelik, plastik, cam gibi değişik malzemelerden farklı tip ve boyutlarda üretilmektedirler (Ünal, 1994).

Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Üniform bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmekte ve uygulanan maksimum yükten sonrada artan deformasyonlar sonucunda yükün azalma hızı, normal betona göre çok daha yavaşlamaktadır (Song ve Hwang, 2004).

Betterman vd. polivinilalkol (PVA) lifler kullanarak yaptıkları çalışmada çekme gerilmesi altında lifler arası uzaklığın azalmasıyla ilk tepe yükünün arttığını göstermiştir. Mikro lifler mikro çatlakları kritik çatlak haline gelmeden durdururlar (Mobasher ve Yu, 1996).

Mikro lifler; i) Boyutları nedeniyle matris içinde daha sık bir lif dağılımı oluştururlar, ii) Çatlakları makro düzeye gelmeden durdururlar, iii) Elastik bölgedeki davranışı iyileştirirler. Makro lifler; i) Elastisite modülünü, çekme ve eğilme dayanımlarını arttırırlar, ii) Makro düzeydeki çatlakları kontrol ederler, iii) Maksimum yük sonrasında davranışı iyileştirirler (Taşdemir ve Bayramov, 2002).

Cam ve polipropilen fiber katkılı betonlar üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda bu fiberler hakkında şu sonuçlar elde edilmiştir (Daniel vd., 1998; Liang vd., 2002).

- Lif tipi ve lif içeriğinin beton basınç dayanımı üzerine önemli bir katkısı

olmadığı saptanmıştır.

- Betonun terleme miktarını azaltmışlardır
- Betonun işlenebilirlik özelliği fiberlerin 5 kg/m³'e kadar eklenmesi durumunda çok fazla etkilenmezken, daha yüksek ekleme oranlarında etkilenmiştir.
- Her iki fiber katkıda betondaki rötre ve büzülme çatlaklarında genel olarak azalmalara sebep olmuştur.
- Betonun aşınma direncini arttırmışlardır
- Betonun darbe direncini arttırmışlardır
- Betonun çekmeye dayanıklılığını, eğilme mukavemetini, ilk çatlak mukavemetini ve ilk çatlak oluşumunda çekme dayanıklılığını arttırmışlardır.

Matristeki çatlaklar mikro düzeyde başlar. Büyük boyutlu lifler arasındaki mesafe fazla olduğu için bu lifler mikro çatlaklar için etkili olamazlar. Büyük boyutlu lifler ancak çatlaklar gelişip makro düzeye geldiği zaman etkili olur (Betterman vd., 1995). Buna karşın, mikro lifler çatlaklar mikro düzeyde iken arada köprü vazifesi görerek çatlakları durdururlar. Mikro lifler matrisin hemen her bölgesine dağılabilecek kadar küçük oldukları için makro liflerin bulunmadığı ara bölgelerdeki küçük çatlakların başlamasını ve gelişimini kontrol edebilirler (Banthia vd., 2000). Yüksek dayanımlı makro lifler (çelik), büyük çatlakları, zayıf mikro lifler (polipropilen vb.) ise mikro çatlakların başlangıcını ve gelişimini kontrol eder (Qian vd., 2000).

Yüksek dayanımlı betonların çok az boşluklu, diğer bir deyişle fazla yoğun bir yapıda olması yangına karşı direnci düşürür. Yüksek sıcaklıklarda serbest su ve çimento hamurundaki kimyasal olarak bağlanmış su buharlaşır. Ancak bu su, malzemenin yoğun yapısından dolayı uzaklaşamaz. Sonuç olarak beton yüzeyinde dökülmeler olur, donatı çeliğini yüksek sıcaklıktan koruyamaz hale gelir ve sonuçta betonarme elemanların taşıma kapasiteleri azalır. Frankfurt'ta yeni inşaa edilen bir yapıda bu problemi çözmek için polipropilen lif donatılı bir beton kullanılmıştır. Bunun için betona 1 m³ başına 2 kg polipropilen lif katılmıştır. Yangında olduğu gibi yüksek sıcaklıkta bu lifler eriyerek su buharının sınır bölgelerden çıkabileceği

kanallar oluşturmaktadır. Böylece, yüzeylerdeki dökülmeler engellenebilmiştir (Taşdemir, 2002).

Çizelge 2.3 Fiber tipleri ve bazı özellikleri (Daniel, 1998)

Fiber Tipi	Çap 0.001 in.	Özgül ağırlık	Esneklik katsayısı, ksi*	Çekme dayanımı, ksi*
Çelik				
Yüksek çekme	4.0-40.0	7.80	29000	50-250
Paslanmaz	0.4-13.0	7.80	23200	300
Cam				
E	0.4	2.50	10440	500
Alkali dayanımı	0.5	2.70	11600	360
Polimer				
Polipropilen				
Teklifli	4.0-8.0	0.90	725	65
Çoklifli	20.0-160.0	0.90	500	80-110
Poliyeten	1.0-40.0	0.96	725-25000	29-435
Polyester	0.4-3.0	1.38	1450-2500	80-170
Akrilik	0.2-0.7	1.18	2600	30-145
Aramid				
Kevlar 29	0.47	1.44	9000	525
Kevlar 49	0.40	1.44	17000	525
Asbest				
Krokidolit	0.004-0.8	3.40	28400	29-260
Zebercet	0.0008-1.2	2.60	23800	500
Karbon				
I (esn. kats. yüksek)	0.30	1.90	55100	260
II (çekme day. yüksek)	0.35	1.90	33400	380
Doğal				
Selülöz				
Sisal keneviri	0.8-4.7	1.50	1450-5800	44-131
Hindistancevizi	<8.0	-	1890-3770	41-82
lifi	4.0-16.0	1.12-1.15	2760-3770	17-29
Hintkeneviri	4.0-8.0	1.02-1.04	3770-4640	36-51
elyafı				

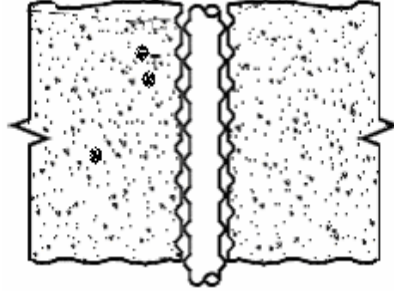
*1 ksi = 6.895 MPa (Yücel vd., 2007)

2.3. Aderans ve Kenetlenme

Ankraj elemanları, yerleştirme zamanı ve şekilleri açısından iki grupta incelenmektedir: birinci grup, önceden taze betona yerleştirilerek hazırlanan

elemanlar olarak, ikinci grup ise sonradan sertleşmiş betona yerleştirilenler olarak incelenir. Birinci grup çalışmalar, betonarme proje çalışmaları için önemli bir veri kaynağı teşkil etmektedir. Sertleşmiş betona bir bağlayıcı madde kullanılarak yerleştirilen ankraj elemanlardan oluşan ikinci grup çalışmalar, bitmiş yapılarda, değişiklik yapmak için teknik sorumlulara ilave olanaklar hazırlamaktadır. Aynı zamanda hasar görmüş yapıların onarım ve güçlendirilmesinde, bu elemanlardan yararlanma imkanı doğmaktadır. Yukarıda bahsedilen katkıların betona ilave edilmesiyle, yüksek dayanım ve fiziksel ve kimyasal çevre koşullarına karşı yüksek durabilite gösterebilen yüksek performanslı betonlar (YPB) üretmek mümkündür. Beton ve çeliğin birleşimi olarak adlandırılan betonarme ile inşa edilen yapılarda, beton olarak YPB kullanıldığında, yapının da yüksek performanslı yapı olarak adlandırılması (YPY) mümkündür. Betonarme yapılarda beton içerisine gömülü olan çelik donatı ile beton arasındaki bağ, betonun fiziksel ve mekanik özellikleriyle önemli derecede ilişkilidir ve bu ilişki aynı zamanda yapıyı da etkilemektedir. Çelik donatı ile beton arasındaki bu yapışma “aderans” veya “kenetlenme” olarak adlandırılmaktadır (Bakis, vd. 1998, Zhang vd. 2001, Lau vd. 2001, Lorenzis vd. 2002).

Betonarme bir elemandaki aderans olayı, yüklenme durumlarına bağlı olarak iki şekilde söz konusu olmaktadır. Birincisi, ankraj veya dış aderans olarak adlandırılan ve beton içindeki donatı çubuğunun çekme veya basınç tesiri oluşturan yük durumunda betondan sıyrılmasını önleyen aderanstır. İkincisi de, donatı çubuğu sıyrılmaya maruz olmamakla birlikte çekme veya eğilmeye çalışan betonarme elemanlardaki beton ile çeliğin birlikte çalışmasını sağlayan ve elemanın çatlama durumunu belirleyen iç aderanstır. Nervürlü çubukların aderans dayanımı, öncelikle nervürlerin çevresini saran betona karşı gösterecekleri taşıma gücüne bağlıdır. Çubuk nervürlü yüzü boyunca, çelik ve beton arasındaki sürtünmede, donatı yüzeyindeki dişler betonun sıyrılmasını önlemeye yardım etmekle aderans dayanımını geliştirmede önemli rol oynar (Yücel vd., 2006).



Şekil 2.4. Beton ve çelik çubuk yüzeyindeki dişler (Yücel vd., 2006)

Aderans gerilmeleri donatı eksenine paralel yönde oluşan kayma gerilmeleridir. Donatı ile beton arasındaki yapışma özellikle beton ve çelik arasındaki sürtünme tepkileriyle karşılanır. Düz çubuklarda bu tepkiler donatı yüzeyindedir, nervürlü çubuklarda ise nervürler dışında oluşan beton kılıfın çevresindedirler. Böylece düz çubuklarda aderans tükenmesi sonucu çelik betondan sıyrılır. Nervürlü çubuklarda ise donatıyı kuşatan beton kılıf betondan kopar. Yani nervürlü donatılarda aderans problemi betonla-donatı arasındaki bir çekme kayma problemine dönüşür. Çekme dayanımı ile basınç dayanımının paralelliği düşünülürse, beton sınıfının değeri arttıkça aderans dayanımının da artacağı anlaşılır (Akman, 1992).

Genellikle aderansın çubuk düz yüzü ile çimento harcı arasındaki kimyasal yapışma sonucu ortaya çıktığı düşünülürse de düşük zorlamalar bile bu yapışmayı çözer ve çubuk sıyrılır. Bu tür sıyrılmanın başlamasıyla sürtünme ve kayma etkisi ile oluşan aderans başlar. Sürtünme sonucu ortaya çıkan aderans donatı çubuğunun pürüzlülüğüne bağlıdır. Dikkatli incelendiğinde düz yüzeyli çubukta da pürüzlülüğün bulunduğu görülür. Donatının paslanmaya başlamasıyla pürüzlülükle beton ile çelik arasındaki aderans artar. Ancak pasın bir tabaka oluşturması, donatının bu tabakadan sıyrılmasını kolaylaştırarak, aderansın kolayca kaybına sebep olur (Celep ve Kumbasar, 1998).

Aderans deneyinde nervürlü çubuk kullanıldığında gözlenen davranış, düz yüzeyli çubuklarla yapılan deneylerden çatlak genişliği az, çatlak sayısı çok, sıyrılmada azdır (Ferguson vd., 1965).

Nervürlü çubuğun yetersiz aderans boyuna sahip olduğu durumlarda ise, çubuğu saran beton kütle, oluşan radyal çatlaklar nedeniyle yarıp çubuklar ayrılarak

çıkılmaktadır. Ayrılma göçmesi özellikle nervürlü büyük çaplı numunelerde betonun düz çubuklarda pürüzlü yüzeye, nervürlü çubuklarda nervürlere yaslanması sonucu oluşmaktadır. Yaslanma ile oluşan çevresel basınç iç basınç doğurur ve çevredeki betonun çekme gerilmesi ile bu iç basınç dengelenir. Bu gerilmeler beton çekme dayanımını aşarsa radyal ayrılma çatlakları oluşarak aniden(gevrek) aderans kaybolmasına neden olur (Şener, 2006).

TS 708 de belirtilen tanıma göre;

Nervür: Çubuğun betonla aderansını artırmak amacıyla çubuğun yüzeyinde oluşturulmuş çubuk eksenine belirli bir açıyla veya açılarla yer alan ve çubuk boyunca devam eden çıkıntılardır.

Aderans ve kenetlenme dayanımının belirlenmesi için çeşitli deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar:

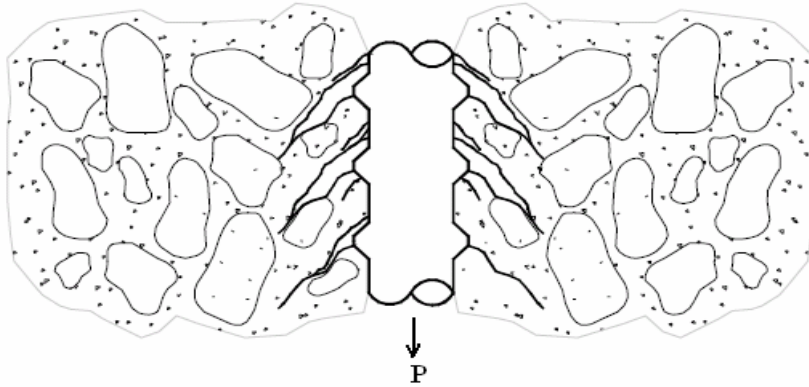
- Pull-out (çekip-çıkarma) deneyi
- Eksantrik çekip-çıkarma deneyi
- Teksas deneyi
- Bureau of Standards deneyi
- Standard Belçika mafsallı giriş deneyi (Bakis vd., 1998, Zhang vd., 2001, Lau vd., 2001, Lorenzis vd., 2002)

Bu tür deney elemanında donatıya dik kesme donatılarının bulunmaması, mesnetin uygulandığı yerel basınç gerilmeleri ve beton örtüsünün gerçekte olandan çok daha büyük olması ve çekme çatlaklarının oluşmaması gibi durumlar söz konusudur. Bu nedenle, eğilme çekme çatlaklarının davranışını etkilediği kabul edildiğinden eksantrik çekip-çıkarma ve girişler üzerinde testler uygulanarak beton-donatı arasındaki eğilme-aderans dayanımları belirlenmeye çalışılmaktadır. ACI Committee 408R-03 de aderans dayanım belirlenmesi için eksantrik çekip çıkarma deneyini tavsiye etmektedir. Ayrıca bu tip deney düzeneği üzerinden aderans

gerilmesi/dayanımı ile kayma veya aderans kuvveti ile kayma ilişkilerinin de belirlenebileceğini vurgulamıştır (Yücel vd., 2007).

Aderans teknolojik açıdan çekme donatılarının kenetlenme problemiyle yakından ilişkilidir. Betonarmede, çelik çubuk beton içerisinde gömülüdür ve çekildiğinde çıkartılması çok zordur. Gömülme boyunun yeterli olmadığı durumlarda ise, çubuk yüzeyinin geometrisine bağlı olarak sıyrılıp beton içerisinden çıkabilir ve etrafındaki betonu yarabilir (Yücel vd., 2006).

Betonarme elamanlarda kenetlenmenin yeterli olabilmesi için donatı akma gerilmesine eriştiğinde veya depremde olduğu gibi donatı akma ötesinde belirli bir birim deformasyona ulaştığında, çubuk betondan sıyrılmamalı ve betonu yarmamalıdır (Ersoy ve Özcebe 2004).



Şekil 2.5. Beton içerisindeki çubuğun çekilmesiyle, betonda oluşan çatlamlar (Yücel vd., 2006)

En basit aderans deneyi 'eksenel çekip çıkarma' deneyleridir. Sözü edilen aderans deneyi için düz yüzeyli çubuk kullanıldığında kenetlenme boyu yeterli ise donatı akmakta, yetersiz ise çubuk betondan sıyrılarak çıkmaktadır (Chamberlin, S.J., 1952).

Betona gömülü olan çubuk boyuna kenetlenme boyu; bu tür aderansa da kenetlenme aderansı denilir. Beton içerisinde gömülü olan bir çelik çubuğa uygulanan çekme kuvveti etkisiyle aderans sıyrılması sınırına erişildiğini ve aynı zamanda çekme dayanımının da akma sınırına ulaştığı kabul edilerek aderans dayanımı, betonun çekme dayanımının bir fonksiyonu olarak (TS 500):

Düz çubuklar için;

$$\tau_b = f_{ctd} / 4.0,22 \quad (2.1)$$

Nervürlü çubuklar için;

$$\tau_b = f_{ctd} / 4.0,12 \quad (2.2)$$

ifade edilir.

Yukarıda ifadelere bağlı olarak da;

Düz çubuklar için;

$$l_b = 0,22 \cdot \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \cdot \Phi \quad (2.3)$$

Nervürlü çubuklar için;

$$l_b = 0,12 \cdot \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \cdot \Phi \quad (2.4)$$

Ülkemiz koşullarında yaygın olarak kullanılan çeliklerin tipleri, mukavemet değerleri ve kopma uzama oranları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 2.3. TS 708'e göre yapı çeliklerinin sınıfları ve mukavemet değerleri.

Mekanik Özellikler	Donatı Çubukları			Hasır Donatı		
	Doğal Sertlikte			Soğukta İşlem Görmüş		
	S220a	S420a	S500a	S420b	S500bs	S500bk
Min.akma dayanımı MPa	220	420	500	420	500	500
Min.kopma dayanımı MPa	340	500	550	550	550	550
Kopma/Akma min. mukavemeti oranı	1,2	1,1	1,08			
Min Kopma Uzaması ≤ 32 (%) ϵ_{su}	18	12	12	10	8	5
Min Kopma Uzaması $32 \leq 50$ (%) ϵ_{su}	18	10	10	10	8	5

Yumuşak çelik üzerine yapılan çekme deneyi sonucunda malzemenin orantı sınırı, elastiklik sınırı, akma sınırı ve çekme dayanımı gibi mukavemet değerleri ile kopma uzaması, kopma büzülmesi ve tokluk gibi süneklik değerleri belirlenir. Malzemenin cinsine, kimyasal bileşimine ve metalografik yapısına bağlı olan bu özellikler aşağıda sırasıyla açıklanmaktadır.

Orantı sınırı (σ_0): Gerilme-birim uzama diyagramında Hooke yasasının, yani $\sigma = E \cdot \epsilon$ bağıntısının geçerli olduğu doğrusal kısmı sınırlayan gerilme değeridir. Bu bağıntıdaki orantı katsayısına (E) elastiklik modülü denir ve bu katsayı çekme diyagramının elastik kısmını oluşturan doğrunun eğimini gösterir. Bir malzemenin elastiklik modülü ne kadar büyükse, o malzemenin elastik şekil değiştirmeye karşı direnci de o ölçüde büyük olur.

Elastiklik sınırı (σ_e): Malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığı zaman plastik uzamanın görülmediği veya yalnız elastik şekil değiştirmenin meydana geldiği en yüksek gerilme değeridir. Genellikle, elastiklik sınırı orantı sınırına eşit kabul edilir. Pratikte σ_e yerine %0,01 veya %0,005'lik plastik uzamaya karşı gelen gerilme ($\sigma_{0,01}$ veya $\sigma_{0,005}$) değerleri alınır.

Akma dayanımı (σ_a): Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının

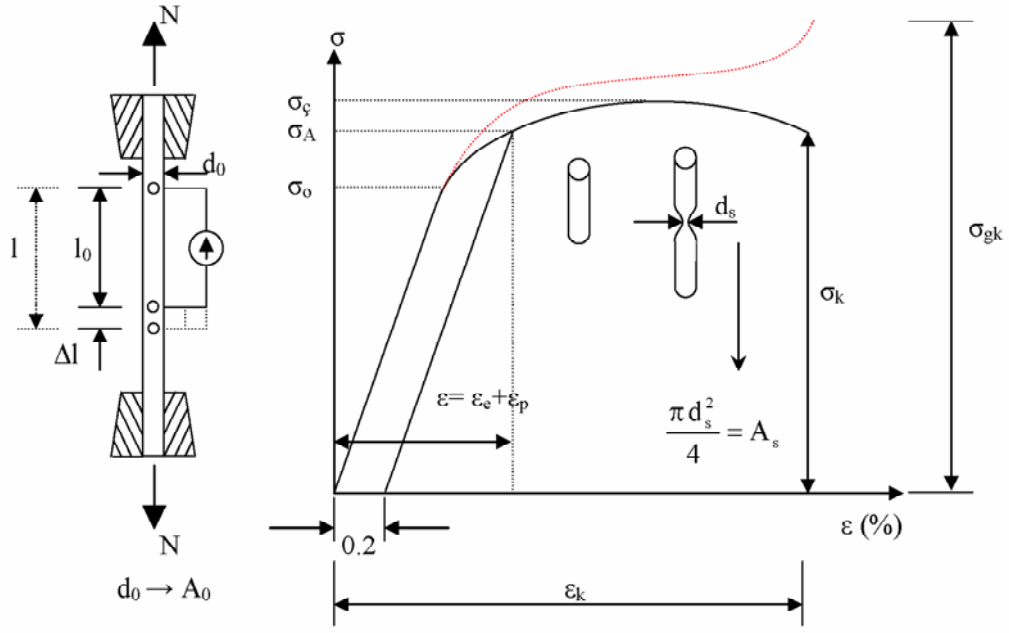
düzensüzlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir, Şekil 3. Bu değer akma kuvvetinin (F_a) numunenin ilk kesit alanına bölünmesiyle ($\sigma_a = F_a/A_0$) bulunur. Düşük karbonlu yumuşak çelik gibi bazı malzemeler, deney koşullarına bağlı olarak belirgin akma sınırı gösterebilirler. Malzemelerin belirgin akma göstermemesi durumunda, genelde %0,2'lik plastik uzamaya ($\epsilon_{plastik} = 0,002$) karşı gelen çekme gerilmesi akma sınırı veya akma dayanımı olarak alınır

Çekme dayanımı (σ_{ϵ}): Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup, $\sigma_{\epsilon} = F_{maks}/A_0$ formülü ile bulunur. Burada F_{maks} malzemeye uygulanan en yüksek kuvveti, A_0 ise malzemenin ilk kesit alanını gösterir.

Kopma uzaması (KU): Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır. Çekme deneyine tabi tutulan numunenin kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile son boy ölçülür ve boyda meydana gelen uzama $\Delta l = l_k - l_0$ bağıntısı ile bulunur. Burada l_0 numunenin ilk ölçü uzunluğunu, l_k ise numunenin kırılma anındaki boyunu gösterir. Kopma uzaması ise; $KU (\%) = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100$ bağıntısı yardımıyla belirlenir. Bu değer malzemenin sünekliğini gösterir (makina, 2008).

Kopma mukavemeti (σ_k): kopma anındaki N_k kuvvetinin ilk kesit A_0 'a bölünerek elde edilir.

$$\sigma_k = N_k / A_0$$



Şekil 2.6. TS 708'e göre bir yumuşak çeliğin σ - ϵ diyagramı (Yücel, 2003)

Gerçek kopma mukavemeti (σ_{gk}): ise kopma mukavemeti N_k 'yü en dar kesit A_s 'ye bölünerek elde edilir.

$$\sigma_{gk} = N_k / A_s$$

$\sigma_{gk} > \sigma_k$ 'dan oldukça büyüktür.

Donatının akma dayanımı, kenetlenme boyunca aderans gerilmesinin dağılımında ve bindirmeli eklerde ise, gerilme aktarımında büyük rol oynamaktadır. Çubuğun yüzey geometrisinin aderansı arttırdığı bilinmekte ise de hangi profilin en uygun olduğu ve profil seçiminde hangi kriterlerin geçerli olduğu sorunları henüz netlik kazanmamıştır. Çubuk yüzeyinin nitelik faktörü, donatının profil etkisine benzerdir. Asıl sorun beton ile çeliğin birlikte çalışması olduğuna göre çubuk yüzeyinin niteliğinin önemi ortaya çıkmaktadır. Pürüzlülük ve hafif bir pas aderansı artırırken, ileri derecelerdeki pas etkisi kabuk durumunu alarak zararlı olmaktadır. Benzer olarak topraklı, çamurlu, yağlanmış çubukların aderansı da yok denecek kadar azdır (TS 708, 1996; TS 500, 2000; Yücel vd., 2006)

Çelik çubuğun çapı, akma veya elastik sınırı, özel profil şekli ve yüzeyinin niteliği aderans açısından önemlidir. Donatı çapı değiştikçe, kenetlenmeyi sağlayan çevrenin, uygulayan kuvveti etkileyen alana oranı değişmektedir. Yani donatı çapı arttıkça hem kesit alanı artan donatıya gelen yükün artması sonucu kenetlenme azalmakta, hem de donatı dış kuvvetlerinin oluşturduğu ve yarıma çatlağına sebep olan radyal gerilmelerin artması da söz konusu olmaktadır (Türk, 2002; TS 708, 1996).

Aderans olarak adlandırılan beton ve donatı arasındaki bağın üç temel nedene dayandığı kabul edilmektedir.

- Beton ve çelik arasındaki sürtünme kuvvetleri,
- Çelik ve beton arasındaki yapışmayı sağlayan moleküler ve kapiler bağ kuvvetleri,
- Donatı çubuğu ve beton arasındaki mekanik dış kuvvetleri.

Düz yüzeyli çubuklarda aderans, ilk iki nedene yani yapışma ve sürtünmeye dayanmaktadır. Nervürlü çubukların aderansında ilk iki nedenin etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. Bu tür çubukların aderansı çubuk üzerindeki çıkıntıların betona yaslanması ile sağlanmaktadır. Bu yaslanmadan oluşan kuvvetlere mekanik dış kuvvetleri denir (Ersoy ve Özcebe, 2001).

Aderansa etki eden önemli değişkenler ise şunlardır:

- Betonun çekme mukavemeti
- Deneyler sonucunda çeliğin akma gerilmesinin aderansı etkileyen bir faktör olduğu anlaşılmıştır.
- Çubuk yüzey geometrisi (düz, nervürlü) aderansı etkileyen etkenlerdendir.
- Çubuk çapının özellikle nervürlü çelikler için çok önemli olduğu yapılan deneylerden anlaşılmıştır.
- Kenetlenme boyu aderansla arasında doğrusal bir orantı olmamakla birlikte aderansı etkileyen faktörlerden biridir.

- Pas payı veya beton örtü kalınlığı olarak adlandırılan beton örtüsü özellikle nervürlü çubuklarda etkilidir.
- Betonarme çubuğunun betonlama sırasındaki konumu etkili olmaktadır. Özellikle yüzeye yakın çubukların mukavemetinin düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni üst çubukların altında biriken hava kabarcıkları ve döküm ile piriz süresi arasında oluşan çökmedir.
- Kullanılan agreganın cinsi ve katkı maddeleri de aderansı etkiler. Örneğin hafif agrega ile yapılan betonun aderans dayanımı normal agrega ile yapılanına göre daha düşüktür (Bazant ve Planas, 1998).

2.4. Bulanık Mantık

Gerçek dünyada olaylar çok karmaşık durumdadır ve bu olayların belirli matematiksel ifadelerle tanımlanması ve kesin bir şekilde kontrol altında tutulması mümkün değildir. Bütün teori ve denklemler gerçek dünyayı yaklaşık bir biçimde ifade ederler. İncelenen bir konunun tam ve kesinlikle bilinmemesi bulanıklılığı ifade etmektedir. Bu belirsizliklerin sözel ifadeler kullanılarak daha belirgin hale gelmesi için geliştirilen mantığa da Bulanık Mantık denilmektedir (Şen, 2004).

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A.Zadeh'in bu konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla duyuldu. O tarihten sonra önemi gittikçe artarak günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanabilir. Bilindiği gibi istatistikte ve olasılık kuramında, belirsizliklerle değil kesinliklerle çalışılır ama insanın yaşadığı ortam daha çok belirsizliklerle doludur. Bu yüzden insanoğlunun sonuç çıkarabilme yeteneğini anlayabilmek için belirsizliklerle çalışmak gereklidir (Yapay-zeka, 2008)

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) sistemlerin ve modellerin tanımlanmasında ve kontrol edilmesinde geniş çapta kullanılan bir sistemdir. Bu yaklaşım ilk olarak 1965 yılında yayınlanan bir makalede ilk olarak Lofti A. Zadeh tarafından tanımlanmıştır. Zadeh bu çalışmasında insan beyninin büyük bir bölümünün bulanık olduğunu belirtmiştir.

Araştırmalar bulanık mantık denetimi ile elde edilen sonuç performansının klasik yöntemlerle elde edilenlere göre daha iyi olduğunu göstermiştir (Zadeh, 1965).

Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durum dan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer vermesi, ikincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine gereksinim gösteren hallerdir (Terzi vd., 2005).

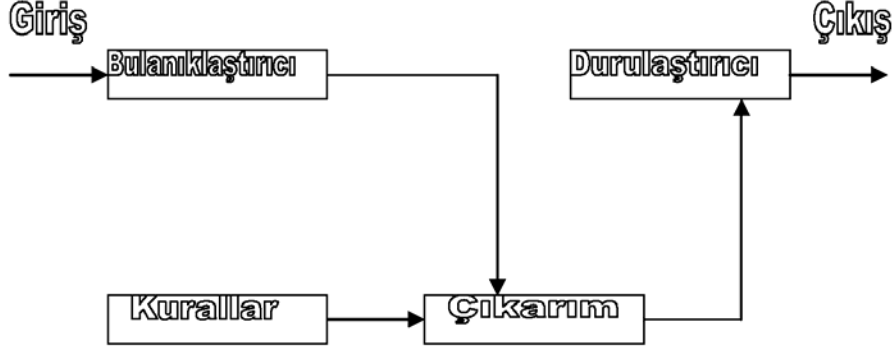
Bulanık mantık, ingilizcesiyle fuzzy logic, adından anlaşılabileceği gibi mantık kurallarının esnek ve bulanık bir şekilde uygulanmasıdır. Klasik (boolean) mantıkta bildiğiniz gibi, "doğru" ve "yanlış" ya da "1" ve "0"lar vardır, oysa bulanık mantıkta, ikisinin arasında bir yerde olan önermeler ve ifadelere izin verilebilir ki, gerçek hayata baktığımızda hemen hemen hiçbir şey kesinlikle doğru veya kesinlikle yanlış değildir. Gerçek hayatta önermeler genelde kısmen doğru veya belli bir olasılıkla doğru şeklinde değerlendirilir. Bulanık mantığa da zaten klasik mantığın gerçek dünya problemleri için yeterli olmadığı durumlar dolayısıyla ihtiyaç duyulmuştur. Bulanık mantığın sistemi şu şekildedir. Bir ifade tamamen yanlış ise klasik mantıkta olduğu gibi 0 değerindedir, yok eğer tamamen doğru ise 1 değerindedir. Ancak bulanık mantık uygulamalarının çoğu bir ifadenin 0 veya 1 değerini almasına izin vermezler veya sadece çok özel durumlarda izin verirler (Yapay-zeka, 2008).

Bu şekilde 0 ile 1 arasındaki değişimin her bir öğe için değerine üyelik derecesi ve bunun bir alt küme içindeki değişimine de üyelik fonksiyonu denilmektedir (Dadone, 2001).

Bunların dışında tüm ifadeler 0 dan büyük 1 den küçük reel değerler alırlar. Yani değer 0.32 olan bir ifadenin anlamı %32 doğru %68 yanlış demektir (Yapay-zeka, 2008).

Bulanık mantık, bir şey hakkında yargı ortaya atarken, aynı anda, bu yargıyı oluştururken dayandığı matematiksel sınıflandırmaların ne kadar içinde, ne kadar dışında olduğundan bahseder. Verinin ne kadar o yargı kümesine ait, ne kadar ait olmadığı bilgisine dayanarak o veriye yeni bir tanım getirir (Iletisimforumu, 2008).

Bulanık mantık (BM) bulanık denetleyiciden oluşmaktadır. Şekil 2.7’de basit bir bulanık denetleyici görülmektedir. Bulanık denetleyici, giriş, veri tabanı, bulanıklaştırma, bulanık çıkarım, kural tabanı, durulaştırma ve çıkış işlemlerinden meydana gelmektedir (Uygunoğlu ve Ünal, 2005).



Şekil 2.7. Bulanık Mantığın Temel Elemanları

- **Giriş/Veri Tabanı:** İncelenecek olan olayın maruz kaldığı girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna **veri tabanı** veya kısaca **giriş** adı da verilir.
- **Bulanıklaştırıcı:** Sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işleminin yapıldığı bölümdür.
- **Bulanık Kural Tabanı:** Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal, **EĞER-İSE (IF – THEN)** türünde yazılabilen bütün kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm aralık bağlantıları (rule base) düşünülür.
- **Bulanık Çıkarım:** Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır.
- **Durulaştırma:** Bulanık çıkarım motorunun bulanık küme çıkışları üzerinde ölçek değişikliği yapılarak gerçek sayılara dönüştürdüğü birimdir.
- **Çıkış:** Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım vasıtasıyla etkileşimi sonucunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir (Yücel v.d., 2007).

2.5. Veri Madenciliği

Veri madenciliği, sahip olduğumuz verilerden üstü kapalı, çok açık olmayan, daha öncesinden bilinmeyen fakat potansiyel olarak işe yarayacak bilginin çıkarılmasıdır. Bu çıkarımda kümeleme, veri özetleme, değişikliklerin analizi, sapmaların tespiti gibi teknik yaklaşımları içerir.

Veri madenciliği sonucu ortaya çıkartılan bilgi elimizde var olan ancak direkt olarak bakıldığında hemen ayırt edilemeyen bir bilgidir (Aktürk ve Serdar, 2008).

Veri madenciliği uygulamalarını gerçekleştirmek için bugüne kadar birçok araç geliştirilmiştir. Bu araçlardan biri Waikato Üniversitesi tarafından java platformu üzerinde açık kodlu olarak geliştirilen ve devamlı güncellenen WEKA'dır. WEKA bir proje olarak başlayıp bugün dünya üzerinde birçok insan tarafından kullanılmaya başlanan bir veri madenciliği uygulaması geliştirme programıdır. WEKA java platformu üzerinde geliştirilmiş açık kodlu bir programdır WEKA programı <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/> adresinden temin edilebilmektedir (Yücel v.d., 2007).

2.6. Konu ile İlgili Yapılmış Bazı Çalışmalar

Aderans veya kenetlenmenin belirlenmesi üzerine günümüze kadar yurtdışında birçok çalışma yapılmasına rağmen, ülkemizde kendi ürettiğimiz çeliklerle yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Yapılmış bazı çalışmalar şunlardır:

Çolak (2001), prekast beton panellerde epoksi tipi, donatının beton içerisindeki gömme boyu gibi faktörlerin aderans dayanımına etkisini araştırmıştır. Aynı zamanda elastik davranış ile modelleme yapmış ve oluşturduğu modelin deneysel verilerle oldukça yakın olduğunu belirtmiştir.

Wang ve Liu (2003), aderans dayanımının belirlenebilmesi için, bir silindirin içerisindeki radyal iç basıncı dikkate alarak yeni bir model geliştirmiştir. Geliştirdiği modelin diğer modellerle yakın olduğunu belirtmiştir.

Guo ve Cox (2000), beton ve çelik çubuk arasındaki aderansı sonlu elemanlar yöntemi kullanarak modellemişlerdir. Ayrıca yüzeyler arası karakterizasyonu nümerik integrasyonlar kullanarak incelemişlerdir.

Silis dumanının basınç dayanımı ile birlikte eğilmede çekme dayanımını da arttırdığı, fakat özellikle basınç dayanımı artış oranına etkisinin eğilmede çekme dayanımı artış oranına etkisinden daha fazla olduğu yapılan bir çalışma ile tespit edilmiştir (Şimşek vd., 2004)

Yerlici vd. (1995), beton basınç dayanımı, beton örtü kalınlığı ve gövde sarma donatısı miktarının yüksek dayanımlı betonlardaki aderans dayanımı ve gerekli minimum kenetlenme boyu üstündeki etkisini araştırmışlardır. Deney yöntemi olarak eksantrik çekip-çıkarma yöntemini kullanmışlar ve farklı çapta donatılar üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışmaları sonucunda beton basınç dayanımı, beton örtü kalınlığı ve sarma donatısı miktarının artışıyla aderans dayanımının da arttığını belirtmişlerdir.

Campione v.d. (2005), tekrarlı yükler altında fiberle güçlendirilmiş hafif betonlarda çelik çubuk-beton aderansını incelemişlerdir. Betona ilave edilen fiberlerin, hafif betonlarda agregaların kırılğan olmasına rağmen, betonun tekrarlı yükler altında aderansını arttırdığını belirtmiştir.

Türk (2002), yapmış olduğu çalışmasında, bileşik eğilmeye maruz betonarme elemanlarda beton özelliklerine bağlı olarak donatı aderansını incelemiştir. Çalışmalarını, basit ve bileşik eğilmeye maruz ve çekme bölgesine bindirmeli olarak donatı yerleştirilmiş ve 30 MPa üzerinde basınç dayanımına sahip kirişler üzerinde gerçekleştirmiştir. Değişken olarak farklı çaplarda donatı kullanmıştır. Deneysel çalışması sonucunda, donatı çapının artmasıyla aderans dayanımının azaldığını gözlemlemiştir.

Haddad ve Numayr (2005), yapmış olduğu deneysel çalışmasında, alkali-agrega reaksiyonu ve donma-çözölmeye maruz bırakılan betonarmede beton-çelik donatı arasındaki aderans dayanımını araştırmıştır. Araştırma sonucunda, alkali agreg reaksiyonundan dolayı aderansın belirgin bir biçimde azaldığını ifade ederken, 150

ve 500 periyoda kadar donma-çözülme çevrimi görmüş olan betonarme elemanın aderans dayanımının %55-100 arasında azaldığını belirtmiştir.

Bir diğer çalışmada ise, matrisinde hafif agrega bulunan betonlarda, çelik ve polipropilen fiber kullanılmış, çelik fiberin hafif agregalı betonun duktilitesini arttırırken basınç dayanımına çok etki etmediğini vurgulanmıştır (Kayali vd., 2003).

Konca'nın yüksek lisans çalışmasında betonarme taşıyıcı elemanları oluşturan beton ve donatı arasındaki bağ ve aderans kuvvetleri incelenmiştir. Beton ve donatı arasında meydana gelen aderans, beton ve donatının fiziksel ve mekanik özellikleriyle yakından ilgilidir. Bu amaçla farklı mukavemetlere sahip beton numuneler üretilmiş ve bu numunelerin içlerine farklı tipte donatılar yerleştirilmiştir. Bu donatılar belirlenen zamanlarda betonun içinden sıyrılarak çekilmiş ve sıyrılma sırasındaki kuvvet ve sıyrılma miktarları ve sıyrılma mukavemeti ölçülmüştür. Deney düzeneğinin sağladığı avantaj nedeniyle, donatının beton içindeki konumunun etkisi de incelenmiştir. Böylece betonun üst kısmında ve alt kısmında bulunan donatıların deneylerinden elde edilen sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiş ve betonun donatı etrafındaki yerleşme ve donatıyı sarma etkisi görülmüştür. Elemanların üretiminde, farklı beton mukavemetleri elde etmek amacıyla üç tip çimento kullanılmıştır. Bunlar portland, katkıli portland ve traslı çimentolardır. Bu çimentoların zaman içindeki mukavemet gelişimlerini de dikkate almak amacıyla yirmi sekizinci ve doksanıncı olmak üzere iki farklı beton yaşında deneyler yapılmıştır. Kullanılan donatı tipleri ise 10 ve 16 mm lik iki farklı çapa sahip, nervürlü ve düz yüzeyli donatılardır (Konca, 2006).

Yörük tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde uçucu külün betonun durabilitesine etkisi incelenmiştir. Bunun için 12 tip beton üretilmiştir. Üretilen 12 tip betonun 4 tanesi sadece Portland çimentosu ile 6 tanesi Portland çimentosuna uçucu kül ilavesi ile (kullanılan çimento ağırlığının %10'u ve %20'si kadar uçucu kül ilave edilerek), 2 tanesi de traslı çimento ile hazırlanmıştır. Maksimum agrega tane çapı 16 mm. seçilerek her tip betonda 7x7x7 cm. boyutlarında küp ve 7x7x28 cm. boyutlarında prizma numuneler üretilmiştir. Küp numunelerde basınç ve kılcal su emme deneyleri, prizma numunelerde ise ultrases hızı ve eğilme deneyleri

yapılmıştır. Her beton tipine ait numunelerin bir kısmı ağırlıkça %10'luk sodyum sülfat çözeltisine, bir kısmı kirece doymun su içerisine, bir kısmı da ıslak bez altına konulmuştur. Sodyum sülfat çözeltisi 21 günde bir yenilenmiştir. Numuneler belirtilen ortamlarda 120 gün bekletildikten sonra bunların basınç ve eğilme mukavemetleri, ağırlıkları ve ultrases hızları ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler, ilk baştaki değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde uçucu kül ilave edilen betonların uçucu kül içermeyen betonlara göre daha az mukavemet kaybettikleri, yüksek mukavemetli betonların zararlı ortamdan daha az etkilendikleri, su geçirirliiliği yüksek olanların zararlı ortamda çok çabuk parçalanmaya başladıkları ve ağırlık kaybettikleri görülmüştür. Sonuçlar literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında, uçucu kül ilavesi yapılarak üretilen betonlarda uçucu külün betonun iç yapısındaki boşlukları doldurarak betonun su geçirirliiliğini azalttığı gözlemlenmiştir (Yörük, 2001).

Zhang, Lau ve Lorenzis'in yaptıkları çalışmalarında betona epoksiyle veya beton taze haldeyken gömülen donatıların dayanımı olarak bilinen ankraj veya kenetlenme dayanımını araştırmışlardır. Yapılan üç çalışmada sırasıyla, beton ankrajlarının statik ve tekrarlı yükler altındaki davranışları, çimento tipinin kenetlenmeye etkisi ve agrega boyutuna bağlı olarak kenetlenme dayanımının incelenmesi üzerine yapılmıştır. Bu çalışmaların sadece birincisinde yalın betondan farklı olarak çelik lif katkılı betonlardaki ankraj dayanımı da incelenmiştir (Zhang vd. 2001, Lau vd. 2001, Lorenzis vd. 2002).

TS-500 ve ACI-318 standartlarında belirtilen bindirmeli ekler için minimum koşullar belli oranda güvenlik faktörü içermektedir. Bu şartlar önceki araştırmalardan çıkan sonuçlara göre hazırlanmış ve yeni yapılan araştırmalara göre de güncellenmektedir. Ancak bindirmeli eklerin güvenilirliiliğinin minimum şartlar için incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla 6 kiriş numunesi standartlarda belirtilen minimum şartlara göre hazırlanmıştır. Deney sonuçları analitik yöntemlerle incelenmiş ve ayrıca iki şartnameyi kıyaslamak için bir durum çalışması yapılmıştır. Daha küçük çaptaki donatılar için her iki şartnamede güvenli sonuçlar vermektedir. Sonuçlar, TS500'de verilen minimum paspayı mesafesinin 26 mm çapına eşit veya büyük donatılarla yapılan bindirmeli ekler için yetersiz olduğunu göstermiştir (Bozalioğlu, 2007).

Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu tarafından döz ve nervürlü betonarme donatısı ile beton arasındaki aderans dayanımına mineral katkıların etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Nervürlü demirin aderans dayanımı değerleri her yaşta düz demire göre daha yüksek çıkmıştır.

%15 uçucu kül katkılı betonlar için basınç ve aderans dayanımı kontrol betonuna göre 3 gün sonunda daha düşüktür. Ancak 7, 14 ve 28 gün sonrası uçucu külün puzolanik aktivite ve filler etkisinden dolayı artmıştır.

Silis dumanı katkılı betonlar kür süresinden bağımsız olarak daha yüksek aderans ve basınç dayanımları verilmiştir (Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu, 2006).

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Materyal

Deneyleerde kullanılan ve Çizelge 3.2. de verilen beton karışımları Özel 2007'nin yaptığı ön deneyleer sonucunda belirlenmiştir. Ön deneyleerde katkı oranları belirlenirken çökme 18-22 cm olacak şekilde karışım formülleri hazırlanmıştır.

3.1.1. Agregalar

Üretilen beton numunelerinde dört çeşit iri agrega kullanıldı. Bunlar; Çakıl I (ÇI) ve çakıl II (ÇII), kırmataş I(KTI), kırmataşII(II) olup en büyük dane çapı 25 mm'dir. İnce agrega olarakta doğal yuvarlak dere kumu kullanıldı. Birim hacim kütle ve su emme oranı tayini deneyleeri iri agrega için ASTM C127'e göre, ince agrega için ise ASTM C128'e göre yapılmıştır. Sıkışık ve gevşek birim hacim kütle (yığın yoğunlukları) tayini ASTM C 29'a göre yapılmıştır. Deneyleer her malzeme için üç kez tekrarlanmış ve ortalama değerleri alınmıştır.

Çalışmalarda kullanılacak agrega oranları, ACI 304-2R Sayılı "Pompalama Yöntemleri ile Betonun Yerleştirilmesi" ve ASTM C33 Beton agregası sınır eğrilerine uygun olarak ayarlanmıştır. İri agrega olarak "salt kırmataş" ve "çakıl + kırmataş" karışımı düşünülmüş ve buna göre karışımlar düzenlenmiştir. Bunlar;

Karışım I; Kırmataş I + Kırmataş II + Kum

Karışım II; Kırmataş II + Çakıl I + Çakıl II + Kum'dur.

3.1.2. Çimento

Beton üretiminde kullanılan çimento CEM I 42.5 R niteliğindedir. Çimentolar, 50 kg'lık torbalar halinde temin edilmiştir, hava almayacak şekilde poşetlenerek stoklanmıştır.

3.1.3. Kimyasal Katkılar

Çalışmada; ASTM C 494 ve TS EN 934-2 standartlarına uygun, Polinaftalen ve Polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı beton katkıları kullanılmıştır.

3.1.4. Mineral Katkılar

Deneyisel çalışmalarda kullanılan silis dumanı (ferrosilisyum (FeSi)) Antalya Etibank Ferrochrom fabrikasından temin edilmiştir.

Çalışmalarda kullanılacak uçucu külü belirlemek için; Çatalağzı Uçucu Külü (Zonguldak), Seyitömer Uçucu Külü (Kütahya), Tunçbilek ve Çayırhan Uçucu Külü (Ankara) Termik Santralleri'nden sağlanan dört farklı külün analizi yapılmıştır. Bu analizlere göre; Çatalağzı uçucu külü (F tipi) ve Seyitömer uçucu külü (C tipi) deneylerde kullanılmıştır.

3.1.5. Fiber Katkı

Üretilen betonlarda, 600 gr/m^3 oranı sabit tutulan polipropilen fiber kullanılmıştır. Kullanılan polipropilen fiber lifin boyu 12 mm ve çapı ise 18 mikron'dur. Diğer özellikleri ise Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan polipropilen fiber katkının özellikleri

Kimyasal Yapı	Özgül Ağırlık	Ergime Noktası	Tutuşma Sıcaklığı	Özgül Yüzey Alanı	Alkali Direnci	Çekme Dayanımı	Elastiklik Modülü
%	g/cm^3	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	m^2/kg	%	N/mm^2	N/mm^2
100 polipropilen lif	0.91	160	365	250	100	300 – 400	~ 4000

3.1.6. Çelik Donatı Çubukları

Aderans deneylerinde Ø18 nervürlü, Ø14 nervürlü ve Ø14 düz çelik çubuklar kullanılmıştır.

3.2. Beton Karışım Hesapları

Ön deneme karışımlarında ve araştırma deneylerinde 350 ve 400 kg/m³ nominal çimento dozajları kullanılmıştır. S/B oranı katkı oranına bağlı olarak hedeflenen çökme değerinin üzerinde çökme edilebilmek için yapılan ön deneyler sonucunda 0.38 olarak belirlenmiştir.

Beton karışımlarının hazırlanmasında 80 lt etkili kullanım kapasiteli (toplam kapasite 115 lt) düşey eksenli cebri karıştırıcı mikser kullanılmıştır. Cihaz, karışımların homojen olabilmesi için birbirine zıt ekseninde ve bağımsız olarak dönebilen, üst karıştırıcı ve alt kazan olarak bu çalışma için tasarlandı ve imal edildi.



Şekil 3.1. Betonların üretildiği betoniyer

Beton karışım hesaplamalarında çökme en az 160 mm, kimyasal katkı denemelerinde ise terleme olmaksızın en fazla çökme veren katkı tipi ve dozajı dikkate alınmıştır. Karışım suyu miktarında, kimyasal katkının katı ve sıvı oranına göre belirlenen sıvı miktarı azaltılmıştır. Bu nedenle çalışmanın bundan sonraki kısmında belirtilen kimyasal katkı oranı, kimyasal katkının katı oranıdır. Mineral katkıları ilave metodu ile karışıma katılmıştır. Mineral katkıları; çimento miktarının silis dumanı %10,

Uçucu kül (C ve F tipi) % 20, silis dumanı+uçucu kül %10+%10 oranlarında ilave metoduyla kullanılmıştır.

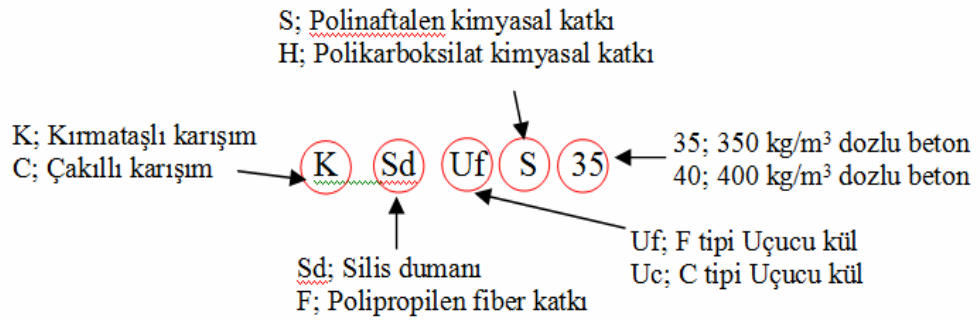
Uc: Çimentonun, %20 si oranında C tipi uçucu kül ilave edilen karışım (%20 Uc)

Uf: Çimentonun, %20 si oranında F tipi uçucu kül ilave edilen karışım (%20 Uf)

SdUc veya SdUf: Çimentonun, %10'u oranında uçucu kül + %10'u oranında silis dumanı eklenmiş karışım (%10 UK + %10 Sd)

Sd: Çimentonun, %10'u oranında silis dumanı eklenmiş karışım

Deneysel çalışmada uyulan planlama ve karışım bileşenleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Üretilen betonlara ait kodlama ise aşağıda belirtilmiştir.



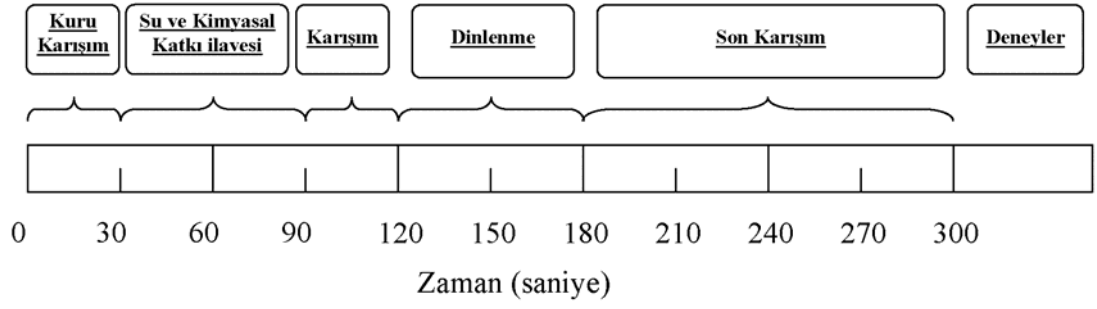
Şekil 3.2. Üretilen betonlara ait kodlama

Çizelge 3.2. Araştırma deneyleri karışım bileşenleri

1. Seri Beton	2. Seri Beton	Çimento Miktarı (kg/m ³)		Mineral Katkı Tipi			Kimyasal Katkı Tipi		Fiber Katkı
				Silis Dumanı	F tipi	C Tipi	Polinaftalen	Polikarboksilat	Polipropilen
		350	400		Uçucu Kül	Uçucu Kül			
KS35	CS35	+					+		
KSdS35	CSdS35	+		+			+		
KUfS35	CUfS35	+			+		+		
KUcS35	CUcS35	+				+	+		
KSdUfS35	CSdUfS35	+		+	+		+		
KSdUcS35	CSdUcS35	+		+		+	+		
KS40	CS40		+				+		
KSdS40	CSdS40		+	+			+		
KUfS40	CUfS40		+		+		+		
KUcS40	CUcS40		+			+	+		
KSdUfS40	CSdUfS40		+	+	+		+		
KSdUcS40	CSdUcS40		+	+		+	+		
KH35	CH35	+						+	
KSdH35	CSdH35	+		+				+	
KUfH35	CUfH35	+			+			+	
KUcH35	CUcH35	+				+		+	
KSdUfH35	CSdUfH35	+		+	+			+	
KSdUcH35	CSdUcH35	+		+		+		+	
KH40	CH40		+					+	
KSdH40	CSdH40		+	+				+	
KUfH40	CUfH40		+		+			+	
KUcH30	CUcH30		+			+		+	
KSdUfH40	CSdUfH40		+	+	+			+	
KSdUcH40	CSdUcH40		+	+		+		+	
KFS35*	CFS35*	+					+		+
KFS40*	CFS40*		+				+		+
KFH35*	CFH35*	+						+	+
KFH40*	CFH40*		+					+	+

Bu beton serileri Ø18 nervürlü, Ø14'lük düz ve nervürlü çelik çubuklarla ayrı ayrı üretilmiştir.

Karılma işlemi Şekil 3.2'de gösterildiği gibi, 30 s. kuru (iri agrega, ince agrega, bağlayıcı madde), 90 s. ıslak karışım (ilk 1 dk.'da su ve kimyasal katkı ilavesi), 60 s. dinlenme ve 120 s. son karışım olmak üzere toplam 300 s'de (5 dk.) yapılmıştır.



Şekil 3.3. Betonun karılma işlem aşamaları

3.3. Metot

350 ve 400 dozlu beton numuneleri Tübitak 104M568 No'lu projede belirlenmiş olan karışım hesaplarına uygun olarak üretilmiş, aşağıda belirtilen taze beton deneyleri (çökme, birim ağırlık) uygulanmış, hazırlanan donatılar taze beton kalıplanmadan önce kalıplara yerleştirilmiş ve beton üretildikten sonra kalıplanmıştır. Daha sonra deney numuneleri kirece doygun suda 28 gün bekletildikten sonra sertleşmiş beton üzerine aderans ve basınç deneyleri uygulanmıştır.



Şekil 3.4. Aderans deneyi uygulanmış ve uygulanmamış bazı numuneler

3.3.1. Çökme (Slump) Deneyi

Çalışmada üretilen her beton için çökme deneyi yapılmıştır. Taze beton, slump konisine üç tabaka halinde ve her tabaka koninin üçte birini dolduracak şekilde 25

kez şişlenerek yerleştirilmiştir. Beton yerleştirildikten sonra üst kısım mala ile düzeltilmiştir. Daha sonra doldurulan beton sarsılmadan koni yukarı doğru çekilerek alınmıştır. Beton kendi ağırlığıyla bir miktar çökünce çökme miktarı ölçülmüştür (TS EN 12350-2, 2002).

3.3.2. Birim Ağırlık Deneyi

Deneyde taze betonun birim ağırlık deneyi için, betoniyerde karılmış taze betonu iyi temsil edebilecek numune kullanılmasına dikkat edilmiştir. Deneyde kullanılan kaba, üç tabaka halinde beton doldurulmuştur. Her tabaka 25 kez şişlenmiş, her tabakanın şişlenmesinden sonra kabın kenarlarına 15 defa plastik çekiçle vurulmuştur. Sonrasında kabın üstü mala ile düzeltilmiş, kabın dışına taşan kısım temizlenmiştir. Numune tartıldıktan sonra, betonun net ağırlığının kabın hacmine bölünmesiyle taze betonun birim ağırlığı hesap edilmiştir.

Sertleşmiş betonun birim hacim ağırlığında ise, numuneler deneye tabi tutulmadan önce tartılmış, boyutlar ölçülmüş ve birim hacim ağırlık değerleri hesap edilmiştir.

3.3.3. Aderans Deneyi

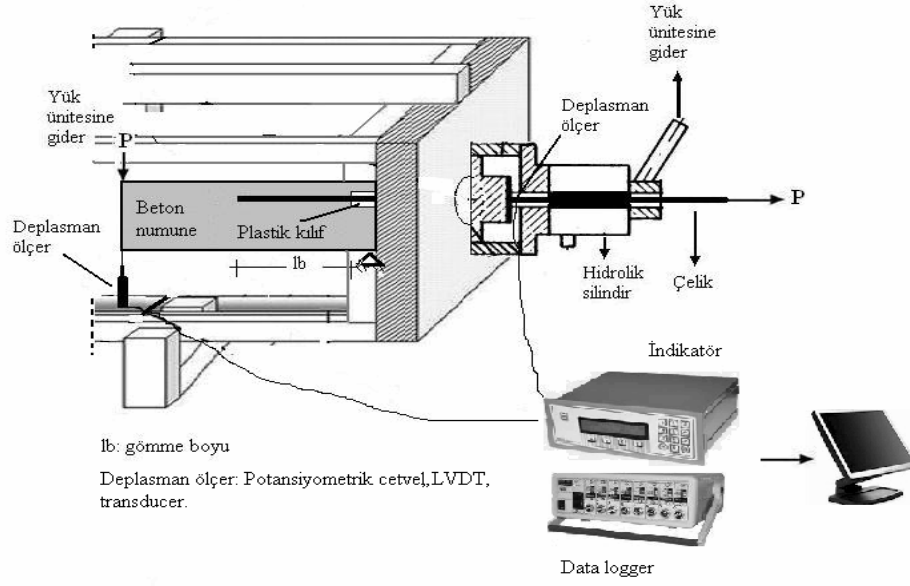
Aderans deneyleri 15x15x60 cm'lik boyutlardaki prizmatik numuneler içerisine gömülü olan donatıların 28 günlük beton numuneler üzerinde pull-out deneyi yapılmasıyla belirlenmiştir. Deneyin yapılmasında hidrolik pompaya bağlı hidrolik silindirden faydalanılmıştır.



Şekil 3.5. Aderans deney çerçevesi ve aderans deneyinin yapılışı

Deneyde kullanılan çerçeve, 106 M155 Sayılı TÜBİTAK Projesi kapsamında; Yrd. Doç. Dr. Kemal T. YÜCEL tarafından tasarlanmıştır.

Aderans Deney Çerçevesi, İÇTAGA049 (104I040) ve 106M155 sayılı TÜBİTAK Projeleri dahilinde hazırlanmıştır. Aderans Deney Aleti, Çelik Makine Firmasına yaptırılmıştır. Yükleme sistemi otomatik ve manuel olarak kumanda edilmektedir. Pull out deneyi için ortası boşluklu hidrolik silindir aparatın Piston Stroke mesafesi, 13cm ve maksimum yük kapasitesi 30 ton olarak imal edilmiştir. Aderans Deney Aletinin çerçeve kısmı pull-out test (Donatı filizi çekip, çıkartma deneyi) sistemine uygun olarak tasarlanmıştır. Deneysel çalışma sırasında, öncelikle donatı ankrajlı prizmatik numuneler, belirlenmiş aparatlar ile deney çerçevesine tespit ettirilir. Ayrıca, 0.002 hassasiyette ölçü verebilen, 100mm maksimum ölçü kapasiteli dijital komparatörler kullanılarak donatı uzama değerleri gözlemlenir. Deney öncesinde yük ve uzama değerleri sıfır yük değerleri olarak ayarlanır ve deney yükün numune üzerinde taşınabildiği nihai değer kadar devam eder. Deneysel çalışmalarda elde edilen deneysel değerler: çekme kuvvetleri ve uzama değerleri Aderans Deney Çerçevesinin data kaydedicileri tarafından zamana bağlı kayıt edilir.



Şekil 3.6. Deneysel ölçüm ekipmanının şeması

3.3.4. Basınç Dayanımı Deneyi

Üretilen her beton için 28 günlük basınç dayanım deneyleri $15 \times 15 \times 15$ cm boyutundaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Betonlar kalıplarından 24 saat sonra çıkarılarak 28. gün sonuna kadar $20 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki kirece doymuş suda bekletilmiş ve 28. gün sonunda basınç dayanımı deneyi yapılmıştır.

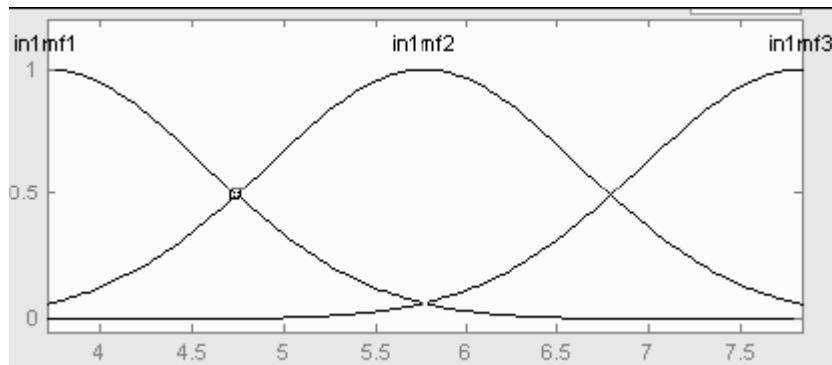
Çalışma kapsamında pull-out deneyleri yanı sıra, aderans dayanımını daha gerçekçi vermesi açısından kiriş elemanlar üzerinde eksantrik çekip çıkarma ve eğilmede aderans dayanımı da belirlenmiştir. Pull-out deneyleri sırasında donatı üzerinden aderans-kayma eğrileri belirlenmiştir. Eğilme deneyi esnasında betonun yük sehim eğrisi için beton numune üzerinden deplasman ölçer ile yer değiştirmeler alınmış ve indikatör vasıtasıyla data logger ünitesine ve oradan da bilgisayar ortamına aktararak gerekli veri alımları sağlanmıştır. Yine deney esnasında pull-out deneyine tabi tutulacak olan çelik üzerinden de deplasman ölçer vasıtasıyla veriler alınıp benzer şekilde aderans-kayma eğrileri belirlenmeye çalışılmıştır.

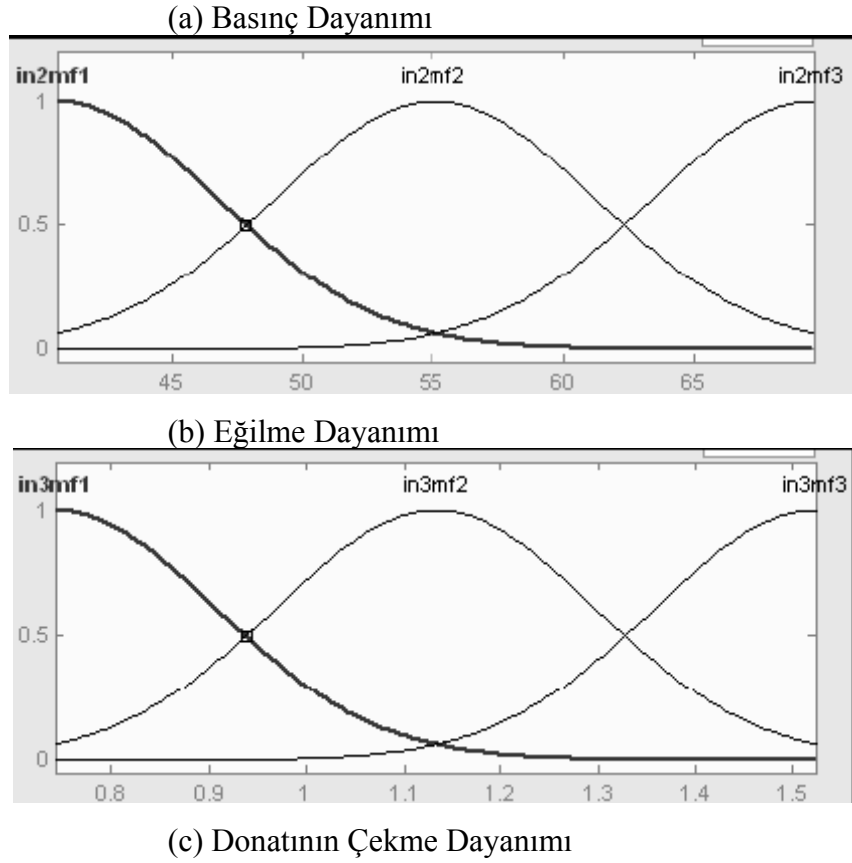


Şekil 3.7. Donatı sıyrıldıktan sonra numune kesit görünümü

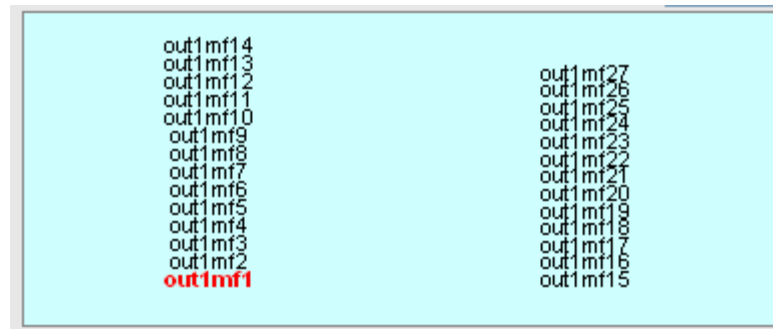
3.3.5. Modelleme

Elde edilen basınç, eğilme, çekme ve aderans verileri kullanılarak bu veriler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla bulanık mantık ile modelleme yapılmıştır. Bulanık mantığın özelliği olarak; girdi birimi olarak basınç, eğilme ve çekme dayanımı kullanılmış; çıktı birimi olarak da bu karakteristik özelliklerin aderansla ilişkisini belirlemek amacıyla aderans dayanımı kullanılmıştır. Verilerin kullanılmasında seri ayrımı gözetilmeksizin karakteristik özellikler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bulanık mantık ile modellemede girdi birimleri olan basınç dayanımı için üç adet; eğilme dayanımı ve donatının çekme dayanımı için sırasıyla üçer adet üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Çıktı birimi olan aderans dayanımı için ise yirmi yedi adet üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur.





Şekil 3.8. Basınç, eğilme ve donatının çekme dayanımı için oluşturulan üyelik fonksiyonları



Şekil 3.9. Aderans dayanımı için oluşturulan üyelik fonksiyonu

Üyelik fonksiyonları oluşturulduktan sonra girdi ve çıktı birimleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için aşağıdaki ifadeler ile sırasıyla Basınç-Eğilme-Aderans, Basınç- Donatının çekme dayanımı-Aderans ve Eğilme-Donatının çekme dayanımı-Aderans için kural tabanları oluşturulmuştur.

```
1. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) then (output is out1mf1) (1)
2. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf2) then (output is out1mf2) (1)
3. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf3) then (output is out1mf3) (1)
4. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf1) then (output is out1mf4) (1)
5. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf2) then (output is out1mf5) (1)
6. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf3) then (output is out1mf6) (1)
7. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf3) and (input3 is in3mf1) then (output is out1mf7) (1)
8. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf3) and (input3 is in3mf2) then (output is out1mf8) (1)
9. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf3) and (input3 is in3mf3) then (output is out1mf9) (1)
10. If (input1 is in1mf2) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) then (output is out1mf10) (1)
11. If (input1 is in1mf2) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf2) then (output is out1mf11) (1)
```

Şekil 3.10. Aderans dayanımı için oluşturulan kural tabanları

Elde edilen veriler arasındaki ilişki veri madenciliği (data mining) ile de değerlendirilmiştir. Büyük veritabanlarından gizli kalmış örüntüleri çıkarma sürecine veri madenciliği adı verilmektedir. Geleneksel yöntemler kullanılarak çözülmesi çok zaman olan problemlere veri madenciliği süreci kullanılarak daha hızlı bir şekilde çözüm bulunabilir. Veri madenciliğinin ana amacı elimizde bulunan veriden gizli kalmış örüntüleri (patterns) çıkarmak, elimizdeki verinin değerini arttırmak ve veriyi bilgiye dönüştürmektir. Veri madenciliği bir yöntem değildir bir süreçtir. Bu süreçte ana unsur süreci gerçekleştiren uygulamacıdır. Süreçte bulunan adımlar doğru olarak yerine getirilmediğinde istenilen sonuca ulaşamaz (Terzi vd., 2005).

Veri madenciliği sürecinin model kurma aşamasında, SPSS analizlerinde olduğu gibi deneysel olarak elde edilen ve hesaplarla bulunan veriler, girdi ve çıktı olarak düzenlenmiştir. WEKA programında var olan tüm algoritmalar bu veri dosyaları üzerinde sırayla çalıştırılmış ve en yüksek regresyon katsayısı veren beş algoritma için değerlendirilme yapılmıştır. Bu algoritmalar aşağıda belirtilmiştir.

Lineer regresyon (linear regression); lineer regresyon bir veya daha fazla bağımsız değişkenle, bağımlı bir değişken arasında ilişkiyi belirleyen matematiksel modeldir. Regresyon var olan (veya bilinen) değerlere göre gerekli değerlerin önceden tahmin edilmesinde kullanılır. Regresyon, lineer regresyon gibi standart istatistiksel tekniklerle kullanılır. Maalesef birçok durumda açık lineer ilişkiler üretilemez. Bu durumda daha kompleks teknikler (lojistik regresyon, karar ağaçları veya neürol network gibi) kullanılır.

Basit lineer regresyon (simple linear regression); bu model lineer regresyon modelinin geliştirilmiştir. Bağımlı değişken (çıkıtı veya tahmin edilen) ile bağımsız değişken (girdiler) arasında lineer olmayan dağılı ilişkisinin bulunması durumunda basit lineer model, basit lineer olmayan regresyon modeline dönüştürülmekte ve sonuçlar lineer model metodolojine göre veri analizi yapılmaktadır.

Sıralı (adımlı) regresyon (pace regression); klasik en küçük kareler yönteminin yalın ve geliştirilmiş halidir. Küme analizini kullanarak, her değişkenin etkilediği parametreye göre regresyona katkısı olanlarla model oluşturur.

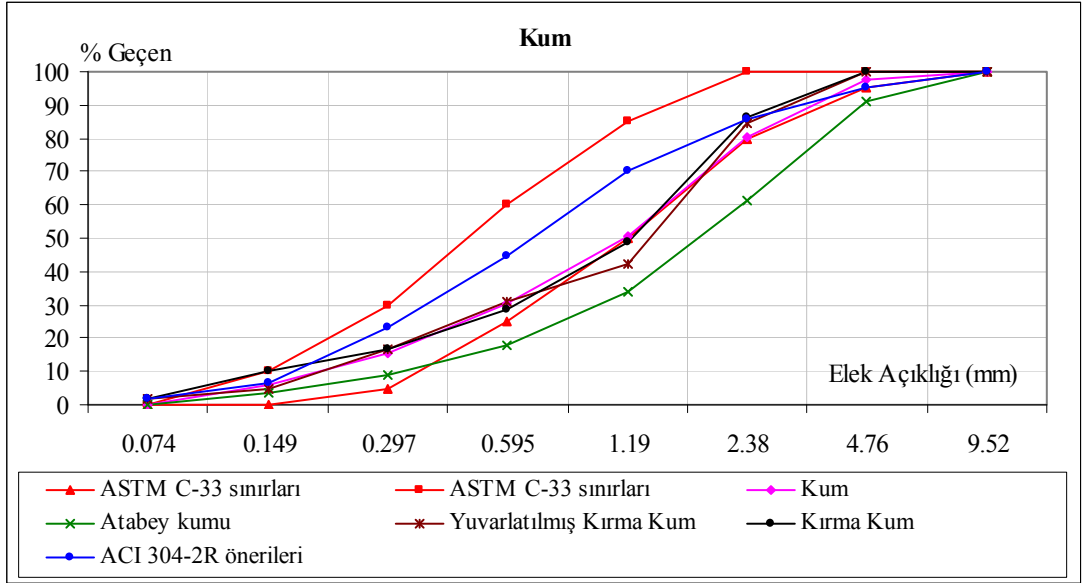
M5 kuralları (M5 Rules); tüm eğitim verilerine uygulanır, girdi ve çıkıtı arasında en yüksek ilgili veriler için kural oluşturur. Kural oluşturulan veriler gruptan çıkarılır ve kalanlar arasında tekrar kural oluşturulur. Tüm verileri kapsayan kurallar oluşturulduğunda işleme son verilir ve model oluşturulur. Kurduğu parçalı lineer modellerle, lineer olmayan fonksiyonları da kapsar. Kurulan modelde öğrenme ve sonuçlandırma, regresyon modellerine göre daha küçük birimlerden oluştuğu için karar verme mekanizmaları birçok değişkeni de kapsar.

En küçük medyan kareleri yöntemi (Least MedSq); en küçük kareler yönteminin geliştirilmiştir. En küçük kareler regresyon fonksiyonu, verilerin alt örneklemelelerinde rasgele üretilir. En küçük medyan kareleriyle en küçük kareler regresyonu, sonuç modelde hatayı daha da azaltır. Değerlendirmede deneysel olarak bulunan ve hesaplanan tüm verilerin %80'i model eğitimleri ve model oluşturulması için test veri seti olarak, %20'si ise analiz veri seti olarak (model oluşturulmasında kullanılmayan, elde edilen modellerin geçerliliğinin sınanması ve model sonuçları ile önceden bilinen veriler arasındaki regresyon katsayısının belirlenmesi için) iki gruba ayrılmıştır. Test verileri kullanılan WEKA programı tarafından, tüm deneyler arasından rasgele seçilmişmiş olmasına rağmen eğitim ve test verileri, tüm modellerde aynı seri betondan oluşmuştur. Örneğin KS40 bir model denemesinde eğitim verileri arasında ise diğer model denemesinde yine eğitim verilerinde kullanılmıştır (Yücel v.d., 2007).

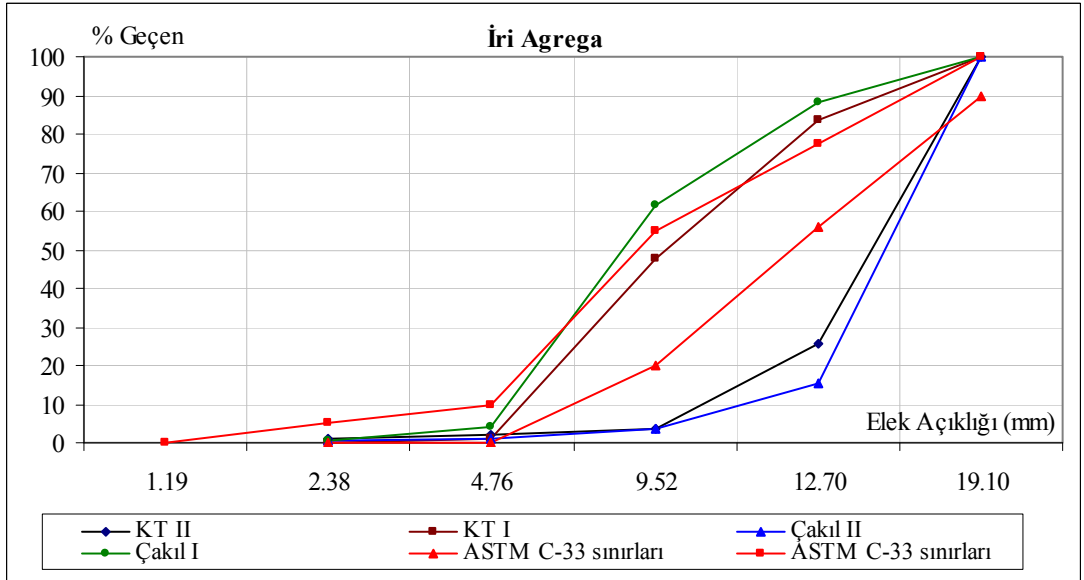
4. BULGULAR

4.1 Agregaların Granülometrik Özellikleri

Agregaların granülometrileri değerleri Şekil 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kum granülometrileri



Şekil 4.2. İri agrega granülometrileri

Şekil 4.1'den görüleceği gibi Atabey kumu, ASTM C 33 sınırları dışında kalmaktadır. Yuvarlatılmış kırma kum ve Kırma kum 1.19 eleğinde standart dışı kalmaktadır. Kırmataş I ve II, Çakıl I ve II ile karışımların incelik modüllerinin ayarlanabilmesi için dere kumu kullanılacaktır.

ACI 304 - 2R belgesinde belirtilen, kumun %15-30'unun 50 No (0.297 mm) ve %5-10'unun 100 No (0.149 mm) eleklerden geçmesi şartı; 100 No elek için $\cong 5.8$ ve 50 No elek için $\cong 15$ olarak hesaplanmış, istenen şartlar sağlanmıştır. Bununla birlikte çalışma hedeflerinde mineral katkılı betonlar da üretileceğinden, bu oranlar ilave edilen "Silis Dumanı" ve "Uçucu Kül" ile birlikte daha da uygun değerlere ulaşacaktır.

4.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Elde edilen tane yoğunluğu ve su emme değeri Çizelge 4.1'de, birim hacim kütle değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. İri ve ince agregaların tane yoğunlukları ve su emme oranları

	Bağıl Birim Hacim Kütle (Mg/m ³) *		Görünür Tane Yoğunluğu (Mg/m ³) *	Görünen Tane Yoğunluğu (Mg/m ³)**		Görünen Tane Yoğunluğu (Mg/m ³)**	Su Emme Oranı (%) Kütle oranı
	Etüv Kur.	YKSD		Etüv Kur.	YKSD		
KT I	2.74	2.77	2.81	2.74	2.76	2.80	0.81
KT II	2.68	2.69	2.72	2.67	2.69	2.72	0.60
Ç I	2.66	2.68	2.70	2.65	2.67	2.70	0.60
Ç II	2.66	2.68	2.70	2.66	2.67	2.69	0.50
Kum	2.33	2.42	2.56	2.33	2.42	2.56	1.27

* Deney sıcaklığında suyun yoğunluğu 1.00×10^3 kg/m³ varsayılarak hesaplanmıştır.

** Su sıcaklığı 20 °C'ye göre hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. İri ve ince agreganın sıkışık ve gevşek birim hacim kütleleri (yığın yoğunlukları, kg/m³)

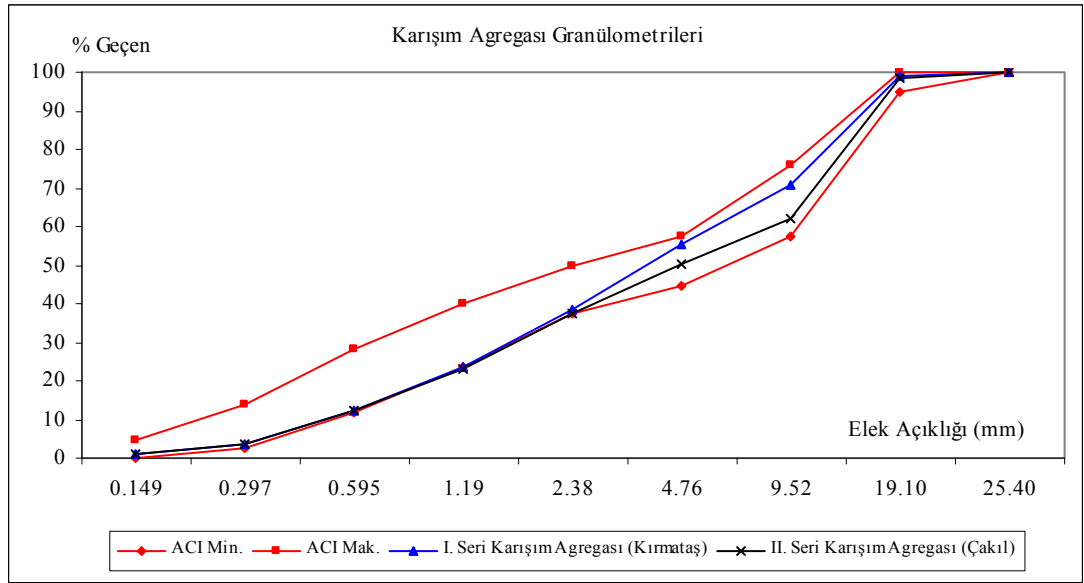
	Kum	KT II	KT I	Ç I	Ç II
Gevşek	1735	1519	1568	1645	1645
Sıkışık	1887	1607	1719	1680	1743

4.3. Karışım Agregalarının Oranları ve Granülometrileri

İri ve ince agreganın granülometrilerine göre hesaplanan agrega karışım oranları mutlak hacimce % olarak Çizelge 4.3’de, bu yüzdelere göre karışım agreganın granülometrik bileşimi ise Şekil 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.3. Agrega karışım oranları (%)

Agrega Türü	I. Seri İri Agrega (Salt Kırmataş)	II. Seri İri agrega (Çakıl+Kırmataş)
Kırmataş I	25	--
Kırmataş II	20	10
Çakıl I	--	20
Çakıl II	--	15
Kum	55	55



Şekil 4.3. I. ve II. Seri için karışım agregası granülometrisi ve sınır değerleri

4.4. Kimyasal Katkı

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere polinaftalen ve polikarboksilat esaslı toplam dokuz farklı akışkanlaştırıcı katkı ön deneylere tabi tutulmuştur. Çalışmada, bu katkılardan çimento ile en iyi uyum gösteren birer katkı, polinaftalen ve

polikarboksilat esaslı iki katkı kullanılmıştır. Katkıların özellikleri Çizelge 4.4’de görülmektedir.

Çizelge 4.4. Kimyasal katkının özellikleri

	S1	S2	S3	S4	H1	H2	H3	H4	H5
Bağlı Yoğunluk kg/l, 20°C	1.21	1.21	1.19	1.20	1.10	1.04	1.09	1.06	1.06
Katı madde (%)*	41.5	40.9	40.5	37.5	22.0	22.5	20.5	20.5	22.1
pH	6	8	7-9	6-10	3-7	5.7	6.5	7	8
İlgili Standart	ASTM C 494 Tip G	ASTM C 494 Tip F	EN 934-2 ASTM C 494 Tip F	ASTM C 494 Tip F ve TS EN 934-2	TS EN 934-2	NF-EN 934-2	NF-EN 934-2	NF-EN 934-2	NF-EN 934-2

105 °C’de 72 saat sonunda.

Kimyasal katkıları karışıma su ilavesinden sonra, karışım nemli toprak kıvamını kazandıktan sonra doğrudan ilave edilmiştir.

4.5. Çimento

Çimentonun özellikleri Çizelge 4.5’de görülmektedir.

Çizelge 4.5. Deneilerde kullanılan PÇ 42.5 R’nin özellikleri

Kimyasal analiz (% Kütle)												
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K.K.	Ç.K	Cl ⁻	S.CaO	A.Z		
17.52	4.06	3.45	56.56	1.66	2.44	2.99	0.24	0.001	1.35	3.41		
Karma Oksit Bileşenleri (Bogue) (%Kütle)												
C ₃ S			C ₂ S				C ₃ A		C ₄ AF			
54.57			8.26				4.92		10.49			
Fiziksel ve mekaniksel özellikler												
İncelik		Priz Süreleri (saat:dak.)		Tane Yoğ. (Mg/m ³)	Blaine (m ² /kg)	Le Chatelier (mm)	Mukavemet Değerleri (N/mm ²)					
200 µ	90 µ	Başlangıç	Bitiş				2 gün		7 gün		28 gün	
2.5	0.1	2s 55dk	3s 45dk	3.12	311	1	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç	Eğilme	Basınç
							4.4	28.2	6.1	43.2	7.1	53.1

4.6. Silis Dumanı

Silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Silis dumanının görünen tane yoğunluğu 2.10 (2.04) Mg/m³'tür. İnceliği; 90 µ altı % 16.4, 200 µ altı % 39.2'dir.

Çizelge 4.6. Silis dumanının (FeSi) kimyasal özellikleri

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	S+A+F	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	TiO ₂
77.06	0.84	1.28	79.17	0.73	5.70	0.21	5.16	1.19	3.21	0.03
Rut %= 1.11				Kızdırma kaybı			Tayin edilemeyen			
Alkali Top= 6.35				0.74			1.46			

4.7. Uçucu Küller

Uçucu küllerin kimyasal özellikleri ve görünür tane yoğunlukları Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

ASTM C 618 standardı, uçucu küllerinde elde edildikleri kömürün özelliğine göre de sınıflandırmaktadır. İncelenen uçucu küllerden Çatalağzı uçucu külü taşkömürünün yakılmasından elde edildiği için F sınıfı, diğerleri linyit kömürünün yakılmasından elde edildiği için C sınıfı uçucu küldür.

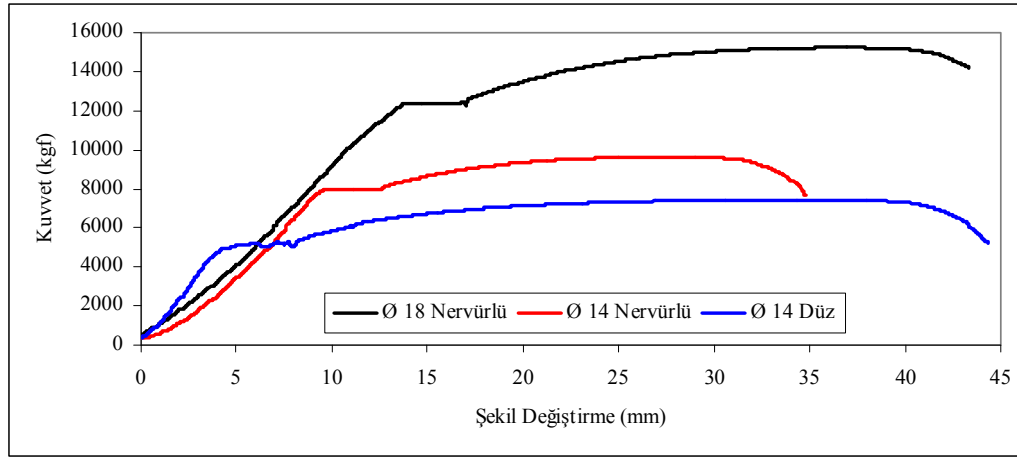
Bu nedenle çalışmanın bundan sonraki kısmında F tipi olarak Çatalağzı, C tipi olarak ise Seyitömer uçucu külü kullanılacaktır. F tipi uçucu kül için; 90 µ altı incelik % 2.8, 200 µ altı incelik % 15.7 ve blaine 2580 cm²/gr'dır. C tipi uçucu kül için; 90 µ altı incelik % 2.9, 200 µ altı incelik % 12.3 ve blaine 5230 cm²/gr'dır.

Çizelge 4.7. Uçucu küllerin kimyasal özellikleri ve görünen tane yoğunlukları

Oksit (%)	TS EN 450	TS EN 197-1		TS 639	ASTM C 618		Çatalağzı	Seyitömer	Tunçbilek	Çayırhan	Değerlendirme
		V	W		F	C					
SiO ₂							57.5	54.38	57.98	50.18	
Al ₂ O ₃							25.53	20.6	19.87	13.30	
Fe ₂ O ₃							6.01	11.16	10.14	8.77	
S+A+F				> 70.00	> 70.00	> 50.00	89.04	86.14	87.99	72.26	TS 639 ve ASTM C 618' e uygun
CaO							1.15	2.92	2.26	12.84	
MgO				< 5.00			2.45	4.13	4.76	5.37	Çayırhan hariç diğerleri TS 639' a uygun
SO ₃	< 3.00			< 5.00	< 5.00	< 5.00	0.18	0.59	0.41	3.34	TS 639 ve ASTM C 618' e uygun, Çayırhan hariç diğerleri TS EN 450'ye uygun
K ₂ O							4.66	3.15	1.78	2.16	
Na ₂ O							0.46	0.79	0.32	2.99	
KK	< 5.00	< 5.00	< 5.00	< 10.00	< 6.00	< 6.00	1.12	3.01	2.115	0.86	Tüm Standartlara Uygun
Cl-	< 0.10						0.015	0.006	0.002	0.014	TS EN 450'ye uygun
Serb. CaO	< 1.00						0.13	0.26	0.16	0.56	TS EN 450'ye uygun
Reak. SiO ₂	> 25.00	> 25.00	> 25.00				34.18	39.01	40.06	40.89	TS EN 450'ye ve TS EN 197-1'e uygun
Reak. CaO		< 10.00	> 10.00				0.65	2.49	1.03	8.78	TS EN 197-1'e göre Küllerin hepsi V Sınıfı
Cr ₂ O ₃							0.02	0.06	0.11	0.03	
TiO ₂							1.19	0.89	1	0.72	
Rut %							0.31	0.35	0.18	0.20	
Alkali Top							5.12	3.93	2.10	5.14	
Görünen tane yoğunluğu (Mg/m ³)							2.00	2.13	2.25	2.36	

4.8. Çalışmada Kullanılan Çelik Donatılar

Deneysel çalışmalarda kullanılan çelik donatının çekme deneyi sonrası elde edilen, gerilme şekil değiştirme eğrisi Şekil 4.4'de, bu çelik donatılara ait akma, çekme, uzama ve elastisite modülü değerleri ise Çizelge 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Kullanılan çelik donatıların gerilme şekil değişirme grafiği

Çizelge 4.8. Kullanılan çelik donatıların özellikleri

Donatı Çapı	Akma		Çekme		Kopma uzama oranı (%)	E (kgf/mm ²)
	Kgf	MPa	kgf	Mpa		
Ø 18 N	12347	486	15231	599	21.7	20416
Ø 14 N	7936	523	9618	634	21.4	19013
Ø 14 D	4976	314	7422	469	31.1	21917

4.9 Araştırma Deneylerinin Beton Karışımları

Araştırma deneylerinde kullanılan beton karışımların, bileşenlerinin karışımdaki ağırlıkları Çizelge 4.9 – 4.10’da verilmiştir. Üretilen betonlar için kullanılan kimyasal katkı oranları gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Kırmataşlı serilerin, karışım bileşenleri ve 1 m³ için ağırlıkları (kg)

Beton Serisi	Çimento	Kırmataş I	Kırmataş II	Kum	Su	Silis Dumanı	Uçucu Kül	Fiber	Kimyasal Katkı
K1H30	300	535.7	417.2	1035.7	114.0				5.4
K1SdH30	300	519.3	404.4	1003.9	125.4	30			3.3
K1UfH30	300	500.5	389.7	967.5	136.8		60		3.5
K1UcH30	300	501.6	390.6	969.6	136.8		60		3.7
K1SdUfH30	300	501.0	390.1	968.4	136.8	30	30		3.5
K1SdUcH30	300	501.6	390.6	969.6	136.8	30	30		3.5
K1H35	350	513.8	400.1	993.3	133.0				1.8
K1SdH35	350	493.0	383.9	953.0	146.3	35			1.9
K1UfH35	350	471.0	366.8	910.5	159.6		70		2.1
K1UcH35	350	472.1	367.6	912.6	159.6		70		2.7

Çizelge 4.9. Devamı

K1SdUfH35	350	471.6	367.2	911.7	159.6	35	35		2.1
K1SdUcH35	350	472.3	367.8	913.1	159.6	35	35		2.1
K1FH35	350	512.3	398.9	990.3	133.0			0.600	3.5
K1H40	400	490.0	381.5	947.1	152.0				1.2
K1SdH40	400	466.2	363.0	901.2	167.2	40			1.3
K1UfH40	400	441.1	343.5	852.8	182.4		80		1.4
K1UcH40	400	442.5	344.6	855.4	182.4		80		1.9
K1SdUfH40	400	441.7	343.9	853.8	182.4	40	40		1.6
K1SdUcH40	400	442.5	344.6	855.4	182.4	40	40		1.6
K1FH40	400	489.5	381.2	946.3	152.0			0.600	1.2
K1S30	300	531.3	413.7	1027.1	114.0				13.7
K1SdS30	300	512.8	399.3	991.3	125.4	30			15.0
K1UfS30	300	493.3	384.1	953.5	136.8		60		16.4
K1UcS30	300	492.5	383.5	952.2	136.8		60		19.9
K1SdUfS30	300	493.8	384.5	954.5	136.8	30	30		16.4
K1SdUcS30	300	494.4	385.0	955.7	136.8	30	30		16.4
K1S35	350	511.8	398.6	989.4	133.0				5.4
K1SdS35	350	490.8	382.2	948.8	146.3	35			6.0
K1UfS35	350	468.6	364.9	905.9	159.6		70		6.5
K1UcS35	350	470.1	366.1	908.8	159.6		70		6.5
K1SdUfS35	350	469.6	365.6	907.7	159.6	35	35		5.9
K1SdUcS35	350	469.9	365.9	908.4	159.6	35	35		6.5
K1FS35	350	510.5	397.5	986.8	133.0			0.600	7.0
K1S40	400	488.4	380.3	944.2	152.0				4.0
K1SdS40	400	464.5	361.7	898.0	167.2	40			4.4
K1UfS40	400	439.3	342.1	849.2	182.4		80		4.8
K1UcS40	400	441.0	343.4	852.5	182.4		80		4.8
K1SdUfS40	400	440.5	343.0	851.5	182.4	40	40		3.8
K1SdUcS40	400	440.8	343.2	852.1	182.4	40	40		4.8
K1FS40	400	488.0	380.0	943.3	152.0			0.600	4.0

Çizelge 4.10. Çakıllı serilerin, karışım bileşenleri ve 1 m³ için ağırlıkları (kg)

Beton Serisi	Çimento	Kırmataş II	Çakıl I	Çakıl II	Kum	Su	Silis Dumanı	Uçucu Kül	Fiber	Kimyasal Katkı
C1H30	300	209.3	416.0	312.3	1039.0	114.0				2.7
C1SdH30	300	202.3	402.1	301.9	1004.3	125.4	30			2.9
C1UfH30	300	194.9	387.4	290.9	967.6	136.8		60		3.3
C1UcH30	300	195.4	388.5	291.7	970.2	136.8		60		3.2
C1SdUfH30	300	195.1	387.9	291.2	968.7	136.8	30	30		3.2
C1SdUcH30	300	195.4	388.4	291.6	969.9	136.8	30	30		3.2
C1H35	350	200.1	397.7	298.6	993.3	133.0				1.8
C1SdH35	350	192.1	381.9	286.7	953.9	146.3	35			1.2
C1UfH35	350	183.4	364.6	273.7	910.5	159.6		70		2.1
C1UcH35	350	184.0	365.7	274.6	913.4	159.6		70		2.1
C1SdUfH35	350	183.6	365.0	274.0	911.7	159.6	35	35		2.1
C1SdUcH35	350	183.9	365.6	274.5	913.1	159.6	35	35		2.1
C1FH35	350	199.9	397.4	298.3	992.4	133.0			0.600	1.8
C1H40	400	190.8	379.3	284.8	947.4	152.0				1.0

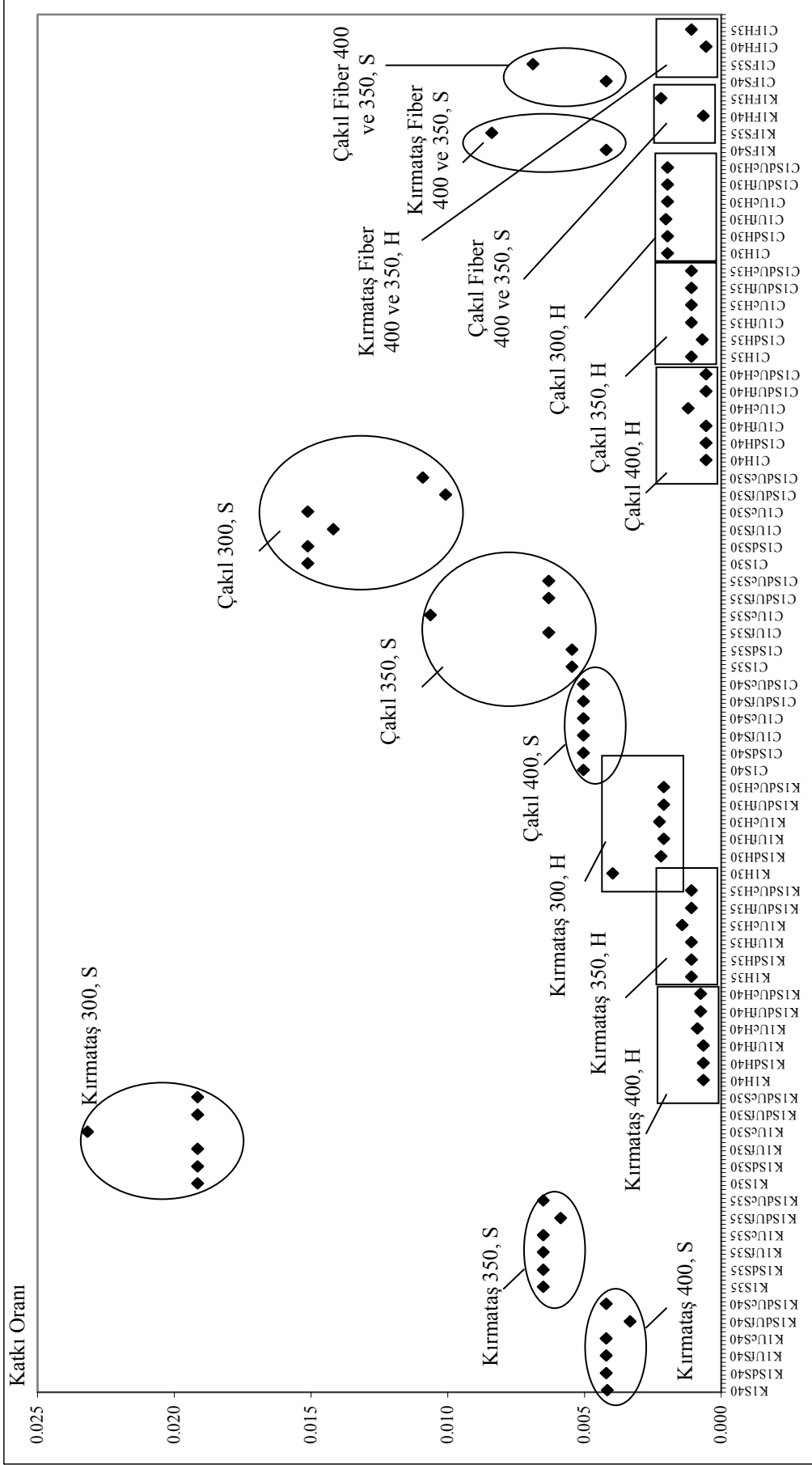
Çizelge 4.10. Devamı

C1SdH40	400	181.6	361.0	271.0	901.5	167.2	40			1.1
C1UfH40	400	171.8	341.6	256.4	853.1	182.4		80		1.2
C1UcH40	400	172.1	342.2	256.9	854.6	182.4		80		2.6
C1SdUfH40	400	172.1	342.1	256.8	854.3	182.4	40	40		1.2
C1SdUcH40	400	172.4	342.7	257.3	856.0	182.4	40	40		1.2
C1FH40	400	190.6	379.0	284.5	946.5	152.0			0.600	1.0
C1S30	300	207.5	412.5	309.7	1030.3	114.0				10.8
C1SdS30	300	200.4	398.3	299.0	994.8	125.4	30			11.9
C1UfS30	300	193.0	383.7	288.0	958.2	136.8		60		12.2
C1UcS30	300	193.3	384.3	288.5	959.8	136.8		60		13.0
C1SdUfS30	300	194.0	385.6	289.5	963.1	136.8	30	30		8.6
C1SdUcS30	300	194.1	385.8	289.6	963.5	136.8	30	30		9.4
C1S35	350	199.5	396.5	297.7	990.4	133.0				4.6
C1SdS35	350	191.3	380.3	285.5	949.8	146.3	35			5.0
C1UfS35	350	182.5	362.8	272.4	906.1	159.6		70		6.3
C1UcS35	350	182.1	362.0	271.8	904.2	159.6		70		10.6
C1SdUfS35	350	182.7	363.3	272.7	907.2	159.6	35	35		6.3
C1SdUcS35	350	183.0	363.8	273.2	908.7	159.6	35	35		6.3
C1FS35	350	199.0	395.7	297.1	988.2	133.0			0.600	5.7
C1S40	400	190.0	377.7	283.6	943.3	152.0				4.8
C1SdS40	400	180.7	359.2	269.6	897.0	167.2	40			5.3
C1UfS40	400	170.8	339.6	255.0	848.2	182.4		80		5.8
C1UcS40	400	171.5	340.9	255.9	851.4	182.4		80		5.8
C1SdUfS40	400	171.1	340.1	255.3	849.4	182.4	40	40		5.8
C1SdUcS40	400	171.4	340.8	255.8	851.1	182.4	40	40		5.8
C1FS40	400	190.0	377.7	283.6	943.3	152.0			0.600	4.0

Çimento dozajının azalması ile çökme değeri azalmış, gerekli akışkanlaştırıcı kimyasal katkı oranları arttırılmıştır. Şahit betona göre mineral ve fiber katkılı betonların 5. dk. çökme değerleri elde edilirken, kimyasal katkı oranı % 46-120 oranında değiştirilirmiş, bu betonlardaki çökme değişimleri %26-33 arasında olmuştur. Kimyasal katkı oranındaki en büyük değişim C1UcH40 betonunda olmasına karşılık, en yüksek katkı oranındaki artışlar düşük çimento dozajlı fiberli betonlarda ve yüksek çimento dozajlı Uc içeren betonlarda yapılmıştır. Silis dumanı ve Uf içeren betonlarda çökme değerleri aynı katkı oranında şahit betona göre daha yüksektir. Belirlenen kimyasal katkı oranları ve buna bağlı olarak, mineral katkısız betonun 5. dk. çökme yüksekliğine (çökme deneyinin) göre değişimler Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Üretilen betonların, kimyasal katkı oranı ve çökme (slump) değerlerindeki değişimleri

Seri Adı	Katkı Oranı Değişimi (%)	Çökme Değeri Değişimi (%)	Seri Adı	Katkı Oranı Değişimi (%)	Çökme Değeri Değişimi (%)
C1S40	0.00	0.00	K1S40	0.00	0.00
C1SdS40	0.00	-4.08	K1SdS40	0.78	2.13
C1UfS40	0.00	-4.08	K1UfS40	0.78	-10.64
C1UcS40	0.00	-26.53	K1UcS40	0.78	-6.38
C1SdUfS40	0.00	-2.04	K1SdUfS40	-19.88	-6.38
C1SdUcS40	0.00	-6.12	K1SdUcS40	0.78	-14.89
C1FS40	-16.67	-6.12	K1FS40	0.78	-19.15
C1S35	0.00	0.00	K1S35	0.00	0.00
C1SdS35	0.00	2.50	K1SdS35	0.00	10.53
C1UfS35	15.38	5.00	K1UfS35	0.00	5.26
C1UcS35	94.62	15.00	K1UcS35	0.00	21.05
C1SdUfS35	15.38	10.00	K1SdUfS35	-9.68	13.16
C1SdUcS35	15.38	7.50	K1SdUcS35	0.00	15.79
C1FS35	26.15	-10.00	K1FS35	29.03	-5.26
C1S30	0.00	0.00	K1S30	0.00	0.00
C1SdS30	0.00	21.05	K1SdS30	0.00	5.00
C1UfS30	-6.11	23.68	K1UfS30	0.00	10.00
C1UcS30	0.00	23.68	K1UcS30	21.05	15.00
C1SdUfS30	-33.33	21.05	K1SdUfS30	0.00	15.00
C1SdUcS30	-27.78	18.42	K1SdUcS30	0.00	20.00
C1H40	0.00	0.00	K1H40	0.00	0.00
C1SdH40	0.00	-10.64	K1SdH40	0.00	-15.56
C1UfH40	0.00	-6.38	K1UfH40	0.00	2.22
C1UcH40	120.0	-19.15	K1UcH40	31.67	0.00
C1SdUfH40	0.00	-10.64	K1SdUfH40	14.33	0.00
C1SdUcH40	0.00	-23.40	K1SdUcH40	14.33	-2.22
C1FH40	0.00	-6.38	K1FH40	0.00	-6.67
C1H35	0.00	0.00	K1H35	0.00	0.00
C1SdH35	-36.00	-13.95	K1SdH35	0.00	13.89
C1UfH35	0.00	13.95	K1UfH35	0.00	30.56
C1UcH35	0.00	-13.95	K1UcH35	30.00	16.67
C1SdUfH35	0.00	11.63	K1SdUfH35	0.00	22.22
C1SdUcH35	0.00	6.98	K1SdUcH35	0.00	11.11
C1FH35	0.00	2.33	K1FH35	100.0	16.67
C1H30	0.00	0.00	K1H30	0.00	0.00
C1SdH30	0.00	30.56	K1SdH30	-44.44	18.42
C1UfH30	3.37	33.33	K1UfH30	-46.67	21.05
C1UcH30	0.00	16.67	K1UcH30	-42.78	26.32
C1SdUfH30	0.00	27.78	K1SdUfH30	-46.67	10.53
C1SdUcH30	0.00	33.33	K1SdUcH30	-46.67	15.79



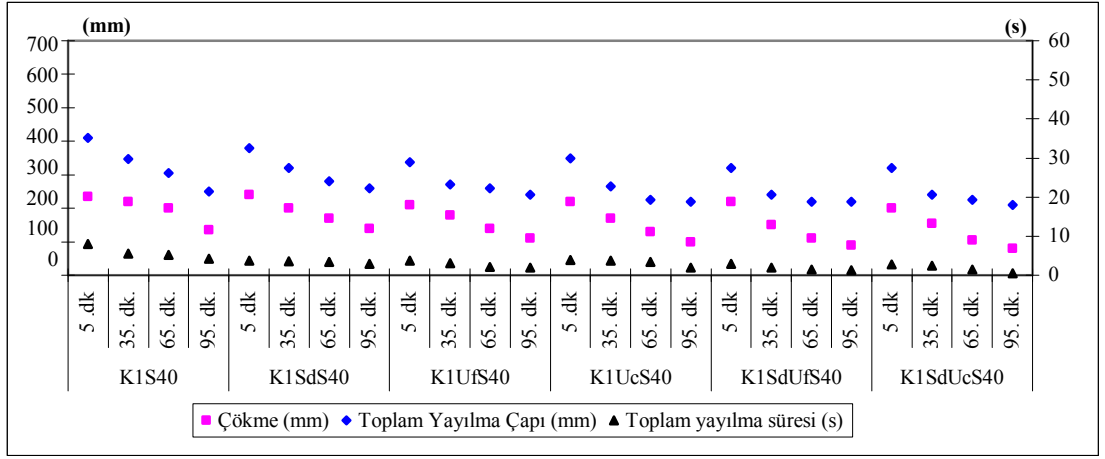
Şekil 4.5. Karışım serileri ve kullanılan kimyasal katkı oranları (katı oranı)

4.10. Çökme deneyi sonuçları

Çökme deneyinden elde edilen verilerin zamanla değişimi Şekil 4.6 - 4.18'de verilmiştir. Ön denemeler sonucunda kimyasal katkı oranı, terlemenin olmaması ön şartı ile başlangıç çökmelerini 160 mm üzerinde olacak şekilde belirlenmiştir. Şekillerden görüleceği gibi genel olarak başlangıç ölçüm (5. dk.) değerleri ölçülen tüm veriler için zamanla azalmaktadır.

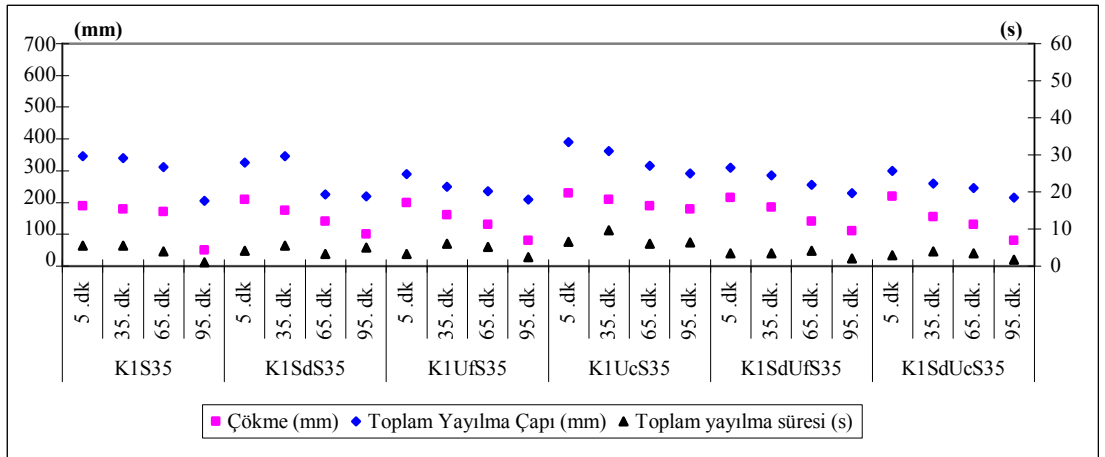
Tüm serilerin başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (245 mm) C1S40 (kimyasal katkı oranı 0.005) ile C1UfH35 (kimyasal katkı oranı 0.0011) betonlarından, yayılma çapı (630 mm) ve yayılma süresi (60 s.) C1UfH30 betonundan (kimyasal katkı oranı 0.002), en düşük; çökme (180 mm) K1H35-C1UcS40-C1SdUcH40-C1H30-KFS35 ile CFS35 betonlarından, yayılma süresi (1.0 s.) C1SdUcH40 betonundan, yayılma çapı (240 mm) C1UfS30 betonundan elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 100) ve yayılma süresindeki azalma (% 100), C1UcH40-C1SdUcH40 ve C1H30 betonlarından, yayılma çapındaki azalma (% 51.2) C1FH35 betonun, en düşük; çökme kaybı (% 4.3) K1UcS30 ve yayılma süresindeki azalma (% 1.5) K1UcS35 betonun, yayılma çapındaki azalma (% 1.2) ise K1SdUcH30 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.

K1S40 beton serisinde (Şekil 4.6) başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (240 mm) K1SdS40 betonundan, yayılma çapı (410 mm) ve yayılma süresi (8 s.) K1S40 betonundan, en düşük; çökme (200 mm) ve yayılma süresi (2.7 s.) K1SdUcS40 betonundan, yayılma çapı (320 mm) K1SdUcS40 ve K1SdUfS40 betonundan, elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 60) ve yayılma süresindeki azalma (% 81.5) K1SdUcS40 betonun, yayılma çapındaki azalma (% 39) K1S40 betonun, en düşük; çökme kaybı (% 41.7) ve yayılma süresindeki azalma (% 18.9) K1SdS40 betonun, yayılma çapındaki azalma (% 39) ise K1UfS40 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.



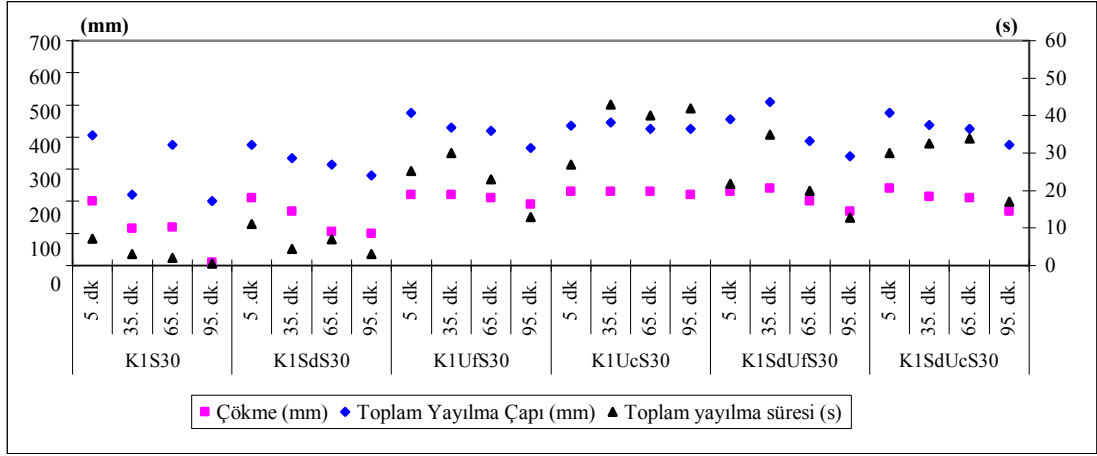
Şekil 4.6. KIS40 serisi betonların çökme deney sonuçları

K1S35 beton serisinde (Şekil 4.7) başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (230 mm), yayılma çapı (390 mm) ve yayılma süresi (6.5 s.) K1UcS35 betonundan, en düşük; çökme (190 mm) K1S35 betonundan, yayılma süresi (3.3 s.) ve yayılma çapı (290 mm) K1UfS35 betonundan elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 73.7), yayılma süresindeki azalma (% 82.1) ve yayılma çapındaki azalma (% 40.6) K1S35 betonun, en düşük; çökme kaybı (% 21.7), yayılma süresindeki azalma (% 1.5) ve yayılma çapındaki azalma (% 25) ise K1UcS35 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.



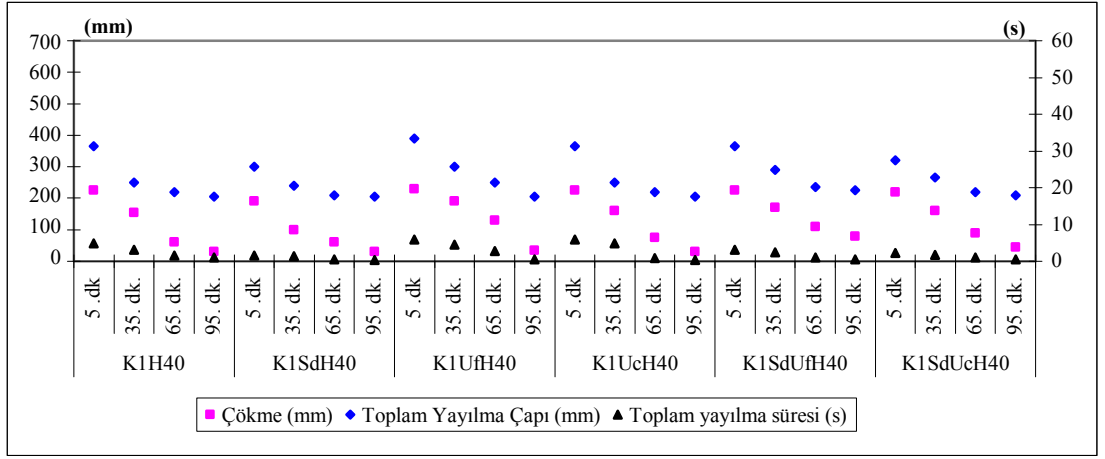
Şekil 4.7. KIS35 serisi betonların çökme deney sonuçları

K1S30 beton serisinde (Şekil 4.8) başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (240 mm) K1SdUcS30 ve yayılma süresi (30 s.) betonundan, yayılma çapı (475 mm) K1UfS30 ve K1SdUcS30 betonlarından, en düşük; çökme (200 mm) ve yayılma süresi (7.2 s.) K1S30 betonundan, yayılma çapı (375 mm) K1SdS30 betonundan elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 95), yayılma süresindeki azalma (% 50.6) ve yayılma çapındaki azalma (% 93.1) K1S30 betonunun, en düşük; çökme kaybı (% 4.3) K1UcS30 betonunun, yayılma süresindeki azalma (% 41.7) K1SdUfS30 betonunun ve yayılma çapındaki azalma (% 2.3) ise K1UcS30 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.



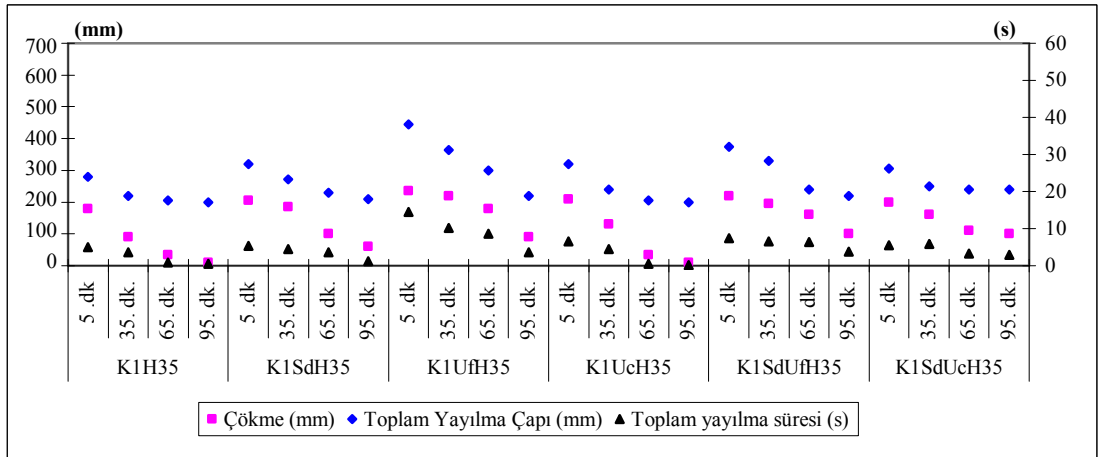
Şekil 4.8. KIS30 serisi betonların çökme deney sonuçları

K1H40 beton serisinde (Şekil 4.9) başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (230 mm) ve yayılma çapı (390 mm) K1UfH40 betonundan, yayılma süresi (5.9 s.) K1UfH40 ve K1UcH40 betonlarından, en düşük; çökme (190 mm), yayılma süresi (1.6 s.) ve yayılma çapı (300 mm) K1SdH40 betonundan elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 86.7) K1H40 ve K1UcH40 betonlarının, yayılma süresindeki azalma (% 93.2) K1UcH40 betonunun ve yayılma çapındaki azalma (% 47.4) K1UfH40 betonunun, en düşük; çökme kaybı (% 64.4) K1SdUfH40 betonunun, yayılma süresindeki azalma (% 78.3) K1SdUcH40 betonunun ve yayılma çapındaki azalma (% 31.7) ise K1SdH40 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.



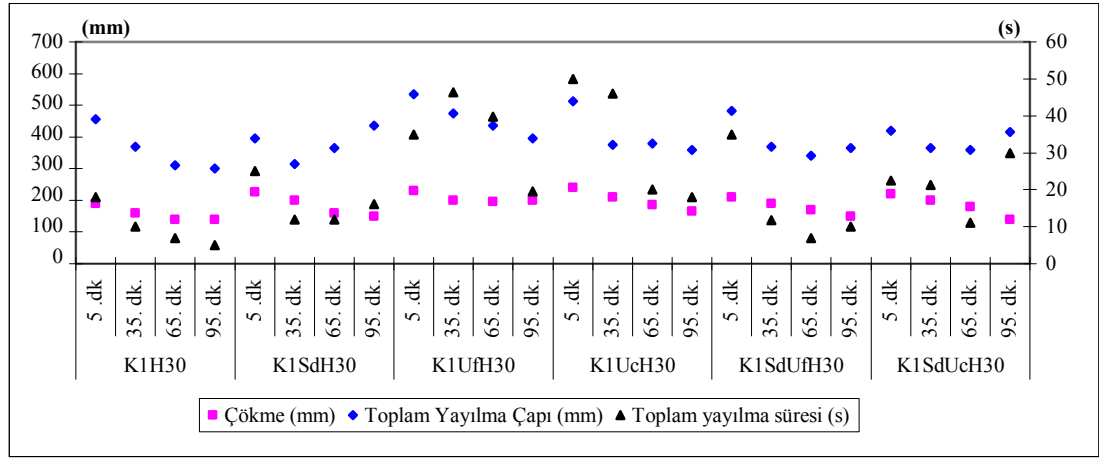
Şekil 4.9. KIS40 serisi betonların çökme deney sonuçları

K1H35 beton serisinde (Şekil 4.10) başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (235 mm), yayılma çapı (445 mm) ve yayılma süresi (14.5 s.) K1UfH35 betonundan, en düşük; çökme (180 mm), yayılma süresi (5 s.) ve yayılma çapı (280 mm) K1H35 betonundan elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 94.4) K1H35 betonunun, yayılma süresindeki azalma (% 96.9) K1UcH35 betonunun, yayılma çapındaki azalma (% 50.6) K1UfH35 betonunun, en düşük; çökme kaybı (% 50), yayılma süresindeki azalma (% 45.5) ve yayılma çapındaki azalma (% 21.3) ise K1SdUcH35 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.



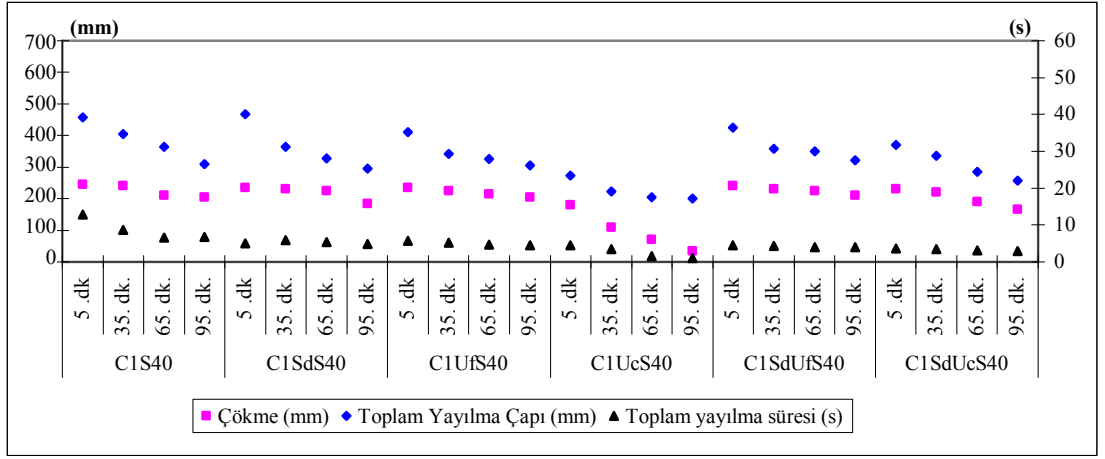
Şekil 4.10. KIH35 serisi betonların çökme deney sonuçları

K1H30 beton serisinde (Şekil 4.11) başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (240 mm) K1UcH30 betonundan, yayılma çapı (535 mm) K1UfH30 betonundan, yayılma süresi (50 s.) K1UcH30 betonundan, en düşük; çökme (190 mm) ve yayılma süresi (18 s.) K1H30 betonundan, yayılma çapı (395 mm) K1SdH30 betonundan elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 36.4) K1SdUcH30 betonunun, yayılma süresindeki azalma (% 72.2) ve yayılma çapındaki azalma (% 34.1) K1H30 betonunun, en düşük; çökme kaybı (% 13) K1UfH30 betonunun, yayılma süresindeki azalma (% 33.3) ve yayılma çapındaki azalma (% 1.2) ise K1SdUcH30 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.



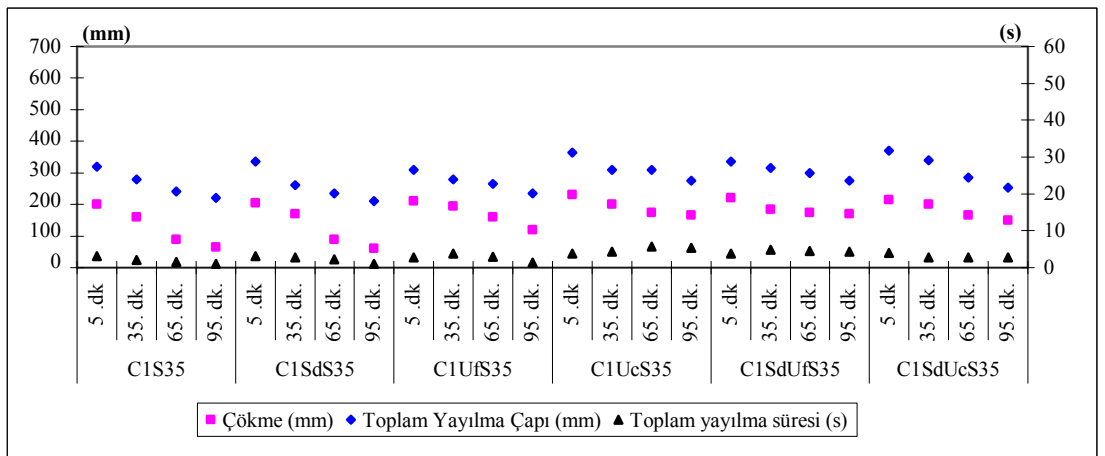
Şekil 4.11. K1H30 serisi betonların çökme deney sonuçları

C1S40 beton serisinde (Şekil 4.12) başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (240 mm) C1SdUfS40 betonundan, yayılma çapı (468 mm) C1SdS40 betonundan, yayılma süresi (12.9 s.) C1S40 betonundan, en düşük; çökme (180 mm), yayılma süresi (4.5 s.) C1UcS40 ve C1SdUfS40 betonlarından, yayılma çapı (273 mm) C1UcS40 betonundan elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 80.6) ve yayılma süresindeki azalma (% 77.8) C1UcS40 betonunun, yayılma çapındaki azalma (% 36.9) C1SdS40 betonunun, en düşük; çökme kaybı (% 12.5) C1SdUfS40 betonunun betonun, yayılma süresindeki azalma (% 3.9) C1SdS40 betonunun ve yayılma çapındaki azalma (% 24.1) ise C1SdUfS40 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.



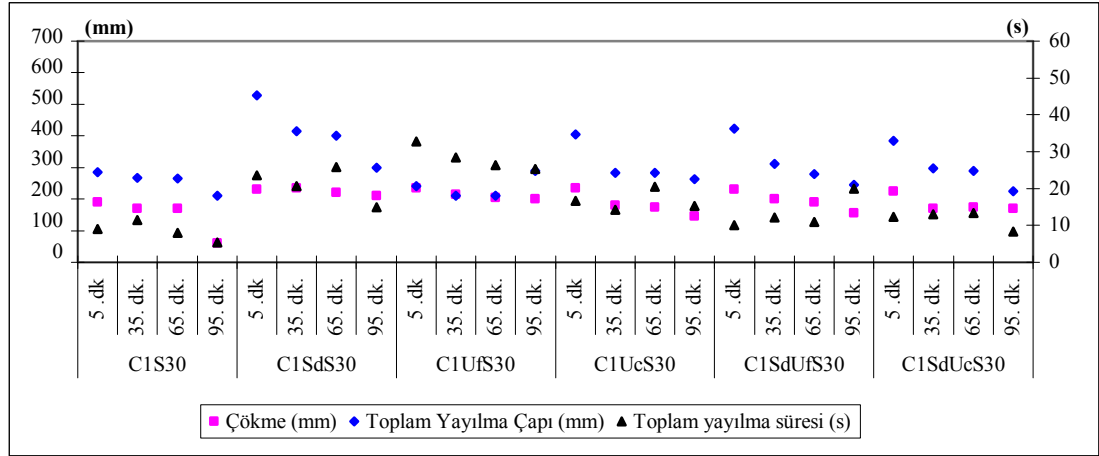
Şekil 4.12. CIS40 serisi betonların çökme deney sonuçları

C1S35 beton serisinde (Şekil 4.13) başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (230 mm) C1UcS35 betonundan, yayılma çapı (370 mm) ve yayılma süresi (4 s.) C1SdUcS35 betonundan, en düşük; çökme (200 mm) C1S35 betonundan, yayılma süresi (2.8 s.) ve yayılma çapı (310 mm) C1UfS35 betonundan elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 70.7), yayılma süresindeki azalma (% 68.8) ve yayılma çapındaki azalma (% 37.3) C1SdS35 betonunun, en düşük; çökme kaybı (% 22.7), yayılma süresindeki azalma (% 10.3) ve yayılma çapındaki azalma (% 17.9) ise C1SdUfS35 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.



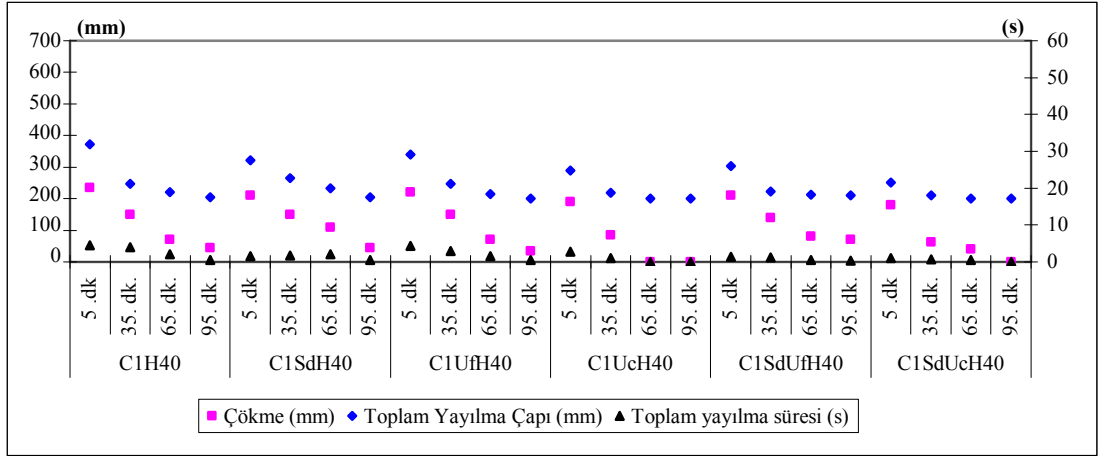
Şekil 4.13. CIS35 serisi betonların çökme deney sonuçları

C1S30 beton serisinde (Şekil 4.14) başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (235 mm) C1UfS30 ve C1UcS30 betonlarından, yayılma çapı (528 mm) C1SdS30 betonundan, yayılma süresi (32.7 s.) C1UfS30 betonundan, en düşük; çökme (190 mm), yayılma süresi (9.1 s.) ve yayılma çapı (285 mm) C1S30 betonundan elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 68.4) C1S30 betonunun, yayılma süresindeki azalma (% 98.1) C1SdUfS30 betonunun ve yayılma çapındaki azalma (%43.1) C1SdS30 betonunun, en düşük; çökme kaybı (% 7.8) C1SdS30 betonunun, yayılma süresindeki azalma (% 9.8) C1SdUcS30 betonunun ve yayılma çapındaki azalma (% 20.8) ise C1UfS30 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.



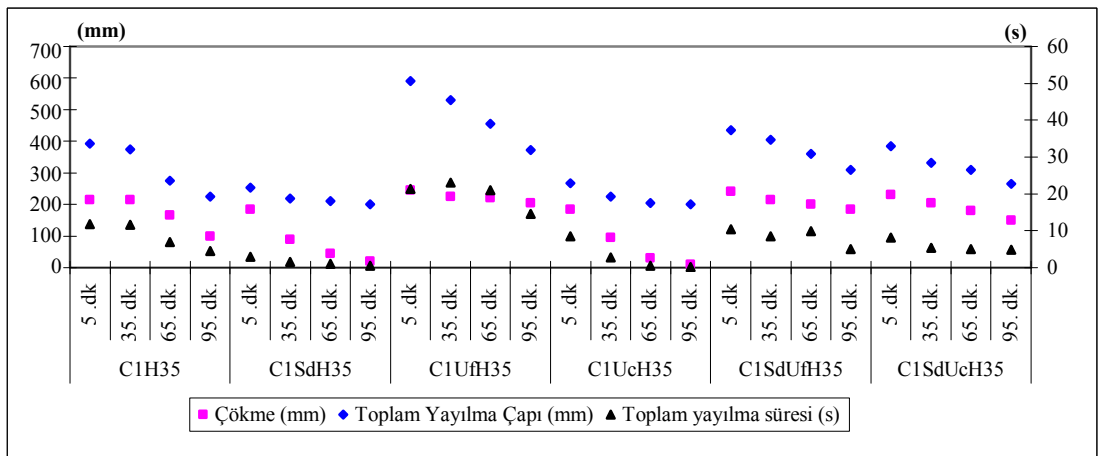
Şekil 4.14. CIS30 serisi betonların çökme deney sonuçları

C1H40 beton serisinde (Şekil 4.15) başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (235 mm), yayılma çapı (373 mm) ve yayılma süresi (4.5 s.) C1H40 betonundan, en düşük; çökme (180 mm) C1SdUcH40 betonundan, yayılma süresi (1.6 s.) C1SdH40 betonundan, yayılma çapı (250 mm) C1SdUcH40 betonundan elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 100) ile yayılma süresindeki azalma (% 100) C1UcH40 betonunun ve yayılma çapındaki azalma (% 45) C1H40 betonunun, en düşük; çökme kaybı (% 66.7) C1SdUfH40 betonunun, yayılma süresindeki azalma (% 68.8) C1SdH40 betonunun ve yayılma çapındaki azalma (% 20) ise C1SdUcH40 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.



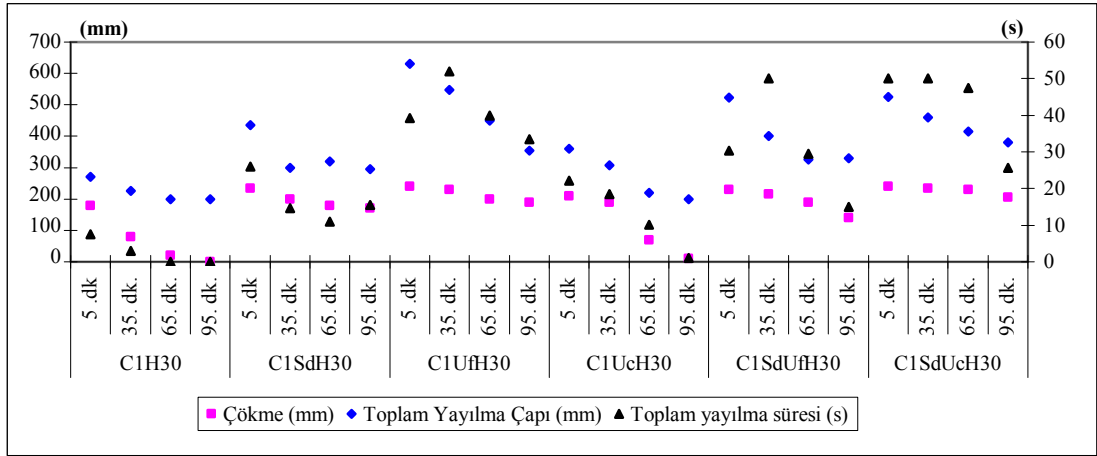
Şekil 4.15. CIS40 serisi betonların çökme deney sonuçları

C1H35 beton serisinde (Şekil 4.16) başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (245 mm), yayılma çapı (590 mm) ve yayılma süresi (21.3 s.) C1UfH35 betonundan, en düşük; çökme (185 mm) C1SdH35 ve C1UcH35 betonlarından, yayılma süresi (2.8 s.) ve yayılma çapı (253 mm) C1SdH35 betonundan elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 94.6) ile yayılma süresindeki azalma (% 97.6) C1UcH35 betonunun ve yayılma çapındaki azalma (% 36.9) C1UfH35 betonunun, en düşük; çökme kaybı (% 16.3) ile yayılma süresindeki azalma (% 31.9) C1UfH35 betonunun ve yayılma çapındaki azalma (% 20.8) ise C1SdH35 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.



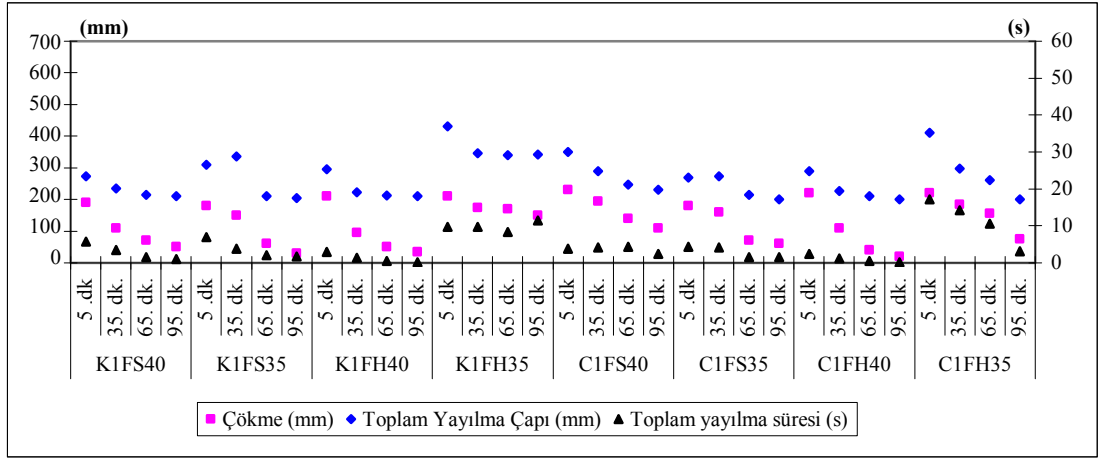
Şekil 4.16. CIH35 serisi betonların çökme deney sonuçları

C1H30 beton serisinde (Şekil 4.17) başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (240 mm) C1UfH30 ve C1SdUcH30 betonlarından, yayılma çapı (630 mm) C1UfH30 betonundan, yayılma süresi (50 s.) C1SdUcH30 betonundan, en düşük; çökme (180 mm), yayılma süresi (7.5 s.) ve yayılma çapı (270 mm) C1H30 betonundan elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 100) ile yayılma süresindeki azalma (% 100) C1H30 betonunun ve yayılma çapındaki azalma (% 44.4) C1UcH30 betonunun, en düşük; çökme kaybı (% 14.6) C1SdUcH30 betonunun, yayılma süresindeki azalma (% 14.8) C1UfH30 betonunun ve yayılma çapındaki azalma (% 25.9) ise C1H30 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.



Şekil 4.17. C1H30 serisi betonların çökme deney sonuçları

Fiber katkılı betonlarda (Şekil 4.18) başlangıç değerleri (5. dk.) dikkate alındığında en fazla; çökme (230 mm) C1FS40 betonundan, yayılma çapı (430 mm) K1FH35 betonundan, yayılma süresi (17.1 s.) C1FH35 betonundan, en düşük; çökme (180 mm) K1FS35 betonundan, yayılma süresi (2.4 s.) C1FH40 betonundan, yayılma çapı (270 mm) C1FS35 betonundan elde edilmiştir. Başlangıca göre en büyük; çökme kaybı (% 90.9) C1FH40 betonunun, yayılma süresindeki azalma (% 93.3) K1FH40 betonunun ve yayılma çapındaki azalma (% 51.2) C1FH35 betonunun, en düşük; çökme kaybı (% 28.6), yayılma süresindeki azalma (% 18.6) ve yayılma çapındaki azalma (% 20.3) K1FH35 betonunun 95. dk.'sında ölçülmüştür.



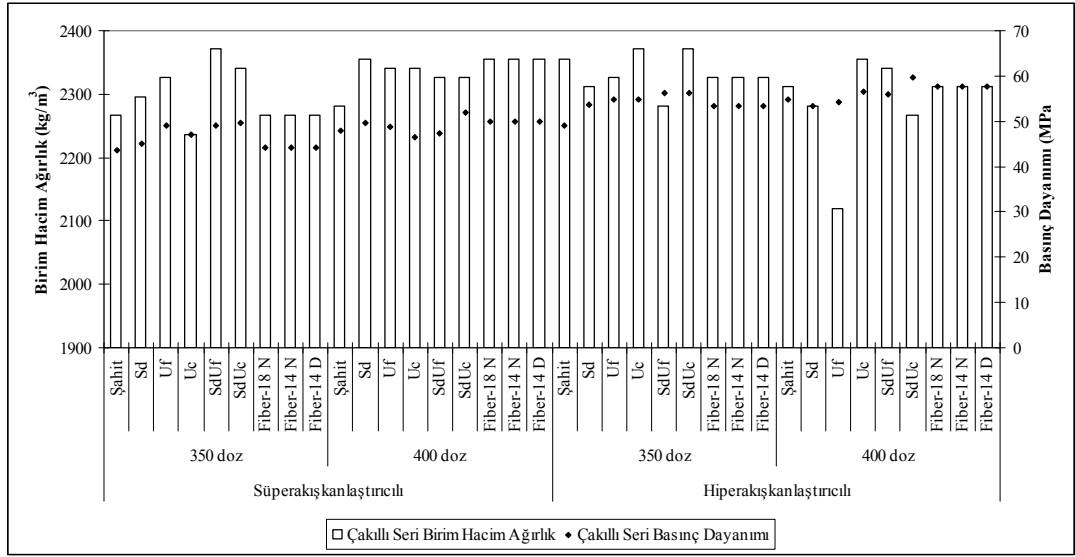
Şekil 4.18. Fiber katkılı betonların çökme deney sonuçları

4.11. Birim Hacim Ağırlık ve Basınç Dayanımı Sonuçları

Üretilen betonların sertleşmiş birim hacim ağırlık değerleri ile basınç dayanımı değerleri, çakıllı beton serisi için Şekil 4.19'de, kırmataşlı seri için Şekil 4.20'de verilmiştir.

Çakıllı beton serisinde en yüksek birim hacim ağırlık değeri CSdUfS35, CUcH35, CSdUcH35 betonlarından (2370 kg/m^3), en düşük CUfH40 betonundan (2119 kg/m^3) elde edilmiştir. Yine çakıllı beton serisinde en yüksek basınç dayanımı CSdUcH40 betonundan (59.7 MPa) elde edilmişken, en düşük CS35 betonundan (43.6 MPa) elde edilmiştir.

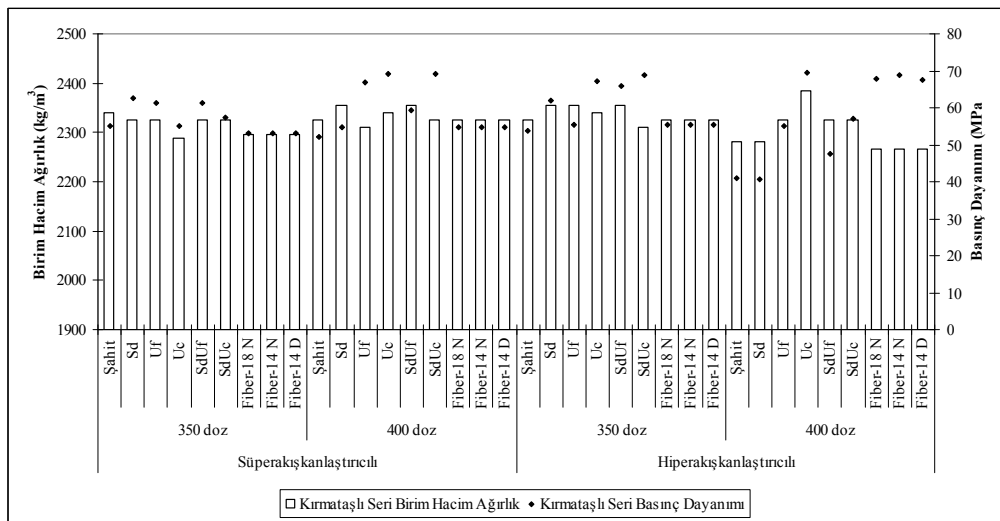
Çakıllı betonlara en yüksek basınç kuvveti CFH40 (5270 kgf; 80 mm) betonundan elde edilmiştir. En düşük basınç kuvveti CFS35 (3403 kgf) betonundan elde edilmiştir.



Şekil 4.19. Çakıllı beton serisi birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı sonuçları

Kırmataşlı betonlara en yüksek basınç kuvveti KFH40 (6520 kgf) betonundan. En düşük basınç kuvveti KFS35 (3566 kgf) betonundan elde edilmiştir.

Kırmataşlı beton serisinde en yüksek birim hacim ağırlık değeri KUcH40 betonundan (2385 kg/m^3), en düşük KFH40 betonundan (2267 kg/m^3) elde edilmiştir. Yine kırmataşlı beton serisinde en yüksek basınç dayanımı KUcH40 betonundan (69.6 MPa) elde edilmişken, en düşük KSdH40 betonundan (40.6 MPa) elde edilmiştir.

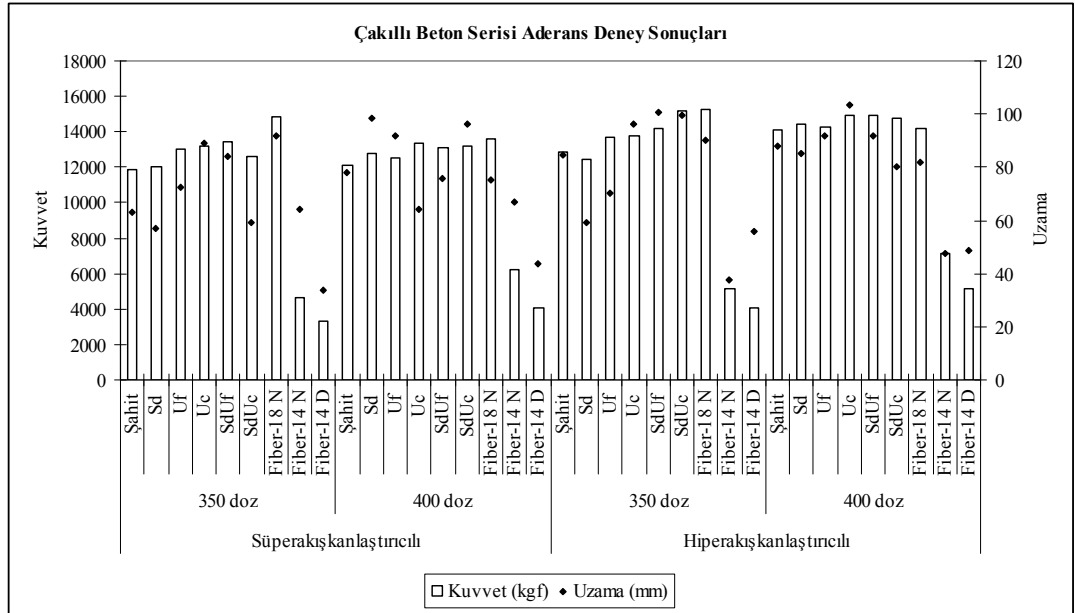


Şekil 4.20. Kırmataşlı beton serisi birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı sonuçları

4.12. Aderans Deneyi Sonuçları

Aderans deney sonuçları çakıllı betonlar için Şekil 4.21, kırmataşlı betonlar için Şekil 4.22’de verilmiştir.

Çakıllı beton serisinde en yüksek aderans kuvveti CFH35 betonundan (15297 kgf), donatının beton içinden sıyrılması olarak ölçülen en yüksek uzama değeri CUcH40 (103.2 mm) betonundan ölçülmüştür. En düşük aderans kuvveti ve uzama (donatı sıyrılması) CFS35 (3310 kgf ve 33.5 mm) betonundan elde edilmiştir.



Şekil 4.21. Çakıllı beton serisi aderans deneyi sonuçları

Kırmataşlı beton serisinde en yüksek aderans kuvveti KSdUfH35 betonundan (17102 kgf), en yüksek uzama değeri KSdUcH35 (143.2 mm) betonundan ölçülmüştür. En düşük aderans kuvveti ve uzama KFS35 (4833 kgf ve 9.5 mm) betonundan elde edilmiştir.

AF: Aderans kuvveti (kgf),

AU: Aderansda uzama (mm),

AEF: Aderanslı eğilmede kuvvet (kgf),

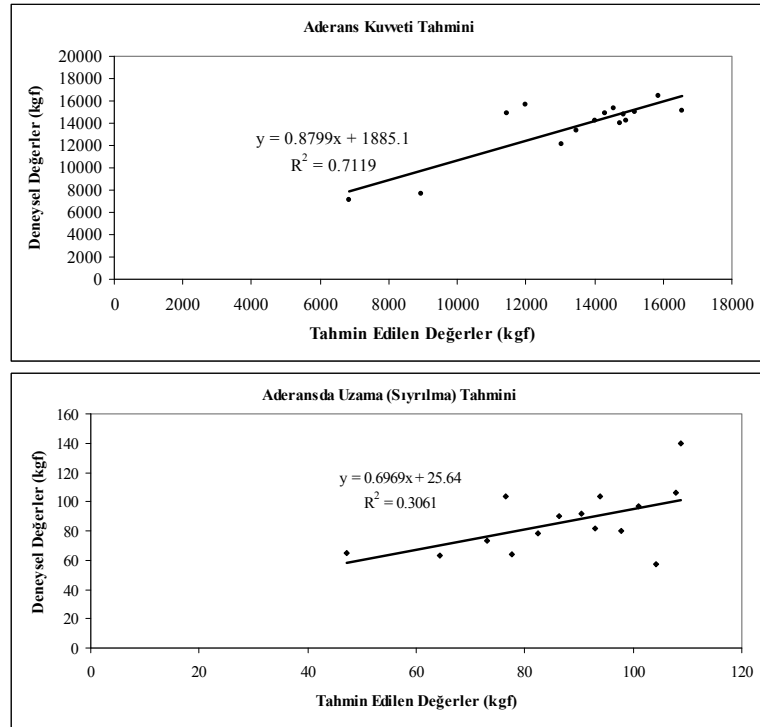
AES: Aderanslı eğilmede sehim (mm),

BD: Basınç dayanımı (MPa),

ED: Eğilme dayanımı (MPa),

CCF: Donatının çekme kuvveti (kgf)

Yapılan analiz sonucunda en yüksek korelasyon katsayısı elde edilen modeller ile, modellerin kurulmasında kullanılmamış (% 20 veri) deney sonuçları tahmin edilmeye çalışılmış ve deneysel olarak elde edilen sonuçlar ile modeller sonucunda elde edilen tahmini değerler aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.23. Aderans deneyi çıktıları (kuvvet, uzama) ve model çıktıları arasında ilişki

Çakıllı ve Kırmataşlı serilerin aderans deneyleri için Kuvvet-Uzaman ve Basınç Dayanımı-Aderans Kuvvet değişim grafikleri eklerde sunulmuştur.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yukarıdaki çalışmalar ışığında projeden çıkarılan sonuçlar aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

- Kimyasal katkı kullanımıyla, şahit betonun içerisine ilave edilen uçucu kül ve silis dumanı, betonun çökme ve çökmede yayılmasını arttırmak suretiyle betonun işlenebilirliğini de arttırdığı gözlemlenmiştir.
- Betona ilave edilen uçucu kül tipinin betonun işlenebilirliğine önemli derecede bir etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. F tipi küllerin betonun işlenebilirliği üzerindeki etkisi C tipine göre daha yüksektir.
- Mineral katkıların betona ilave edilmesiyle betonun küp basınç dayanımı ve buna bağlı olarak beton sınıfı yükselmiştir. Basınç dayanımı üzerinde F tipi Çatalağzı uçucu külünün daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.
- Sd, Uc ve Uf tipi mineral katkılı betonların basınç ve aderans dayanımları şahit betonlara göre yüksek çıkmıştır. Yine fiber katkılı betonlarda bahsedilen dayanım değerleri şahit betonlara göre yüksektir.
- Basınç dayanımı-çekme dayanımı ve aderans dayanımı arasındaki ilişki birlikte incelendiğinde basınç dayanımının artmasıyla birlikte aderans dayanımı daha önce belirtildiği gibi artış göstermiştir. Basınç dayanımı yüksek olan betonların çekme dayanımları da yüksektir. Dolayısıyla basınç dayanımının artmasıyla birlikte betonların çekme dayanımlarının da arttığı görülmektedir. Her iki parametrenin artmasıyla birlikte aderans dayanımı da artış göstermiştir.
- Aderans kuvvetinin belirlenmesinde, oluşturulan veri madenciliğinden elde edilen model sonuçları ile deneysel çalışmalar arasında ilişki elde edilmiş olup ($R^2: 071$), modelin güvenilirlik derecesi yüksek olmasına karşılık uzama (sıyrılma) sonucunda ilişki düşüktür.
- Aderans dayanımı üzerinde betonun basınç mukavemeti ve donatının çekme mukavemetinin büyük bir etkisinin olduğu görülmüş ve ampirik bir bağıntıyla ifade edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Akman M.S., 1992. “Deniz yapılarında beton teknolojisi”, İTÜ, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Offset Matbaası, İstanbul. s. 74-105.
- Akman, M.S., Yücel, K.T., 1996. Effects of Cement – High Range Water Reducer – Fly Ash Ternary System on Concrete Workability. 4th International Conference on ConcFrete Technology for Developing Countries, Gazimagusa.
- Aktürk, H., Korukoğlu, S., 2008. Madenciligi Teknolojisini Kullanarak Fiyat Değişimlerinde Paralellik Gösteren Hisse Senetlerinin Bulunması Ve Risk Azaltılması. Akademik Bilişim 2008, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, 6s.
- Arda, T. S. 1968. Betonarmede Aderans Konusunda Bir Derleme. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 5 s.
- ASTM C 219, 1993. “Standard Terminology Relating to Hydraulic Cement”.Annual Book of ASTM Standards, p. 5, USA.
- ASTM C 125, 1994. Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 29, 1997. “Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate”, Annual Book of ASTM Standards, p. 4, USA.
- ASTM C128, 1997. “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate”, Annual Book of ASTM Standards, p. 5, USA.
- ASTM C 618, 2000. “Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete”, Annual Book of ASTM Standards, p. 4, USA.
- ASTM C127, 2001. “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate”, Annual Book of ASTM Standards, p. 5, USA.
- ASTM C33, 2002. “Standard Specification for Concrete Aggregates”, Annual Book Of ASTM Standards, p. 8, USA.
- Atis, C.D., 2002. Heat evolution of high-volume fly ash concrete, Cement and Concrete Research 32, 751–756.

- Bakis, C. E., Uppuluri, V. S., Nanni, A., Boothby, T. E., 1998. "Analysis of Bonding Mechanisms of Smooth and Lugged FRP Rods Embedded in Concrete", *Composites Science and Technology*, 58, 1307-1319
- Banthia, N., Yan, N. ve Bindiganalive, V. (2000). Development and Application of High Performance Hybrid Fiber Reinforced Concrete. Fifth RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes (FRC), Lyon, France.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2002. Betonarme yapılarda kalıcılık (durabilite). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 298, 263s. İzmir.
- Bazant, Z.P., and Planas, J., 'Fracture and size effect in concrete and other quasibrittle materials', CRC press, Boca Raton and London 616 (1998).
- Betterman, L. R., Ouyang, C. ve Shah, S. P. (1995). Fiber-Matrix Interaction in Microfiber-Reinforced Mortar, *Advanced Cement Based Materials*, 2, 53-61.
- Bozalioğlu, D., 2007. Minimum Koşulların Bindirmeli Ekler Açısından İncelenmesi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 121s, Ankara.
- Campione C., Cucchiara C., Mendola L.L., Papia M., "Steel-concrete bond in lightweight fiber reinforced concrete under monotonic and cyclic actions", *Engineering Structures* 27 (2005) 881-890.
- Celep, Z., Kumbasar, N., 1998) Betonarme Yapılar. Sema Matbaacılık, İstanbul, 47s.
- Chamberlin, S.J., 1952. Spacing of Spliced Bars in Tension Pull-Out Specimens, *ACI Materials Journal*, Iowa, 49:291-274
- Çolak A., "Parametric study of factors affecting the pull-out strength of steel rods bonded into precast concrete panels", *International Journal of Adhesion & Adhesives* 21 (2001) 487-493.
- Daniel, J.I., Roller, J.J., Anderson, E.D., 1998. Polymeric Fiber Reinforced Concrete. Fiber Reinforced Concrete. (Portland Cement Association), 22-33, Illinois.
- Daniel, J.I., 1998. Types of Fiber Reinforced Concrete. Fiber Reinforced Concrete. (Portland Cement Association), 2-3, Illinois.
- Dadone, P., 2001. "Design Optimization of Fuzzy Logic Systems", Virginia Polytechnic Institute and State University, Electrical Engineering, Doctoral Thesis.

- Demirel, B., Yazıcıoğlu, Salih., 2007. Silis Dumanının Karbon Fiber Takviyeli Hafif Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11-1, 2007, 103-109.
- Duyar, O. (2006). Kendiliğinden yerleşen betonlar, Hazır Beton, Yıl:13 Mart-Nisan 25-27.
- Ersoy, U., Özcebe, G., 2001. Betonarme: temel ilkeler, TS-500-200 ve Türk deprem yönetmeliğine (1998) göre hesap. Evrim yayınevi, No:2, 816s. İstanbul.
- Ekinci, C.E., Yeğinobalı, A., 1996. S'ilis Dumanı Katkılı Betonların Çarpma Dayanımı". 4. Ulusal Beton Kongresi. (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), 25-33, Maya Basın Yayın, İstanbul.
- Erdoğan, T.Y., 1997. Admixures for Concrete, Middle East Technical University, 188 s Ankara.
- Erdoğan, Ş., Kurbetci, Ş., 2003. Farklı Firma Ürünü Su İndirgeyici Katkı Maddelerinin Normal Dayanımlı Beton Üretiminde Etkin Kullanımı. Çimento ve Beton Dünyası, Yıl:7, Sayı:42, 40-47, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- Ersoy, U., Özcebe, G., 2004. Betonarme, Evrim yayın evi Ankara, 721s
- Felekoğlu, B., Türkel, S., 2004. Yükleme Hızının Beton Basınç Dayanımına ve Elastisite Modülüne Etkisi, Cilt 6, 65-75.
- Ferguson, P.M., Bren, E.J., Thompson, N.J., 1965. 'Pullout Tests on High Strength Reinforcing Bars', ACI Materials Journal, 62(8):132-146. 1965
- Guo, J., Cox J.V., "Implementation of a plasticity bond model for reinforced Concrete", Computers and Structures 77 (2000) 65±82
- Haddad R.H., Numayr K.S., "Effect of alkali-silica reaction and freezing and thawing action on concrete-steel bond", Construction and Building Materials (In press).
- Han, S.H., Kim, J.K., Park, Y.D., 2003. Prediction of compressive strength of fly ash concrete by new apparent activation energy function, Cement and Concrete Research 33, 965-971.
- Hijorth, L. (1983). Development and Application of High Density Cement Based Materials, Phill. Trans. Roy. Soc., A310, 167-173, London

İnternet Sitesi 1, Beton agregası nedir?, Tanım ve özellikleri, <http://www.agrega.org/index.asp?sec=agr&page=agr> Erişim Tarihi: 22.11.2007

İnternet Sitesi 2, Bulanık mantık, <http://www.yapay-zeka.org/modules/icontent/index.php?page=33> Erişim Tarihi: 11.05.2008.

İnternet Sitesi 3, Hidratasyon ve priz, <http://www.bursacimento.com.tr/cihhek.htm> Erişim Tarihi: 13.05.2008.

İnternet Sitesi 4, Katkılar, <http://www.as-beton.com/katkilar.htm> Erişim Tarihi: 13.12.2007

İnternet Sitesi 5, http://makina.ktu.edu.tr/static/lab_foy/lab15.doc Erişim Tarihi: 13.05.2008.

Joshi, R.C., Day, R.L., Langan, B.W., Ward, M.A., 1986. Engineering Properties of Concrete Containing High Proportions of Fly Ash and Other Mineral Admixtures. 2nd CANMET/ACI International Conference Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Suppl. Papers, 20, Madrid.

Karabulut, A., 2006. Reaktif Pudra Betonunun (rpb) Özelliklerinin Mineral Katkılarla Geliştirilmesi, 169s. İzmir.

Kayali O., Haque M. N., Zhu B. 2003. Some Characteristics of High Strength Fiber Reinforced Lightweight Aggregate Concrete. Cement and Concrete Composites, 25, 207-213. Elsevier J.

Konca, C., 2006. Çimento Cinsi, Donatı Çapı ve Tipinin Beton-Donatı Aderansına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62s, İstanbul

Lau, K. T., Dutta, P. K., Zhou, L. M., Hui, D., 2001. "Mechanics of Bonds in an FRP Bonded Concrete Beam", Composites Part B: Engineering, 32, 491-502.

Lorenzis, L. D., Rizzo, A., Tegola, A. L., 2002. "A modified pull-out test for bond of near-surface mounted FRP rods in concrete", Composites Part B: Engineering, 33, 589-603.

Liang, W., Cheng, J., Hu, Y., Luo, H., 2002. Improved Properties of GRC Composites Using Commercial E-glass Fibers with New Coatings. Materials Research Bulletin, 37 (2002), 641-646.

- Malhotra, V.M., 1983. Strength and Durability Characteristics of Concrete Incorporating a Pelletized Blast Furnace Slag. ACI SP-79, V2, 891-921
- Mobasher, B. ve Yu Li, C., 1996. Mechanical Properties of Hybrid Cement-Based Composites, ACI Materials Journal, 284-292.
- Neville, A.M., 1981. Properties of Concrete, Longman Scientific & Technical, New York. 843p.
- Özkul H., Taşdemir M.A., Tokyay M., Uyan M., 1999. Her Yönüyle Beton. THBB Yayını, İstanbul.
- P.S. Song, S. Hwang, 2004, Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete, Construction and Building Materials 18, 669–673.
- Qian, C., Stroven, P., Dalhuisen, D. H. ve Moczko, A. (2000). Fracture Properties and Acoustic Emission Response of Hybrid Polypropylene-Steel Fibre Reinforced Concrete. Fifth RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes (FRC), 491-500, Lyon, France.
- Ramachandran, V.S., Malhotra, M. 1984. Concrete Admixtures Handbook - Part 7 Superplasticizers, Noyes Puublications, pp.462-463.
- Ramachandran V.S., 1995. “Concrete Admixtures Handbook (Properties, Science and Technology)”, Second Edition, Institute for Research in Construction National Research Council Canada Ottawa, Ontario, Canada.
- Ramyar, K., 2000. Dimensional Stability of Concrete, Lecture Notes, unpublished, 129p.
- Sarkar, S. L. (1994). The Importance of Microstructure in Evaluating Concrete, In Advances in Concrete Technology, ed. V. M. Malhotra, Second Edition, 125-160, CANMENT, Ottawa.
- Şen, Z., 2004. “Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri”, İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Su Vakfı Yayınları, 191s. İstanbul.
- Şener, D., 2006. Aderans Eki Deneyinde Göçme Biçimleri ve Çatlak Dağılımları. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 109s
- Şimşek, O., Dur, A.,Yaprak, H., 2004. Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Harçların Özellikleri. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Politeknik Dergisi, Cilt: 7, Sayı: 2, 169-178, Ankara.

- Tanyıldızı, H., Yazıcıoğlu, S., 2006. Betonarme Demiri ve Beton Arasındaki Aderans Dayanımına Mineral Katkıların Etkisi. Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi Science and Eng. J of Fırat Univ., 18 (3), 351-357.
- Taşdemir, M.A., Bayramov, F. 2002. Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı. itüdergisi/d mühendislik Cilt:1, Sayı:2, 125-144 Aralık 2002
- Taşdemir, M.A., 2002. Betonun Dayanım ve Dürabiliteye Göre Tasarımı ve Üretimi, İMO İstanbul Şubesi, Sürekli Eğitim Seminerleri, Harbiye-İstanbul.
- Terzi, Ö., Küçüksille, E.U., Keskin, M.E., 2005. Modeling of Daily Pan Evaporation Using Data Mining. International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, 182-185, İstanbul.
- Tokyay, M., 1990. Uçucu Küllerin Beton Malzemesi Olarak Kullanılması Üzerine Yapılan Araştırmaların Gözden Geçirilmesi. Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı:348,
- Tokyay, M. ve Erdoğan K., (2003). Cüruflar ve cürüflü çimentolar, TÇMB/ARGE/Y97-2 (5. baskı), 48s, Ankara
- Topçu, B., “Akışkanlaştırıcı ve Dona Dayanım Katkılarının Beton Özelliklerine Etkisi”, 4. Ulusal Beton Kongresi, 30-31 Ekim- 1 Kasım 1996, İstanbul, ss. 45-53.
- Topçu, B., Canbaz, M. 2001. Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri. Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der., 14, 11-24.
- TS EN 934-2, 2002. “Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet İçin- Bölüm 2: Beton Katkıları- Tarifler ve Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 708, 1996. Beton Çelik Çubukları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500, 2000. “Betonarme hesap ve Yapım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türk K., 2002, “Bileşik Eğilmeye Maruz Betonarme Elemanlarda Donatı Aderansının Beton Özelliklerine Bağlı Olarak İncelenmesi”, Fırat Üniv., Fen Bilimleri Ens., İnşaat Müh. A.B.D., Doktora Tezi, Elazığ.
- Türker, P., Erdoğan, B., 2003. Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. 102s, TÇMB, Ankara.

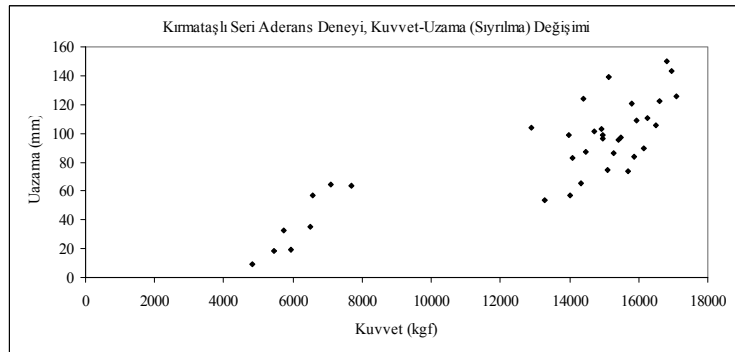
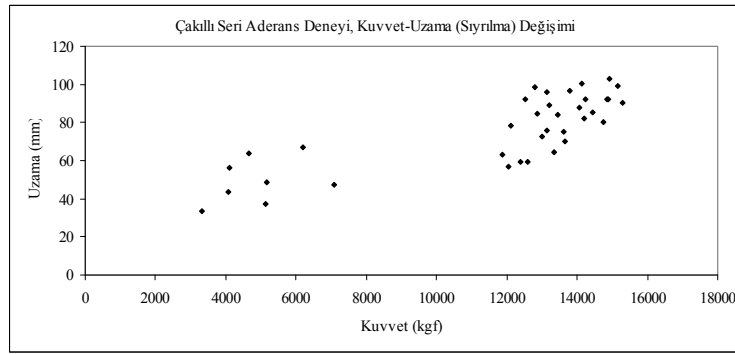
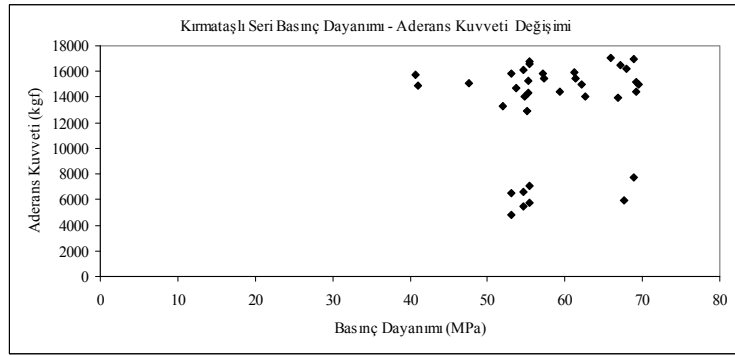
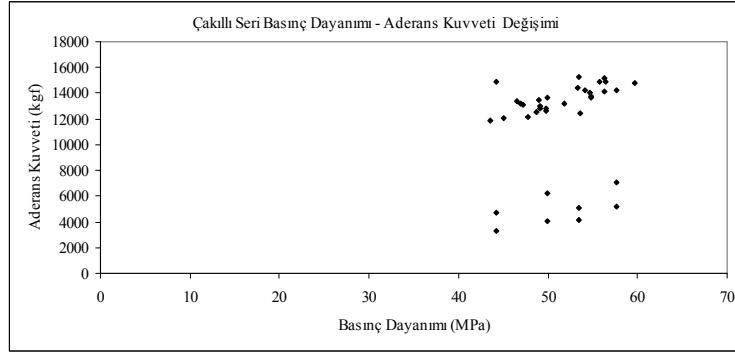
- Uchikawa, H., Hanehara, S., Sawaki, D., 1997. The Role of Steric Repulsive Force in the Dispersion of Cement Particles in Fresh Paste Prepared with Organic Admixture. *Cement and Concrete Research*, 27, 37-50.
- Uyan, M., Yıldırım, H., Süvari, Y., 1996. Akışkanlaştırıcı Katkıların Etkinliği. 4. Ulusal Beton Kongresi. (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), 13-23, Maya Basın Yayın, İstanbul.
- Uygunoğlu T., Ünal O., 2005, “Seyitömer Uçucu Külünün Betonun Basınç Dayanımına Etkisi Üzerine Bulanık Mantık Yaklaşımı”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi (YTED)*, (1) 13-20.
- Ünal, 1994 “Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi”, Dr. Tezi, 129s. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Walraven, J. 1999. The Evolution of Concrete, *Structural Concrete*, *Journal of fib*, P1, 1, 3-11.
- Wang X., Liu X., “A strain-softening model for steel–concrete bond”, *Cement and Concrete Research* 33 (2003) 1669–1673.
- Yan, A., Wu, K., Zhan, X., 2002, “A Quantitative Study on the Surface Crack Pattern of Concrete With High Content Steel Fiber”. *Cement and Concrete Research* 32, 1371–1375
- Yerlici V., Ersoy U., Özturan T., Türk M., Özden Ş., 1995. “Yüksek Dayanımlı Beton Elemanlarda Donatı Kenetlenmesi”, *İMO Teknik Dergi*, Cilt 6, Sayı 3.
- Yörük, Ö., 2001. *Katkılı ve Katkısız Çimentoların Betonun Durabilitesine Etkisi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 44s, İstanbul.
- Yücel, K.T., 2003. *Yapı Malzemesi Dersi Ders Notları*, 78s. Basılmamış.
- Yücel, K.T., Özel, C., Gülmez, S., Kuşçu, A., Uygunoğlu, Tayfun., 2006. Normal ve Fiber Takviyeli Betonlarda Donatı-Beton Aderans Dayanımının Belirlenmesi ve Bulanık Mantıkla Modellenmesi, *İÇTAG A040 (104I040) sayılı TÜBİTAK hızlı destek projesi*, 55s., Ankara.
- Yücel, K.T., Özel, C., Küçüksille, E.U., Taşdelen, Erten, K., Somer, A., İzci, M., 2007. *Katkılı Pompa Betonlarda, Beton Bileşenlerinin Taze Betonun Reolojik Performansına Ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması*, 104M568 sayılı TÜBİTAK hızlı destek projesi, 56s., Ankara.

Yücel, K.T., Özel, C., Erten, K., Ünal, O., Küçüksille, E.U., Taşdelen, K., Avcar, M., 2007. Normal Ve Yüksek Dayanımlı Betonlarda Donatı-Beton Aderans Ve Eğilme Dayanımının Belirlenmesi Ve Bulanık Mantıkla Modellenmesi, Tübitak 106M155 sayılı hızlı destek projesi, 56s.

Zadeh, L.A., “Fuzzy Sets,” Information and Control, 8, 338-352, 1965.

Zhang, J., Stang, H., Victor, C. Li, 2001. “Crack Bridging Model for Fibre Reinforced Concrete Under Fatigue Tension”, International Journal of Fatigue, 23, 655–670.

EKLER



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Kemal M. ERTEN
Doğum Yeri ve Yılı : Antalya-1984
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :1998-2001 Antalya Çağlayan Lisesi
Lisans :2001-2006 SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yayınları

- 1- Yücel, K.T., Ünal, O., Özel, C., Küçüksille, E.U., Taşdelen, K., Erten, K., Avcı, M., 2007. Normal ve Yüksek Dayımlı Betonlarda Donatı-Beton Aderans ve Eğilme Dayanımının Belirlenmesi ve Bulanık Mantıkla Modellenmesi. 106M155 sayılı TÜBİTAK hızlı destek projesi 55s., Ankara.
- 2- Yücel, K.T., Özel, C., Küçüksille, E.U., Taşdelen, Erten, K., Somer, A., İzci, M., 2007. Katkılı Pompa Betonlarda, Beton Bileşenlerinin Taze Betonun Reolojik Performansına Ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, 104M568 sayılı TÜBİTAK hızlı destek projesi, 243s., Ankara