

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**UZUN SÜRE KARIŞTIRMAYA MARUZ UÇUCU KÜL VE SİLİS DUMANLI
BETONLARDA SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI İLE KIVAM İYİLEŞTİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Caner ARSLANTÜRK

ŞUBAT 2007

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**UZUN SÜRE KARIŞTIRMAYA MARUZ UÇUCU KÜL VE SİLİS DUMANLI
BETONLARDA SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI İLE KIVAM İYİLEŞTİRMESİ**

İnş. Müh. Caner ARSLANTÜRK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15.01.2007
Tezin Savunma Tarih : 01.02.2007**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Şirin KURBETÇİ**

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2007

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Uzun Süre Karıştırmaya Maruz Uçucu Kül Ve Silis Dumanlı Betonlarda Süperakışkanlaştırıcı İle Kıvam İyileştirmesi” isimli bu çalışmayı bana önererek, diğer önemli görevlerine rağmen, hiçbir zaman desteğini ve ilgisini esirgemeyen, çalışma süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışman hocam sayın Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU' ya şükran ve saygılarımı sunmayı zevkli bir görev sayarım.

Öğrenimim boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Tez çalışmalarım sırasında büyük yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Enver AKARYALI, Arş. Gör. Murat KANKAL, İnş. Müh. M. Haluk FİLİZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu uzun soluklu maratonda hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen Arş.Gör. S. Emre GÖRKEM, Arş.Gör. Ercan YOZGAT, Arş.Gör. D. Mehmet ÖZCAN, Mak. Müh. Öğrencisi Anıl TANRIVERDİ ve İnş. Müh. Gökhan IŞIK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sırasında ihtiyaç duyduğum malzemelerin temini için maddi ve manevi olarak desteğini hiç esirgemeyen Yıldız Hazır Beton Tesisi Sahibi Coşkun ŞAHİN'e, Yıldız Hazır Beton Tesisi personeline, Degussa YKS firmasına, bu firmanın Trabzon Organize Sanayinde yer alan fabrika personeline, yüksek lisans eğitimim sırasında çalıştığım Gemsan A.Ş.'ye ve hala çalışmakta olduğum Yıldız Hazır Beton Tesisine teşekkürlerimi sunarım.

Bana olan inançlarını kaybetmeksizin maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen, her zaman yanımda olan ailemin tüm bireyelerine şükranlarımı sunarım.

Caner ARSLANTÜRK

Trabzon 2007

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Beton Bileşenlerinin Genel Özellikleri	1
1.2.1 Su	1
1.2.2 Agrega	2
1.2.3. Çimento	2
1.2.4. Mineral Katkı Maddeleri	4
1.2.4.1. Doğal Puzolanlar	5
1.2.4.2. Yapay Puzolanlar.....	5
1.2.4.2.1. Uçucu Küller.....	5
1.2.4.2.2. Silis Dumanı	8
1.2.4.2.3. Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu	9
1.2.5. Kimyasal Katkılar.....	10
1.2.5.1. Su Azaltıcı Orta Akışkanlaştırıcı Beton Katkıları	11
1.2.5.2. Süper Akışkanlaştırıcı Beton Katkıları.....	11
1.2.5.2.1. Süper Akışkanlaştırıcıların Etki Mekanizması	14
1.3. Betonun Karılması ve Taşınması.....	15
1.3.1. Malzemelerin Merkezi Mikserde Karılması (Yaş Karışım).....	16
1.3.2. Malzemelerin Transmikser Teknesinde Karılması (Kuru Karışım).....	17
1.3.3. Malzemeler Merkezi Mikserde Kısmen Karıldıktan Sonra, Karılma İşleminin Transmikser Teknesinde Tamamlanması.....	17

1.4.	Betonda İşlenebilirlik	17
1.4.1.	İşlenebilirliğin Ölçülmesi	18
1.4.2.	İşlenebilirliğe Etki Eden Faktörler	19
1.4.2.1.	Çimento Miktarı ve Özellikleri.....	20
1.4.2.2.	Karma Suyu Miktarı	20
1.4.2.3.	Agrega Granülometrisi ve En Büyük Agreg Tane Boyutu.....	21
1.4.2.4.	İnce Agreg Miktarı ve İnceliği	22
1.4.2.5.	Agrega Tane Şekli	22
1.4.2.6.	Beton Üretiminde Kullanılan İnce Taneli Mineral Katkılar.....	23
1.4.2.7.	Beton Üretiminde Kullanılan Kimyasal Katkılar	23
1.4.2.8.	Hava Sürüklenmiş Betonlardaki Sürüklenmiş Hava Miktarı	23
1.4.2.9.	Sıcak Hava Koşulları ve Taze Beton Karışımının Sıcaklığı.....	24
1.4.2.10.	Betonun Karıldığı Andan Kıvamın Ölçüleceği Ana Kadar Geçen Süre	25
1.4.3.	Betonda Taşınmanın İşlenebilirlik Üzerine Etkisi.....	25
1.4.3.1.	Çimento Miktarı	29
1.4.3.2.	Katkılar	29
1.4.3.3.	Ortam Koşulları	30
1.4.3.4.	Betonun Hacimsel Oranı	30
1.5.	Taşıma Süresinin Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkileri	30
1.6.	Betonun Dağıtım Süresinin Sınırlandırılması	31
1.7.	Betonun Kıvamının Tekrar Ayarlanması (Kıvam İyileştirilmesi).....	32
1.8.	Betonun Laboratuvar Koşullarında Örneklenmesi	34
1.9.	Betonda Kıvam İyileştirilmesi ve Uzun Süre Karışımlar İle İlgili Araştırmaların İrdelenmesi	34
1.9.1.	Genel.....	34
1.9.2.	Uzun Süre Karıştırma ve Kıvam İyileştirmesinin Taze Betonun Özelliklerine Etkisi	35
1.9.2.1.	Uzun Süre Karıştırmanın İşlenebilirlik Üzerine Etkisi	35
1.9.2.2.	Uzun Süre Karıştırmanın Çökme Kaybı Üzerine Etkisi.....	35
1.9.2.3.	Sıcaklığın Çökme Kayıpları Üzerine Etkisi	38
1.9.2.4.	İlk Çökme Değerinin Çökme Kayıpları Üzerine Etkisi	38
1.9.2.5.	Kimyasal ve Mineral Katkıların Çökme Kaybı Üzerindeki Etkileri	40
1.10.	Uzun Süre Karıştırma ve Kıvam İyileştirmesinin Betonun Hava İçeriği ve Birim Ağırlığı Üzerine Etkisi	41

1.11.	Uzun Süre Karıştırma ve Kıvam İyileştirilmesinin Sertleşmiş Betonun Özellikleri Üzerine Etkisi	42
1.11.1.	Uzun Süre Karıştırma ve Kıvam İyileştirmesinin Basınç Dayanımı Üzerine Etkisi	42
1.11.1.1.	Uzun Süreli Karıştırmanın Betonun Basınç Dayanımı Üzerine Etkisi	42
1.11.1.2.	Kıvam İyileştirmesinin Basınç Dayanımı Üzerine Etkisi.....	44
1.12.	Çalışmanın Amacı	45
2.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	46
2.1.	Deney Programı	46
2.2.	Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	48
2.2.1.	Çimento	48
2.2.2.	Silis Dumanı ve Uçucu Kül	49
2.2.3.	Agrega	50
2.2.4.	Karışım Suyu	53
2.2.5.	Akışkanlaştırıcı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri	53
2.2.5.1.	Orta Düzey Akışkanlaştırıcı Beton Katkısı “POZZOLITH® MR 26 S” e Ait Mekanik ve Fiziksel Özellikler	54
2.2.5.1.1.	Teknik Özellikleri.....	54
2.2.5.2.	Süper Akışkanlaştırıcı Beton Katkısı “RHEOBUILD® REDOZ N”e Ait Mekanik ve Fiziksel Özellikler	54
2.2.5.2.1.	Teknik Özellikleri.....	54
2.2.6.	Beton Karışım Oranları	55
2.3.	Gerçekleştirilen Deneyler ve Kullanılan Cihazlar	55
2.3.1.	Agrega Deneyleri.....	55
2.3.2.	Taze Beton Deneyleri	56
2.3.2.1.	Çökme Deneyi	57
2.3.2.2.	Beton Sıcaklığının Ölçülmesi	58
2.3.2.3.	Betondaki Hava Miktarının Ölçülmesi.....	58
2.3.2.4.	Betonun Birim Hacim Ağırlığının Ölçülmesi	59
2.3.2.5.	Numunelerin Hazırlanması ve Kürü.....	59
2.3.3.	Sertleşmiş Beton Deneyleri	61
2.3.3.1.	Basınç Dayanımının Belirlenmesi	61
3.	DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME	62
3.1.	Taze Beton Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler	62
3.1.1.	Beton Sıcaklığının Ölçülmesi.....	62

3.1.2.	Çökme Değerinin Ölçülmesi	64
3.1.3.	Betonda Kıvam İyileştirmek İçin Gereksinim Duyulan Akışkanlaştırıcı Katkı Maddesi Miktarının Belirlenmesi	65
3.1.4.	Birim Hacim Ağırlık Ölçümü	69
3.1.5.	Taze Betonda Hava İçeriği Ölçümü	71
3.2.	Sertleşmiş Beton Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler	72
3.2.1.	Basınç Dayanımının Belirlenmesi	72
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	78
5.	KAYNAKLAR.....	80
6.	EKLER	82
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

Araştırmada C 25/30 sınıfı mineral katkısız, silis dumanı ve uçucu kül katkılı beton karışımlarında karıştırma süresine bağlı olarak meydana gelen çökme kayıplarının belirlenmesi ve bu çökme kayıplarının süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanmak suretiyle iyileştirmesi amaçlanmıştır.

Homojenlik sağlamak için beton karışımları başlangıçta beşer dakika karıştırılmış ve bu süre sonunda betondan alınan karışım numuneleri üzerinde sırasıyla sıcaklık, çökme, hava içeriği, birim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiş ve 28 günlük basınç dayanımını belirlemek için küp numuneler hazırlanmıştır. Her bir karıştırma periyodu sonunda betondan alınan karışım numunesi üzerinde çökme değeri ölçülmüştür. Ölçülen çökme değerini başlangıç çökme değeri 200 ± 10 mm ye çekmek için beton karışımına bir miktar süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi ilave edilerek beton kısa bir süre daha karıştırılmış ve bu betona ait çökme değeri, hava içeriği, birim ağırlık, ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca 28 günlük basınç dayanımını belirlemek için küp numuneler hazırlanmıştır.

Herbir karıştırma süresi sonunda meydana gelen çökme kayıplarını iyileştirmek için beton bileşimine bağlı olarak katılması gereken süper akışkanlaştırıcı miktarı tespit edilmiş ve bu şekilde uçucu kül ve silis dumanı içeren betonların çökme kayıplarını iyileştirmede süper akışkanlaştırıcının etkinliği belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre uçucu kül ve silis dumanı içeren betonların karıştırma süresine bağlı olarak çökme kayıplarının mineral katkı maddesi içermeyenlere kıyasla farklılık gösterdiği ve buna bağlı olarak çökme kaybını iyileştirmek için kullanılan süper akışkanlaştırıcı miktarının da değiştiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İşlenebilirlik, Çökme, Silis dumanı, Uçucu kül, Kıvam iyileştirme, Süper akışkanlaştırıcı

SUMMARY

Retempering of Prolonged Mixed Concrete Mixtures Incorporating Fly Ash and Silica Fume by using a Superplasticizer

Concrete mixtures with strength levels closed to concrete grade C25/30 were produced. The concrete mixtures investigated were without mineral additive, with silica fume and with fly ash, respectively. The objective of this investigation was to measure and improve the slump losses of concrete mixtures resulting from prolonged mixing by using a superplasticizer chemical admixture.

Each mixture was thoroughly mixed for five minutes to accomplish homogeneity and then slump, temperature, air content, and unit weight of the concrete mixture were measured, respectively. Cube specimens of 15 cm were prepared for 28-day compressive strength measurement. At the end of each mixing period a certain amount of a superplasticizer was used to restore the slump of concrete at the initial slump level of 200 ± 10 mm. Right after this operation the temperature, air content, and unit weight of the concrete mixture were measured and then cube specimens were also prepared for 28-day compressive strength measurements.

The amount of superplasticizer used for restoring the slump of each concrete mixture was determined and in this way the effectiveness of superplasticizer in restoring the slump of concrete mixture in associated with fly ash and silica fume used was underlined.

Based on the measurements obtained at the end of the investigation, it has been observed that, depending on the mixing time, the slump losses of concrete mixtures incorporating fly ash and silica fume were different from concrete mixtures without mineral additives and in relation with this the amount of superplasticizer used for restoring the slump losses of concrete mixtures was also changed.

Keywords: Workability, Slump loss, Fly ash, Silica fume, Retempering, Superplasticizers

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Uçucu külün mikroskop altındaki görünüşü.....	6
Şekil 2. Elektrostatik etki mekanizmasının görünüşü.....	15
Şekil 3. Sterik etki mekanizmasının görünüşü	15
Şekil 4. Hazır Betonun taşınması sırasında meydana gelen çeşitli faktörlerin birbirleri arasındaki ilişki ve bu faktörlerin dayanım ile işlenebilirlik üzerine olan etki	27
Şekil 5. Agrega/çimento (A/Ç) oranının karıştırma süresine bağlı olarak işlenebilirlik kaybı üzerine etkisi.....	29
Şekil 6. Karıştırma süresinin basınç dayanımı ve işlenebilirlik arasındaki ilişki üzerine etkisi.....	31
Şekil 7. Betonda kıvam iyileştirmesi için kullanılan suyun basınç dayanımı üzerine etkisi	33
Şekil 8. Farklı ortam sıcaklıkları ve farklı beton karışımlarında çökme değerinin 50 mm ve 100 mm'ye ulaşması için geçen süre.....	38
Şekil 9. 30°C ortam sıcaklığında farklı su/çimento oranına sahip betonlarda zamana bağlı olarak oluşan çökme kayıpları.....	39
Şekil 10. 60°C ortam sıcaklığında farklı su/çimento oranına sahip betonlarda zamana bağlı olarak oluşan çökme kayıpları.....	40
Şekil 11. Farklı kimyasal katkı içeren betonların 100 mm ve 50 mm çökme değerine ulaşmaları için geçen süre.....	41
Şekil 12. Farklı yaşlardaki betonlarda karıştırma süresi ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	43
Şekil 13. Agrega karışımına ilişkin granulometrik eğri ve sınır eğrileri	52
Şekil 14. POZZOLITH® MR 26 S orta düzey akışkanlaştırıcı ve RHEOBUILD® REDOZ N süper akışkanlaştırıcı.....	53
Şekil 15. Etüv.....	56
Şekil 16. Eğik eksenli betonyer (60 litre kapasiteli).....	56
Şekil 17. Mettler marka PM 30 tipi Arşimet terazisi.....	57
Şekil 18. Çökme hunisi deneyi	57
Şekil 19. OMEGA marka RTD PLATINUM 100 Ω'luk termometre.....	58
Şekil 20. Havametre.....	58
Şekil 21. Taze betonun birim hacim ağırlığının ölçülmesi.....	59

Şekil 22. Vibrasyon masası (2800 devir/dakika).....	60
Şekil 23. 150 mm küp numunelerin hazırlanması	60
Şekil 24. 300 ton kapasiteli WP 300 tipi pres.....	61
Şekil 25. Karıştırma süresine bağlı olarak ölçülen beton karışımı sıcaklıkları	63
Şekil 26. Karıştırma süresine ilişkin ölçülen çökme değerleri (cm).....	64
Şekil 27. Kıvam iyileştirmesi için beton karışımına akışkanlaştırıcı katkı maddesi ilavesi.....	66
Şekil 28. Başlangıç çökmesine çekmek için beton karışımlarına ilave edilen akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarları.....	66
Şekil 29. Meydana gelen çökme kayıplarını başlangıç değerine çekmek için kullanılan akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarı	68
Şekil 30. Çeşitli karıştırma süreleri sonunda beton karışımına ilave edilen katkı miktarının toplam bağlayıcıya oranı	69
Şekil 31. Çeşitli karıştırma süreleri sonrası ölçülen birim hacim ağırlıklar	70
Şekil 32. Çeşitli karıştırma süreleri sonunda ölçülen hava içerikleri	71
Şekil 33. Beton karışımlarına ait su/bağlayıcı oranları.....	74
Şekil 34. Farklı mineral içeriğine sahip beton karışımlarına ait su/çimento oranları	74
Şekil 35. Çeşitli karıştırma süreleri sonunda ölçülen 28 günlük basınç dayanımları	75
Şekil 36. Başlangıç değerleri taban alınarak (%100) 30, 60 ve 90 dakika sonundaki basınç dayanımı oranları	77

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. TS EN 206–1 Standardına göre kıvam sınıfları	19
Tablo 2. Beton üretiminde kullanılan malzemelerin zamana bağlı olarak betonun işlenebilirliğine etkileri [14].	28
Tablo 3. Dış faktörlerin zamana bağlı betonun işlenebilirliğine etkileri [14].	28
Tablo 4. Betonun 1, 2, 3 ve 4 saatlik karıştırma süreleri sonundaki çökme değerleri (cm)	36
Tablo 5. Beton Karışım Oranları	36
Tablo 6. Uzun süre karma işleminin beton kıvamına etkisi	37
Tablo 7. Uzun süre karma işleminin betonlardaki sürüklenmiş hava miktarına etkisi.....	37
Tablo 8. Çeşitli ortamlardan alınan numunelere ait çökme değerleri ve hava içerikleri ..	42
Tablo 9. 1, 2, 3, ve 4 saatlik karıştırma sonunda betonun çökme değerinin başlangıçtaki çökme değerine (17 cm) yükseltilmesi için kullanılan su miktarları (kg/m ³)	44
Tablo 10. 1, 2, 3 ve 4 saatlik karıştırma sonunda kıvam iyileştirmesi yapılmış betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (MPa) [24].	45
Tablo 11. Beton karışımlarına ait ayrıntılar	47
Tablo 12. Çimentonun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri	48
Tablo 13. Çimentonun oksit analizi ve kimyasal bileşimi	49
Tablo 14. Silis dumanı ve uçucu külün kimyasal bileşimi ile bazı fiziksel özellikleri.....	50
Tablo 15. Agregaların kullanım oranları.....	51
Tablo 16. Agregalara ait özgül ağırlık ve su emme değerleri.....	51
Tablo 17. “POZZOLITH® MR 26 S” katkı maddesine ait teknik özellikler	54
Tablo 18. “REOBUILD REDOZ N” e ait teknik özellikler	55

SEMBOLLER DİZİNİ

- SNF : Sülfonatlı naftalin formaldehit
SMF : Sülfonatlı melamin formaldehit
SMI : Sülfonatlı sentetik polimer

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde mineral ve kimyasal katkı maddelerinin birlikte karılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir.

İstenilen kalitede beton elde edebilmek için önce beton karışımındaki malzemelerin öncelikle özelliklerinin iyi bilinmesi, ilgili malzemelerin standartlara uygun olmaları ve bu malzemelerin beton karışımı içerisindeki oranlarının doğru olarak belirlenmiş olması gerekmektedir. Beton genellikle üretim tesisi depolama sahasında veya şantiyede önceden depolanmış kaliteli ve yeterli miktardaki malzemelerin hassas bir şekilde ölçülerek harmanlanması ve standartlara uygun biçimde ve yeterli sürede karılarak elde edilmektedir.

1.2. Beton Bileşenlerinin Genel Özellikleri

1.2.1. Su

Beton üretiminde karışım suyu olarak kullanılan su mümkün olduğu kadar temiz olmalı ve içerisinde taze ve sertleşmiş betonun özelliklerine zararlı etki yapabilecek miktarda kil, silt, organik madde, asit, klorür, sülfat yağ ve endüstriyel atıklar bulundurmamalıdır. İçilebilir nitelikteki sular, içinde yüksek oranda zararlı madde bulunmayan kuyu suları, içine yağ vb maddeler karışmamış ve çökeltme havuzlarında çamurundan arındırılmış yıkama suları karışım suyu olarak kullanılabilir. Deniz suyu öngeriilmeli beton ve deniz yapılarında karma suyu olarak kullanılmamaktadır. Deniz suyu içerdiği klor nedeniyle prizi bir miktar hızlandırırken betonun ilk dayanımını yükseltmekte ve son dayanımını düşürmektedir [1].

Beton üretiminde kullanılan suyun pH derecesi 7'nin üstünde olmalıdır. Suya kanalizasyon karışması durumunda ve suyun nişasta, şeker gibi organik maddeler içermesi söz konusu olduğunda priz geciktirici etki meydana gelmektedir [1].

1.2.2. Agregas

Beton üretiminde maruz kaldığı suyun etkisiyle yumuşamayan, aşınmaya dayanıklı, çimentonun hidrasyon ürünleri ile zararlı bileşikler oluşturmayan, tane biçimi ve yüzey dokusu çimento hamuru ile aderansa elverişli ve uygun granülometriye sahip agrega kullanılmalıdır.

1.2.3. Çimento

Çimentonun ilkel bileşenleri kalker ve kildir. Bu maddeler pişirildikten sonra su ile reaksiyon yapacak şekilde ve bağlayıcılık etkisi ortaya çıkacak şekilde çok ince öğütülerek çimento elde edilmektedir. Günümüzde çok çeşitli çimentolar üretilmektedir ancak en yaygın kullanılanı Portland çimentosudur [2].

Portland çimentosu elde etmek için kalkerli ve killi maddelerden oluşan ham madde karışımı yüksek sıcaklıkta (1350-1450°C) pişirilerek klinker elde edilmekte ve daha sonra klinkere alçıtaşı ilave edilerek son öğütlemeyle Portland çimentosu üretilmektedir.

Çimento üretiminde pişirme aşamasında çimentoyu oluşturan oksitlerin ergimesiyle 20 civarında katı eriyik oluşmaktadır. Bu eriyiklerden dört tanesinin çimento bileşimindeki oranları yüksek olup çimentonun ana bileşenleri olarak bilinirler. Bu katı bileşikler çimentonun yaklaşık olarak %90'ını oluştururlar [3]. Portland çimentosunun ana bileşenleri aşağıda verilmektedir:

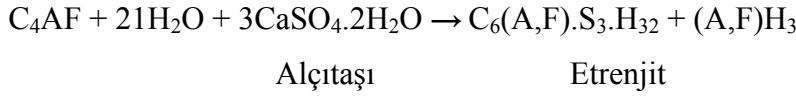
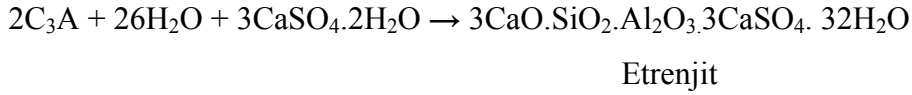
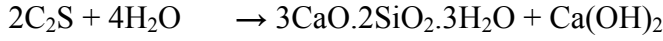
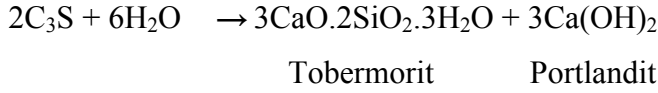
C_2S (Dikalsiyum Silikat): Çimento hamuruna bağlayıcılık özelliği kazandıran ve dolayısıyla betonun dayanım gelişimine önemli katkısı olan bileşendir. Bu anlamda etkisi uzun dönemde ortaya çıkmaktadır.

C_3S (Trikalsiyum Silikat): Çimento hamurunun erken yaşlarda bağlayıcılık ve dayanım kazanmasına önemli katkı sağlayan en önemli bileşendir.

C_3A (Trikalsiyum Alüminat): Su ile oldukça hızlı reaksiyon girer. Çimento hamuruna bağlayıcılık özelliğine ve dayanım kazanmasına katkısı çok azdır. Sahte prize neden olması nedeniyle çimento bileşiminde fazla miktarda bulunması sakıncalıdır. Su ile hızlı reaksiyon yapması çimento hamurundaki suyun kısa sürede tükenmesine ve hamurun katılaşmasına neden olmaktadır. Bu olay sahte priz olarak bilinir. Çimento üretimi sırasında bileşime bir miktar alçıtaşı ilave etmek suretiyle bu olay bertaraf edilmektedir.

C_4AF (Tetrakalsiyum Alümino Ferrit): Çimento hamurunun bağlayıcılık özelliğine ve dayanım kazanmasına katkısı hemen hiç yoktur. Çimentoya gri renk veren bileşendir.

Çimentonun su ile karıştırılması neticesinde ana bileşenler su ile ayrı ayrı reaksiyona girmekte ve hidrasyon sonunda farklı hidrasyon ürünleri meydana gelmektedir. Çimento hamurunun esas iskeletini oluşturan bileşenler silikatlardır. Silikatların hidrasyonu sonucu benzer ürünler oluşurlar [3].



C_3S ve C_2S ' nin hidrasyonu sonucunda benzer ürünler meydana gelir. Oluşan ürünler Portlandit olarak bilinen kalsiyum hidroksit ve tobermorit jeli olarak bilinen kalsiyum silikat hidrattır. Kalsiyum silikat hidrat literatürde genellikle (C-S-H) olarak gösterilmektedir. Tobermorit jeli hacim olarak çimento hamurunun yaklaşık %50-60'ını oluşturur. Çimento hamurunun özelliklerini belirleyen en önemli bileşen olup çimentoya bağlayıcılık kazandıran temel üründür. Portlandit çimentonun %20-25'ini teşkil eder. Çözünürlüğü fazla olması nedeniyle çimento hamurunda fazla bulunması istenmez [3,4].

C_3A ve C_4AF 'nin alçıtaşı ile hidrasyonu sonucunda oluşan ürün etrenjit olarak bilinir ve hacim olarak çimentonun %15-20'sini teşkil etmektedir. Betonun sülfatlı sulara karşı direncini azaltmaktadır [3,4].

Beton üretiminde yüksek oranda C_2S içeren Portland çimentosu kullanıldığında hidrasyon hızı düşük olduğundan dolayı daha az miktarda ısı açığa çıkmakta; bu da betonda zamanla meydana gelen çökme kaybının artmasını engellemektedir [5]. İçerisinde C_3S miktarı yüksek olan Portland çimentosu kullanıldığında yüksek oranda ısı açığa çıkmakta ve bu da hidrasyonun daha hızlı gelişmesine neden olduğundan işlenebilirlik

için gereksinim duyulan suyun buharlaşmasına yol açmakta ve sonuçta çökme kaybına neden olmaktadır [5].

Sabit bir su/çimento oranı dikkate alındığında çimentonun inceliğinin artması betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır. Bunun nedeni çimentonun inceliği arttığı için birim zamanda daha fazla çimento su ile reaksiyona girmesi dolayısıyladır. Bu nedenle uzun süre karıştırmaya maruz betonda daha ince çimento kullanıldığında betonda daha fazla miktarda çökme kaybı meydana gelir [1].

1.2.4. Mineral Katkı Maddeleri

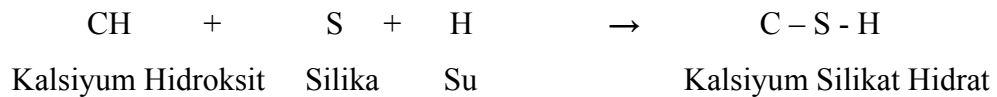
Beton üretiminde kullanılan mineral katkı maddelerini elde edildikleri kaynaklara göre üç grupta toplamak mümkündür.

- Doğal puzolanlar (volkanik küller, traslar, taş unu)
- Beton üretimi ile doğrudan ilgisi olmayan bir endüstri kolundan yan ürün olarak elde edilen malzemeler (uçucu küller, silis dumanı ve granüle yüksek fırın cürufu)
- Isıl işlem görmüş (pişmiş kil)

Betonda kullanılan mineral katkı maddelerinin mutlaka ince öğütülmüş durumda olmaları gerekir. Mineral katkı maddelerinin hemen hemen hepsi puzolanik özellikli malzemelerdir [4].

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcı özelliği olmayan fakat çok ince öğütüldüklerinde, normal sıcaklıkta ve suyun mevcut olması durumunda kalsiyum hidroksit, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile kimyasal olarak reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanan silisli veya silisli ve alüminli malzemelerdir [3].

Çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan kalsiyum hidroksit, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile ince öğütülmüş puzolanda bulunan silika arasında su ile birlikte oluşan kimyasal reaksiyon sonucu meydana gelen C-S-H ürünü bilindiği üzere bağlayıcılık özelliğine sahip olup çimento hamurunun dayanım kazanmasına ilave katkı sağlar.



Bu reaksiyon zamanla ilerlerken çimento hamurunda mevcut kalsiyum hidroksit azalmakta ve C-S-H miktarı artmaktadır. C-S-H miktarında meydana gelen bu artış çimento hamurunun mukavemet gelişimine yansımakta ve doğal olarak betonun kimyasal ortamlardaki direnci de artmış olmaktadır.

Puzolanların mineral katkı maddesi olarak Portland çimentosu ile birlikte beton üretiminde kullanılabilmesi için yeterli miktarda puzolanik aktiviteye sahip olmaları gerekir. Puzolanik aktivite, çimentosu maddelerin oluşumuna olanak sağlayan alüminosilikatların kalsiyum hidroksit ile reaksiyonu olarak tanımlanır. Puzolanik malzemenin yeterli aktiviteyi göstermesi için öncelikle yeterince ince öğütülmeli ve yeterli miktarda silis, alümin ve demir oksit içermesi gerekir [4].

1.2.4.1. Doğal Puzolanlar

Doğada bulunan ve öğütülerek ince taneli duruma getirildikten sonra kalsiyum hidroksit ile su veya nemli ortamlarda hidrolitik bağlayıcılık kazanan silisli ve alüminli malzemelerdir. Volkanik camlar, volkanik tüfler, traslar ve bazı killer doğal puzolanlara iyi birer örnektir. Doğal puzolanlar, mineral katkı maddesi olarak doğrudan çimento ile karıştırılarak kullanıldıkları gibi uygun oranlarda Portland çimentosu ile birlikte öğütülerek katkılı çimento üretiminde de kullanılabilirler [3].

1.2.4.2. Yapay Puzolanlar

1.2.4.2.1. Uçucu Küller

Elektrik üretimi için termik santrallerinin çoğunda yakıt olarak pulverize kömür kullanılır. Pulverize kömürün yanmasıyla büyük miktarı çok ince ve bir miktarı da nispeten biraz daha iri boyutlarda kül tanecikleri oluşur. Çok ince taneli küller yakıt gazlarıyla uçarak bacadan dışarı çıkarlar. Nispeten ağır olan iri kül taneleri taban külü olarak ocağın dibinde birikirler. Atık malzeme olarak ortaya çıkan küllerin yaklaşık %75-%80'i gazlarla beraber bacadan çıkma eğilimi gösteren çok ince taneli küllerdir. Bu küllere uçucu kül denilmektedir. Gazlarla birlikte büyük miktarda külün dışarıya çıkması durumunda termik santralin çevresi kısa sürede küllerle kaplanacağından bacadan dışarı çıkan küller

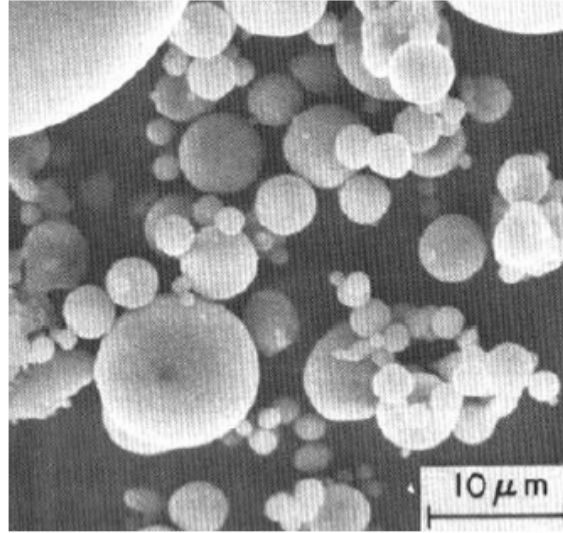
elektrostatik veya elektromekanik yöntemlerle tutulmakta ve kül toplayıcı silolara kanalizasyon edilirler. Daha sonra silolardan termik santrallerin uzağında bir yere atık olarak depolanırlar [4].

Uçucu küllerde yüksek miktarda SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oksitleri bulunur. Bu oksitlere ilave olarak bir miktar CaO , MgO , C (çok ince taneli durumda yanmamış kömür) ve Na_2O bulunmaktadır.

Şekil 1`de görüldüğü üzere uçucu kül taneleri genellikle küresel katı parçacıklardır. Ağırlık olarak yaklaşık olarak %5`i içi boş parçacıklardan oluşur.

Uçucu kül tanelerinin boyutu 1–150 μm arasında değişirken yoğunlukları normal olarak 2.1-2.7 gr/cm^3 arasında değişir. Renkleri açık griden koyu griye kadar değişiklik gösterir.

Silisli ve amorf yapıya sahip oldukları ve çok ince taneli olarak elde edildikleri için ince taneli doğal puzolanlar gibi puzolanik özellik gösterirler. Su ortamında kalsiyum hidroksit ile birleştiklerinde hidrolik bağlayıcı özelliği gösterirler. Bu nedenle hem Portland puzolan tipi çimento üretiminde hem de beton katkı maddesi olarak kullanılmaktadırlar [4].



Şekil 1. Uçucu külün mikroskop altındaki görünüşü

Uçucu kül sınıfları;

ASTM C 618 uçucu külleri F ve C olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar. Buna göre:

F sınıfı uçucu kül; $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%70$ antrasit veya bitümlü kömürlerden elde edilmekte ve puzolanik özellik göstermektedir.

C sınıfı uçucu kül; $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%50$ linyit veya düşük bitümlü kömürlerden elde edilmekte ve puzolanik özelliği yanı sıra kendisi de bağlayıcılık özelliği göstermektedir.

Ayrıca %10'dan daha düşük oranda CaO içeren uçucu küllerin dayanıma katkısı daha az olurken %10 dan daha yüksek oranda CaO içeren uçucu küllerin dayanıma katkıları daha fazla olabildiği belirtilmektedir [4].

Taze beton yüksek akışkanlığa ve sertleşmiş halde iyi bir dayanıma sahip olmalıdır. İstenilen özellikleri sağlamak için uçucu kül gibi ince malzemeler kullanılmaktadır. Uçucu kül kullanılarak üretilen betonlar tek başına Portland çimentosu kullanılarak elde edilen betonlarla kıyaslandığında aynı çökme değerine ulaşmak için gerekli olan akışkanlaştırıcı miktarında azalma görülür. Uçucu kül kullanılması betonun reolojik özelliklerini iyileştirir ve çimentonun hidratasyon ısısını düşürmesi nedeniyle betonun çatlama riskini azaltır. Uçucu kül kullanmak suretiyle akışkan ve işlenebilir betonlar üretmek mümkündür [6].

Betonun üretiminde kullanılan uçucu kül miktarındaki ve su-bağlayıcı oranındaki artış, betonun dayanımında bir azalmaya neden olur. Beton üretiminde uçucu kül kullanılması ile çimento miktarındaki azalma ve uçucu külün reaksiyonları yavaşlatması nedeniyle büyük beton elemanlarında sıcaklık artışının önüne geçilebilmektedir [6].

Uçucu küllü betonların işlenebilirliği katkısız betonlarınkine oranla daha iyidir. Bunun iki nedeni vardır. Uçucu külün yoğunluğu Portland çimentosunun yoğunluğundan daha azdır. O nedenle puzolanik beton üretimi için çimento ağırlığının bir bölümünün yerine uçucu kül kullanıldığında betondaki bağlayıcı hamurun hacmi artmaktadır. Daha büyük hacme sahip bağlayıcı hamur taze betondaki agrega tanelerinin arasını daha iyi doldurmakta ve plastiklik sağlamaktadır. İkinci neden, uçucu kül taneciklerinin küresel olmasından kaynaklanmaktadır. Küresel şekilli tanecikler iç sürtünmeyi azaltmakta ve betonun akıcılığını arttırmaktadır.

Uçucu küller, Portland çimentosuna kıyasla daha ucuz olan atık maddelerdir. Katkısız betondakine (uçucu kül kullanılmamış beton) oranla daha az Portland çimentosunun kullanıldığı uçucu küllü betonlar daha ekonomiktirler. Ayrıca uçucu küllü betonların işlenebilmesinin daha iyi, pompalanabilirliklerinin daha kolay, yüzey düzeltmesinin daha rahat olması işçiliği kolaylaştırmakta ve böylece ekonomik olmaktadır [4].

1.2.4.2.2. Silis Dumanı

Silikon elementinin üretiminde, yüksek saflıktaki kuvars, elektrik fırınlarında yaklaşık 2000°C sıcaklıkta kömür yardımıyla indirgenmeye tabi tutulmaktadır. Üretim işleminde çok büyük miktarı SiO'den oluşan gazlar çıkmaktadır. Gaz halindeki SiO fırının soğuk bölgelerinde havayla temas etmesiyle çok çabuk yoğunlaşarak gazın içerisindeki SiO amorf yapıya sahip SiO₂ durumuna dönüşür [4].

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi esnasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutulmasıyla elde edilen amorf yapıya sahip çok ince parçacıklardan oluşan malzemeye yoğunlaştırılmış silis dumanı veya kısaca silis dumanı adı verilmektedir. Bu malzeme mikro silis, silis tozu veya silika fume olarak da adlandırılır.

Silis dumanı Portland çimentosu klinkeriyle ve küçük miktarda alçı taşıyla öğütülerek "silis dumanlı çimento" üretiminde kullanılmaktadır. Silis dumanının asıl kullanımı ise beton üretiminde doğrudan katkı maddesi olarak kullanılmasıdır [4].

Agrega ile çimento hamuru arasındaki geçiş bölgesinin betonun mekanik özelliklerinin üzerindeki etkisi iyi bilinmektedir. Betona, silis dumanı gibi puzolanik maddelerin katılması ve su-çimento oranının düşürülmesi çimento hamurunun mikro yapısını değiştirmektedir. Betonda silis dumanının etkisi çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan kalsiyum hidroksiti, Ca(OH)₂, bağlayarak çimento hamuru içerisindeki boşlukları doldurmaktadır [7].

Silis dumanının rengi açık griden koyu griye doğru değişiklik gösterir. Karbon içeriği arttıkça renk koylaşır. Su ile karıştırılması halinde siyaha yakın renk sergiler [1].

Silis dumanının özgül ağırlığı 2.2-2.3 gr/cm³ arasında değişir.

Silis dumanı çok ince taneli olduğundan su ihtiyacı oldukça yüksek olup çok kuvvetli puzolanik bağlayıcı etkisi gösterir. Beton bileşimine silis dumanı ilave edildiğinde basınç dayanımı artmaktadır. Sabir [8], yapmış olduğu çalışmada silis miktarının %10 mertebesine kadar tutulması durumunda basınç dayanımının artış gösterdiğini fakat silis dumanı miktarının artmasının su emme değerine aynı oranda yansımadağını ortaya koymuştur. Yapılan çalışmada, en az su emme değeri %5 oranında silis dumanı ikamesinde meydana geldiği, %10 silis dumanı ilavesinde ise su emme miktarının artış gösterdiği belirlenmiştir [8].

Silis dumanında SiO_2 miktarı genellikle %85'in üzerindedir. Bunun yanı sıra çok küçük miktarda başka maddelerde bulunabilmektedir. Silis dumanında $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarının fazla olması puzolanik aktivitesinin yüksek olması anlamına gelir.

MgO 'in, kükürdün, alkali miktarının yüksek olması betonda genişlemeye neden olur. Betonda genişlemeye neden olan bu maddeler silis dumanındaki miktarları çok azdır.

Mikro silika silikanın yüksek puzolanik aktivitesi ve oldukça ince yapısı nedeni ile betonun geçirimsizliğini önemli derece azaltmaktadır. Yüksek özgül yüzey alanına sahip olması sonucu işlenebilirliği de azaltır. Mikro silikalı betonda yüksek işlenebilirlik elde etmek için yaygın olarak süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılır. Mikro silikalı betonların geçirimsizlikleri uçucu kül içeren betonlara nazaran daha düşüktür [9].

Silis dumanının beton özellikleri üzerindeki etkisi:

1. Taze betonda terlemeyi ve ayrışmayı azaltır. Silis miktarının çok olması taze betonun içerisindeki suyu daha iyi tutmasına ve daha az terleme göstermesine neden olacaktır. Terlemenin az olması betonun yüzeyinin düzeltilmesi işlemine daha erken başlanabilmesine olanak sağlamaktadır.
2. Silis dumanlı beton, sadece Portland çimentosu ile yapılmış olan betondan çok daha koheziftir. Gerek yüksek kohezyondan gerekse ince taneciklerin arasında daha fazla temas olmasından silis dumanlı betonların işlenebilirliği daha azdır.
3. Sertleşmiş çimento hamuru ile agrega arasındaki ara yüzey bölgesi diğer bölgelerden daha farklı bir yapıdadır. Uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu ilavesiyle bu bölgenin morfolojisi olumlu olarak etkilenmekte ve betonun basınç dayanımı önemli derecede artmaktadır.
4. İnce taneli yapısı sayesinde çimento hamurundaki boşlukları dolduran ve puzolanik reaksiyonların bir an önce başlamasına katkı yaparak kapiler boşlukların azalmasına olanak sağlayan silis dumanı betonun geçirimsizliği üzerinde olumlu etki yapar.

1.2.4.2.3. Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu

Demir elde edebilmek için demir cevherinin “yüksek fırın” olarak adlandırılan fırınlarda çok yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılarak oksijenden ve yabancı maddelerden arındırılması sırasında yüksek sıcaklığın etkisiyle atık madde olarak açığa çıkan yüksek fırın cürufu, ham demirden daha hafif olduğu için üstte birikir. Bu madde demir filizi, kok

ve kireç taşının 1400–1600°C sıcaklıkta yanmasıyla oluşur. Kristal yapılu yüksek fırın cürufu yavaş soğuma neticesinde meydana gelir. Bu özellikteki yüksek fırın cürufu beton agregası olarak kullanılabilir. Ancak içerdiği bir miktar kükürdün dayanımı olumsuz etkileyebileceği için agrega olarak kullanılıp kullanılmayacağı test edilmelidir [10]. Hızlı olarak soğutulan cüruflar ise camsı yapıdadır ve granüle yüksek fırın cürufu olarak adlandırılır.

Yüksek fırın cürufu kireç, silis, alümin, magnezi, manganez, oksit ve kükürt gibi maddeleri içerir. Bu maddelerin cüruf içerisinde bulunma miktarları üretilen yüksek fırın cürufuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Granüle yüksek fırın cürufunun katkı maddesi olarak kullanılmasının oluşturduğu etkiler, ince taneli doğal puzolanların veya uçucu küllerin betonda oluşturduğu etkilere benzerdir [4].

1.2.5. Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkı maddeleri taze ve sertleşmiş betonun bazı özelliklerini iyileştirmek betona ek özellikler kazandırmak amacı ile betonun karışım suyuna belirli oranlarda çimento ağırlığının %5'inden daha az oranda katılan organik ve inorganik maddelerdir [1]. Çimentonun özelliklerini iyi yönde ve belirli ölçüde değiştirmek amacı ile beton üretilirken veya üretildikten hemen sonra katılarak taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştiren maddelerdir. Günümüzde geliştirilen pek çok kimyasal katkı maddesi betonun tüm özelliklerine tesir edilebilmektedir. Katkı maddesi betonun hangi tür özellik veya özellikleri değiştirmek isteniyorsa o doğrultuda seçilir. Kimyasal katkı maddesi kullanmak suretiyle mukavemet artışını hızlandırmak, beton üretiminde daha az su kullanarak mukavemeti arttırmak, akıcı ve yerleşebilir betonlar üretmek, soğuk havalarda beton dökmek ve dış etkilere karşı daha dayanıklı betonlar üretmek gibi olumlu sonuçlar elde edilebilir.

Kimyasal beton katkı maddesinin kullanılması ile beton maliyetinde bir artış meydana geliyorsa da bu artışı elde edilen olumlu sonuçların sağladığı yararlar veya mukavemet artışını çimento tasarrufu ile dengelemek fazlasıyla karşılamak mümkündür. Bu bakımdan beton üretiminde problemlerin çözülmesinde kimyasal katkı maddelerine başvurulması ekonomik bir yol olarak kabul edilmektedir.

Kimyasal katkıları beton endüstrisinde birçok farklı amaç için kullanılmaktadır. Bu nedenle katkı maddesi seçilirken çok dikkatli olunmalı ve bazı prensipler unutulmamalıdır.

Kurallara uygun üretilmeyen bir betonu katkı maddeleri ile iyileştirmek imkânsızdır. Üretilen betonun öncelikle katkısız durumda yeterli niteliklere sahip olmalıdır. Kullanılan katkı ile çimento ve agreganın uyumlu olması gerekir. Uyumluluk ön deneylerle tespit edilmesi gerekir. Birden fazla katkının birlikte kullanılması beklenen sonuçları olumsuz etkileyebilir.

Beton endüstrisinde kullanılan kimyasal beton katkıları maddeleri tiplerine göre ASTM C 494 ve TS EN 934-2 aşağıdaki gibi sınıflandırmaktadır [4].

1.2.5.1. Su Azaltıcı Orta Akışkanlaştırıcı Beton Katkıları

Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri beton bileşiminde mevcut su, agrega ve çimento taneleri ile arasındaki yüzey gerilimini ve çekim gücünü azaltır. Yüzey gerilimi azalan su tanecikleri daha kolay hareket edeceğinden betonda işlenebilirlik artar. Akışkanlaştırıcılar çimento tanelerinin etrafını çok ince bir zar halinde sararak taneciklere yağlayıcılık, kayganlık sağlamak suretiyle statik elektrik yükleri ve birbirlerini itme yolu ile aynı işlenebilirlik daha az su ile sağlanmış olur. Akışkanlaştırıcılar negatif elektriksel yüke sahip olduklarından su yüzeyinde hareket edebilmekte ve çimento taneciklerinin etrafını sararak taneciklerin birbirlerine yapışmalarını engellerler. Bu etkileri sayesinde topaklaşmayı önlerler ve betonun iç sürtünmesini azaltarak işlenebilirliği artırırlar. Kimyasal yapıları itibariyle linyosulfonat esaslı maddelerdir. Priz geciktirici türleri sayesinde betonda çökme kaybını önlemek mümkündür [11].

1.2.5.2. Süper Akışkanlaştırıcı Beton Katkıları

Katkı maddeleri betonun diğer ana bileşenlerine oranla çok az miktarda konulan kimyasallardır. Karışımda kullanılacak miktarı, çimento dozajına göre belirlenir. Akışkanlaştırıcı katkıları taze beton ve harçların işlenebilirliğini etkiler. Etkinlik derecelerine göre normal akışkanlaştırıcı (veya su azaltıcı), orta derecede su azaltıcı (mid-range) ve süper akışkanlaştırıcı (üstün akışkanlaştırıcı) olmak üzere üç gruba ayırmak mümkündür. Süper akışkanlaştırıcı katkı sayesinde doğru tasarlanmış beton ile karmaşık kalıplar kolaylıkla doldurulabilir ve zor yüzeyler düzgün olarak tamamlanabilir.

Süper akışkanlaştırıcı katkıları betona düşük su-çimento oranlarında dahi yeterli işlenebilirlik kazandıran ve ayrıca çimentonun priz ve sertleşme davranışlarına önemli etkiler yapmayan kimyasal katkılarıdır. Süper akışkanlaştırıcılar taze betonda su gereksinimini %30 oranında azaltabilmektedirler [1].

Süper akışkanlaştırıcılar beton üretiminde;

- Çok düşük su/çimento oranına sahip betonlar üretmek,
- Düşük çimento dozajlı betonlar üretmek ve
- Yüksek akışkanlığa sahip betonlar üretmek için kullanılabilir.

Betonun üç temel özelliği olan dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik yüksek performanslı betonlarda özellikle geliştirilmelidir. Bundan dolayı yüksek performanslı beton elde etmek için öncelikli hedef su/çimento oranını mümkün olan en düşük seviyeye düşürmek olmalıdır. İkinci koşul ise betonun olabildiğince boşluksuz ve ayrışmaksızın kolayca yerleştirilebilmesidir. Bu iki koşul yıllardan beri klasik beton teknolojisi için geçerli olsalar da ancak süper akışkanlaştırıcıların bulunmasıyla uygulanabilmiştir [1].

Süper akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin akıcılık kazandırma özellikleri normal akışkanlaştırıcılarınkine benzer ancak süper akışkanlaştırıcıda bulunan polimer moleküllerin oluşturduğu itme kuvveti normal akışkanlaştırıcı katkı maddesinin oluşturduğu itme kuvvetine kıyasla daha güçlüdür.

Çimentonun priz sürelerini fazla uzatmaması ve taze betonun sertleşmesini geciktirmemesi bakımından süper akışkanlaştırıcıların kimyasal bileşimlerinin sıradan akışkanlaştırıcılarındakinden farklı olduğu anlaşılmaktadır. Hatta bir miktar hızlandırdığı bile gözlemlenmiştir. Ancak söz konusu hızlanmanın çimento parçacıklarının daha iyi dağılmasına mı yoksa diğer süreçlere mi bağlı olduğu çok fazla belirgin değildir [1].

Süper akışkanlaştırıcılar kimyasal yapılarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

1. Sülfonatlı sentetik polimerler
2. Karboksilatlı sentetik polimerler
3. Fonksiyonel olarak karıştırılmış sentetik polimerler

Birinci grup sülfonatlı naftalin formaldehit (SNF) veya sülfonatlı melamin formaldehit (SMF) bileşiklerinden oluşur. İkinci grup ise bazı bilim adamları tarafından polikarbonat grubu olarak adlandırılırlar. Bunlar polikarboksilat polimerler ve poliakrilatlardan meydana gelir. Üçüncü grup süper akışkanlaştırıcılar kimyasal yapılarında farklı anodik ve kutupsal fonksiyon gruplarına sahiptir. Aminosülfatlar ve modifiye edilmiş linyosülfatlar bu gruba örnek olarak verilebilir.

Birinci gruptakiler süper akışkanlaştırıcıların temelini oluşturur ve piyasada çoğunlukla bulunanlar bunlardır. Polikarboksilatlı süper akışkanlaştırıcılar üzerindeki yeni araştırmalar ekonomik ve teknik olarak daha avantajlı yeni bir neslin keşfedilmesini sağlamıştır

Yeni kuşak süper akışkanlaştırıcılar, günümüzde geniş kullanım alanına sahip olan naftalin ve melamin esaslı süper akışkanlaştırıcılara göre betonda çok daha yüksek oranda su kesmekte ve yaklaşık 90 dakika süreyle işlenebilirliği koruyabilmektedirler [2]. Bu katkıları, bileşenleri özel olarak seçilmiş betonlara akıcılık ve kendiliğinden yerleşme özelliği kazandırır. Çimentonun beton içindeki dağılımı, bu katkılarıyla çalışıldığında normal süper akışkanlaştırıcılarda olduğu gibi yalnızca elektriksel etki ile değil aynı zamanda uzun dallar içeren polimer zincirleri sayesinde çimento tanecikleri çevresinde birbirini iten fiziksel bir etki ile (sterik etki) ince tanecikleri dağılıp kararlı hale gelir. Bu şekilde betona hem yüksek oranda su kesme özelliği kazandırılır ve hem de uzun süre kendiliğinden en küçük detaylara dahi ayrışmadan ve vibrasyon gerektirmeden yerleşebilen betonlar elde etmek mümkün olabilir [2].

Yüksek performanslı betonların gelişimi için ilave özellikler veren başkaca kimyasal katkı ve bağlayıcı malzemeler bulunmaktadır. Süper akışkanlaştırıcıları ile birlikte kullanılan kimyasal katkıları; priz geciktiriciler, hava sürükleyiciler, viskozite artırıcı bileşikler, pompalanabilirlik için yardımcı kimyasallar, su altı betonu üretiminde kullanılan katkıları ve korozyon önleyicilerdir. Ayrıca silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi mineral katkıları da kullanılmaktadır. Süper akışkanlaştırıcıları ile tüm bu mineral ve kimyasal katkıların uyumu, taze beton özelliklerine etkileri halen araştırılmaktadır.

Süper akışkanlaştırıcı katkıları giderek yaygınlaşan kullanımlarıyla beraber bu katkıları ile üretilen yüksek dayanımlı betonlarda karşılaşılan başlıca sorun akışkanlaştırıcının kullanılmasıyla elde edilen işlenebilirliğin uzun süre karıştırmaya, sıcaklığa ve çimentonun hidratasyonuna bağlı olarak azalmasıdır. Bir karışımdaki süper akışkanlaştırıcı miktarı ne kadar çok olursa karışımın ilk andaki çökme değeri ve işlenebilirliğini koruma süresi o oranda uzun olur. Karışımdaki su/çimento oranı düştükçe işlenebilirliği artırmak için gerekli olan süper akışkanlaştırıcı miktarı artar. Eğer süper akışkanlaştırıcı miktarı uygulanabilir limitin üzerine çıkarsa bu durumda betonun priz ve sertleşmesinde gecikme, ayrışma veya terleme gibi zararlı etkiler meydana gelebilmektedir [11].

1.2.5.2.1. Süper Akışkanlaştırıcıların Etki Mekanizması

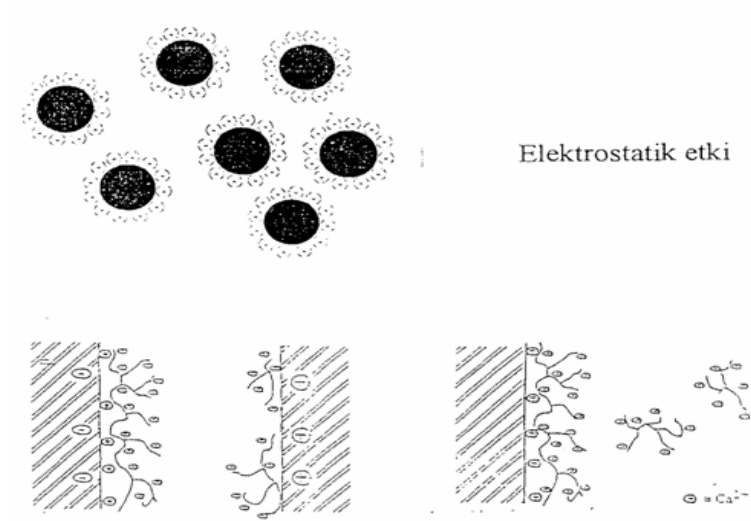
Süper akışkanlaştırıcıların akışkanlaştırıcı etkileri katı bağlayıcı malzemeleri dağıtma özelliğine bağlıdır. Dağılma, süper akışkanlaştırıcı moleküllerinin bağlayıcı toz parçacıkları tarafından absorbe edilmesiyle ilgilidir. Çimento tanelerinin dağılılabirliği sabit olmalıdır. Dağılım ve sürekliliğin açıklanması farklı teorilere bağlı olarak yapılmaktadır. Birinci teori liyofob jelleri için olan DLVO teorisidir (Derjaguin, Landau, Verwey, Overbeck). Şekil 2`de şematik olarak gösterildiği gibi bu teoride absorbe edilen süper akışkanlaştırıcı molekülleri katı çimento tanelerini negatif yükle yükleyerek taneler arasında elektrostatik bir itki oluşturur [1]. SNF ve SMI gibi sülfonatlı sentetik polimerler kullanılması durumunda oluşan dağılımın sebebi bu elektrostatik itkidir. İkinci teori ise sterik etki teorisidir. Şekil 3`de görüleceği üzere esas kısmı uzun ve yandan ekli zincirleri olan absorbe edilmiş molekül halindeki süper akışkanlaştırıcıların stereokimyasal yapıları itici bir potansiyel enerji yaratırlar. Bu dağılım özellikle poliakrilatlar gibi karboksilatlı sentetik polimerler ile bağlantılıdır.

Süper akışkanlaştırıcı olarak kullanılan polimerlerin moleküler ağırlıkları dağılım yeteneğini etkiler. Moleküler ağırlığı fazla olan polimerler çimento tanecikleri tarafından daha iyi absorbe edilir ve daha yüksek dağılma özelliğine sahip olurlar fakat moleküler ağırlıkları çok yüksek olursa yararlı bir nitelik olan yüksek dağılma yeteneği yok olur.

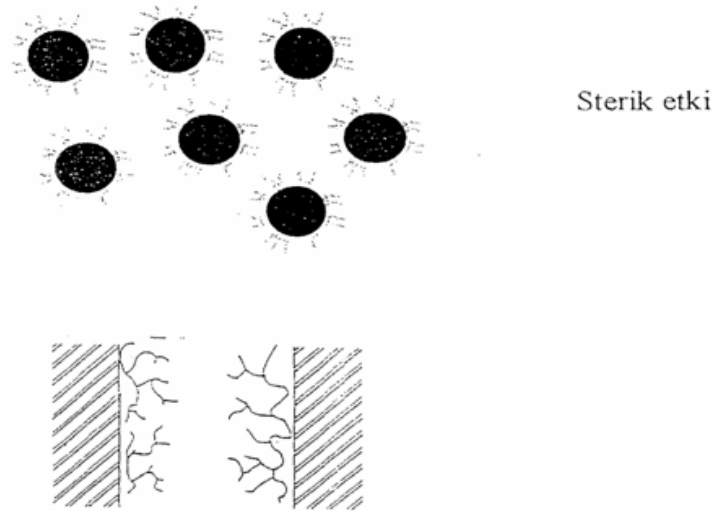
Süper akışkanlaştırıcıların betona ilave edilmesiyle reolojik özellikler üzerindeki etkisi kayma gerilmesinde azalma olarak ortaya çıkar. Bu ilave viskoziteyi düşürerek veya bazen yükselterek değiştirir. Karışıma sadece su ilave edilmesi durumunda ise betonun işlenebilirliği ve sıkılanabilirliği süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanıldığı duruma kıyasla daha düşüktür. Bu gözlem taze beton kararlılığı için önemlidir. Diğer taraftan plastik viskozitenin düşmesi, sürtünmenin azalmasından dolayı, betonun boru ile transferini kolaylaştırır. Fakat plastik viskozitenin çok fazla düşmesi halinde ayrışma ve boruların tıkanması tehlikesi ortaya çıkar.

Süper akışkanlaştırıcıların betonda kullanılması durumunda etkin bir işlenebilirlik elde etmek için kullanılan çimento türü ile süper akışkanlaştırıcının etkileşimi önemlidir. C₃A muhtevası yüksek olan çimentolarda süper akışkanlaştırıcıların çimento tanelerine etkisi azalmaktadır. Çünkü Portland çimentosunun yapısında bulunan C₃A ve C₄AF oksit bileşenleri su moleküllerini absorbe eder. Bu absorpsiyon sırasında suda çözülmüş olan

süper akışkanlaştırıcı katkı molekülleri bu bileşenler tarafından tutulmuş olur. Bu etkiyi tekrar artırabilmek için karışımdaki süper akışkanların miktarının artırılması gerekir [1].



Şekil 2. Elektrostatik etki mekanizmasının görünüşü



Şekil 3. Sterik etki mekanizmasının görünüşü

1.3. Betonun Karılması ve Taşınması

Hazır-beton üretimi için betonu oluşturan malzemelerin karılmasında aşağıda belirtilen yöntemlerden birisi uygulanmaktadır.

1. Beton santralindeki merkezi mikserde karıştırma (yaş karışım)
2. Transmikserde karıştırma (kuru karışım) ve
3. Beton santralindeki merkezi mikserde kısmen kardıktan sonra transmikserde karma.

Türkiye’deki hazır-beton üretimi genel olarak “beton santralindeki merkezi mikserde karma” yöntemi ile yapılmaktadır.

Aşağıda hazır beton üretiminde ve taşınmasında uygulanan değişik yöntemler hakkındaki açıklamalara yer verilmektedir:

1.3.1. Malzemelerin Merkezi Mikserde Karılması (Yaş Karışım)

Bu yöntemde betonu oluşturan malzemelerinin karılma işleminin başlatılması ve tamamlanması beton santralindeki merkezi mikserde yapılmaktadır. Bu amaçla kullanılan mikserler genellikle cebri paletli (tava tipi) mikserlerdir.

Karılma işlemi beton santralinde tamamlanmış olan taze beton, alıcının belirlediği teslim yerine kadar, transmikserlerle taşınmaktadır.

Betonun transmikserlerle taşınması işleminde, transmikserin teknesindeki taze beton teslim yerine kadar yavaş yavaş karıştırılarak götürülmektedir. Transmikser teknesi düşük bir hızla (yaklaşık 4 devir/dakika) döndürülür. Teknenin düşük hızla döndürülmesinin amacı betonun karılma işlemini tamamlamasından ziyade, tekne içindeki betonun çalkalanmasını (alt-üst edilmesini) sağlamak ve betonun hareketsiz kalmasını önlemek içindir.

Türk standartlarına göre 1 m³ ve daha küçük hacimli betonların karılma süresinin en az 45 saniye ve bu miktarın üzerindeki her ½ m³ beton için ek olarak 15 saniye karılma süresi gerekmektedir [4,12].

Karılması beton santralinde tamamlanmış olan taze betonun transmikserle taşınması sırasında transmikser teknesi kapasitesinin %80’inden fazla beton ile doldurulmamalıdır.

TS EN 206–1 Hazır Beton standardında belirtildiği üzere taşıma süresi en çok 2 saat veya toplam 300 devirdir. Bu iki kriterden hangisi daha erken oluşuyorsa ona uyulmalıdır. Belirtilen bu kriterlerin dışına çıkılması ancak alıcı isterse ve beton kıvamı ilave su gerektirmeden yerleştirilmeye uygun ise mümkündür. ASTM standartlarına göre transmikser teknesinde taşınan betonun en geç 90 dakika içerisinde veya mikser teknesinin

en çok 300 devir yapması sonunda mikser teknesinden dışarı çıkartılması gerekmektedir [12].

1.3.2. Malzemelerin Transmikser Teknesinde Karılması (Kuru Karışım)

Bu yöntemde, betonu oluşturacak çimento, agrega ve mineral katkıların ölçümü beton santralinde hazırlanmakta ve transmikser teknesine yerleştirilmektedir.

Kuru karışimli hazır betonun kuru malzemeleri, teslim yerine kadar transmikserlerle taşınmaktadır. Beton karışımı için gereken su miktarı ve varsa kimyasal katkıları teslim yerinde ölçülüp transmikserlere yerleştirilmekte ve karıştırma işlemi tamamlanmaktadır.

Kuru karışimli betonu oluşturan malzemelerin taşıma süresi 3 saati geçmemelidir.

Malzemelerin transmikser içerisinde karılma süresi transmikserin karıştırma devrinde (en az 10 devir/dakika) en az 5 dakika olmalıdır.

1.3.3. Malzemeler Merkezi Mikserde Kısmen Karıldıktan Sonra, Karılma İşleminin Transmikser Teknesinde Tamamlanması

Bu yöntemde malzemelerin karılma işlemine beton santralindeki merkezi mikserde başlanmaktadır. Ancak karılma işlemi başlatılmış olan malzemeler kısmen (yaklaşık ½ dakika) karılmış durumda transmikser teknesine devredilmekte ve karılma işlemi transmikser teknesinde tamamlanmaktadır.

Karılma süresi ve transmikser teknesinin dönme hızı üniform bir beton üretimi sağlayabilecek tarzda ayarlanmalıdır.

1.4. Betonda İşlenebilirlik

Beton karışımı hazırlanırken beton kolayca karıştırılmalı ve taşınmalı tamamen homojen olmalı (karışım içerisindeki bütün malzeme iyi karılmalı), akışkan olmalı, tasarlandığı gibi kalıpları tamamıyla doldurmalı (agreganın granülometrisi iyi olmalı) aşırı miktarda enerji sarfiyatına gereksinim duyulmadan sıkıştırılabilmeli ve bu işlem sırasında ayrışmamalı ve son adım olan yüzey işlemi kolayca yapılabilirdir.

Taze betondan beklenen bu işlevler; kıvam, akışkanlık, taşınabilirlik, pompalanabilirlik, sıkıştırılabilirlik ve düzeltilebilirlik olarak tanımlanabilir. Bütün bu özellikler “işlenebilirlik” başlığı altında toplanabilir.

İşlenebilme taze betonun katılma göstermeden önceki durumuyla ilgili bir özellik olduğundan betonun karılma işleminden itibaren ne kadar süre içerisinde katılma göstereceği (priz süresi) betonun kullanılacağı yapı tipi için oldukça önemlidir. Çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların meydana gelme hızı (hidratasyon hızı), priz süresinin kısalığına ve/veya uzunluğuna etkileyen önemli bir faktördür.

İşlenebilirlik taze betonun en önemli özelliğidir. Yeterli işlenebilirliğe sahip olmayan taze betonun sertleştiğinde yüksek dayanım ve yeterli dayanıklılık gösteremez.

İşlenebilme özelliği, betonun yapısından kaynaklanan şu özellikler ile ilgilidir:

- Taze beton kütesinin akmaya başlaması için gereken kuvvete karşı betonun göstereceği direnç (kayma direnci),
- Akma başladıktan sonra harekete geçme özelliği (akıcılık),
- Betonun oluşturan malzemelerin birbirlerine bağlanma derecesi, yani ayrışmaya karşı gösterilen direnç (kohezivite) ve
- Betonun yerleştirilmesi ve yüzeyinin düzeltilmesini etkileyen yapışkanlık özelliği

Taze betonda bulunması istenen yeterli ölçüdeki işlenebilme betonun kullanılacağı yapının tipi ile betonu taşımada ve yerleştirmede uygulanacak yöntem ve beton kütesinin boyutları ile doğrudan ilgili olan bir husustur. Havaalanı veya beton yol kaplamaları için yeterli işlenebilmeye sahip bir beton, sık donatılı ve dar bir yapı kalıbı içinde kullanıldığında, yeterli işlenebilmeyi göstermeyebilir.

1.4.1. İşlenebilirliğin Ölçülmesi

Taze betonun ne ölçüde işlenebilir olduğunu anlatabilmek için kullanılan “yüksek, orta, ya da düşük işlenebilirlikli” ya da “ıslak, plastik veya kuru kıvamlı” gibi terimleri insanlar için çok fazla belirleyici anlam taşımaz. Bu nedenle betonun işlenebilme özelliğinin birtakım yöntemlerle deneysel olarak belirlenebilmesi ve sayısal olarak belirtilmesi gerekir. Ancak işlenebilme tanımında yer alan kolayca karılabilme, taşınabilme, ayrışmadan yerleştirilebilme, sıkıştırılabilme ve yüzeyin düzeltilmesi gibi taze betonda aranılan özelliklerin tümünü deneysel olarak belirleyebilecek bir yöntem henüz

mevcut değildir. Betonun işlenebilme özelliğini belirlemek amacıyla deneye dayalı birkaç yöntem önerilmiştir.

Taze betonun kıvamının ve işlenebilirliğinin araştırılabilmesi için kullanılan deney yöntemleri arasında gerek çeşitli ülke standartlarında yer alan ve gerekse beton teknolojisi ile ilgili olan kimseler tarafından en çok kullanılan deney yöntemleri şunlardır.

1. Çökme hunisi deneyi,
2. Ve-Be süresi deneyi,
3. Sıkıştırma faktörü deneyi ve
4. Akıcılık deneyi (Sarsma tablası deneyi)

TS EN 206-1 standardına göre taze beton için tanımlanan kıvam sınıfları Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. TS EN 206-1 Standardına göre kıvam sınıfları

Kıvam Sınıfı	Çökme Değeri (mm)
S1	$10 \leq \text{çökme} < 40$
S2	$50 \leq \text{çökme} < 90$
S3	$100 \leq \text{çökme} < 150$
S4	$160 \leq \text{çökme} < 210$
S5	$220 \leq \text{çökme}$

1.4.2. İşlenebilirliğe Etki Eden Faktörler

Taze betonun işlenebilirliğine etkiyen faktörler aşağıda sıralanmıştır.

- Çimento miktarı ve özellikleri,
- Karma suyu miktarı,
- Agreganın granülometrisi, en büyük agreganın tane boyutu ve tane şekli,
- İnce agreganın miktarı ve tane dağılım oranı,
- Beton üretiminde kullanılan kimyasal ve mineral katkıları,
- Hava sürüklenmiş betonda sürüklenen hava miktarı,
- Hava koşulları ve beton karışımının sıcaklığı ve
- Betonun karıldığı andan kıvamın ölçüleceği ana kadar geçen süre.

1.4.2.1. Çimento Miktarı ve Özellikleri

Beton üretiminde kullanılan çimento miktarının çok az veya çok fazla olmasının betonun işlenebilmesine olumsuz etkileri olmaktadır. Çimento miktarı çok az olduğu takdirde betonun karılabilmesi, ayrışmaksızın yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin istenilen düzgünlükte düzeltilebilmesi kolay olmamaktadır. Öte yandan, beton üretiminde çok fazla çimento kullanıldığı takdirde betonda karıştırma, yerleştirilebilme ve sıkıştırabilme işlemleri daha rahat yapılabilmeyle beraber bu tür betonlar çok yapışkan olmakta ve beton yüzeyinin mala ile düzeltilmesi zorlaşmaktadır.

Çimentoyu oluşturan ana bileşenlerin miktarları ve çimentonun ne incelikte öğütülmüş olduğu çimento tipinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. Bu faktörler çimentonun su ile birleşmesi halinde ne kadar hızlı reaksiyon yapabildiğini ve ne kadar kısa sürede bağlayıcılık kazanarak katılaşmaya başladığını etkileyen faktörlerdir.

İnceliği fazla olan çimento ile yapılan betonlar hem daha kohezif olurlar hem de daha kısa sürede katılaşmaktadırlar. Belirli bir incelikte olan fakat daha yüksek oranda trikalsiyum silikat içeren çimentolarla ile üretilen betonlar, aynı incelikte fakat daha az trikalsiyum silikat içeren çimentolarla üretilen betonlara göre daha çabuk katılaşma gösterebilmektedirler.

1.4.2.2. Karma Suyu Miktarı

Betonun işlenebilirliğine etki eden en önemli unsur su miktarıdır. Taze betondaki su miktarının artmasıyla betonun akışkanlığı ve sıkışabilirlik özelliği de artar. Fakat bu durum dayanım azalmasına neden olduğu gibi ayrışma ve su kuma ihtimalini de arttırır.

Genel olarak taze betonun plastik kıvam özelliğinde olabilmesi için bir miktar suya gereksinim duyulur. İlk anda kullanılan malzemelerin yüzeyleri tarafından yeterli miktarda su absorbe edilir. Sonra su malzemeler arasındaki boşlukları doldurmalı ve ilave su malzemeler arasında ince bir film tabakası oluşturarak parçacıkların yüzeyinde yağlayıcı etki yaratır. Bu koşullarda küçük parçacıklar çok daha geniş yüzey alanına sahip olacaklarından toplamda su ihtiyacı artar. Diğer yandan beton içerisinde ince malzeme kullanılması durumunda betonun işlenebilirliğinde azalma görülür. Bu bakımdan karışıma konan su miktarı karışımda kullanılan agreganın gradasyonundan bağımsız düşünülemez.

Sabit bir işlenebilirlik değeri için ince agrega miktarı fazla olan karışımların ihtiyaç duyduğu su ince agrega miktarı az olanlara kıyasla daha fazladır. Çok düşük kıvamlı betonların kalıbına yerleştirilmesi ve sıkıştırılması güçtür. Bu tür betonların kalıbına yerleştirilmesi sırasında betonda ayrışma riski artar. Ayrıca çok düşük kıvamlı betonların kalıbına yerleştirilmesi sonrasında yüzeylerinin istenilen düzgünlükte düzeltilebilmesi de zorlaşır. Öte yandan çok akıcı kıvamlı betonların ayrışma eğilimleri yüksektir. Betonda kullanılan su miktarının çok fazla olması halinde beton yüzeyinde peteklenme görülür. Buna ek olarak çok akıcı kıvamlı betonlarda terleme hızı ve miktarı daha yüksek olmaktadır. Beton içerisindeki suyun üst yüzeye hareketi ile betonun üst yüzeyinde çok ince malzemeler toplanmakta ve yüzeyin düzgün duruma getirilebilirliği etkilenmektedir.

1.4.2.3. Agrega Granülometrisi ve En Büyük Agrega Tane Boyutu

Kullanılan agrega tanelerinin büyüklüklerine göre gösterdikleri tane dağılımı oranı (gradasyon) beton üretiminde kullanılan su miktarını ve buna bağlı olarak işlenebilmeyi önemli ölçüde etkilemektedir. Ayrıca agrega gradasyonunun beton karışımında kullanılan malzeme oranları üzerinde de önemli etkisi mevcuttur.

Sabit bir çökme değeri için uygun gradasyona sahip olmayan agregalarla üretilen betonlar uygun gradasyona sahip agregalarla üretilen betonlara kıyasla daha fazla karma suyuna ihtiyaç duyarlar [13].

Agreganın işlenebilirlik üzerine olan etkisi bakımından iki faktör önemlidir:

- Agrega miktarı
- İri ve ince agreganın karışımındaki oranları

Beton üretiminde kullanılan agreganın en büyük tane boyutunun betonun su ihtiyacı üzerinde önemli etkisi vardır. Beton üretiminde istenilen gradasyona uygun olmak koşuluyla mümkün olan en büyük agrega tane boyutuna sahip agrega kullanıldığı takdirde agrega tanelerinin yüzeyini ıslatacak ve işlenebilme sağlayacak karma suyu miktarı daha azdır. Başka bir deyişle, beton üretiminde kullanılan karma suyu miktarı sabit tutulduğu takdirde en büyük agrega tane boyutu daha büyük olan uygun gradasyondaki agregaların kullanılmasıyla betonun kıvamında artma görülmekte ve böylece işlenebilme olumlu etkilenmektedir.

1.4.2.4. İnce Agreganın Miktarı ve İnceliği

Sabit bir su/çimento oranına sahip beton karışımlarında, agrega/çimento oranı arttıkça betonun işlenebilirliği azalmakta ve üstelik ince agrega miktarı arttığı için çimento ihtiyacı artmaktadır.

Beton yapımında kullanılan ince agrega (kum) miktarının ve ince agreganın ne kadar incelikte tanelerden oluşmuş olmasının betonun işlenebilirliği üzerindeki etkisi çok önemlidir. Sabit bir çökme değeri elde etmek için ince agrega miktarı fazla olan beton karışımları daha çok karma suyuna ihtiyaç duyarlar [13]. İnce agrega miktarı ağırlık olarak aynı tutulsa dahi, sabit bir çökme değeri elde edebilmek için daha yüksek incelikte ince agrega (ince kum) ile yapılan betonlar daha iri ince agrega (iri kum) ile yapılan betonlara göre daha çok miktarda karma suyuna ihtiyaç duyarlar. Kum irileştikçe taneciklerin toplam yüzey alanları azalır. Bunun sonucunda ise tanelerin yüzey alanını ıslatmak için ihtiyaç duyulan su miktarı da azalır.

İnce agreganın yetersiz olması halinde karışımın akışkanlığı azalır; ayrışma riski artar ve betonun yüzeyinin düzeltilmesi işlemi zorlaşır. Öte yandan aşırı miktarda ince agrega kullanımı durumunda betonun boşluk oranı artacağı için geçirimsizliği artacaktır ve beton iyi bir işlenebilirliğe sahip olmasına rağmen ekonomiklikten uzaklaşmış olacaktır [4,13].

1.4.2.5. Agreganın Tane Şekli

Betonda kullanılan su/çimento oranı sabit tutulduğu takdirde yassı veya uzun şekilli tanelerin oranı yüksek olan agregalarla üretilen betonların kıvamı ve işlenebilmesi daha düşük olmaktadır. İstenilen sabit bir çökme değerini elde edebilmek amacıyla yassı veya uzun tanelere sahip agregalarla üretilen betonlar yuvarlak agregalarla üretilen betonlara kıyasla daha fazla miktarda suya ihtiyaç duymaktadır [4,13].

Beton için su/çimento oranı sabit tutulduğu takdirde kırma taş ve/veya kırma kum gibi köşeli agregalarla üretilen betonlar; dere malzemesi gibi pürüzsüz ve yuvarlak agregalarla üretilen betonlara kıyasla daha az kıvamlı ve daha az işlenebilir olmaktadır.

1.4.2.6. Beton Üretiminde Kullanılan İnce Taneli Mineral Katkılar

Mineral katkıları genellikle katı karışımlarda ince malzeme ilavesi olarak kullanılır. Bu kullanımda mineral katkıları çimento taneciklerine benzer şekilde boşluk doldurmaktadırlar. Mineral katkıların işlenebilirlik üzerinde bir miktar etkisi bulunmaktadır.

İnce taneli mineral katkı maddeleri kullanıldığında sabit bir çökme değeri için betonda kullanılacak karma suyu ihtiyacı çok az miktarda artar. Ancak betonun daha akışkan olmasını sağlamak suretiyle işlenebilirliğini artırmaktadır [4].

1.4.2.7. Beton Üretiminde Kullanılan Kimyasal Katkılar

Su azaltıcı katkı maddeleri taze betonda olması gereken çökme değerinin daha az miktarda karma suyu kullanarak elde edilebilmesini sağlarlar. Böyle bir durumda karma suyundaki azalmadan dolayı su/çimento oranı düşmekte bu da daha yüksek dayanımlı beton üretimine olanak sağlamaktadır.

Bazen betonda kullanılan karma suyu miktarında azaltma yapmadan da su azaltıcı katkı maddeleri kullanılmaktadır. Böyle bir durumda, elde edilen taze beton karışımının çökme değeri önemli ölçüde artmış olacağı için oldukça akışkan veya süper akışkan bir beton elde edilmiş olmaktadır.

Priz geciktirici katkı maddeleri kullanıldığında betonun karılmasından katılaşmasına kadar geçen süre uzamakta ve dolayısıyla bu tür betonların rahatça taşınabilmesi ve sıkıştırılabilmesi mümkün olmaktadır.

Hava sürükleyici, su indirgeyici ve priz geciktirici katkı maddeleri işlenebilirliğe katkı sağlayabilir. Fakat dikkat edilmesi gereken husus; kimyasal katkıları; her bir çimento ve agrega çeşidi için farklı etkinlik gösterebilirler. Bu nedenle farklı katkı kullanılması durumunda gerekli itina mutlaka gösterilmesi gerekir.

1.4.2.8. Hava Sürüklenmiş Betonlardaki Sürüklenmiş Hava Miktarı

Hava sürüklenmiş beton üretilmesindeki asıl amaç elde edilen betonun maruz kalacağı donma-çözülme olayları karşısında veya kışın betonun yüzeyinde oluşan buzları

çözmek amacıyla kullanılan tuz ve benzeri kimyasal maddelere karşı betonun daha dayanıklı olmasını sağlamaktır.

Betonun içerisinde sürüklenmiş olan hava miktarı betonun dayanıklılığına etkili olmasının yanı sıra başta işlenebilme olmak üzere taze ve sertleşmiş betonun birçok özellikleri üzerinde de etkili olmaktadır.

Çimento hamuru içerisinde yer alan milyonlarca sayıdaki küresel küçük hava baloncukları betonun akışkanlığını artırmakta, işlenebilmeyi olumlu yönde etkilemektedir. Sabit bir su/çimento oranı dikkate alındığında hava sürükleyici katkı maddesi ile üretilen betonların kıvamı ve işlenebilirliği katkısız betonlara kıyasla daha yüksek olmaktadır.

Ayrıca hava sürüklenmiş taze betonlardaki terleme miktarı ve hızı, hava sürüklenmemiş betonlardakine kıyasla daha az olmaktadır. Hava kabarcıkları taze betonda yer alan ince tanelerin dibe çöküşünü ve böylece beton içerisindeki suyun üst yüzeye çıkışını azaltmaktadır. Çimento hamurunun hava kabarcığı dışındaki kesitinde azalma olduğu için, suyun yukarı çıkmasında da azalma olmaktadır. Daha az terleme yapan betonların yüzeyinde biriken suyun ve çok ince parçacıkların miktarı daha az olduğu için betonun yüzeyi daha rahat düzeltilebilir hale gelmektedir.

1.4.2.9. Sıcak Hava Koşulları ve Taze Beton Karışımının Sıcaklığı

Beton karışımının sıcaklığının artması ve çevredeki sıcak hava koşulları (hava sıcaklığının yüksek olması, rüzgâr hızının yüksek olması, bağıl nem yüzdesinin düşük olması), beton içerisindeki suyun daha çabuk buharlaşmasına, çimento ile su arasındaki reaksiyonların daha hızlı ilerlemesine ve hidrasyon ısısının daha büyük bir hızla açığa çıkmasına yol açmaktadır.

Gerek hızlı buharlaşma nedeniyle betonun içerisindeki suyun azalması gerekse hidrasyonun daha hızlı ilerlemesiyle taze beton daha katı bir karışım haline gelmekte, işlenebilirlik kısa sürede azalmaktadır. Sabit bir su/çimento oranında üretilen betonlarda beton sıcaklığının artması, betonun kıvamında (çökme değerinde) belirgin bir azalmaya neden olur. İstenilen kıvamı tutturmak için daha fazla karma suyuna ihtiyaç duyulur. Daha fazla miktarda karma suyu kullanıldığında taze betonun terlemesi artmakta, betonun yüzeyinde gelişigüzel çatlakların oluşması kolaylaşmakta ve beton dayanımı azalmaktadır [4].

1.4.2.10. Betonun Karıldığı Andan Kıvamın Ölçüleceği Ana Kadar Geçen Süre

Beton içerisinde yer alan malzemelerin karılmasından hemen sonra taze betonun sahip olduğu kıvam ile belirli bir süre sonra göstereceği kıvam arasında farklılıklar oluşur. Normal hava koşullarında dahi zaman ilerledikçe gerek beton içerisindeki suyun bir miktarının buharlaşması gerekse bir miktar suyun agregaların gözenekleri tarafından emilmiş olması nedeniyle taze betonun kıvamında azalma olmaktadır. Taze betonun karıldıktan belli bir süre sonra kıvamının azalmasına beton teknolojisinde “kıvam kaybı” ya da başka bir tabirle “çökme kaybı” olarak bilinir. Sıcak havada taze betondaki çökme kaybı daha fazladır.

1.4.3. Betonda Taşınmanın İşlenebilirlik Üzerine Etkisi

Betonda işlenebilirlik yalnızca taşıma süresine değil aynı zamanda taşımaya da bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Taşıma süresince karıştırma olmaması halinde zamanla çökme (oturma), kendi içinde sıkışma (kendi ağırlığıyla) ve ayrışma ihtimali artar [14].

Betonun taşıma işlemi sırasında karıştırılması ayrışmayı ve betonun kendi ağırlığı altında oturma ihtimalini önlemek adına önemli bir unsurdur ve bu dağıtım sırasında işlenebilirliğe katkı sağlamaktadır. Karıştırma sırasında rüzgârın mevcudiyeti buharlaşma riskini arttırmakta ve karışım suyundaki azalma nedeniyle buna paralel olarak işlenebilirlikte de azalma gözlenmektedir.

Karıştırma işlemi sırasında parçacıklar arasındaki sürtünmeden dolayı parçacık yüzeylerinde aşınma, parçalanma ve ezilme meydana gelmektedir. Bunun sonucunda parçacıkların (agregaların) toplam yüzey alanında meydana gelen artıştan dolayı agregaların su emme kapasiteleri artmakta ve agregaların yüzey alanlarındaki artışa paralel olarak yüzey alanında tutulan su miktarında da artış olmaktadır. Bu iki koşul işlenebilirlik için gerekli olan su miktarını azaltmakta; bu da işlenebilirliğin azalması anlamına gelmektedir.

Bütün bu faktörlerin hareket mekanizmaları ve birbirleri ile olan bağlantıları Şekil 4`de gösterilmektedir.

İşlenebilirliğe etkiyen en önemli dört unsur şunlardır:

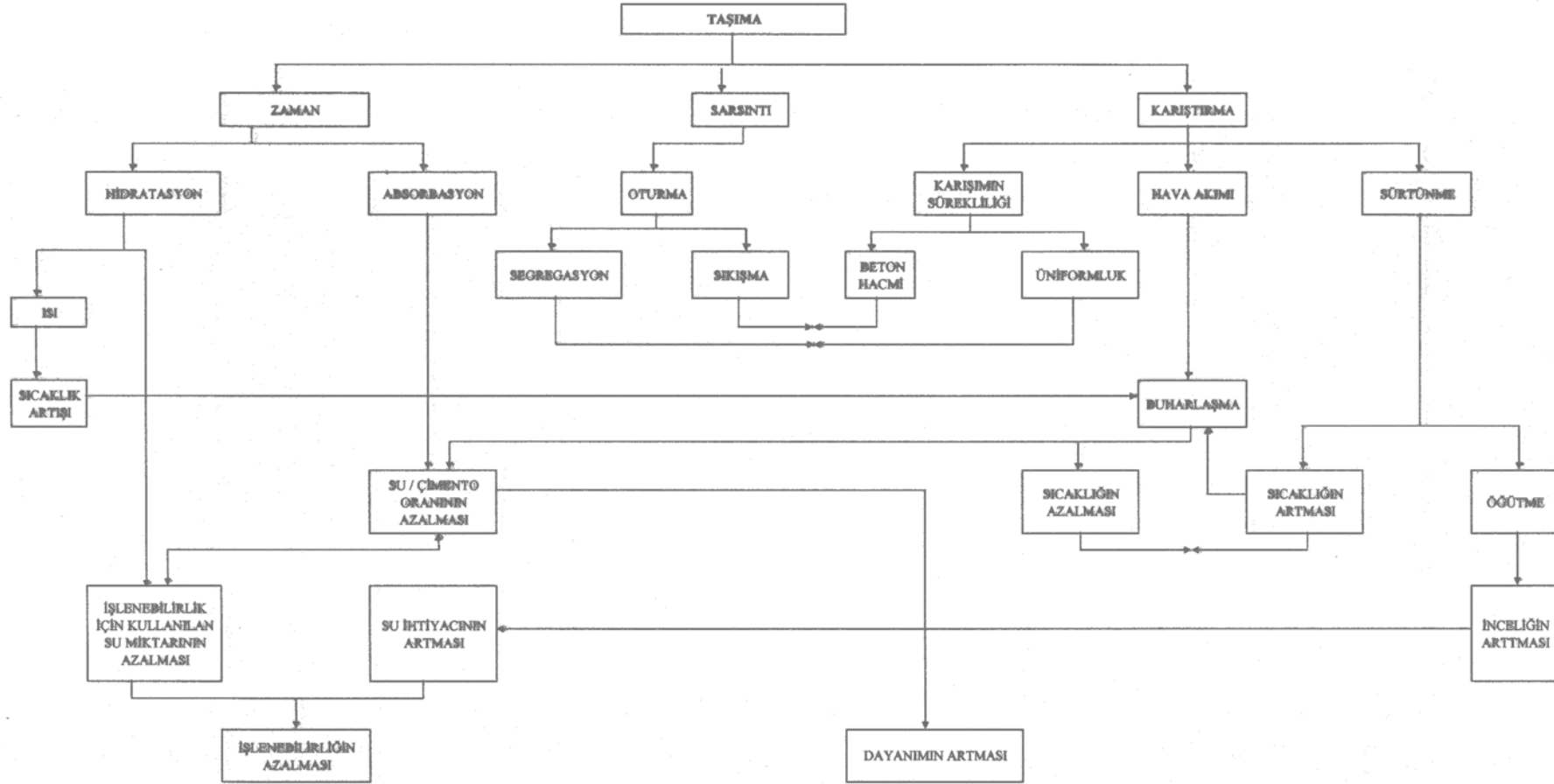
- Buharlaşma,

- Hidratasyon,
- Absorpsiyon ve
- Öğütölme

Bu grup içerisinde buharlaşma ve hidratasyondan dolayı oluşan su kayıpları ortam koşullarına bağlı olarak zaman içerisinde artar. İşlenebilirlik kaybında etkin olan diğer bir önemli unsur çimento tanelerinin aşınarak öğütölmesidir. Bu olayın tam olarak nasıl meydana geldiği bilinmemektedir ancak çimento tanelerinin parçalanarak öğütölmesi durumunda orta ve yüksek dozda çimento içeren betonların su ihtiyaçları önemli derecede artmakta; bu da işlenebilirliği azaltmaktadır. Çimento miktarı az olan betonlarda ince malzeme miktarı az olduğundan dolayı bu olay (çimento tanelerinin parçalanması) ters etki yaparak ince malzeme miktarının artmasından dolayı su ihtiyacı azalmakta ve gözlemlenen işlenebilirliğin artmasına sebep olmaktadır [13].

Çeşitli unsurların (buharlaşma, hidratasyon vb.) birbirleri ile olan bağlantılarından dolayı işlenebilirlikteki azalma zamanla artmaktadır.

İşlenebilirliğin azalmasına etki eden iç ve dış koşullar Tablo 2 ve 3`de verilmiştir.



Şekil 4. Hazır betonun taşınması sırasında meydana gelen çeşitli faktörlerin birbirleri arasındaki ilişki ve bu faktörlerin dayanım ile işlenebilirlik üzerine olan etki [6]

Tablo 2. Beton üretiminde kullanılan malzemelerin zamana bağlı olarak betonun işlenebilirliğine etkileri [14].

Malzeme Karakteristiği	İşlenebilirliğe Etki Eden Faktörler
Çimento Tipi	Erken Hidratasyon
	İncelik
	Sıcaklık Değişimine Katkısı
Çimento Miktarı	Sıcaklık Değişimine Katkısı
	Hidratasyon İçin Su Kullanımı
Agrega	Aşınma Direnci
	Nem İçeriği
	Porozite
İlk İşlenebilirlik	Agreganın Parçalanmasının Etkisi
	Hidratasyon Etkisi
Katkılar	Hidratasyona Etkisi
	Sıcaklık Değişimine Etkisi
	Hava İçeriğine Etkisi

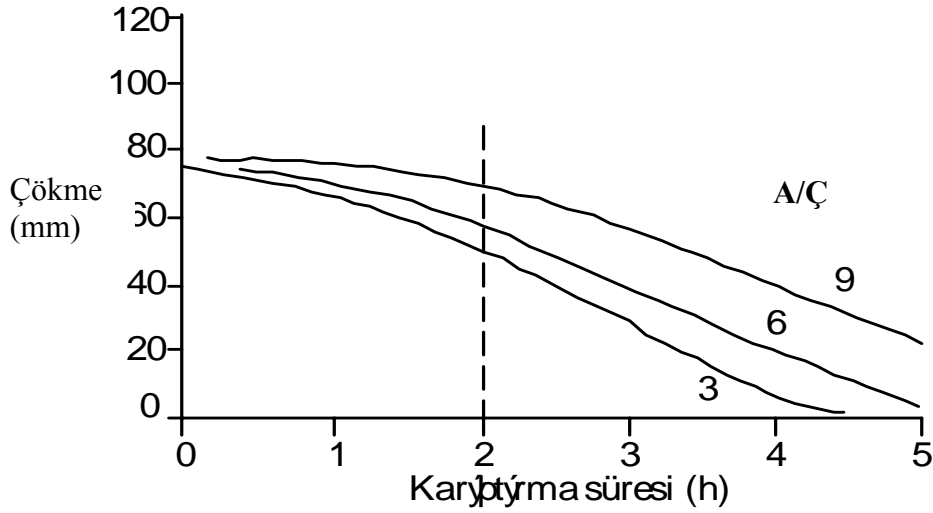
Tablo 3. Dış faktörlerin zamana bağlı betonun işlenebilirliğine etkileri [13].

Malzeme Karakteristiği	İşlenebilirliğe Etki Eden Faktörler
Hava Koşulları	Sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı
Beton Taşıma Aracının Tipi	Kazanın hacmi, kazanın hava akımını içerisine alıp almaması, kazanı oluşturan malzeme karakteristiği ve rengi (ısıyı absorbe etmesi)
Betonun Taşıma Süresi	Yol mesafesi, trafik yoğunluğu ve şantiye ortamına ulaşım
Betonun Boşaltılması	Bekleme süresi ve Betonun hangi hız ve hangi oranda boşaltıldığı

Yukarıda Tablo halinde verilen unsurların bazıları aşağıda açıklanmıştır.

1.4.3.1. Çimento Miktarı

Beton karışımındaki çimento miktarının az olması işlenebilirlik kaybını az miktarda etkiler. Çünkü çimentodan kaynaklanan sıcaklık artışı normale göre daha düşük olmakta ve betonun taşınması işlemi için geçen sürede hidrasyon için karışım suyundan daha az oranda faydalanılmaktadır. Bu olay Şekil 5`de gösterilmektedir.



Şekil 5. Agrega/çimento (A/Ç) oranının karıştırma süresine bağlı olarak işlenebilirlik kaybı üzerine etkisi.

1.4.3.2. Katkılar

Katkı maddeleri ısı artışına, hidrasyona ve/veya hava içeriğine etki etmek suretiyle işlenebilirlikteki kayıp üzerinde etkili olmaktadır.

Belli durumlarda kalsiyum klorit (kullanımına nadiren izin verilir) hidrasyonu hissedilebilir oranda arttırmakta ve bunun paralelinde betonun sıcaklığı artmaktadır. Bu olay betonda sertleşmeye hızlandırmaktadır. Bu durum genellikle sıcak havalardaki zengin içerikli kuru karışımlarda meydana gelmektedir [15].

Erken aşamalardaki işlenebilirlik kaybı genellikle ilk olarak buharlaşmadan kaynaklanır. Geciktiriciler sonraki aşama olan hidrasyon baskın olana dek önemli bir etkiye sahip değildirler. Bundan dolayı geciktiriciler ilk aşamadaki işlenebilirlik kaybından ziyade sonraki aşamalardaki işlenebilirlik kaybını etkimeye daha müsaittirler [15].

Hava sürüklenmiş betonlardaki hava içeriği zamanla değişebilir. Bunun sonucu olarak işlenebilirlik artar ya da azalır.

1.4.3.3. Ortam Koşulları

Düşük orandaki hava ya da beton içerisindeki malzeme sıcaklıkları buharlaşmayı ve hidrasyon derecesini azaltır ve bu sonuçta işlenebilirlik kaybını azaltır. Normal sıcaklık oranına sahip çimento bu hususta çok önemli bir etkiye sahip değildir ancak sıcak havalardaki çimento miktarı fazla olan betonlarda çimento ısısının yüksek olması problem oluşturur. Açık bir şekilde havadaki yüksek nem buharlaşmayı dolayısıyla işlenebilirlik kaybını azaltır.

Rüzgâr hızı beton mikserinin içerisinde korunmakta olan betona çok düşük oranda etki eder ancak rüzgâr hızı betonun boşaltılması ve yerleştirilmesi sırasında herhangi bir tedbir alınmadığı durumlarda önem kazanır [15].

1.4.3.4. Betonun Hacimsel Oranı

Hacimsel olarak fazla betonlarda yüzey alanı/hacim oranı düşüktür. Bu nedenle buharlaşmadan dolayı ya da önemli beton karışımlarında beton ile kazan ve kazanın içerisindeki bıçaklar arasındaki yapışmadan dolayı kaynaklanan su kaybındaki hassasiyet daha düşüktür. Diğer yandan geniş hacimli betonlar (kütle betonlar) ısıyı kolaylıkla bünyelerinde tutabilmekte ve hidrasyon oranının artmasına sebep olmaktadır.

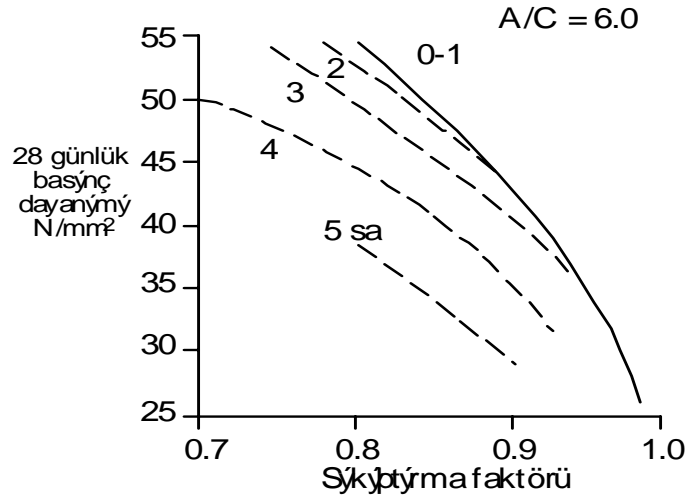
Pratikteki tecrübeler göstermektedir ki geniş hacimli betonlardaki işlenebilirlik kaybı küçük hacimli betonlara kıyasla daha azdır [15].

1.5. Taşıma Süresinin Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkileri

Sınırlandırılmış olan dağıtım süresi ve kıvamın yeniden ayarlanması konusunda katkı sağlamak için, taşımanın işlenebilirlik ve dayanım üzerine olan etkisi önemli ölçüde irdelenmiştir. Betonun dayanımı genellikle karıştırma süresinin yaklaşık olarak %5'i tamamlandığında arttığı gözlenmiştir. Bu durum betonun işlenebilirliğinin düşük ve betonda tam anlamıyla sıkıştırma meydana gelmesi durumunda geçerlidir [16].

Islak agrega kullanıldığında betonun basınç dayanımının buharlaşma neticesinde arttığı ancak sürtünme ve hidratasyon gibi diğer unsurlardan dolayı işlenebilirliğin azaldığı gözlemlendiği belirtilmektedir [16]. Bundan dolayı verilen karışımda dayanım ve işlenebilirlik arasındaki ilişki karışımdaki ilk su içeriği değiştirilmemek kaydıyla karıştırma süresine bağlı olarak değişim göstermektedir. Şekil 6'da özetlendiği üzere yapılan deneylerin sonuçlarına göre bu durum doğrulanmıştır.

Bu etki genellikle tipik taşımalarda (uzun olmayan) ve koşullarda küçüktür ancak oldukça uzun karıştırma sürelerinde yüksek çimento oranına sahip karışımlarda, sıcak ve kuru havalarda ve düşük işlenebilirlikte (ilk karıştırılma anında) oldukça önem kazanmaktadır.



Şekil 6. Karıştırma süresinin basınç dayanımı ve işlenebilirlik arasındaki ilişki üzerine etkisi.

1.6. Betonun Dağıtım Süresinin Sınırlandırılması

Priz ve sertleşme ile ilgili mekanizma hakkındaki yetersiz bilgilendirmeden dolayı, geçen her saatin ardından taze betonda çalışmak risk oluşturmaktadır [17].

Her karışım için zamanın bir fonksiyonu olarak (zamanın artması ile) işlenebilirlik kaybı meydana geldiğinden iyi bir dayanım için uzun süreli ve iyi bir sıkıştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısı ile zamana bağlı olarak işlenebilirlik ile sıkıştırma faktörü arasında doğru orantı kurulabilmektedir.

Belirli bir beton için sıkıştırma faktörü sabit tutulur ise zamana bağlı olarak bu betonun sıkılanması zorlaşmakta bu da beton içerisindeki boşluk oranının artmasına yol açmaktadır. Bundan dolayı uzun süre karıştırma sonunda belirli bir sıkıştırma ile elde edilmiş olan dayanım, karışım tamamlandıktan hemen sonra betonun acil olarak yerleştirilmesiyle elde edilen dayanıma kıyasla oldukça düşüktür ancak farklı zaman dilimleri içerisinde ve farklı karışımlar için sıkıştırma faktörüne bağlı olarak bu koşul değişebilmektedir. İyi bir dayanım elde etmek için işlenebilirlikte hissedilebilir derecede değişiklik meydana gelmeden, dağıtımını tamamlanmış betonun; teslim alan tarafından planlanan şekilde yeterli sürede peş peşe yerleştirilmesi ve sıkılması gerekmektedir.

TS EN 206-1'e göre hazır betonun karıştırılması beton mikserinin içerisinde devam ederken dağıtım işlemi iki saat içerisinde tamamlanmalıdır. Karıştırma işlemi gerçekleşmiyor ise bu süre bir saat olarak belirtilmektedir .

ASTM C 94'de hazır beton mikserde 300 devirlik dönme işlemi tamamlanmadan önceki 1,5 saatlik dilimde boşaltmasının gereği vurgulanmaktadır [18].

Diğer yandan TS EN 206–1 standardına göre taşınacak olan beton sınıfı belli hazır beton karışım başladıktan iki saat ya da 300 devir sonra mikserden boşaltılmalıdır. Karışım başlangıcında su ve çimento birbirleri ile birleşmekte ve hidrasyon başlamaktadır.

1.7. Betonun Kıvamının Tekrar Ayarlanması (Kıvam İyileştirmesi)

Bazı koşullarda karışım tamamlandıktan belli bir süre sonra taze betona kontrollü olarak katılan su betonun basınç dayanımı ve işlenebilirliğini suyun betona ilk karıştırma anında ilave edilmesi gibi etkilemektedir. Bu yüzden kıvamın tekrar düzeltilmesi (retempering); işlenebilirliğin istenilen değere çekilmesi için beton karışımına bir miktar daha suyun katılarak karıştırılmasıyla ve suyun beton karışımına çok iyi bir şekilde nüfuz ettirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu durum genellikle betonun mikserlerle taşınması halinde oluşmaktadır. Beton dağıtımını esnasında inceleme yapıldığında istenilen kıvamdan daha düşük bir işlenebilirliğe sahip olması için üç makul sebep mevcuttur.

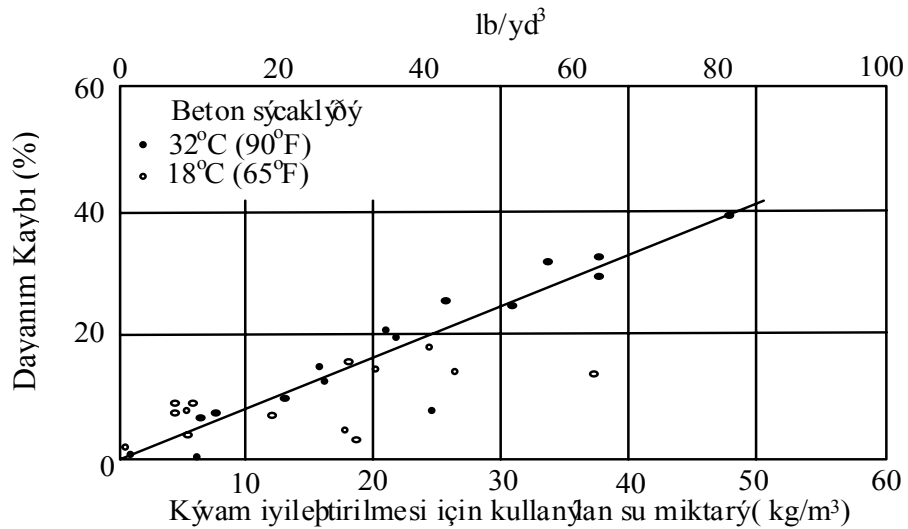
1. Betonun ilk karıştırılması anında yeterli miktarda su kullanılmamıştır.
2. Tahmin edilenden daha fazla miktarda buharlaşma ya da su absorbe edilmiştir.
3. Tahmin edilenden daha yüksek oranda hidrasyon meydana gelmiştir ya da çimento veya agregada ufalanma meydana gelip yüzey alanındaki artış su miktarında azalmaya sebep olmuştur.

Kıvamı düzeltmek için betonun içerisine ilave edilen su 1. ve 2. maddelerdeki eksik su miktarını dengelemesi durumunda umulandan daha düşük miktarda bir dayanımın çıkması söz konusu olmaz. Buna karşın 3. maddeden dolayı oluşacak kıvam kaybında fazla miktarda su kullanımı durumunda dayanım kayıpları kaçınılmaz olur. Buna karşın dağıtım sırasında kıvam kaybı meydana gelmiş olan betondaki su kaybını tetikleyen unsurların yukarıda sıralanan etmenlerden hangisinin olduğunu tespit etmek mümkün değildir [15].

Bazı araştırmacılar bu dayanım kaybının toplam su/çimento oranı göz önüne alındığında umulan kayıptan daha düşük olacağını ifade etmektedirler [19]. Diğerleri ise kıvamı iyileştirmek için kullanılan suyun betonun ilk karışım anında katılmasıyla oluşacak kayıpla aynı özelliği göstereceğini belirtmektedirler [19]. Açıklamalardaki bu ayrılık muhtemelen su kaybının nasıl oluştuğu ile alakalıdır.

Buharlaşma nedeniyle oluşan su kaybı efektif su-çimento oranı içerisindedir ancak kıvamı iyileştirmek için kullanılan su hidrasyona katkı sağlıyorsa bu miktar etkin olan su miktarına ilave edilmelidir. Bu durumda betonun dayanımı da kullanılan su miktarına bağlı olarak değişim gösterecektir.

Şekil 7'de görüldüğü üzere, beton transmikserden boşaltılmadan hemen önce kıvamı iyileştirmek için ilave edilen su ilk işlenebilirliği önemli ölçüde etkilemektedir ancak işlenebilirliği iyileştirmek için karışıma katılacak su miktarının basınç dayanımı üzerinde olabilecek muhtemel etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 7. Betonda kıvam iyileştirilmesi için kullanılan suyun basınç dayanımı üzerine etkisi

1.8. Betonun Laboratuvar Koşullarında Örneklenmesi

Transmikserde karıştırılan betonun laboratuvar koşullarında örneklenmesi oldukça güçtür. Küçük ölçekli çalışmalarda (deneysel) betonun karakteristik özelliklerine etkiyen faktörlerin etki derecesi ile büyük ölçekli çalışmalarda betonun özelliklerine etkiyen faktörlerin etki derecesi farklılık göstermektedir.

Sıralanan faktörler planlanan küçük ölçekli çalışma ve deneysel olarak rol almaktadır ve bu faktörlere deney sonuçlarının yorumlanması ve sonuçlandırılmasında ihtiyaç duyulur.

1. Beton hacmi,
2. Betonun yüzey alanı/hacim oranı,
3. Mikserin karıştırma hızı, gücü ve tipi,
4. Kuru agreganın su emmesi,
5. Mikserin kazanındaki ve karıştırıcı bıçaklarına yapışmış olan harç tabakalarının su absorbesi ve buharlaşma,
6. Mikserin gücüne ve karıştırıcı bıçakların konfigürasyonuna bağlı olarak agreganın aşınması veya ufalanması

1.9. Betonda Kıvam İyileştirmesi ve Uzun Süreli Karışımlar ile İlgili Araştırmaların İrdelenmesi

1.9.1. Genel

Taze beton karışımı zamanla katılaşmakta ve buna paralel olarak çökme kayıpları meydana gelmektedir. Normal koşullar altında bu katılaşma (sertleşme) ve buna bağlı olarak çökme kaybı beraberinde büyük zorluklar doğurmamaktadır çünkü pratikte beton standartların ön gördüğü sınırlar içerisinde sıkıştırma ve yüzey işleminin tamamlanmasına izin verebilecek kadar işlenebilir kalabilmektedir. Sıcak ortam koşullarında betonun katılaşması hızlanır ve uzun süreli taşımanın gerekli olduğu durumlarda, çökme kaybının artması beraberinde ciddi sorunlar getirebilmektedir.

Sıcak hava koşullarında uzun süreli karıştırma gerektiğinde betonun istenilen kıvama sahip olabilmesi için betonun kıvamının tekrar ayarlanmasına gereksinim duyulur. Betonda kıvam iyileştirmesi ya da kıvamın yeniden ayarlanması (retempering) istenilen kıvamın elde edilebilmesi için şantiyede betonun boşaltma işleminden hemen önce içerisine ilave

su, akışkanlaştırıcı katkı maddesi, çimento pastası ya da bunların çeşitli kombinasyonlarının katılması olarak tanımlanabilir [20].

1.9.2. Uzun Süre Karıştırma ve Kıvam İyileştirmesinin Taze Betonun Özelliklerine Etkisi

1.9.2.1. Uzun Süreli Karıştırmanın İşlenebilirlik Üzerine Etkisi

Taze haldeki beton zamanla katılaştır. Bu olayın sıcaklığın etkisiyle oluşan buharlaşmadan mı yoksa çimentonun hidrasyonundan mı kaynaklandığı tam olarak ayırt edilememektedir. Basitçe irdelendiğinde karışımdaki suyun bir miktarı agrega tarafından absorbe edilirken bir miktarı buharlaşmakta ve bir kısmı da ilk oluşan kimyasal reaksiyon neticesinde tüketilmektedir. İşlenebilirlikte meydana gelen toplam kayıp miktarı zengin karışımlara, çimentonun tipine betonun sıcaklığına ve ilk çökme değerine bağlı olarak değişmektedir [1].

1.9.2.2. Uzun Süreli Karıştırmanın Çökme Kaybı Üzerine Etkisi

Üretimi henüz tamamlanmış taze betonda yaşanan en önemli sorun işlenebilirliğin betonun yerleştirildiği ana kadar geçen süre içerisinde değişmesidir. Beton zamanla katılaşmakta ve hazır betonun kalıbına yerleştirilmesi oldukça uzun zaman alabilir. Katılaşma yüksek sıcaklıkta ve uzun süreli karıştırma gereken durumlarda hızlı olabilmekte ve buna bağlı olarak betonun çökme kaybı da daha fazla olabilmektedir [21].

Tablo 4`de dört saatlik karışırmaya maruz C18 ve C25 sınıf betonlar ilişkin çökme kayıpları ve Tablo 5`de ise bu beton sınıflarına ait karışım oranları verilmektedir. Dört saatlik karıştırma sonunda C18 sınıfı betonda sıcaklık 32°C`den 38°C`ye buna karşın C25 tipi betonda ise sıcaklık 33°C`den 40°C`ye yükselmiş olduğu görülmektedir [22,23].

Betonun santralde karıştırılmaya başlandığı andan şantiyeye taşınıp boşaltılmasına kadar geçen süre içerisinde gerçekleşen çökme kaybının iki ana nedeni vardır. Bunlar:

- i) Beton sıcaklığı ve
- ii) Çimentonun hidrasyon derecesi.

Tablo 4. Betonun 1, 2, 3 ve 4 saatlik karıştırma süreleri sonundaki çökme değerleri (cm).

Beton sınıfı	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat
C 18	15	13	8	5
C 25	10	3	0	0

Tablo 5. Beton karışım oranları

Kullanılan Malzemeler	C 18	C 25
Çimento (kg/m ³)	257	343
Su (kg/m ³)	207	213
İnce Agregası (kg/m ³)	887	845
İri Agregası (kg/m ³)	971	925
W / C	0.81	0.62
Çökme, cm	17	17

Uzun süreli karıştırma, malzemelerin alt-üst edilerek, sağa-sola çarpmaları nedeniyle bir nevi öğütme işlemi etkisi yaratmaktadır. Özellikle yumuşak ve kırılabilir karakterdeki agregalarda bir miktar ufalanma yer almakta agrega boyutları küçülmektedir. Beton, önceden hesaplanmış oranlara göre daha büyük miktarda ince malzeme içermektedir.

Betonu oluşturacak agrega boyutlarında küçülmeler olduğu takdirde elde edilecek betonun kıvamı, hedeflenmiş olan kıvamdan daha düşük olmaktadır. Bir başka deyişle, hedeflenen kıvamı tutturabilmek için betonun daha fazla suya ihtiyacı olmaktadır. Su miktarı arttırıldığı takdirde ise beton dayanımında azalma görülmektedir. Tablo 6'da, karma süresine bağlı olarak betonun çökmesi arasındaki ilişkiyi gösteren değerler yer almaktadır

Tablo 6. Uzun süre karma işleminin beton kıvamına etkisi

Karıştırma Süresi (Dakika)	Çökme (cm)
2	12,7
5	12,4
10	11,9
15	10,4
30	8,6
60	6,4

Uzun süreli karma beton sıcaklığında bir miktar artışa neden olur. Beton sıcaklığının artması ise, elde edilen beton kıvamının, hedeflenmiş olan kıvamdan daha düşük olmasına yol açmaktadır. Hedeflenen beton kıvamını elde edebilmek amacıyla betonun karma suyu miktarı artırıldığı takdirde ise, beton dayanımında azalma görülür.

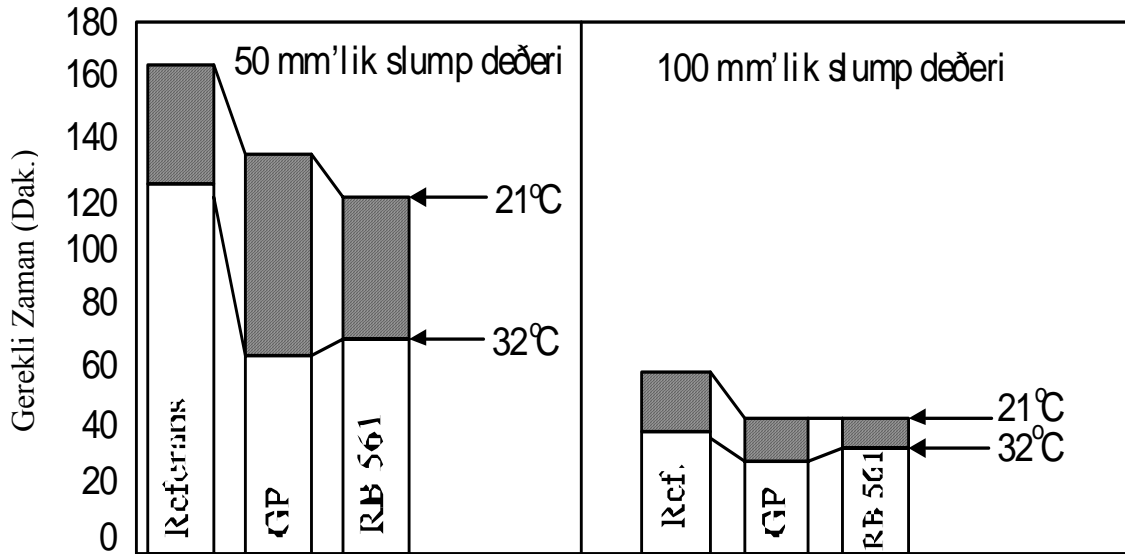
Hava sürüklenmiş beton gereğinden daha uzun süreyle karıldığı takdirde, taze beton içerisine sürüklenmiş olan hava miktarında azalma olur. Elde edilen betonun içerisinde hedeflenmiş miktardan daha az hava kabarcıklarının yer alması bu betonun işlenebilirliği özeliğinin (çökme değerinin) hedeflenmiş olan değerlerden daha az olmasına yol açmaktadır. Ayrıca, böyle bir beton, istenilen dayanıklılığa sahip bir beton özelliğini yitirir. Betonun çökmesini arttırmak için su ilave edildiğinde betonun dayanımı azalacaktır. Tablo 7’de, betonun karma süresinin (mikser teknesinin dönüş sayısının) hava sürüklenmiş betonlardaki hava miktarına etkisini gösteren değerler yer almaktadır.

Tablo 7. Uzun süre karılma işleminin betonlardaki sürüklenmiş hava miktarına etkisi

Teknenin Devir Sayısı	Çökme (cm)	Hava Miktarı (%)	Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)	
			7 Günlük	28 Günlük
60	7,8	3,2	247	318
100	8,6	3,1	250	293
200	3,5	2,7	260	316
300	2	2,5	226	271

1.9.2.3. Sıcaklığın Çökme Kayıpları Üzerine Etkisi

Karışıma ait işlenebilirlik ortam sıcaklığından etkilenir. Elde edilen deneysel sonuçlar sıcaklığa bağlı olarak çökme kaybının kesinlikle arttığını göstermektedir. Bu etki, Şekil 8`de verilmiştir. Bu grafikte betonunun 50 ve 100 mm çökme değerine ulaşması için gerekli süreler verilmiştir. Grafikte örneklenen betonlarda su indirgeyici ve priz geciktirici ile yüksek oranda su indirgeyici katkı maddesi kullanılmıştır [24]. Beklendiği üzere betonun sıcaklığı 22°C`den 32°C`ye yükselmesi sonucu betonun çökme kaybı artmıştır. Sıcaklığın artması ile birlikte hidrasyon derecesi ve buharlaşma hızı da artmaktadır. Bu nedenle karışımdaki serbest su miktarı azalmakta; bu da çökme kaybının artmasına yol açmaktadır. Beton karışımındaki serbest su miktarının azalması çimento ve agrega tanecikleri arasındaki sürtünme miktarını artırmaktadır ve bu durum taze betonun katılaşmasına sebebiyet vermektedir. Bundan dolayı sıcaklığın artması sertleşmeyi ve çökme kaybını hızlandırmaktadır [24].

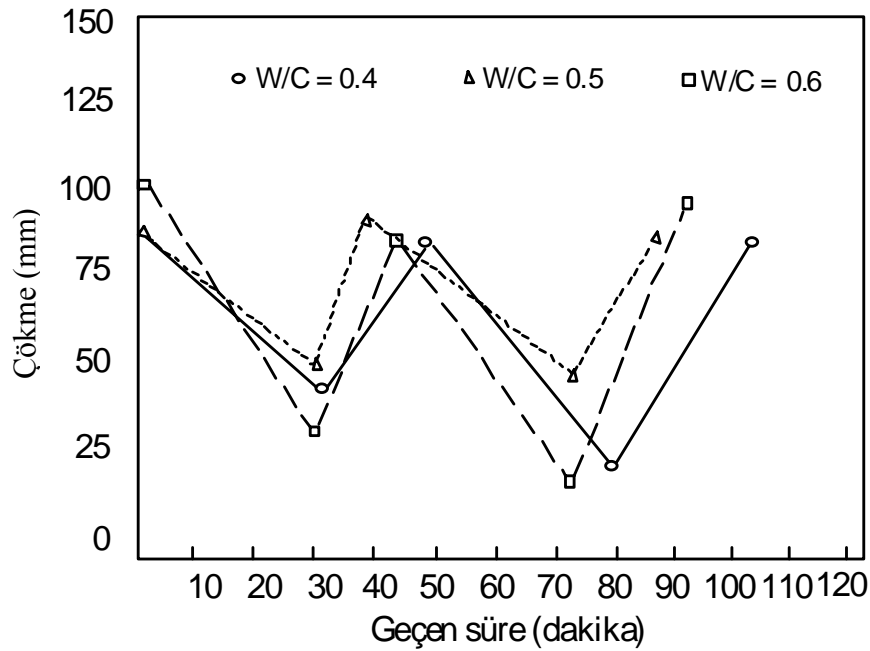


Şekil 8. Farklı ortam sıcaklıkları ve farklı beton karışımlarında çökme değerinin 50 ve 100 mm`ye ulaşması için geçen süre

1.9.2.4. İlk Çökme Değerinin Çökme Kayıpları Üzerine Etkisi

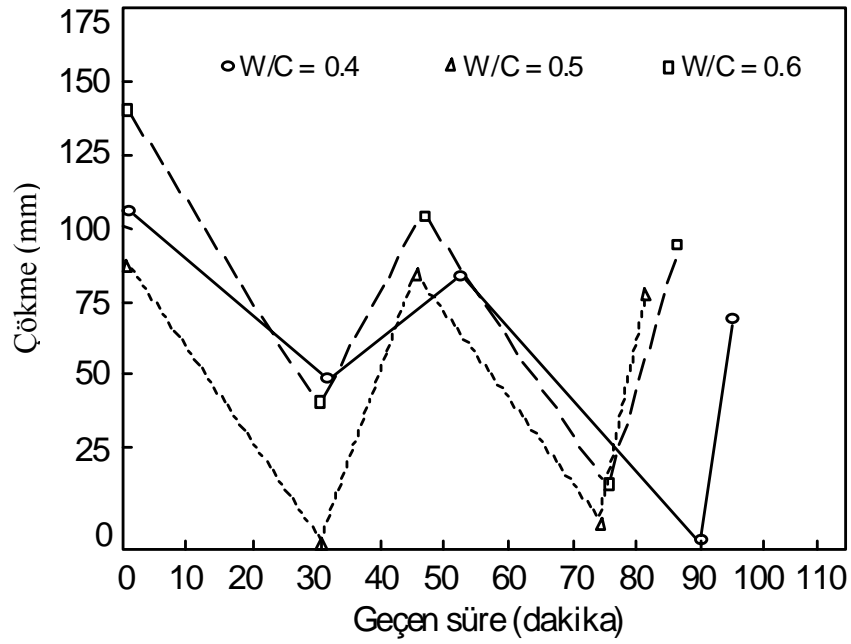
30°C ve 60°C de zamana bağlı olarak gerçekleşen çökme kayıpları sırasıyla Şekil 9 ve 10`da gösterilmiştir. Bu şekiller üç farklı su-çimento oranı için hazırlanmıştır.

Genel olarak bakıldığında sıcaklık artışına bağlı olarak çökme kaybının da arttığı görülmektedir ancak bu artışın bütün beton sınıfları için lineer ya da üniform olmadığı görülmektedir. Verilen grafikteki en büyük çökme kaybı su/çimento oranı 0,40 olan betonda meydana gelmiştir. Çökme kaybı başlangıç çökme değerine bağlıdır. Başlangıç çökmesi fazla olan betonun çökme kaybı da fazla olmaktadır. Bununla birlikte kıvam iyileştirmesi yapılmış betonda da kıvam iyileştirmesinden sonra çökme kaybı artmaktadır [20].



Şekil 9. 30°C ortam sıcaklığında kıvam iyileştirmesi uygulanmış farklı su/çimento oranına sahip betonlarda zamana bağlı olarak oluşan çökme kayıpları.

Şekil 9 ve Şekil 10 kendi aralarında kıyaslandıklarında ortam sıcaklığının artmasıyla çökme kayıplarının da arttığı gözlemlenmiştir. Her iki şekilde de farklı zamanlarda betonlarda kıvam iyileştirilmesi yapılarak oluşan çökme kayıpları telafi edilmiş ve beton karıştırılmaya devam edilmiştir.

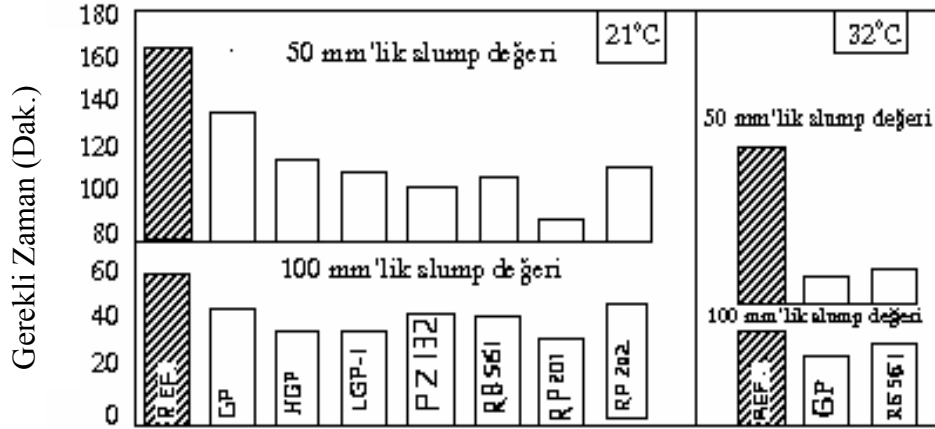


Şekil 10. 60°C ortam sıcaklığında kıvam iyileştirmesi uygulanmış farklı su/çimento oranına sahip betonlarda zamana bağlı olarak oluşan çökme kayıpları

1.9.2.5. Kimyasal ve Mineral Katkıların Çökme Kaybı Üzerindeki Etkileri

Betondaki çökme kaybı beton sıcaklığının yüksek ve priz hızlandırıcı katkı maddesi kullanılması durumunda artar. Her iki unsur için de çimento hamurunun priz süresi kısalmır. Su indirgeyici ve priz geciktirici katkı kullanılması durumunda çökme kaybı hızlanmaktadır; hatta bazı durumlarda priz süresi değişmemekte veya artmaktadır [20].

Şekil 11'de farklı kimyasal katkı katılmış betonların (başlangıç çökmesi 165 ± 10 mm) 21°C ve 32°C sıcaklıkta 50 mm ve 100 mm çökme değerlerine ulaşmaları için geçen süreler verilmiştir.



Şekil 11. Farklı kimyasal katkı içeren betonların 100 mm ve 50 mm çökme değerine ulaşmaları için geçen süre (başlangıçtaki çökme değeri 165 ± 10 mm)

1.10. Uzun Süre Karıştırma ve Kıvam İyileştirmesinin Betonun Hava İçeriği ve Birim Ağırlığı Üzerine Etkisi

G. R. U. Burg [26] yaptığı çalışmalarda standartlara uygun malzeme kullanılması halinde işlenebilirliğin uzun süre karıştırmaya ve kıvam iyileştirmesine bağlı olarak değişiklik gösterdiğini ortaya koymuştur. Kıvam iyileştirmesi için betona sonradan bir miktar daha su katılması betonun hava içeriğini ve çökme değerini değiştirmektedir [25].

Tablo 8`de transmikserlerden rasgele alınmış numunelere ait hava içeriği, birim ağırlık ve çökme değerleri verilmiştir. Numuneler;

- Beton santralinden,
- Şantiye ortamından (kıvam iyileştirmesi yapılmadan önce)
- Şantiye ortamından (kıvam iyileştirmesi yapıldıktan sonra)

olmak üzere üç farklı noktadan alınmıştır [25].

Tablo 8. Çeşitli ortamlardan alınan numunelere ait çökme değerleri ve hava içerikleri.

Numunenin Alındığı Yer	Çökme Değeri (mm)	Hava İçeriği (%)	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
Beton Santrali	100	7,54	2349
Şantiye Ortamı (Kıvam İyileştirilmesi Uygulanmamış)	64	5,78	2363
Şantiye Ortamı (Kıvam İyileştirilmesi Uygulanmış)	87	6,34	2342

Tablo 8`de görüldüğü üzere beklendiği gibi şantiye ortamında kıvam iyileştirmesi yapılmadan alınan numunelerin birim hacim ağırlıklarında bir artış, hava içeriklerinde ise bir azalış meydana gelmiştir. Şantiye ortamında su ilavesiyle yapılan kıvam iyileştirmesinde ise betonun birim hacim ağırlığının arttığı buna karşın hava içeriğinin azaldığı görülmektedir.

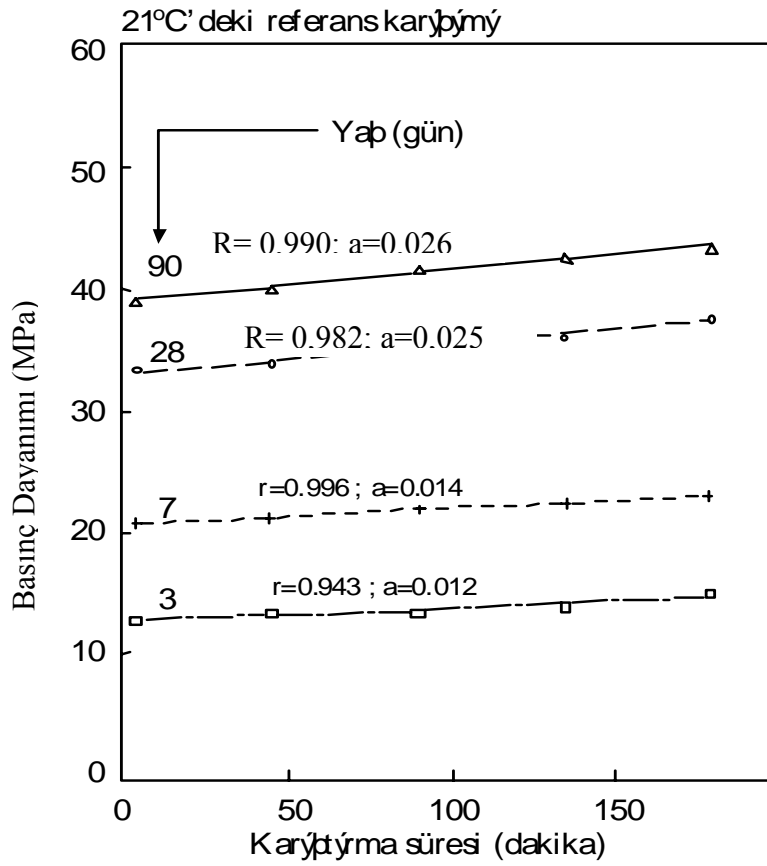
1.11. Uzun Süre Karıştırma ve Kıvam İyileştirmesinin Sertleşmiş Betonun Özellikleri Üzerine Etkisi

1.11.1. Uzun Süre Karıştırma ve Kıvam İyileştirmesinin Basınç Dayanımı Üzerine Etkisi

Betonun basınç dayanımı karışımdaki suyun buharlaşmasına bağlı olarak artar ancak suyun buharlaşması işlenebilirliğin azalmasına neden olur. Bu bakımdan betonun işlenebilirliği ile basınç dayanımı arasındaki ilişki karıştırma süresince değişim gösterir [16].

1.11.1.1. Uzun Süreli Karıştırmanın Betonun Basınç Dayanımı Üzerine Etkisi

Farklı yaşlara sahip numunelerin basınç dayanımları ile karıştırma süreleri arasındaki ilişki Şekil 12`de gösterilmiştir.



Şekil 12. Farklı yaşlardaki betonlarda karıştırma süresi ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Şekil 12'de görüldüğü üzere basınç dayanımı karıştırma süresine bağlı olarak lineer olarak artmaktadır. 180 dakikalık karıştırma süresinin sonunda basınç dayanımında yaklaşık olarak %10 artış meydana gelmektedir.

Ravina ve Soroka [24] yaptıkları çalışmada betonun basınç dayanımının zamanla arttığını ortaya koymaktadır. Beton mikserinin içerisindeki karıştırıcı bıçaklardan dolayı agregada ve imento taneciklerinde parçalanmalar meydana gelebilir. Parçalanma etkisi sonucunda imento taneciklerinin inceliği artacağından çimentonun hidrasyon derecesinde de görülebilen oranda artış meydana gelmektedir. Bu artış karıştırma süresine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bundan dolayı aşınma nedeniyle oluşmuş daha fazla miktardaki imento tanesi karışımdaki su miktarı ile reaksiyona girerek hidrasyon ilerlemekte bu da basınç dayanımının artmasına sebebiyet vermektedir [24].

1.11.1.2. Kıvam İyileştirmesinin Basınç Dayanımı Üzerine Etkisi

Yaptığı çalışmada Gedik [23] beton 1, 2, 3 ve 4 saatlik periyotlarda karıştırmış ve her dönem sonunda karışımlardan örnekler almıştır. Bu çalışmada uzun süreli karıştırmanın ve su ile betonda kıvam iyileştirmesinin betonun özellikleri üzerine olan etkileri belirlenmiştir.

Uzun süreli karıştırmaya maruz kalmış betonun başlangıçtaki çökme değeri 17 cm olarak tespit edilmiş ve 1, 2, 3 ve 4 saatlik karıştırma sonunda her bir periyoda ait çökme değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Tablo 4`de verilmiştir [22].

Her bir periyot sonunda karışımın çökme değerini başlangıçtaki değere yükseltmek için bir miktar su kullanılmıştır. Kullanılan su miktarları Tablo 9`da verilmiştir [22].

Tablo 9. 1, 2, 3, ve 4 saatlik karıştırma sonunda betonun çökme değerinin başlangıçtaki çökme değerine (17 cm) yükseltilmesi için kullanılan su miktarları (kg/m³).

Beton Sınıfı	Karıştırma Süresi			
	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat
C 18	0	4	18	38
C 25	10	34	64	94

1, 2, 3 ve 4 saatlik karıştırma periyotları sonunda betonda su ile kıvam iyileştirmesi yapılarak çökme değerleri başlangıç çökme değerine yükseltilmiş ve her bir zaman diliminden 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının tespiti için numuneler alınmıştır. Basınç dayanımları Tablo 10`da özetlenmiştir [23].

Tablo 10. 1, 2, 3 ve 4 saatlik karıştırma sonunda su ile kıvam iyileştirmesi yapılmış betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları (MPa) [23]

Beton Sınıfı	Karıştırma Süresi							
	1 saat		2 saat		3 saat		4 saat	
	7 Günlük (MPa)	28 Günlük (MPa)	7 Günlük (MPa)	28 Günlük (MPa)	7 Günlük (MPa)	28 Günlük (MPa)	7 Günlük (MPa)	28 Günlük (MPa)
C 18	15,2	20,1	14,5	19	13,1	17,4	11,4	14,3
C 25	22	24,7	17,6	20,2	13,5	18,5	9,8	13,2

Tablo 9'dan da görüldüğü gibi 1 ila 4 saatlik karıştırma periyotlarında betonda çökme kaybı meydana gelmekte ve betonun başlangıç çökmesine (17 cm) ulaşabilmek için ilave suya ihtiyaç duyulmaktadır. Kıvam iyileştirmesinin sonucunda betonun su/çimento oranı değişmektedir. Bundan dolayı kıvam iyileştirmesinin su ile yapılması halinde zamana bağlı olarak betonun çökme kaybının artmasına ve su/çimento oranının yükselmesine neden olmuştur. Karışımın su/çimento oranının artması sonucu betonun basınç dayanımı da belirgin bir biçimde arttırmıştır [23].

1.12. Çalışmanın Amacı

Beton santralinden çıkan betonun uzun süre karıştırılması sonunda oluşan çökme kaybı nedeniyle şantiye ortamında betonun kalıba yerleştirilmesi, sıkılanması ve yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlemleri zorlaştırmakta hatta imkânsız hale getirmektedir. Bu nedenle şantiyede betonun hedeflenen çökme değerine çekilerek kalıbına kolayca ve ayrışmadan yerleştirilmesi önem kazanmaktadır.

Bu çalışma mineral katkısız, uçucu kül ve silis dumanı içeren betonların uzun süre karıştırılması sonunda meydana gelen çökme kayıplarının süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımıyla giderilmesine yönelik çözümü amaçlamaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Deney Programı

Araştırmada C25/30 sınıfı beton bileşiminde;

- Mineral katkısız,
- %20 uçucu kül ilaveli,
- %30 uçucu kül ilaveli,
- 25 kg uçucu kül ikameli ve
- %10 silis dumanı ilaveli,

beş farklı karışım hazırlanmış ve üretilmiştir.

Başlangıç çökmesi 200 ± 10 mm olacak şekilde tüm üretimler için sabit tutulmuştur. Homojen bir karışım elde etmek için başlangıçta 5 dakika süreli 20 devir/dakika bir karıştırma işleminden sonra 30, 60 ve 90 dakikalık karıştırma periyotları uygulanmıştır. Bu periyotlarda mikserin karıştırma hızı 4 devir/dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu laboratuardaki mikserin hızı ile transmikserin hızlarını dengelemek için yapılmıştır.

Program çerçevesinde üretilen her bir beton sınıfına ait karıştırma süreleri ile bu süreler sonunda gerçekleştirilen deneyler Tablo 11`de özetlenmektedir. Her bir periyot için ayrı karışımlar hazırlanmıştır. Yani, her bir karıştırma periyodu için aynı bileşimde ayrı bir karışım hazırlanmıştır.

Tablo 11. Beton karışımlarına ait ayrıntılar

Beton Karışımları	Karıştırma süresi			
	Başlangıç (İlk 5 dakikalık karışım)	30 dakika sonunda	60 dakika sonunda	90 dakika sonunda
	Gerçekleştirilen Deneyler			
Mineral katkısız	A, B, C, D, E	A, B, C, E	A, B, C, E	A, B, C, E
%20 uçucu kül ilaveli	A, B, C, D, E	A, B, C, E	A, B, C, E	A, B, C, E
%30 uçucu kül ilaveli	A, B, C, D, E	A, B, C, E	A, B, C, E	A, B, C, E
25 kg uçucu kül ikameli	A, B, C, D, E	A, B, C, E	A, B, C, E	A, B, C, E
%10 silis dumanı ilaveli	A, B, C, D, E	A, B, C, E	A, B, C, E	A, B, C, E

Burada;

- A: Betonun çökme değerinin ölçülmesini,
- B: Betonun sıcaklığının ölçülmesini,
- C: Betonun hava muhtevasının ölçülmesini,
- D: Betonun birim ağırlığının ölçülmesini ve
- E: Basınç dayanım için karışımlardan numune alma işlemlerini göstermektedir.

Her bir beton karışımı için karıştırma süresinin sonunda sıcaklık, çökme, hava içeriği ve birim ağırlık ölçümleri yapılmıştır.

Karıştırma süresine bağlı olarak çökme kaybı belirgin bir artış göstermiştir. 30, 60 ve 90 dakikalık karıştırma süreleri sonunda betonun çökmesi 5 dakikalık karıştırma süresinden sonra elde edilen çökme değerine (200 ± 10 mm) çekmek için karışıma RHEOBUILD® REDOZ N katılmış ve karışıma kısa bir süre daha devam edilmiştir. Karıştırma işlemi tamamlanmış olan taze beton betoniyeerden alınarak sırasıyla sıcaklığı, çökmesi, hava içeriği ve birim ağırlığı ölçülmüştür. Betonun basınç dayanımını belirlenmesi için üç adet 15 cm küp numune hazırlanmış ve 28 gün sonuna basınç dayanımları tespit edilmiştir.

Tüm deneyler ilgili standartlar uyarınca gerçekleştirilmiş olup ilgili standartlar Bölüm 6`da Ek Tablo 1.1, 1.2 ve 1.3 olarak verilmiştir.

2.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

2.2.1. Çimento

Araştırmada Ünye Çimento Fabrikası üretimi PÇ 42.5 çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ilişkin fabrikaca temin edilen kimyasal bileşim ile fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 12 ve Tablo 13`de verilmiştir.

Tablo 12. Çimentonun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Özgül ağırlık (gr/cm^3)	3,07
İncelik (Blaine, cm^2/gr)	3564
200 μ elek üstünde kalan	0
90 μ elek üstünde kalan	1
45 μ elek üstünde kalan	9,3
Basınç Dayanımı (N/mm^2)	
2 Gün	26,8
7 Gün	37,9
28 Gün	46,1

Tablo 13. Çimentonun oksit analizi ve kimyasal bileşimi

Oksit Analizi	
Bileşen	Miktar (%)
CaO (Topla)	63,41
Serbest CaO	1,2
SiO ₂ (Toplam)	20,22
Çözünen SiO ₂	19,29
Al ₂ O ₃	5,67
Fe ₂ O ₃	2,91
MgO	0,96
SO ₃	2,92
Kızdırma kaybı	3,32
Çözünmeyen kalıntı	0,93
Potansiyel Bileşim	Miktar (%)
C ₃ S	51,15
C ₂ S	16,72
C ₃ A	10,1
C ₄ AF	8,86

2.2.2. Silis Dumanı ve Uçucu Kül

Araştırmada kullanılan silis dumanı ve uçucu küle ilişkin kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler Tablo 14’de verilmiştir. Kullanılan uçucu kül F sınıfı uçucu küldür.

Tablo 14. Silis dumanının ve uçucu külün kimyasal bileşimi ile bazı fiziksel özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)		
Bileşen	Silis Dumanı	Uçucu Kül
CaO, Toplam	1,09	3,08
SiO ₂ , Toplam	76,66	55,18
Al ₂ O ₃	0,25	19,55
Fe ₂ O ₃	0,65	10,58
MgO	7,98	5,86
SO ₃	1,61	0,7
Na ₂ O	1,38	0,48
K ₂ O	4,43	1,5
Mn ₂ O ₃	0,09	-
TiO ₂	0,22	0,89
Kızdırma kaybı	4,75	1,04
Fiziksel Özellikler		
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,4	2,09
İncelik (Blaine, cm ² /g)	-	2550

2.2.3. Agregata

Karışımlarda en büyük tane boyutu 25 mm olan yöreye ait bazalt ve kalker agregası kullanılmıştır. Agregalar Trabzon'da mevcut yerel bir hazır beton tesisi tarafından sağlanmıştır. Üretimlerde kalker tozu (0-7 mm), orta iri mıcır (7-15 mm) ve iri mıcır (15-25 mm) agregata kombinasyonları kullanılmıştır.

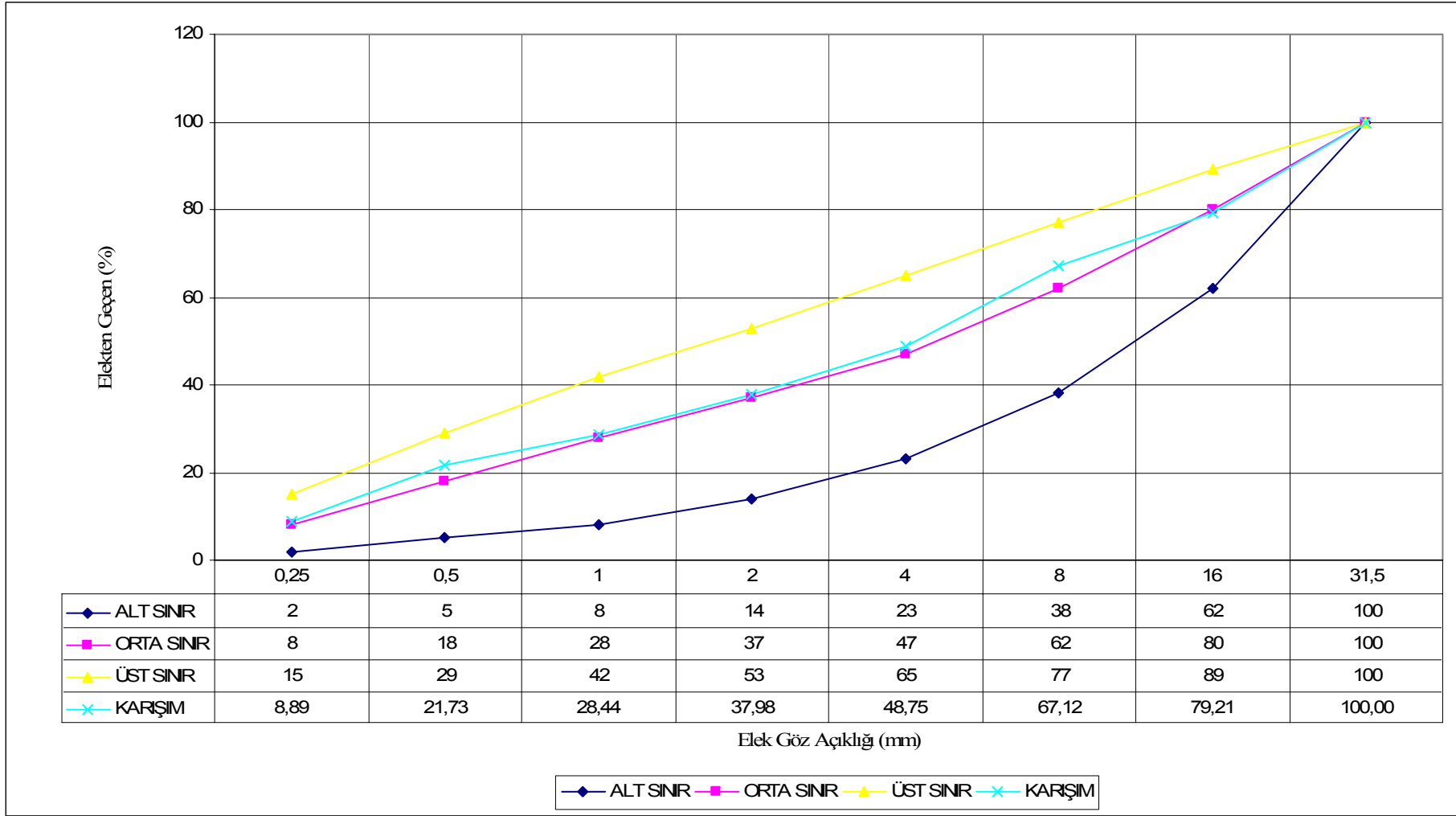
İlgili standart uyarınca [27] agregalara ilişkin gerçekleştirilen elek analizleri Bölüm 6 Ek Tablo 2, Tablo 15 ve Şekil 13'de, özgül ağırlık ve su emme değerleri ise Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 15. Agrega kullanım oranları

Agrega Sınıfı	0-7	7-15	15-25
Kullanım Yüzdeleri (%)	61	17	22

Tablo 16. Agregalara ait özgül ağırlık ve su emme değerleri

Agrega sınıfları	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Su emme (%)
0-7 Kum	2,65	3,93
7-15 Orta iri mıcır	2,63	3,20
15-25 İri mıcır	2,62	3,12



Şekil 13. Agrega karışımına ilişkin granülometrik eğri ve sınır eğrileri

2.2.4. Karma Suyu

Karma suyu olarak musluk suyu kullanılmıştır. Su içerisinde organik madde, çözülmüş yağ ya da alkali madde gibi betona zarar verici herhangi bir madde yoktur.

2.2.5. Akışkanlaştırıcı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri

Üretimlerde YKS DEGUSSA firmasından temin edilen;

- Başlangıç karışımların su/çimento oranını düşürmek için Modifiye Lignin Sülfonat esaslı, priz geciktirici, su azaltıcı /orta (Mid-Range) akışkanlaştırıcı beton katkısı olan “POZZOLITH® MR 26 S” (Şekil 14) ve

- Uzun süre karıştırılma sonunda oluşan kıvam kayıplarını artırmak için “RHEOBUILD® REDOZ N” (Şekil 14) kullanılmıştır.



Şekil 14. POZZOLITH® MR 26 S orta düzey akışkanlaştırıcı ve RHEOBUILD® REDOZ N süper akışkanlaştırıcı.

2.2.5.1. Orta Düzey Akışkanlaştırıcı Beton Katkısı “POZZOLITH® MR 26 S” e Ait Mekanik ve Fiziksel Özellikler

POZZOLITH® MR 26 S, modifiye lignin sülfonat esaslı, betonun sıcak havalarda hızlı kıvam kaybetmesini önleyen, su/çimento oranını düşürerek işlenebilirliğini ve mekanik özelliklerini artırmak için kullanılan, priz geciktirici, su azaltıcı/orta (mid-range) akışkanlaştırıcı beton katkı malzemesidir.

2.2.5.1.1. Teknik Özellikleri

Kullanılan orta düzey akışkanlaştırıcı katkı maddesine ait teknik özellikler Tablo 17’ de gösterilmiştir.

Tablo 17. “POZZOLITH® MR 26 S” katkı maddesine ait teknik özellikler.

Malzemenin Yapısı	Modifiye Lignin Sülfonat Esaslı
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,19–1,23 kg/lt
Klor İçeriği % (EN 480–10)	< 0,1
Alkali İçeriği % (EN 480–12)	< 10

Not: Tablodaki değerler +20°C’de, %50 bağıl nem koşullarında ölçülmüştür.

2.2.5.2. Süper Akışkanlaştırıcı Beton Katkısı “RHEOBUILD® REDOZ N” e Ait Mekanik ve Fiziksel Özellikler

RHEOBUILD® REDOZ N, modifiye lignin sülfonat esaslı, her türlü iklim koşullarında ve farklı sınıflardaki betonlarda şantiye teslimi akıcı kıvamlı beton üretimi için kullanılan, akışkanlaştırıcı beton katkı malzemesidir.

2.2.5.2.1. Teknik Özellikleri

Kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkı maddesine ait teknik özellikler Tablo 18’ de gösterilmiştir.

Tablo 18. "REOBUILD REDOZ N" e ait teknik özellikler.

Malzemenin Yapısı	Modifiye Lignin Sülfonat Esaslı
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,19–1,23 kg/lt
Klor İçeriği % (EN 480–10)	< 0,1
Alkali İçeriği % (EN 480–12)	< 10

Not: Tablodaki değerler +20°C'de, %50 bağıl nem koşullarında elde edilmiştir.

2.2.6. Beton Karışım Oranları

Araştırmada mineral katkı içermeyen, uçucu kül ve silis dumanı içeren katkı C25/30 sınıfı beton dizayn edilmiştir. Karışımlara ilişkin ayrıntılar Bölüm 6 Ek Tablo 3–7'de her bir karışıma ait birim hacim ağırlık değerleri ise Bölüm 6 Ek Tablo 8'de verilmiştir.

2.3. Gerçekleştirilen Deneyler ve Kullanılan Cihazlar

2.3.1. Agrega Deneyleri

Karışımında kullanılan agregaların birim hacim ağırlıkları ve su emmelerini belirlemek için agregalar kuru yüzeyli hale getirilmiştir. Doygun kuru yüzeyli hale getirilmiş olan agregaların su içerisindeki ağırlıkları tespit edildikten sonra birim hacim ağırlıkları tespit edilmiş ve aynı agregalar etüvde (Şekil 15) 24 saat boyunca 110±5 °C'de bekletilerek etüv kurusu hale getirilmiştir. Bu sayede kuru agregaların doymuş kuru yüzeyli hale gelmeleri için gerekli su miktarı belirlenmiştir.

Beton üretiminde kullanılan malzemeler ± 1 gr hassasiyetle ölçüm yapan Mettler marka PM 30 tipi tartı aletiyle (Şekil 17) tartılmıştır.



Şekil 15. Ettiv

2.3.2. Taze Beton Deneyleri

Bölüm 6 Ek Tablo 3, 4, 5, 6 ve 7’de verilen beton bileşimindeki malzemeler ± 1 gr hassasiyetle ölçüm yapan Mettler marka PM 30 tipi tartı aletiyle (Şekil 17) tartıldıktan sonra elde edilen karışım 60 lt. kapasiteli eğik eksenli betonyerle (Şekil 16) karılmıştır



Şekil 16. Eğik eksenli betonyer (60 litre kapasite)



Şekil 17. Mettler marka PM 30 tipi Arşimet terazisi

2.3.2.1. Çökme Deneyi

Her bir karışım başlangıç çökmesi 20 ± 1 cm olacak şekilde dizayn edilmiş ve 5 dakikalık ilk karıştırma sonunda çökmesi ölçülmüştür. Ölçülen çökme hedeflenen çökme değerinden farklı olması halinde, çökme 20 ± 1 cm olacak şekilde karışım yeniden revize edilmiştir.

Her bir karışıma ait başlangıç ve karıştırma sonundaki çökme değerlerinin ölçülmesinde Şekil 18`de görülen çökme hunisi kullanılmıştır.



Şekil 18. Çökme hunisi deneyi

2.3.2.2. Beton Sıcaklığının Ölçülmesi

Beton karışımlarının sıcaklığı her bir karıştırma süresi sonunda metalik uç termometre ile ortam sıcaklığı ise OMEGA marka RTD PLATINUM 100 Ω 'luk çift prop ile ölçüm yapabilen elektronik termometre (Şekil 19) ile ölçülmüştür.



Şekil 19. OMEGA marka RTD PLATINUM 100 Ω 'luk termometre

2.3.2.3. Betondaki Hava Miktarının Ölçülmesi

Taze betondaki hava içeriği FMS marka hava ölçer (Şekil 20) ile belirlenmiştir.



Şekil 20. Havametre

2.3.2.4. Betonun Birim Hacim Ağırlığının Ölçülmesi

Taze betonun birim hacim ağırlığının ölçülmesinde 12' çapında ve 30' yüksekliğinde silindir kap kullanılmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Taze betonun birim hacim ağırlığının ölçülmesi

2.3.2.5. Numunelerin Hazırlanması ve Kürü

Beton numunelerinin dayanımlarının ölçülmesi amacıyla her bir karışıma ait dört farklı karıştırma periyotundan üçer adet 150 mm standart küp numuneler alınmıştır (Şekil 23).

Numunelerin sıkılanmasında frekansı 2800 devir/dakika olan vibrasyon masası kullanılmıştır. Beton numune kalıplarına üç aşamada doldurulmuş ve her bir aşamada 15 saniye vibrasyon uygulanmıştır (Şekil 22).

Üretimden bir gün sonra numuneler kalıplarından çıkarılmış ve her bir karıştırma periyotundan çıkan üç adet standart küp numune sıcaklığı $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ olan suda 28 gün boyunca kür edilmiştir



Şekil 22. Vibrasyon masası (2800 devir/dakika)



Şekil 23. 150 mm küp numunelerin hazırlanması

2.3.3. Sertleşmiş Beton DeneYleri

2.3.3.1. Basınç Dayanımının Belirlenmesi

Üretilen 150 mm küp numunelerin merkezi basınç dayanımlarının belirlenmesi için 300 ton kapasiteli WP 300 (Şekil 24) tipi pres kullanılmıştır. Deney ilgili standart uyarınca gerçekleştirilmiş ve yükleme hızı 0,2 MPa/sn olacak şekilde uygulanmıştır.



Şekil 24. 300 ton kapasiteli WP 300 tipi pres

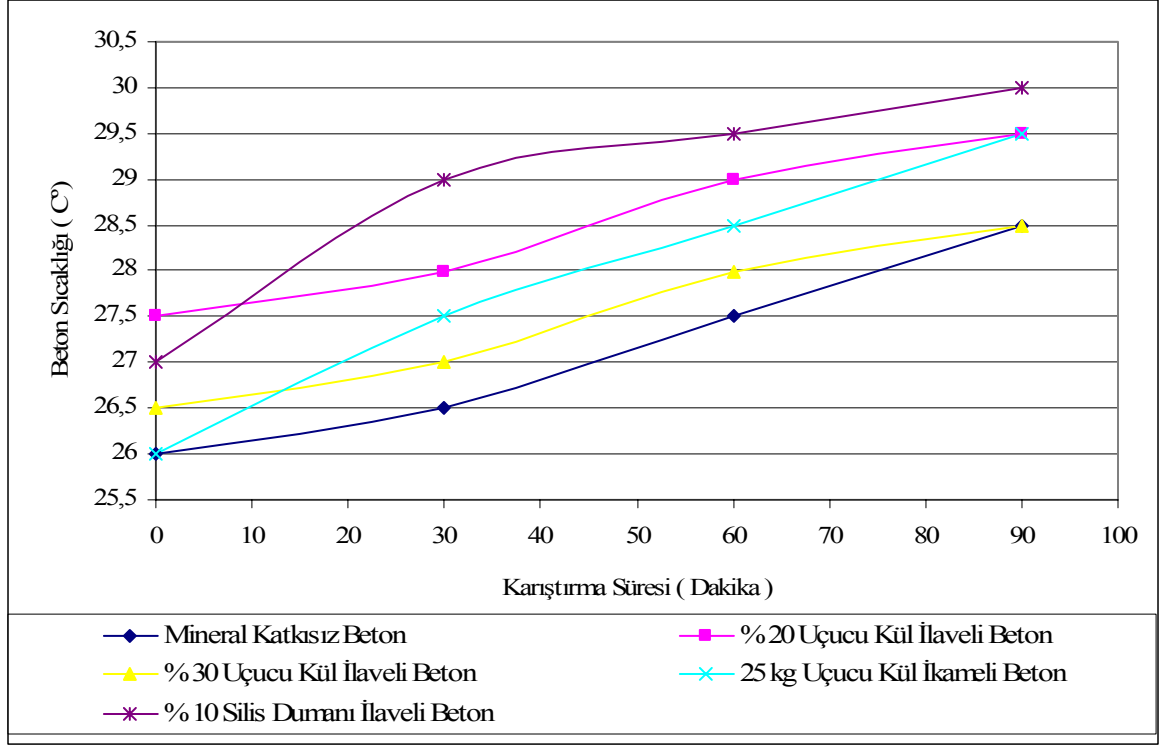
3. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME

3.1. Taze Beton Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

3.1.1. Beton Sıcaklığının Ölçülmesi

Mineral katkısız, uçucu kül ve silis dumanı katkılı olmak üzere farklı bileşimde dizayn edilmiş betonlar 5 dakikalık başlangıç karıştırması ile homojen hale getirildikten sonra her bir karışım 30, 60 ve 90 dakikalık periyotlar halinde ilave karışıma tabi tutulmuştur. Karıştırma işlemi dakikada 4 devir yapan mikserde tamamlanmıştır. Beton karışımlarının sıcaklığı her bir karıştırma süresi sonunda metalik uç termometre ile ortam sıcaklığı ise OMEGA marka RTD PLATINUM 100 Ω 'luk çift prop ile ölçüm yapabilen elektronik termometre ile ölçülmüştür. Ölçüm değerleri Bölüm 6 Ek Tablo 9 ve Şekil 25'de sunulmuştur.

Beton karışımlarının sıcaklıkları karıştırma süresine bağlı olarak artış göstermiştir. Buna karşın deney ortamının sıcaklığında önemli bir değişim olmamıştır. Beton sıcaklığının zamana bağlı artışı hidrasyon sonucu açığa çıkan ısı enerjisi nedeniyledir. Karıştırma esnasında betonun içsel sürtünmenin de betonun sıcaklığının artışına katkı yaptığı düşünülmektedir.



Şekil 25. Karıştırma süresine bağlı olarak ölçülen beton karışımı sıcaklıkları

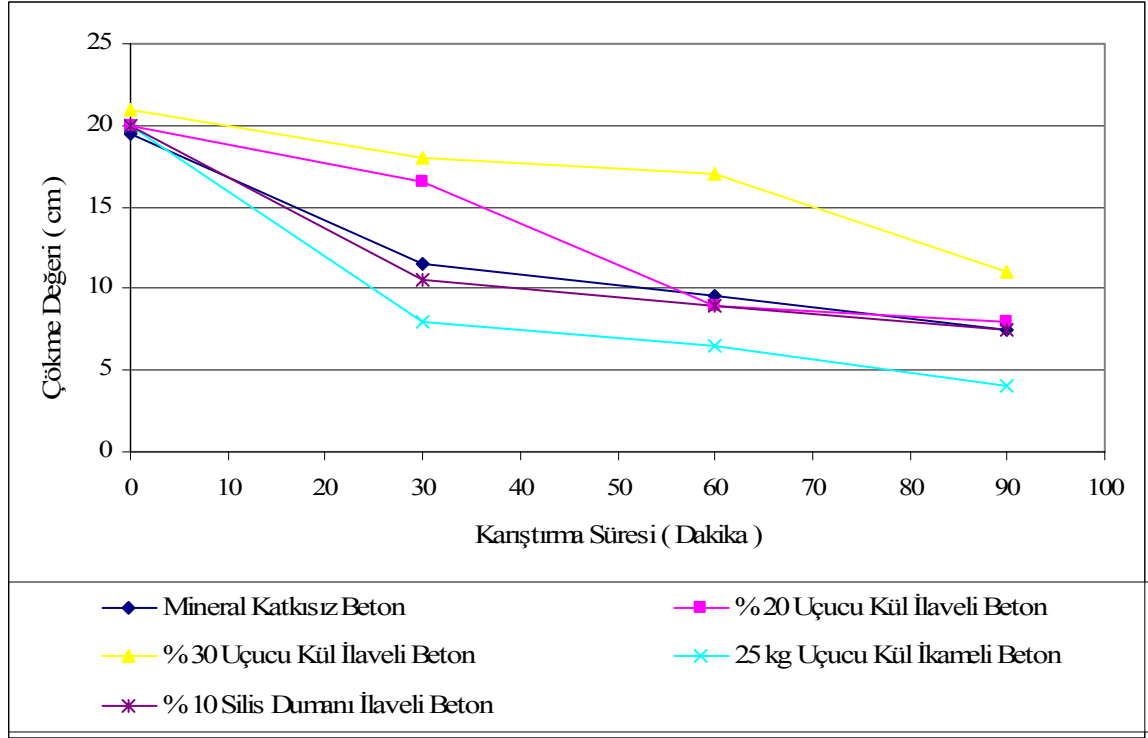
Her bir karıştırma periyodu kendi içinde değerlendirildiğinde, zamana bağlı olarak ortam sıcaklığında önemli bir değişim olmamıştır. Buna karşın ortam sıcaklıklarına bağlı olarak her bir karışıma ait sıcaklıklarda farklılık görülmektedir. Dolayısıyla ortam sıcaklığının yüksekliği bir ölçüde betonun sıcaklığında da yansımakta olduğu görülmektedir.

Ölçülen beton sıcaklıkları dikkate alındığında zamana bağlı olarak en yüksek sıcaklık artışının 25 kg uçucu kül ikameli ve silis dumanı ilaveli beton karışımlarında meydana geldiği görülmektedir. %20 ve %30 uçucu kül ilaveli beton karışımlarının sıcaklık artışları diğer karışımların sıcaklıklarına nazaran düşük değerlerde kalmıştır. Mineral katkısız betonda ise ortam sıcaklığının betonun başlangıçtaki ve diğer periyotlardaki sıcaklığına etkisi göz önüne alındığında orta düzey sıcaklık artışı gözlemlenmiştir.

Uçucu kül taneleri küresel oldukları için betonun iç sürtünmesini azaltmaktadır. Bu bir anlamda betonun sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Silis dumanı çok ince tanelerden oluştuğu için betonda iç sürtünmeyi arttırmakta bu da zamana bağlı olarak betonun sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır.

3.1.2. Çökme Değerinin Ölçülmesi

C 25/30 olarak tasarlanmış mineral katkısız, uçucu kül ve silis dumanı katkılı betonların 5 dakikalık başlangıç karıştırma sonundaki çökme değerleri 20 ± 1 cm olarak ayarlandıktan sonra 30, 60 ve 90 dakikalık karışımlara başlanmıştır. Ölçülen çökme değerleri Bölüm 6 Ek Tablo 10'da verilmiş ve ilgili grafiksel gösterimler Şekil 26'da sunulmuştur.



Şekil 26. Karıştırma süresine ilişkin ölçülen çökme değerleri (cm)

Karıştırma süresinin uzamasına bağlı olarak beton karışımlarının tümünde ama farklı mertebede çökme kaybı meydana gelmiştir.

Şekil 26'da da görüldüğü üzere karıştırma süresine bağlı olarak çökme kaybının en belirgin olduğu karışım 25 kg uçucu kül ikameli beton karışımında meydana gelmektedir. Bunu sırasıyla mineral katkısız ve silis dumanı ilaveli beton karışımları izlemektedir. Çökme kaybının en az olduğu karışım %30 uçucu kül ilaveli beton karışımıdır.

Uçucu kül tanelerinin küresel olmasından dolayı sürtünme azalmakta bu da zamanla sürtünmeden dolayı oluşabilecek ısı artışının ve su tüketişinin az olması anlamına

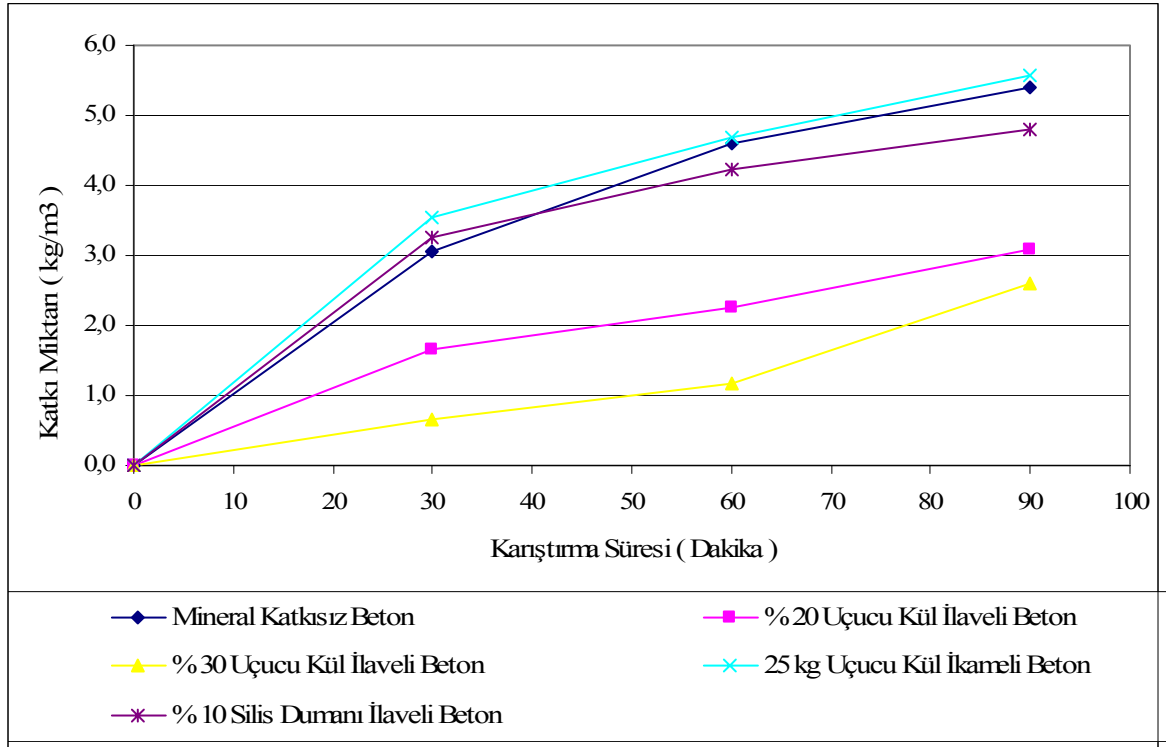
gelmektedir. Bunun aksine silis dumanı içeren betonda mevcut ince tanecikler sürtünmeyi artırmaktadır. Bu da beton sıcaklığının artmasına neden olmakta ve su tüketişinden dolayı işlenebilirlik için gerekli olan su miktarında azalma meydana gelmektedir. 25 kg uçucu kül ikameli betonda betonun içerisindeki toplam ince malzeme miktarı (toplam bağlayıcı), katkısız betonlar hariç, diğer karışımlara nazaran azaldığından dolayı agregalar arasındaki yağlayıcılık özelliği azalmakta ve bu da sürtünmeyi artırmaktadır. Beton içerisinde yer alan uçucu kül çimento kadar yağlayıcılık etkisine sahip olmadığından mineral katkısız betondaki çökme kaybı 25 kg uçucu kül ikameli betona kıyasla bir miktar daha düşüktür. Beton karışımında çimento yerine 25 kg uçucu kül kullanıldığında çimento miktarında önemli miktarda azalma yapmaz. Bu nedenle hidrasyon sonucu açığa çıkan ısı miktarındaki değişim de fazla belirgin olmaz. Buna karşın %20 ve %30 uçucu kül ilaveli betonlarda ilave edilen uçucu külün ikame edilmesi durumunda çimento miktarında önemli oranda azalma olacağından hidrasyon ısısında da belirgin oranda düşme olabilmektedir.

3.1.3. Betonda Kıvam İyileştirmek İçin Gereksinim Duyulan Akışkanlaştırıcı Katkı Maddesi Miktarının Belirlenmesi

Her bir karıştırma periyodu sonunda elde edilen çökme değerlerinin betonun ilk çökme değerine çekmek için beton karışıma bir miktar akışkanlaştırıcı katkı maddesi ilave edildikten sonra homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmış ve çökme değeri ölçülmüştür. Çökme değeri hedeflenen değerden daha küçük çıkması halinde karışıma bir miktar daha akışkanlaştırıcı katkı maddesi ilave edilerek (Şekil 27) bu işlem tekrarlanmıştır. Her bir beton karışımına ait çökme değerini ilk çökme değerine çekmek için beton karışımına ilave edilen akışkanlaştırıcı katkı miktarları Bölüm 6 Ek Tablo 11’de ve Şekil 28’de özetlenmiştir.



Şekil 27. Kıvam iyileştirmesi için beton karışımına akışkanlaştırıcı katkı maddesi ilavesi

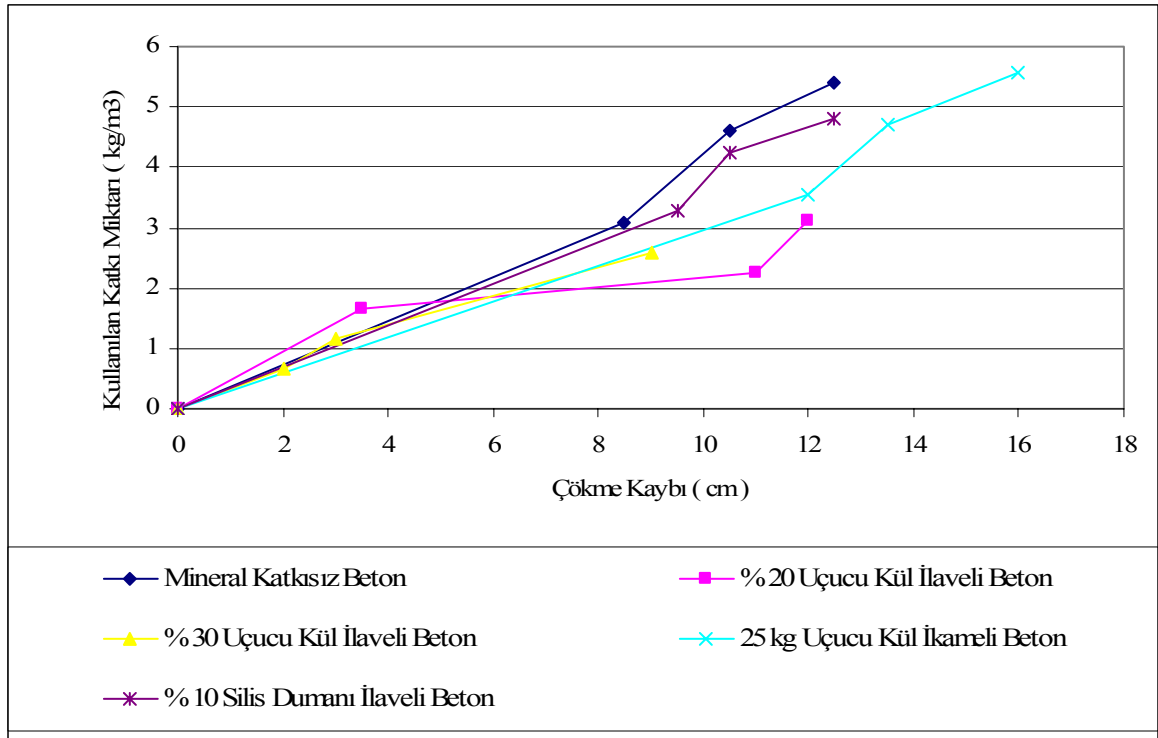


Şekil 28. Başlangıç çökmesine çekmek için beton karışımlarına ilave edilen akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarları.

Bölüm 6 Ek Tablo 10 ve 11 incelendiğinde karıştırma süresine bağlı olarak çökme kayıplarının arttığı ve buna paralel olarak çökme kaybını başlangıç değerine çekmek için kullanılan akışkanlaştırıcı katkı maddesinin de arttığı görülmektedir.

Bölüm 6 Ek Tablo 12’de verilen ölçüm değerleri incelendiğinde çeşitli karıştırma periyotları sonunda oluşan kıvam kayıplarını başlangıç çökme değerine çekmek için kullanılan katkı maddesi miktarı 25 kg uçucu kül ikameli karışımda diğerlerine kıyasla en fazla olmuştur. Bunu sırasıyla mineral katkısız karışım ve %10 silis dumanı ilaveli karışım izlemiştir. %10 silis dumanı ilaveli karışımdaki bağlayıcı miktarı mineral katkısız betondakine oranla daha fazla olduğu için daha az miktarda akışkanlaştırıcı katkı kullanımıyla aynı çökme değerleri elde edilebilmiştir. Bunun nedeni akışkanlaştırıcı katkı maddesinin bağlayıcı taneciklerin yüzeyini sarması sonucu elektrostatik itme gücü oluşturması ve içsel sürtünmeyi azaltması olarak gösterilebilir. Bundan dolayı mineral içeriğinin artması aynı işlenebilirliği elde etmek amacı ile daha az miktarda akışkanlaştırıcı katkı kullanılmasına olanak sağlamaktadır. %20 ve %30 uçucu kül içeren beton karışımlarında meydana gelen çökme kayıpları daha az olduğundan kullanılan akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarında da azalma olmaktadır.

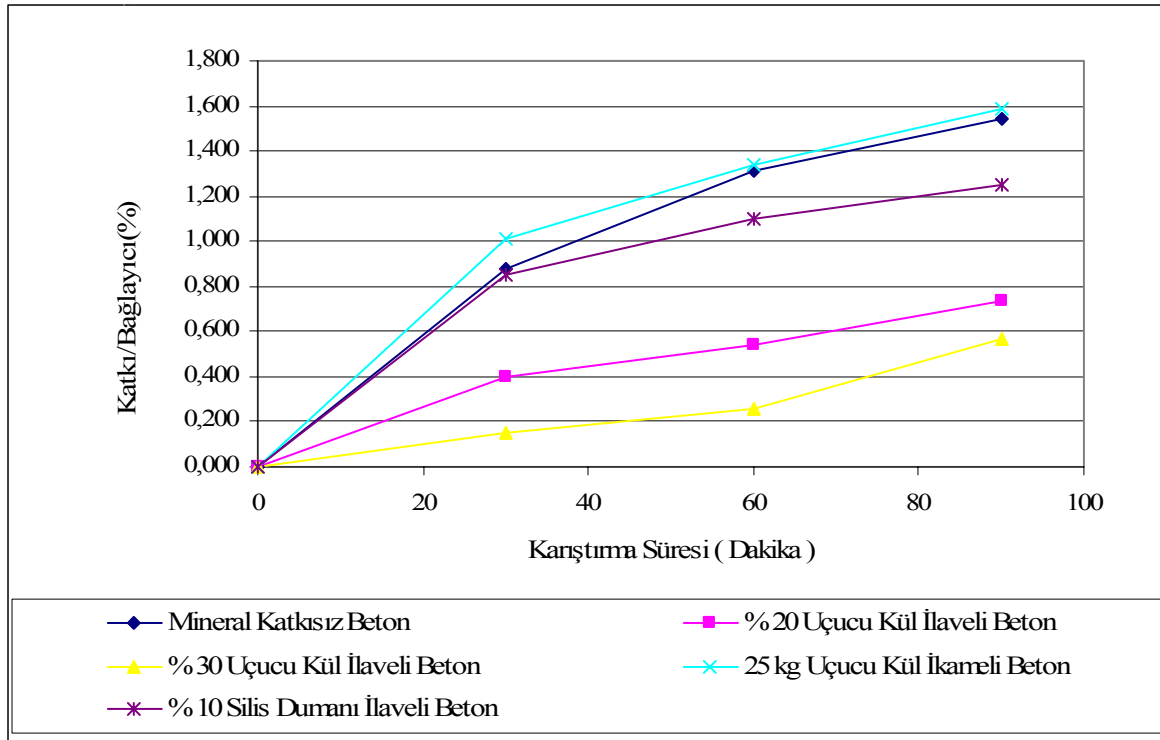
Her bir karıştırma periyodu sonunda ölçülen çökme değerleri ile başlangıç çökmesi arasındaki fark çökme kaybını göstermektedir. Çökme kaybı ile bu kaybın telafisi için gereken akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarları Bölüm 6 Ek Tablo 12’de ve Şekil 29’da verilmektedir.



Şekil 29. Meydana gelen çökme kayıplarını başlangıç değerine çekmek için kullanılan akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarı

Beton karışımındaki toplam bağlayıcı miktarı dikkate alındığında; 30, 60 ve 90 dakika karıştırma süreleri sonunda beton karışımına kıvam iyileştirmek için katılan akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarının toplam bağlayıcı miktarına oranının (% katkı/bağlayıcı) zamana bağlı olarak değişimi Bölüm 6 Ek Tablo 13’de ve Şekil 30’ da verilmektedir.

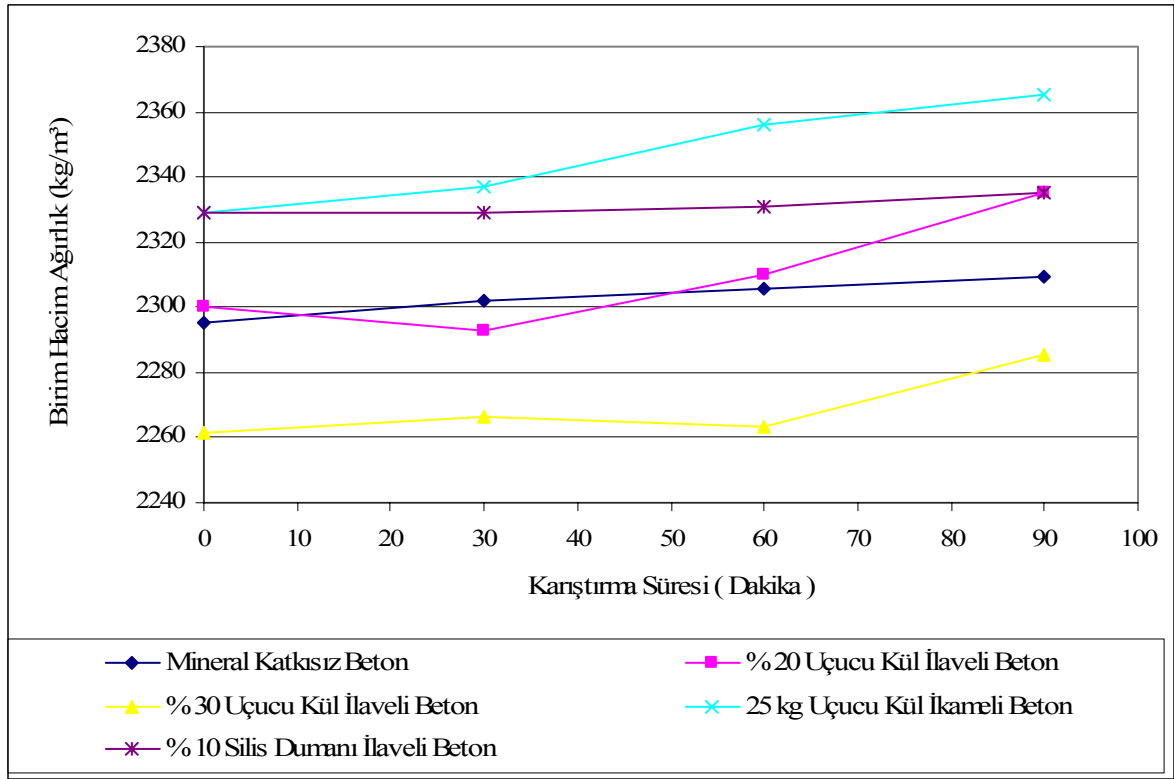
Beton karışımındaki toplam bağlayıcı dikkate alındığında, bağlayıcı oranının artması betonda uzun süre karıştırma sonucu oluşan çökme kaybının telafisi için kullanılan katkı maddesi miktarını azaltmakta olduğu görülmektedir. Bölüm 6 Ek Tablo 13’de görüldüğü üzere sırasıyla %30, %20 uçucu kül ve %10 silis dumanı ilaveli betonlarda kıvam iyileştirilmesi için kullanılan katkı maddesi miktarları daha azdır. Buna karşın 25 kg uçucu kül ikameli ve mineral katkısız betonda kıvam iyileştirmesi için kullanılan katkı maddesi miktarı daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 30. Çeşitli karıştırma süreleri sonunda beton karışımına ilave edilen katkı miktarının toplam bağlayıcıya oranı

3.1.4 Birim Hacim Ağırlık Ölçümü

İlk 5 dakikalık karıştırma sonunda betonun başlangıçtaki birim hacim ağırlığı ölçülmüştür. 30, 60 ve 90 dakikalık karıştırma periyotları sonunda ölçülen birim hacim ağırlık değerleri ise kıvam iyileştirilmesi yapıldıktan sonra belirlenmiştir. Karıştırma süresinin taze beton birim hacim ağırlığı üzerine olan etkisi Bölüm Ek Tablo 14’de ve Şekil 31’de özetlenmektedir.



Şekil 31. Çeşitli karıştırma süreleri sonrası ölçülen birim hacim ağırlıklar

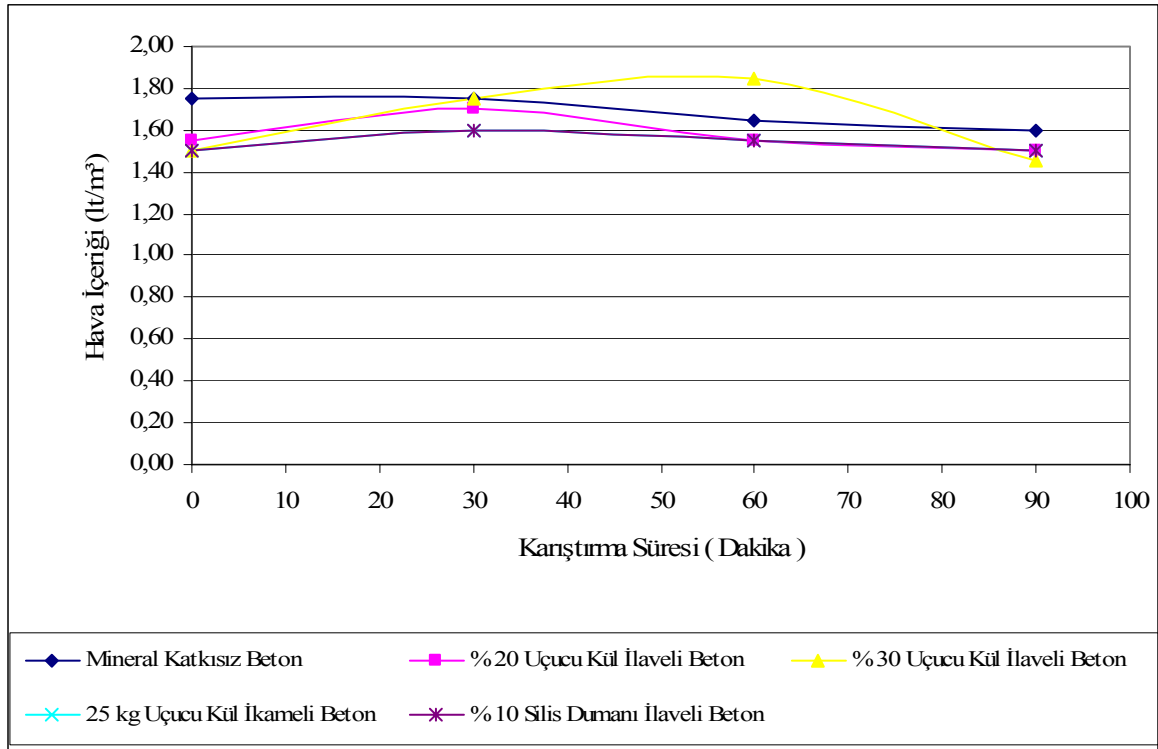
Taze betonda kıvam iyileştirmesinin akışkanlaştırıcı katkı maddesi ile yapılması halinde uzun süreli karıştırma betonun birim hacim ağırlığının artmasına neden olmaktadır. Bunun nedeni, uzun süreli karıştırma sonunda hidrasyona ve buharlaşmaya bağlı olarak karışım suyunda meydana gelen azalma ile birlikte belli oranda hidrasyon ürünlerinin meydana gelmiş olmasıdır. Buna bağlı olarak betondaki boşluklar hidrasyon ürünleriyle dolmaktadır.

Uzun süre karıştırma sonunda oluşan kıvam kaybının telafisi için beton karışımına su ilave edilmesi halinde betonun su/çimento oranında doğal olarak bir artış meydana gelecek ve bu da betondaki boşluk oranını arttıracaktır. Sonuçta bu betonun birim hacim ağırlığının azalmasına neden olacağı açıktır.

Bölüm 6 Ek Tablo 14'de görüldüğü üzere uzun süre karıştırma sonunda kıvam iyileştirmesi akışkanlaştırıcı katkı maddesiyle yapıldığında betonun birim hacim ağırlığının artmasına neden olmaktadır. Beton karışımında uçucu kül miktarının artması betonun birim hacim ağırlığının azalmasına yol açmaktadır. 25 kg uçucu kül ikameli ve mineral katkısız beton karışımları en yüksek birim hacim ağırlık değerlerini vermektedir.

3.1.5. Taze Betonda Hava İçeriği Ölçümü

İlk 5 dakikalık karıştırma süresi sonunda betonun başlangıç hava içeriği ölçülmüştür. 30, 60 ve 90 dakikalık karıştırma periyotları sonunda hava içeriği değerleri ise kıvam iyileştirmesi yapıldıktan sonra belirlenmiştir. Uzun süre karıştırmanın taze betonun hava içeriği üzerindeki etkisi Bölüm 6 Ek Tablo 15’de ve Şekil 32’de verilmektedir.



Şekil 32. Çeşitli karıştırma süreleri sonunda ölçülen hava içerikleri

Karıştırma süresine bağlı olarak beton karışımındaki hava miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni uzun süre karıştırma sonucunda beton karışımı içinde hapsolunan havanın karıştırma esnasında kaçması ve neticesinde karışımındaki toplam boşluğun azalmasıdır.

Taze betonda meydana gelen işlenebilirlik azalması dolayısıyla beton karışımına ekstra su ilave edilmesi su/çimento oranının başlangıçtaki değere ulaşmasına hatta o değeri bazen aşmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı su ile kıvam iyileştirmesi yapılmış beton karışımındaki boşluk miktarı artar; bu da hava içeriğinin artmasına sebebiyet vermektedir.

Bölüm 6 Ek Tablo 15’de özetlenen hava içerikleri değerlendirildiğinde kıvam iyileştirmesinin su yerine akışkanlaştırıcı katkı maddesi ile yapılmasından dolayı beton karışımının hava içeriğinde uzun süre karıştırmaya bağlı olarak azalma meydana geldiğini göstermektedir. Uçucu kül ve silis dumanı ilaveli beton karışımlarının hava içerikleri diğer beton karışımlarına kıyasla daha az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni uçucu kül ve silis dumanının çok ince taneciklerden oluşmasından dolayı beton karışımı içindeki boşluk oranında azalma meydana gelmektedir.

Uzun süre karıştırmaya maruz kalmış beton karışımlarında 30 ve 60 dakika karıştırma süreleri sonunda ölçülen hava içeriğinde bir miktar artış gözlemlenmektedir ancak 90 dakika sonunda bu değerler başlangıç değerine hatta daha düşük değerlere ulaştığı görülmektedir.

3.2. Sertleşmiş Beton Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

3.2.1. Basınç Dayanımının Belirlenmesi

Basınç dayanımı ölçümleri için 150 mm küp numuneler kullanılmıştır. Her bir karışım için 5 dakikalık başlangıç karıştırması ile beton homojen hale geldikten sonra betonun basınç dayanımını belirlemek için üçer adet numune alınmıştır. 30, 60 ve 90 dakikalık karıştırma süreleri sonunda da kıvam iyileştirmesini takiben her bir zaman periyodu için üçer adet numune daha alınmıştır. 28 gün sonunda elde edilen ilgili ölçümler Bölüm 6 Ek Tablo 18’de ve Şekil 35’de özetlenmiştir.

Tablo ve grafikte yer alan her bir basınç dayanımı değeri üçer adet numuneye ait ortalama değerlerdir.

Çeşitli karıştırma süreleri sonunda elde edilen basınç dayanımlarını etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi başlangıçtaki su/çimento oranıdır. Bu oran her bir karışım için farklı bir değere sahiptir. Bu farklılığın nedeni, başlangıçtaki çökme değerinin 20 ± 1 cm olması için kullanılan su miktarının her bir karışım için farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Mineral katkısız beton karışımına kıyaslandığında betonun işlenebilirliğine en büyük katkı uçucu kül kullanıldığında sağlanırken silis dumanının bu anlamda katkısı ikinci sırada kaldığı görülmektedir. Karışımdaki mineral katkı miktarının artması betonda yağlayıcı etki yaptığından uçucu kül ilavesi yerine ikame edilmesi halinde

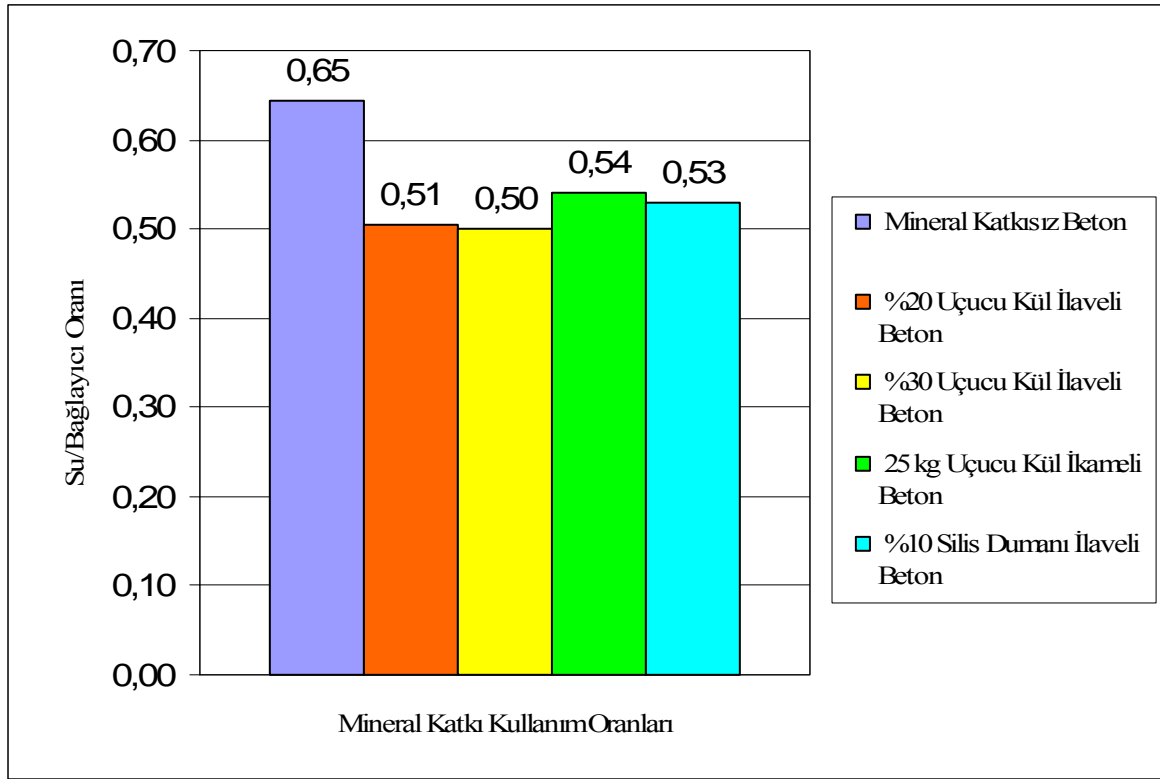
toplamdaki ince malzeme miktarı değişmediği için işlenebilirliğe de uçucu kül ilavesi oranında katkı sağlamadığı görülmektedir.

Bölüm 6 Ek Tablo 16 ve Şekil 33’de bileşiminde farklı miktarlarda mineral katkı maddesi kullanılmış beton karışımlarındaki su/bağlayıcı, Bölüm 6 Ek Tablo 17 ve Şekil 34’de ise su/çimento oranları yer almaktadır.

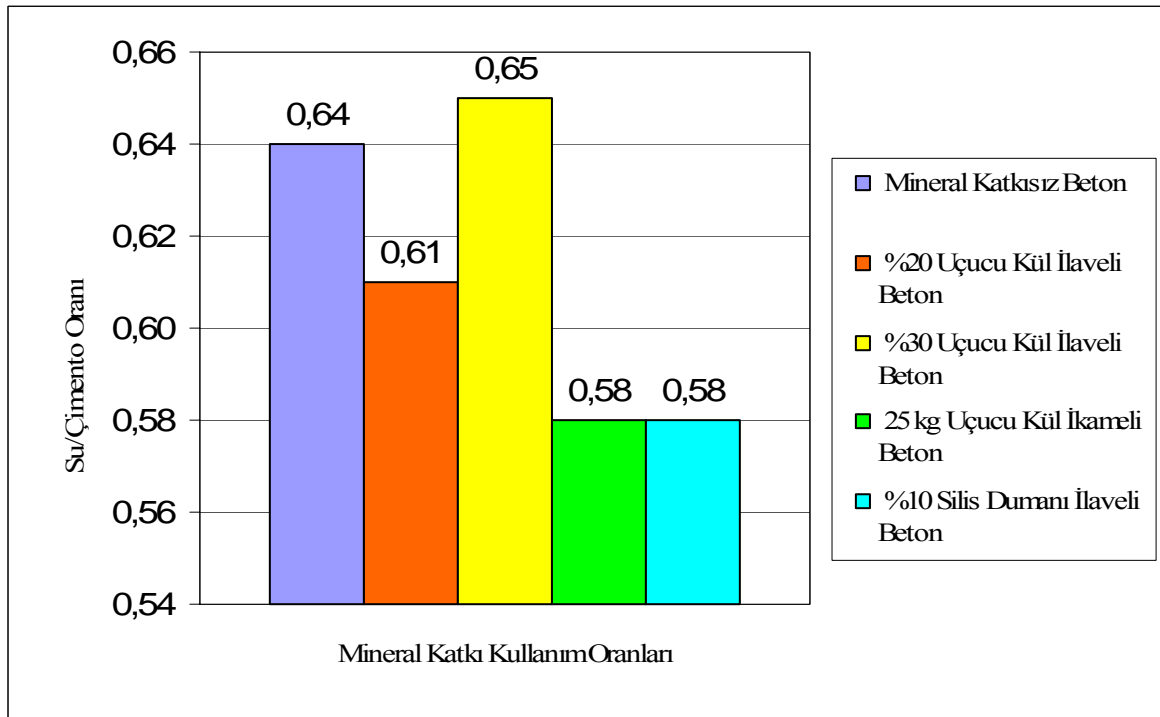
Beton karışımında mineral katkı maddesi kullanımı işlenebilirliği artırmaktadır fakat beton bileşimindeki mineral katkı miktarının artması karışımdaki ince malzeme miktarının artması anlamına geldiğinden işlenebilirlik için gereksinim duyulan su miktarında da bir miktar artış gözlemlenmektedir. Bundan dolayı mineral katkı içeren beton karışımları aynı işlenebilirlik için su/çimento oranları kullanılan mineral katkının tipine ve inceliğine de bağlı olarak farklılık göstermektedir. Beton karışımına uçucu kül ilavesinin artması su/çimento oranının da artmasına neden olmaktadır. Uçucu kül ikamesi halinde ise çimento miktarı azalacağından su/çimento oranı artmakta ancak su/bağlayıcı oranı azalmaktadır.

Silis dumanının çok ince yapısı nedeniyle, taze betonun kıvamını ve işlenebilirliğini azaltmakta ve su ihtiyacını arttırmaktadır. Çalışmada silis dumanı %10 oranında ilave edilmiştir. İlave oranı %20’ye çıkarıldığında aynı işlenebilirliği elde etmek amacı ile daha fazla suya gereksinim duyulmakta ve bu da su/çimento oranının artmasına neden olmaktadır.

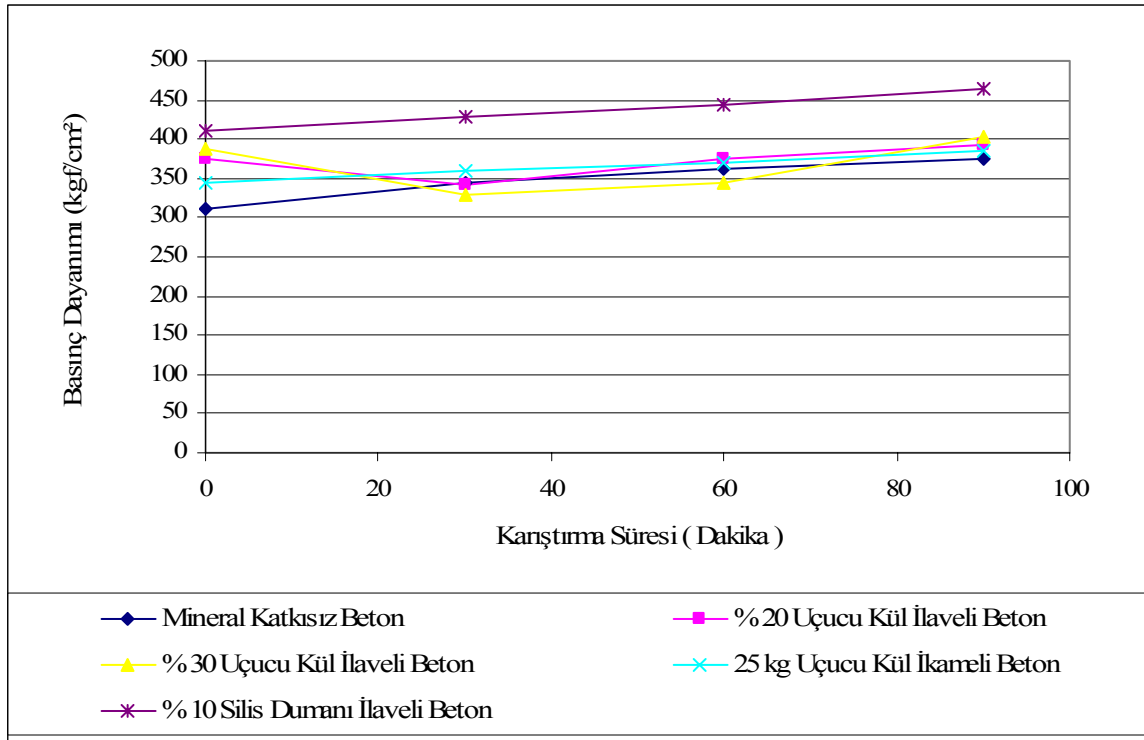
Beton karışımında kullanılan toplam bağlayıcı miktarının artması bağlayıcı/su oranının azalmasına neden olmaktadır. Bu da doğal olarak dayanımın artmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 33. Beton karışımlarına ait su/bağlayıcı oranları



Şekil 34. Farklı mineral içeriğine sahip beton karışımlarına ait su/çimento oranları



Şekil 35. Çeşitli karıştırma süreleri sonunda ölçülen 28 günlük basınç dayanımları

Kıvam iyileştirmesi yapılmaması durumunda karıştırma süresinin artışına bağlı olarak betonun basınç dayanımı artmaktadır. Bunun nedeni zamanla beton karışımındaki su hidrasyon ve buharlaşmadan dolayı azalmakta, bu da su/çimento oranının azalmasına neden olmaktadır. Su/çimento oranındaki azalış ise basınç dayanımını doğal olarak artırmaktadır.

Uzun süre karıştırmaya bağlı olarak meydana gelen çökme kaybının telafi edilmesi için karışıma su yerine akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanıldığında betonun basınç dayanımında olabilecek muhtemel kayıp engellenmiş olur.

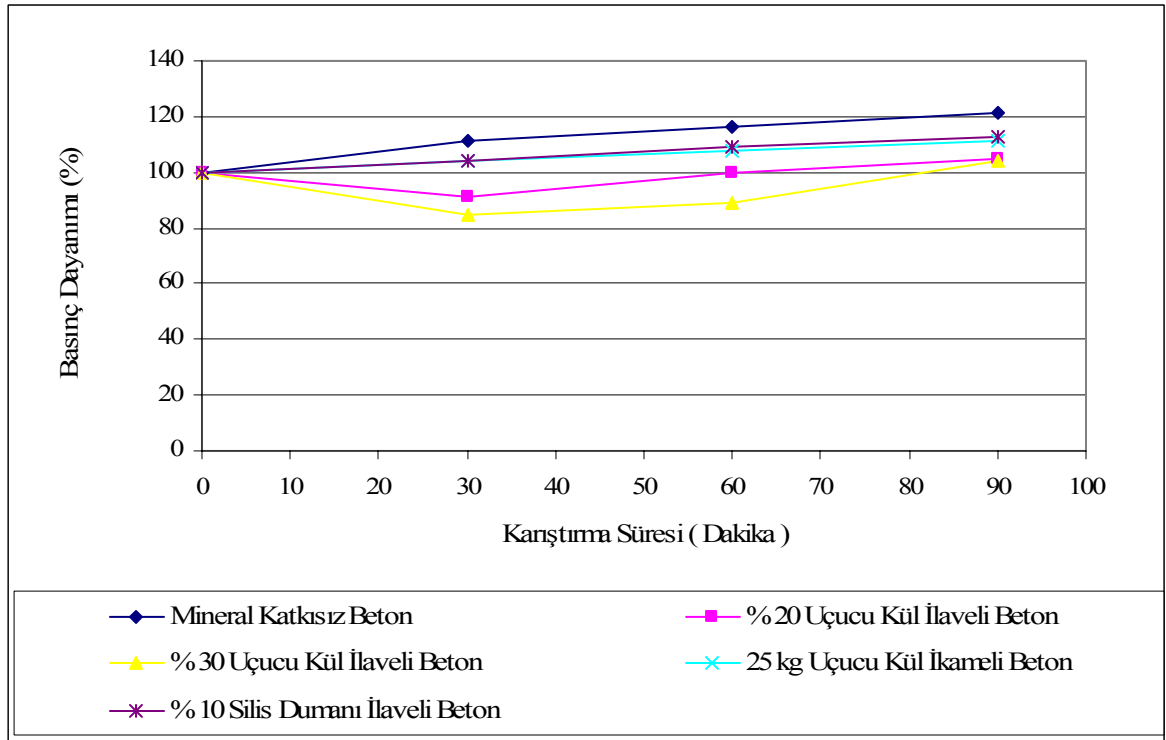
Gerek silis dumanının çok ince taneli olması dolayısıyla beton içerisindeki boşlukları azaltması (doldurma etkisi yaratması) ve gerekse puzolanik aktivitesinin oldukça yüksek olması silis dumanı katılmış beton karışımlarının dayanımları daha yüksek olmaktadır. Ayrıca silis dumanı içeren beton karışımları daha az terleme gösterdikleri için iri agrega tanelerinin altlarında daha az miktarda su cepleri oluşmuş olacağından bu tür betonlardaki bağlayıcı hamur ile agrega taneleri arasındaki geçiş bölgesi daha sağlam olmakta bu da betonun basınç dayanımına olumlu katkı yapmaktadır.

Bölüm 6 Ek Tablo 18'deki değerler göz önüne alındığında 5 dakikalık karıştırma süresi sonunda basınç dayanımı en yüksek %10 silis dumanı ilaveli beton, ikinci ve üçüncü

sırada ise %20 ve %30 uçucu kül ilaveli betonlar çıkmıştır. 25 kg uçucu kül ikameli betonun başlangıçtaki dayanımı mineral katkısız betona göre daha yüksektir. Bunun nedeni ise 25 kg uçucu kül ikameli betonun gerek su/çimento oranı gerekse su/bağlayıcı oranı mineral katkısız betonun sahip olduğu değerlerden daha düşük olmasıdır. Bu nedenle basınç dayanımı doğal olarak daha yüksek çıkmaktadır. %10 silis dumanı ilaveli betonun basınç dayanımının en yüksek olmasının nedeni ise silis dumanının yüksek oranda SiO_2 içermesidir. Bu sayede çok iyi bağlayıcılık özelliği ortaya çıkmakta ve betonun basınç dayanımı artmaktadır. Uçucu küle ait puzolanik aktivite silis dumanı kadar yüksek olmadığı için betonun basınç dayanımına etkisi de o oranda düşük kalmaktadır [1].

Uzun süreli karıştırmanın betonun basınç dayanımına etkisi dikkate alındığında %20 ve %30 uçucu kül ilaveli betonlarda 30 ve 60 dakika karıştırma süreleri sonunda kıvam iyileştirilmesi yapıldıktan sonra ölçülen basınç dayanımları başlangıçtaki referans değerlere kıyasla bir miktar düşüktür. Diğer karışımlarda ise 30 ve 60 dakika karıştırma sonunda alınan numunelere ait basınç dayanımları referans (başlangıç) dayanımına göre daha yüksektir. 90 dakika karıştırma süresi sonunda ise betonun basınç dayanımında yaklaşık olarak %11 oranında artış gözlemlenmektedir.

Beş dakikalık karıştırma sonunda elde edilen basınç dayanımları başlangıç (referans) dayanımı olarak kabul edilmiş bu değerler %100 olarak değerlendirilmiş ve buna göre 30, 60 ve 90 dakikalık karıştırma süreleri sonundaki basınç dayanımları yüzde olarak Bölüm 6 Ek Tablo 19'da ve Şekil 36'da verilmiştir.



Şekil 36. Başlangıç değerleri taban alınarak (%100) 30, 60 ve 90 dakika sonundaki basınç dayanımı oranları

Bölüm 6 Ek Tablo 19 ve Şekil 36'da yer alan değerlere göre başlangıçtaki basınç dayanımları referans alındığında basınç dayanımındaki en yüksek artışlar sırasıyla mineral katkısız betonda, %10 silis dumanı ilaveli betonda ve 25 kg uçucu kül ikamelı betonda meydana gelmiş olduğu görülmektedir. En düşük artış ise %20 ve %30 uçucu kül ilaveli betonlarda meydana gelmiştir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonunda elde edilen bazı önemli sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmektedir:

1. Betonun işlenebilirlik kaybında karıştırma süresi, beton sıcaklığı ve karışım içerisindeki çimento dozajı önemli rol oynamaktadır. Betonun ilk çökme değeri dikkate alındığında uzun süre karıştırma sonunda betonun bünyesinde mevcut su miktarında önemli derecede azalma olmaktadır.
2. Betonda uzun süre karıştırma sonunda oluşan sıcaklık artışı en çok silis dumanı ve mineral katkısız betonlarda meydana gelmiştir. Karışımlarda uçucu kül miktarının artırılmasıyla oluşan sıcaklık artışı silis dumanı ve mineral katkısız betonlarda meydana gelen sıcaklık artışına oranla daha düşük kalmıştır.
3. Karıştırma süresinin artmasıyla betonda meydana gelen çökme kaybı artmaktadır. Bunun nedeni çimentonun hidratasyonunun ilerlemesine ve buharlaşma nedeniyle karışım suyunda zamanla meydana gelen azalmaya bağlanabilir.
4. Uçucu kül tanecikleri küresel olmaları nedeniyle uzun süre karıştırma sonucunda oluşan çökme kayıpları uçucu kül ilaveli betonlarda en az olmaktadır. Mineral katkısız betonda ve uçucu kül ilavesi yerine ikame edilmesi durumunda toplam bağlayıcı miktarında değişme olmadığı için agrega taneleri arasındaki sürtünmeden dolayı çökme kaybı artmaktadır. Silis dumanı çok ince taneciklerden oluştuğu için zamanla oluşan çökme kaybı uçucu küllü betondakine kıyasla bir miktar daha düşük çıkmıştır.
5. Betonda meydana gelen çökme kaybı betonun işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir, dolayısıyla betonun yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve yüzeyinin düzeltilmesi oldukça güçleşmekte bazı anlarda imkânsız hale gelmektedir. Bundan dolayı betonun işlenebilirliğinin artırılması için şantiye ortamında betonda kıvamının iyileştirilmesi (retempering) yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer yandan kıvam iyileştirilmesi için kullanılan ekstra su betonda dayanım kayıplarına yol açmaktadır.
6. Betonda kıvam iyileştirilmesinin süper akışkanlaştırıcı katkı ile yapılması betondaki su ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Bu da başlangıçtaki su/çimento oranı referans alındığında uzun süre karıştırma sonunda daha düşük su/çimento

oranı elde edilmesini sağlamaktadır. Düşük su/çimento oranı sayesinde yüksek basınç dayanımı elde edilebilmektedir.

7. Uzun süre karıştırma sonucunda oluşan çökme kaybının telafi edilmesi için kullanılan akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarı çökme kaybına bağlı olarak değişmektedir. Uzun süre karıştırmaya maruz betonlarda kullanılan kıvam iyileştirici akışkanlaştırıcı katkı maddesi en fazla 25 kg uçucu kül ikameli betonda ve mineral katkısız betonda, en az ise %30 uçucu kül ilaveli betonda kullanılmıştır.
8. Uzun süre karıştırmaya maruz betonlarda 90 dakikalık karıştırma sonunda en yüksek basınç dayanımı %10 silis dumanı içerikli betonda gözlemlenmiştir. Uçucu kül miktarının artması puzolanik aktivitenin artmasına sebep olduğundan basınç dayanımında da artış gözlemlenmiştir. Mineral katkısız betonlarda ise mineral katkının sağlayacağı herhangi bir puzolanik etki olmadığı için beton dayanımı diğer karışımlara kıyasla en düşük değeri almıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Neville A.M. Properties of Concrete, Pearson Education Limited, Fourth Edition, England, 2004.
2. Lindebaum, D., and Schnetgöke, T., Self Compacting with Local Fresno Components, Thesis, California State University, Fresno, 2002.
3. Karataş, E., Sülfat Etkisine Maruz Betonun Performansı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.
4. Erdoğan, T.Y., Beton, 1.Baskı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara, 2003.
5. Seto, K., Yanai, S., Ohno, T., and Yasunaga, M., Application of High Strength and Self Compacting Concrete for Continuous Diaphragm Walls, First International High Strength Conference, July 1997, Hawaii, High Strength Concrete, 622-635.
6. Bouzoubaa, N., and Lachemi, M., Self Compacting Concrete Incorporating High Volumes Class F Fly Ash Preliminary Results, Cement and Concrete Research 31(2001) 413-420.
7. Okamura, H., and Ouchi, M., Self Compacting Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology 1(2003) 5-15.
8. Sabir, B.B., Mechanical Properties and Frost Resistance of Silica Fume, Cement and Concrete Research 19(1997) 285-294.
9. Asce, M., and Khan, M., I., Permeation of High Performance Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, 15(2003) 84-92.
10. Petersen Ö., Final Report of Task 1. Swedish Cement and Concrete Research Institute, www.civeng.ucl.ac.uk/research/concrete/sosBE.asp. 9 Mart 2005.
11. Demirtaş, M., Yüksek Akışkanlığa Sahip Betonlarda (Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda) Bileşimin Taze ve Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.
12. TS EN 206-1 Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk TSE, Ankara, Birinci Baskı, Temmuz 2004.
13. Mindess, S., and Young, J. F., Concrete, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1981
14. Dewar, J. D., "The Workability of Ready-Mixed Concrete", RILEM, Leeds, U.K., 1973.

15. Dewar, J. D., Manual of Ready-Mixed Concrete, Second Edition, Chapman & Hall, U.K., 1992.
16. Dewar, J. D., "Some Effects of Prolonged Agitation of Concrete", Cement and Concrete Association, TRA/137, 1962.
17. Kırca, ÖNDER., Effects of Prolonged Mixing and Retempering on Properties of Ready-Mixed Concrete, M.Sc. Thesis in Civil Engineering Department at METU, Turkey, 2000.
18. ASTM C 94-92a, Standard Specification for Ready-Mixed Concrete, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02, Philadelphia, 1993.
19. Meininger, R. C., "Study of ASTM Limits on Delivery Time", National Ready-Mixed Concrete Association Publication, No 131, Washington, 1969.
20. Samarai, M. A., Ramakrishnan, V., Malhotra, V. M., "Effect of Retempering with Superplasticizer on Properties of Fresh and Hardened Concrete Mixed at Higher Ambient Temperatures", Proceedings of Third International Conference, Ottawa, Canada, 1989.
21. Beaufait, F.W., and Hoodley, P. G., "Mix Time and Retempering Studies on Ready-Mixed Concrete", Journal of ACI, 70(1973) 810-813.
22. Erdoğan, T.Y., Turanlı, L., and Kırca, Ö., "Effect of Prolonged Mixing and Delivery Time on Slump Loss of Ready-Mixed Concrete and on Strength of Retempered Concrete", Advances in Civil Engineering, Fourth International Congress, Northern Cyprus, 2000.
23. Gedik, S., Effects of Mixing and Delivery Time Duration on Properties of Ready-Mixed Concrete, M.Sc. Thesis in Civil Engineering Department at METU, Turkey, 1998.
24. Ravina, D., and Soroka, I., "Slump Loss and Compressive Strength of Concrete Made with WRR and HRWR Admixtures and Subjected to Prolonged Mixing", Cement and Concrete Research, 24(1994) 1455-1462.
25. Burg, R. U., "Slump Loss, Air Loss and Field Performance of Concrete", ACI Journal , 80(1983) 332-339.
26. TS 3526 Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, TSE, Ankara, Birinci Baskı, Ocak 1979.

6. EKLER

Ek Tablo 1.1. Taze ve sertleşmiş beton ile ilgili standartlar

Uygulanan Testler		İlgili Standartlar (TSE)	İlgili Standartlar (ASTM)
Taze Beton İçin	Çökme Deneyi (slump hunisi)	TS EN 12350-1	ASTM C 143
	Birim Hacim Ağırlık	TS EN 12350-6	ASTM C 138
	Hava İçeriği	TS EN 12350-7	ASTM C 231
Sertleşmiş Beton İçin	Basınç Dayanımı	TS EN 12350-1, TS EN 12390-1 TS EN 12390-2, TS EN 12390-3	ASTM C 31, C 39
	Elastiklik Modülü	TS EN 12350-1, TS EN 12390-1 TS EN 12390-2, TS EN 12390-3	ASTM C 31, C 78

Ek Tablo 1.2. Agrega ile ilgili uygulanan standartlar

Uygulanan Testler	İlgili Standartlar (TSE)	İlgili Standartlar (ASTM)
Özgül Ağırlık	TS 706 EN 12 620	ASTM C 128
Elek Analizi	TS 706 EN 12 620	ASTM C 136

Ek Tablo 1.3. Çimento, çimento pastası ve çimento hamuru ile ilgili uygulanan standartlar

Uygulanan Testler		İlgili Standartlar (TSE)	İlgili Standartlar (ASTM)
Çimento	Kimyasal Analiz	TS EN 197-1	ASTM C 114, C 150
	Yoğunluk	TS EN 197-1	ASTM C 188
	İncelik	TS EN 197-1	ASTM C 204
Çimento Pastası	Kimyasal Analiz	TS EN 197-1	ASTM C 187
	Yoğunluk	TS EN 197-1	ASTM C 191, C 150
Çimento Hamuru	Basınç Dayanımı	TS EN 197-1, TS EN 12390-3	ASTM C 109, C 150

Ek Tablo 2. Agregalara ilişkin elek analizleri

Elek gözü açıklığı, mm	Geçen, %		
	15-25	7-15	0-7
31,5	100,00	100,00	100,00
16	6,75	98,60	100,00
8	0,35	34,50	100,00
4	0,00	0,85	79,30
2	0,00	0,40	61,85
1	0,00	0,00	46,40
0,5	0,00	0,00	35,45
0,25	0,00	0,00	14,50
0	0,00	0,00	0,00

Ek Tablo 3. Mineral içermeyen karışıma ait ayrıntılar

Malzemeler	Miktar (kg/m ³)
Çimento	350
Su	225
Akışkanlaştırıcı katkı maddesi	4,20
Hava içeriği	% 1,5
0–7 mm kum	1045
7–15 mm orta iri mıcır	284
15–25 mm iri mıcır	376
Teorik birim ağırlık (kg/m ³)	2285

Ek Tablo 4. %20 Uçucu kül ilaveli karışıma ait ayrıntılar

Malzemeler	Miktar (kg/m ³)
Çimento	350
Uçucu kül	70
Su	212
Akışkanlaştırıcı katkı maddesi	5,04
Hava içeriği	%1,5
0–7 mm kum	1012
7–15 mm orta iri mıcır	275
15–25 mm iri mıcır	364
Teorik birim ağırlık (kg/m ³)	2288

Ek Tablo 5. %30 Uçucu kül ilaveli karışıma ait ayrıntılar

Malzemeler	Miktar (kg/m ³)
Çimento	350
Uçucu kül	105
Su	227,5
Akışkanlaştırıcı katkı maddesi	5,46
Hava içeriği	%1,5
0–7 mm kum	960
7–15 mm orta iri mıcır	261
15–25 mm iri mıcır	345
Teorik birim ağırlık (kg/m ³)	2254

Ek Tablo 6. 25 kg uçucu kül ikameli karışıma ait ayrıntılar

Malzemeler	Miktar (kg/m ³)
Çimento	325
Uçucu kül	25
Su	189
Akışkanlaştırıcı katkı maddesi	4,20
Hava içeriği	%1,5
0–7 mm kum	1098
7–15 mm orta mıcır	298
15–25 mm iri mıcır	395
Teorik birim ağırlık (kg/m ³)	2334

Ek Tablo 7. %10 Silis dumanı ilaveli karışıma ait ayrıntılar

Malzemeler	Miktar (kg/m ³)
Çimento	350
Silis dumanı	35
Su	204
Akışkanlaştırıcı katkı maddesi	4,62
Hava içeriği	%1,5
0–7 mm kum	1056
7–15 mm orta iri mıcır	287
15–25 mm iri mıcır	380
Teorik birim ağırlık (kg/m ³)	2316

Ek Tablo 8. Karışımlara ait birim hacim ağırlık değerleri

Karışım	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)
Mineral katkısız	2285
%20 uçucu kül katkılı	2288
%30 uçucu kül katkılı	2254
25 kg uçucu kül katkılı	2334
%10 silis dumanı katkılı	2316

Ek Tablo 9. Karıştırma süresine bağlı olarak ölçülen beton karışımı sıcaklıkları

Karışım	Karıştırma Süresi (Dakika)							
	5		30		60		90	
	Beton Sıcaklığı (C°)	Ortam Sıcaklığı (C°)	Beton Sıcaklığı (C°)	Ortam Sıcaklığı (C°)	Beton Sıcaklığı (C°)	Ortam Sıcaklığı (C°)	Beton Sıcaklığı (C°)	Ortam Sıcaklığı (C°)
Mineral Katkısız Karışım	26	25	26,5	25	27,5	25	28,5	26
%20 Uçucu Kül İlaveli	27,5	27	28	27	29	27	29,5	27
%30 Uçucu Kül İlaveli	26,5	26	27	26	28	26	28,5	26
25 kg Uçucu Kül İkameli	26	26	27,5	26	28,5	26	29,5	26
%10 Silis Dumanı İlaveli	27	26	29	27	29,5	27	30	27

Ek Tablo 10. Karıştırma süresine bağlı olarak ölçülen çökme değerleri

Karışım	Karıştırma Süresi (Dakika)			
	5	30	60	90
	Çökme (cm)	Çökme (cm)	Çökme (cm)	Çökme (cm)
Mineral Katkısız Karışım	19,5	11,5	9,5	7,5
%20 Uçucu Kül İlaveli	20	16,5	9	8
%30 Uçucu Kül İlaveli	21	18	17	11
25 kg Uçucu Kül İkameli	20	8	6,5	4
%10 Silis Dumanı İlaveli	20	10,5	9	7,5

Ek Tablo 11. Başlangıç çökmesine çekmek için beton karışımına ilave edilen akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarları

Karışım	Karıştırma Süresi (Dakika)			
	5	30	60	90
	İlave Edilen Katkı Miktarı (kg/m ³)	İlave Edilen Katkı Miktarı (kg/m ³)	İlave Edilen Katkı Miktarı (kg/m ³)	İçin İlave Edilen Katkı Miktarı (kg/m ³)
Mineral Katkısız Karışım	0,0	3,1	4,6	5,4
%20 Uçucu Kül İlaveli	0,0	1,7	2,3	3,1
%30 Uçucu Kül İlaveli	0,0	0,7	1,2	2,6
25 kg Uçucu Kül İkameli	0,0	3,5	4,7	5,6
%10 Silis Dumanı İlaveli	0,0	3,3	4,2	4,8

Ek Tablo 12. Çökme kaybı ve bunun telafisi için gereken akışkanlaştırıcı katkı maddesi miktarları

Karışım	Karıştırma Süresi (Dakika)							
	5		30		60		90	
	Çökme Kaybı (cm)	İlave Katkı Miktarı (kg/m ³)	Çökme Kaybı (cm)	İlave Katkı Miktarı (kg/m ³)	Çökme Kaybı (cm)	İlave Katkı Miktarı (kg/m ³)	Çökme Kaybı (cm)	İlave Katkı Miktarı (kg/m ³)
Mineral Katkisız Karışım	0	0	8,5	3,1	10,5	4,6	12,5	5,4
%20 Uçucu Kül İlevli	0	0	3,5	1,7	11	2,3	12	3,1
%30 Uçucu Kül İlevli	0	0	2	0,7	3	1,2	9	2,6
25 kg Uçucu Kül İkameli	0	0	12	3,5	13,5	4,7	16	5,6
%10 Silis Dumanı İlevli	0	0	9,5	3,3	10,5	4,2	12,5	4,8

Ek Tablo 13. Karıştırma süreleri sonunda çökme iyileştirmesi için kullanılan katkı miktarının toplam bağlayıcıya oranı

Karışım	Karıştırma Süresi (Dakika)			
	5	30	60	90
	Katkı Miktarı/Toplam Bağlayıcı (%)	Katkı Miktarı/Toplam Bağlayıcı (%)	Katkı Miktarı/Toplam Bağlayıcı (%)	Katkı Miktarı/Toplam Bağlayıcı (%)
Mineral Katkısız Karışım	0,000	0,876	1,314	1,543
%20 Uçucu Kül İlaveli	0,000	0,397	0,540	0,738
%30 Uçucu Kül İlaveli	0,000	0,147	0,256	0,571
25 kg Uçucu Kül İkameli	0,000	1,010	1,343	1,590
%10 Silis Dumanı İlaveli	0,000	0,848	1,100	1,247

Ek Tablo 14. Çeşitli karıştırma süreleri sonunda kıvam iyileştirmesi sonrası ölçülen birim hacim ağırlıklar

Karışım	Karıştırma Süresi (Dakika)			
	5	30	60	90
	Başlangıç Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Kıvam İyileştirmesi Sonrası Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Kıvam İyileştirmesi Sonrası Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Kıvam İyileştirmesi Sonrası Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)
Mineral Katkısız Karışım	2.295,0	2.302,2	2.306,0	2.309,6
%20 Uçucu Kül İlaveli	2.300,2	2.293,0	2.310,0	2.335,0
%30 Uçucu Kül İlaveli	2.261,2	2.266,2	2.263,2	2.285,2
25 kg Uçucu Kül İkameli	2.329,1	2.337,2	2.356,1	2.365,1
%10 Silis Dumanı İlaveli	2.329,1	2.329,1	2.331,1	2.335,2

Ek Tablo 15. Çeşitli karıştırılma süreleri sonunda kıvam iyileştirilmesi sonrası ölçülen hava içerikleri

Karışım	Karıştırma Süresi (Dakika)			
	5	30	60	90
	Başlangıçtaki Hava İçeriği (lt/m ³)	Kıvam İyileştirmesi Sonrası Hava İçeriği (lt/m ³)	Kıvam İyileştirmesi Sonrası Hava İçeriği (lt/m ³)	Kıvam İyileştirmesi Sonrası Hava İçeriği (lt/m ³)
Mineral Katkısız Karışım	1,75	1,75	1,65	1,60
%20 Uçucu Kül İlaveli	1,55	1,70	1,55	1,50
%30 Uçucu Kül İlaveli	1,50	1,75	1,85	1,45
25 kg Uçucu Kül İkameli	1,50	1,60	1,55	1,50
%10 Silis Dumanı İlaveli	1,50	1,60	1,55	1,50

Ek Tablo 16. Beton karışımlarının su/bağlayıcı oranları

Karışım	Su/Bağlayıcı Oranı
Mineral Katkısız Karışım	0,65
%20 Uçucu Kül İlaveli Karışım	0,51
%30 Uçucu Kül İlaveli Karışım	0,50
25 kg Uçucu Kül İkameli Karışım	0,54
%10 Silis Dumanı İlaveli Karışım	0,53

Ek Tablo 17. Beton karışımlarına ilişkin su/çimento oranları

Karışım	Su/Çimento Oranı
Mineral Katkısız Karışım	0,64
%20 Uçucu Kül İlaveli Karışım	0,61
%30 Uçucu Kül İlaveli Karışım	0,65
25 kg Uçucu Kül İkameli Karışım	0,58
%10 Silis Dumanı İlaveli Karışım	0,58

Ek Tablo18. Çeşitli karışım süreleri sonunda numunelere ilişkin 28 günlük basınç dayanımları

Karışım	Karıştırma Süresi (Dakika)			
	5	30	60	90
	Başlangıçtaki Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)	Kıvam İyileştirmesi Sonrası Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)	Kıvam İyileştirmesi Sonrası Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)	Kıvam İyileştirmesi Sonrası Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)
Mineral Katkısız Karışım	312	345	363	376
%20 Uçucu Kül İlaveli	374	341	375	393
%30 Uçucu Kül İlaveli	388	329	345	403
25 kg Uçucu Kül İkameli	345	359	371	384
%10 Silis Dumanı İlaveli	410	428	445	465

Ek Tablo 19. Başlangıç değerleri taban alınarak (%100) 30, 60 ve 90 dakika sonundaki basınç dayanımı oranları

Karışım	Karıştırma Süresi (Dakika)			
	5	30	60	90
	Başlangıçtaki Basınç Dayanımı (%)	Kıvam İyileştirmesi Sonrası Basınç Dayanımı (%)	Kıvam İyileştirmesi Sonrası Basınç Dayanımı (%)	Kıvam İyileştirmesi Sonrası Basınç Dayanımı (%)
Mineral Katkısız Karışım	100	111	116	121
%20 Uçucu Kül İlaveli	100	91	100	105
%30 Uçucu Kül İlaveli	100	85	89	104
25 kg Uçucu Kül İkameli	100	104	108	111
%10 Silis Dumanı İlaveli	100	104	109	113

ÖZGEÇMİŞ

17.08.1981 yılında Diyarbakır'da doğdu. Ankara İbni Sina İlkokulunu bitirdikten sonra Ankara Ondokuzmayıs Ortaokulunda orta öğrenimini tamamladı. Ankara Etlik Lisesinde lise eğitimini tamamlamasının ardından 1999 yılında ÖSYM sınavında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanarak, aynı bölümden 2003 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde aynı yıl yüksek lisans eğitimine başladı. 2005 yılında Gemsan A.Ş. bünyesinde, Petrol Ofisi Trabzon Tank Sahası Revizyonu ve İskenderun Demir Çelik Fabrikası Kok Tesisi Modernizasyonu projelerinde görev almıştır. Halen 2006 yılında çalışmaya başladığı Yıldız Hazır Beton Tesisinde kalite kontrol sorumlusu olarak çalışmaktadır.

Bekâr olan Caner ARSLANTÜRK, İngilizce bilmektedir.