KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ TOZ HALDEKİ YYPE'NİN KİMYASAL KATKI KULLANIMIYLA TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETONDAKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

SERA SET GÜÇLÜ

KOCAELİ 2023

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ TOZ HALDEKİ YYPE'NİN KİMYASAL KATKI KULLANIMIYLA TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETONDAKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

SERA SET GÜÇLÜ

Doç. Dr. Erdinç DOĞANCI
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Prof. Dr. Olcay MERT
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Dr. Öğr. Üyesi Emrah ŞIK
Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 22.06.2023

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmasında,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı, beyan ederim.

☒ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler .....tarafından ..... no.lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza

Sera Set GÜÇLÜ

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.
Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.
Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***"Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- □ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- □ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

İmza

Sera Set GÜÇLÜ

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Deneyimleri ile bir yol gösterici olan, akademisyen kimliği dışında iş hayatıma da liderlik eden saygıdeğer hocam Doç. Dr. Erdinç DOĞANCI' ya tüm desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Çalışmalarımda her zaman yanımda olan farklı pencerelerden bakmayı öğrendiğim Doç. Dr. Merve DANDAN DOĞANCI' ya, beni bu yolda sürekli motive eden Dr. Uğur Erşen ŞENBİL 'e, değerli Simge UZUNOK' a, İlker ERDOĞAN' a, eşim Cihad GÜÇLÜ' ye, Seda AYIK 'a, Ümran AKGÖL'e ve Yapı Kimyasalları bölümünde çalışan tüm ekip arkadaşlarıma ve tüm imkanlarıyla çalışmalarımı gerçekleştirdiğim Akkim Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş' ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aramızda olmasa da hatıralarıyla hep yanımda olan kuzenim Barış ERSÖZ' e ve son olarak sahip olduğum en büyük hazinem olan biricik aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran-2023 Sera SET GÜÇLÜ

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
TABLOLAR DİZİNİ vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
ÖZET ix
ABSTRACT x
1. GİRİŞ 1
2. GENEL BİLGİLER 2
2.1. Beton 2
2.1.1. Taze Beton 2
2.1.2. Sertleşmiş Beton 2
2.1.3. Birim Ağırlıklarına Göre Beton Türleri 3
2.2. Beton Bileşenleri 3
2.2.1. Agrega 3
2.2.2. Çimento 6
2.2.2.1. Çimentonun Ana Bileşenleri ve Çimentoya Etkileri 7
2.2.3. Su 8
2.2.4. Kimyasal Katkı 8
2.2.4.1. Su Azaltıcı ve Akışkanlaştırıcı Katkılar 10
2.2.4.2. Priz Geciktirici ve Su Azaltıcı Akışkanlaştırıcı Katkılar 10
2.2.4.3. Priz Hızlandırıcı ve Su Azaltıcı Akışkanlaştırıcı Katkılar 11
2.2.4.4. Yüksek Oranda Su Azaltıcı Süperakışkanlaştırıcı Katkılar 11
2.2.4.5. Priz Geciktirici ve Yüksek Oranda Su Azaltıcı Süperakışkanlaştırıcı Katkılar 11
2.2.4.6. Priz Geciktirici Katkılar 11
2.2.4.7. Priz Hızlandırıcı Katkılar 11
2.2.4.8. Su Tutucu Katkılar 11
2.2.4.9. Su Geçirimsizlik Katkıları 12
2.2.4.10. Viskozite İyileştirici/Düzenleyici Katkılar 12
2.2.4.11. Hava Sürükleyici Katkılar 12
2.2.4.12. Sertleşmeyi Hızlandırıcı Katkılar 13
2.2.5. Mineral Katkılar 13
2.3. Beton Dizaynı 14
2.4. Hazır Beton Üretimi 16
2.5. Beton Sınıfları 17
2.5.1. Kıvam Sınıfları 17
2.5.2. Basınç Dayanım Sınıfları 17
2.6. Tez Çalışmasında Kullanılan Beton Deneyleri 18
2.6.1. Çökme Sınıfı Tayini 18
2.6.1.1. Betonda Sıkıştırılabilme Sınıfı Tayini 19
2.6.1.2. Taze Betonda Hava İçeriğinin Tayini 19
2.6.1.3. Taze Betonun Birim Ağırlığının Hesaplanması 21
2.6.1.4. Betonun Basınç Dayanımının Ölçülmesi 22

2.7. Türkiye'de Hazır Beton Üretim Miktarı 22
2.8. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE) 23
2.8.1. Beton İçerisinde Plastik Atık Kullanımı 23
3. MALZEME VE YÖNTEM 25
3.1. Malzemeler 25
3.2. Yöntem 25
3.2.1. Geri Dönüştürülmüş YYPE' nin Toz Haline Getirilmesi 26
3.2.2. Deneyde Kullanılan Çimentoya ait Analizler 30
3.2.3. Çalışma 1: YYPE' nin Çimento Harç Numunelerindeki Etkileri 30
3.2.4. Çalışma 2 YYPE'nin Makro Beton Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi 37
3.3. Agrega Analizleri 38
3.4. Metilen Mavisi Deneyi 39
3.5. Kimyasal Katkının Analizleri 39
3.6. Beton Gradasyonunun Oluşturulması 40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 46
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 48
KAYNAKLAR 49
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 53
ÖZGEÇMİŞ 54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Maksimum tane büyüklüğü 8,00 mm agregaya ait limit değerler 4
Şekil 2.2. Maksimum tane büyüklüğü 16,0 mm agregaya ait limit değerler 4
Şekil 2.3. Maksimum tane büyüklüğü 31,50 mm agregaya ait limit değerler 4
Şekil 2.4. Maksimum tane büyüklüğü 63,00 mm agregaya ait limit değerler 5
Şekil 2.5. Agreganın özellikleri ve betona etkileri 5
Şekil 2.6. Taraksı yapıdaki polikarboksilat şekli 9
Şekil 2.7. Hava sürükleyici katkıların mekanizması 13
Şekil 2.8. Yaş ve kuru sisteme ait beton prosesi 16
Şekil 2.9. Betonda çökme (slump) değerinin ölçümü 19
Şekil 2.10. Basınç ölçme metoduna ait cihaz 20
Şekil 2.11. Su sütunu metodunda kullanılan cihaz 20
Şekil 2.12. Yıllara göre Türkiye hazır beton üretim istatistikleri 22
Şekil 3.1. Pelet şeklindeki YYPE numuneleri 26
Şekil 3.2. YYPE numunesine ait DSC kromotografisi 26
Şekil 3.3. Çöktürme tekniğine ait deney düzeneği 27
Şekil 3.4. Toz hale getirilen YYPE numunesinin görüntüsü 28
Şekil 3.5. Partikül boyut analizi cihazı 28
Şekil 3.6. Toz YYPE numunelerinin partikül boyutu kromatogramı 29
Şekil 3.7. YYPE numunesine ait FT-IR analizi 29
Şekil 3.8. Çimento harcının hazırlandığı karıştırma cihazı 32
Şekil 3.9. Çimento harç kalıpları 32
Şekil 3.10. Çimento harç numunelerine ait kür havuzu 33
Şekil 3.11. Çimento harç numunelerinin basınç dayanımı ve eğilme dayanımı test cihazı 33
Şekil 3.12. 7 günlük numunelerin eğilmede çekme dayanımının-YYPE miktarıyla değişim grafiği 34
Şekil 3.13. 7 günlük numunelerin basınç dayanımının YYPE miktarıyla değişim grafiği 35
Şekil 3.14. Birim ağırlığın YYPE miktarıyla değişim grafiği 35
Şekil 3.15. Basınç dayanımı -birim ağırlık değişim grafiği 36
Şekil 3.16. 28 günlük numunelerin eğilmede çekme dayanımının-YYPE miktarıyla değişim grafiği 36
Şekil 3.17. 28 günlük numunelerin basınç dayanımının YYPE miktarıyla değişim grafiği 37
Şekil 3.18. Elek sarsma tablası 38
Şekil 3.19. Agrega analizleri sonrası oluşturulan beton gradasyon eğrisi 40
Şekil 3.20. Taze beton deney düzeneği 41
Şekil 3.21. Beton numunelerine ait kür havuzu 41
Şekil 3.22. Beton numunelerinin basınç dayanımı test cihazı 42
Şekil 3.23. Taze beton hava ölçüm cihazı 42
Şekil 3.24. Slump- YYPE değişim grafiği 43
Şekil 3.25. Birim ağırlık- YYPE değişim grafiği 44
Şekil 3.26. 7 günlük basınç mukavemeti -YYPE değişim grafiği 44
Şekil 3.27. 28 günlük basınç mukavemeti -YYPE değişim grafiği 45

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. DIN 1045 ’te sınıflandırılan beton türleri 3
Tablo 2.2. Çimento ana sınıfları..... 7
Tablo 2.3. Çimentonun ana bileşenlerine ait tablo..... 7
Tablo 2.4. Çimento tiplerine göre ortalama kimyasal bileşimleri..... 7
Tablo 2.5. Akışkanlaştırıcıların hammaddelerine göre yaklaşık su azaltma yüzdeleri 9
Tablo 2.6. TS EN 934-2’de tanımlanan beton kimyasal katkıları 10
Tablo 2.7. Mineral katkı tipleri 13
Tablo 2.8. Betonda kıvam sınıfları..... 17
Tablo 2.9. Beton sınıfları (TS500-2000 ve TS EN 206-1/2002) 18
Tablo 2.10. Deney düzeneğindeki tablo açıklamaları..... 20
Tablo 2.11. Deney düzeneğindeki tablo açıklamaları..... 21
Tablo 2.12. Literatür taramasında bulunan plastik atıkların kullanımı..... 24
Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan ekipman ve cihazlar..... 25
Tablo 3.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal malzemeler 25
Tablo 3.3. Deneyde kullanılan çimentonun kimyasal analizi 30
Tablo 3.4. Deneyde kullanılan malzemelere ait özgül ağırlıklar 30
Tablo 3.5. Çimento harç numunelerinin karışım dizaynı..... 31
Tablo 3.6. Standart kum elek analizi..... 31
Tablo 3.7. 7 günlük basınç ve eğilme dayanım sonuçları..... 34
Tablo 3.8. 28 günlük basınç ve eğilme dayanım sonuçları..... 36
Tablo 3.9. Taze beton deney standartları 38
Tablo 3.10. Elek analizi sonuçları 39
Tablo 3.11. Kumun metilen mavisi deney sonuçları..... 39
Tablo 3.12. Kimyasal katkıya ait analizler..... 39
Tablo 3.13. Beton numunelerinin karışım dizaynı 40
Tablo 3.14. Taze beton deney sonuçları..... 43
Tablo 3.15. Taze ve sertleşmiş beton deneylerinin sonuçları 43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ACI	:	American Concrete Institute (Amerika Beton Enstitüsü)
ASTM	:	American Society for Testing Materials (Amerika Test Materyalleri Topluluğu)
BD	:	Basınç Dayanımı
C	:	Çimento (Cement)
DIN	:	Alman Standartları Enstitüsü
DSC	:	Differential Scanning Calorimeter (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri)
DSİ	:	Devlet Su İşleri
FTIR	:	Fourier Transform Infrared
GDA	:	Geri Dönüştürülmüş Agrega
MAX.	:	Maksimum (En büyük)
PAGEV	:	Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı
PET	:	Polietilen tereftalat
SEM	:	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
THBB	:	Türkiye Hazır Beton Birliği
TSE	:	Türk Standartları Enstitüsü
W	:	Su (Water)
YYPE	:	Yüksek Yoğunluklu Polietilen

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ TOZ HALDEKİ YYPE'NİN KİMYASAL KATKI KULLANIMIYLA TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETONDAKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş ve toz formuna getirilmiş yüksek yoğunluklu polietilenin (YYPE) hem çimento harcında hem de beton içerisinde kullanılmasıyla taze ve sertleşmiş beton üzerindeki makro ve mikro etkileri incelenmiştir. Hem çimento harç numunelerinde hem de makro betonda çalışmalar yapılmış ve çimento harç numunelerinin basınç dayanımı ve eğilme dayanımları incelenmiştir. Beton dizaynında kullanılan doğal kum ile 3 farklı oranda YYPE ikameli beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Toz YYPE ile yapılan betonun teknik özelliklerini iyileştirmek için polikarboksilat bazlı kimyasal katkı kullanılarak aynı beton tasarımıyla çalışmalar yapılmıştır. Betonun işlenebilirliğini ve teknik özelliklerini incelemek için 8 farklı beton karışımında; çökme, birim ağırlık, hava içeriği deneyleri yapılmıştır. Beton karışımlarının mekanik özelliklerini incelemek için basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre; geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilen ikame edilen beton karışımlarının polikarboksilat bazlı kimyasal katkı kullanımı ile şahit katkısız betonlara kıyasla teknik özelliklerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton Katkıları, Geri Dönüşüm, Plastik Atık, YYPE.

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF RECYCLED POWDERED HDPE ON FRESH AND HARDENED CONCRETE WITH THE USE OF CHEMICAL ADMIXTURE

ABSTRACT

In this study, the macro and micro effects of recycled and powder-formed high-density polyethylene (HDPE) on fresh and hardened concrete were investigated by using it both in cement mortar and in concrete. In the study, studies were conducted on both cement mortar samples and macro concrete, and the compressive strength and flexural strength of cement mortar samples were examined. HDPE-substituted concrete casting was carried out with natural sand used in the concrete design in 3 different proportions. Studies have been carried out with the same concrete design by using polycarboxylate-based chemical admixture to improve the technical properties of concrete made with powdered HDPE. In order to examine the workability and technical characteristics of concrete, slump, unit weight and air content tests on fresh concrete were carried out in 8 different concrete mixes. Compressive strength tests were carried out to examine the mechanical properties of concrete mixtures. According to the test results, it was observed that the technical properties of HDPE concrete mixtures were improved with polycarboxylate-based chemical admixture.

Keywords: Concrete Admixtures, Recycle, Plastic Waste, HDPE.

1. GİRİŞ

Ambalaj üretiminde, inşaat malzemelerinde, tekstil ürünlerinde, otomotiv sanayide mobilya, mutfak eşyası gibi hayatımızın neredeyse her alanında karşılaştığımız, kullandığımız ve ekosistemde bozunması yıllar alan plastik üretimi hızla artmaktadır. Ürünlere kolay erişilebilir olması ve ürünlerin ucuz olmasından kaynaklı malzeme olarak plastik, birçok sektörde kullanılmakta ve tercih edilmektedir.

Öte yandan enjeksiyon, ekstrüzyon, ısıl şekillendirme gibi metotlarla hemen hemen istenen her şekle getirilebilir plastikler ayrıca birer mühendislik ürünleridir (Chamas ve diğ., 2020).

Tek kullanımlık plastik atıkların doğada ayrışma süreleri 500 ile 1000 yıl arasında değişmektedir (Öztürk, 2021). Bu yüzden plastiklerin, doğada doğal yollarla uzun yıllar içerisinde ayrışma, bozunma süreleri göz önüne alındığında plastik atıklar geri dönüştürülmeli ve yeniden kullanılmalıdır.

PAGEV' in 2021 yılı ''Plastik Sektörü İzleme Raporu'' verilerinde, plastik mamul üretiminin 2021 yılında 2020 yılına kıyasla artış göstererek 10,3 milyon ton olarak gerçekleştiği bildirilmiştir (Pagev,2021).

2020 itibari ile dünya genelinde yıllık plastik üretiminin 450 milyon ton olduğu bildirilmiştir (Geyer, 2022). Her yıl 19 ila 23 milyon ton plastik atığın ise okyanusa girdiği tahmin edilmektedir (Borrelle ve diğ., 2020). Plastik atıkların, doğada doğal uzun yıllar süren çözünme problemi ele alınarak plastik atıkların geri dönüşüm ile tekrar kullanılması sağlanmalıdır. Bu çalışmada; toz haline getirilen plastik sınıfında yer alan yüksek yoğunluklu polietilen atıklarının beton içerisinde kullanılması ve bu sayede hem plastik atıkların azaltılması hedeflenmiş hem de bu atıkların beton içerisinde kullanılabilecek alternatif hammadde olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

THBB 'nin 2020 senesinde açıkladığı Türkiye'deki hazır beton üretim miktarı olan 105 milyon metreküp üretim göz önüne alındığında, beton içerisinde bu geri dönüştürülmüş plastiklerin kullanılmasıyla plastik atık sorununun da bir kısmının önüne geçilmesi sağlanacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Beton

Beton; çimentonun, agreganın, suyun ve gerektiğinde kimyasal veya mineral bazlı katkıların homojen şekilde karıştırılmasıyla oluşturulan, zamanla sertleşerek dayanım kazanan kompozit bir yapı malzemesidir. Beton üretilirken farklı formlarda ve özelliklerde birçok malzeme bir araya getirilir.

Bir araya getirilen malzemelerin eksik ya da yetersiz tarafları birbirleriyle iyileştirilerek, üstün olan özellikleri kullanmak amacıyla birleştirilen bu malzemeler, kompozit malzeme olarak adlandırılır (Onaran, 1995).

Betonda istenilen en önemli özelliklerden biri fiziksel ve kimyasal dış etmenlere karşı dayanıklı olmasıdır. Dayanım parametresi, betonun diğer özelliklerini belirleyen bir parametre olarak da temel alınır. Bu sebeple betonlar, basınç mukavemetleri temel kriter alınarak sınıflandırılır (Yalçın ve Gürü, 2007).

Beton, İngilizce' de ''Concrete'' Latince' de ''Concretus''kelimeleriyle tanımlanır ve ''birlikte gelişen'' anlamı taşır. Portland çimentosu ile üretilen beton, kompozit yapıda ve baziktir. Devamlı şekilde bazı reaksiyonların gerçekleştiği priz süreci sonrası amorf, kristal, kolloidal yapının olduğu bir ortam içerir (DSİ Müdürlüğü,2018).

2.1.1. Taze Beton

Beton içerisinde kullanılacak malzemelerin (agrega, çimento, su ve diğer bileşenler) karıştırılmasıyla oluşan plastik kıvamın, su ve çimento arasındaki birtakım reaksiyonlara bağlı olarak zamanla azalıp, katılaşmanın (sertleşmenin) başladığı ana kadarki durumu taze beton olarak adlandırılmaktadır.

2.1.2. Sertleşmiş Beton

Taze betonun katılaşma sonrasındaki durumu sertleşmiş beton olarak tanımlanır.

2.1.3. Birim Ağırlıklarına Göre Beton Türleri

Beton, birim ağırlıklarına göre; hafif betonlar, normal betonlar ve ağır betonlar olarak sınıflandırılır. Bu üç grubun farkı ise betonun birim ağırlığıdır ve kullanılan agrega türüne göre betonun birim ağırlığı değişkenlik gösterir. Betonun kullanım amaçlarına göre agrega tipi değiştirilerek beton tasarımı oluşturulur. DIN 1045 'e göre sınıflandırılan beton türleri Tablo 2.1'de verilmiştir (Çetmeli,1974).

Tablo 2.1. DIN 1045 'te sınıflandırılan beton türleri

Beton Türü	Ortalama Birim Ağırlık (kg/m³)
Ağır Betonlar	2800 kg üzeri
Hafif Betonlar	2000 kg ve altı
Normal Betonlar	2000 kg ile 2800 kg arası

2.2. Beton Bileşenleri

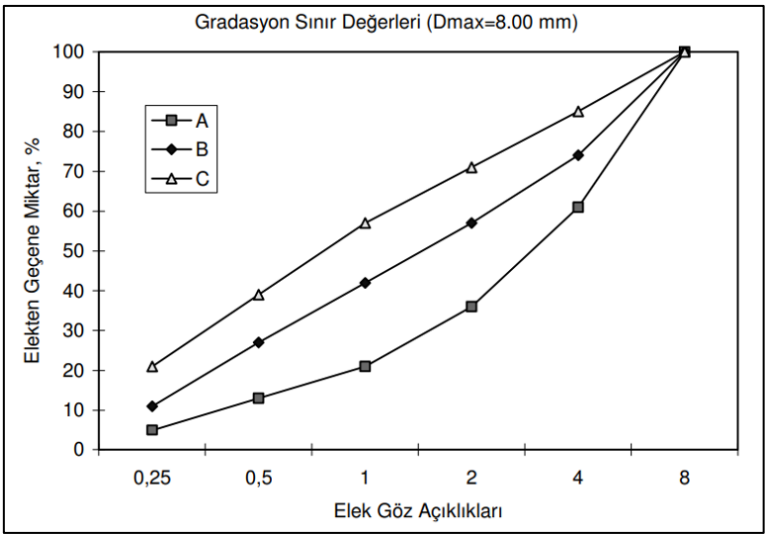
2.2.1. Agrega

Agrega; beton tasarımında su ve çimentoyla dizayna ilave edilen çakıl, kırma taş, kum gibi farklı minerolojideki inorganik malzemelerdir. Beton hacminin ortalama %60 ila 80'i agregalardan oluşur. Agrega kullanımı, betonun hem teknik özelliklerini iyileştirir hem de betonun birim maliyetini düşürür. Beton dizaynında kullanılan agreganın birim ağırlığı, gözenekliliği, minerolojik yapısı, tane boyutu, su emme kapasitesi, elastiklik modülü, betona ait teknik özellikleri etkilemektedir (Mehta ve diğ., 2006).

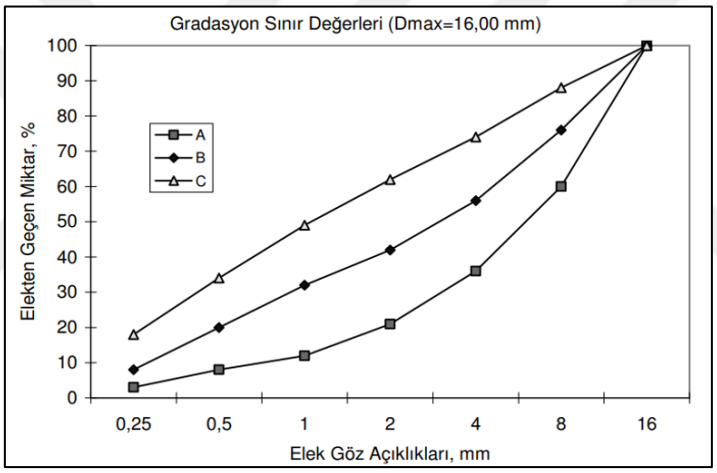
Agregaların beton dizaynında kullanılabilmesi için TS.706 standardında belirtilen granülometriye uygun olması gerekmektedir. Beton dizaynında kullanılan agregaların karışım granülometresi ''ideal granülometri''ile doğru orantıda olmalı ve ideal bölge olarak belirtilen alanda kalmalıdır.

Agregaların geometrik özellikleri, boyut dağılımı, yüzey yapısı gibi spesifik özellikleri beton hacmi kompasitesini etkilemektedir.

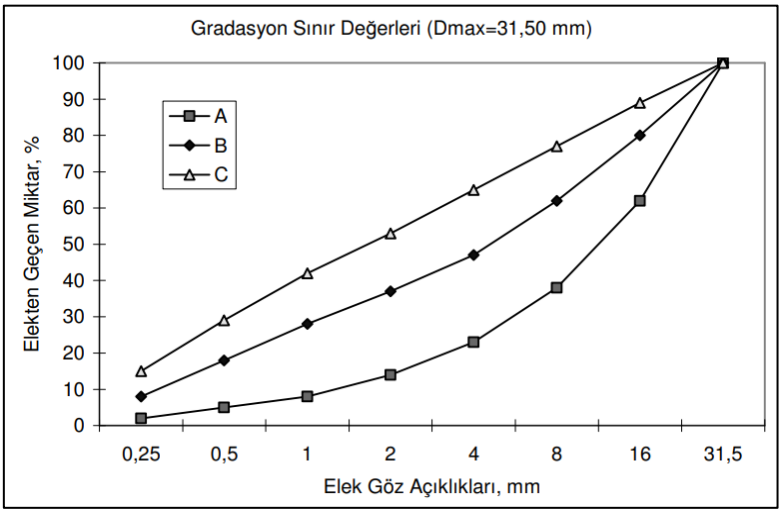
Şekil 2.1, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilen referans eğrilerine göre ideal alanlar; A ve B arası en uygun, B ve C arası kullanılabilir alanları göstermektedir (Özdemir, 2006).



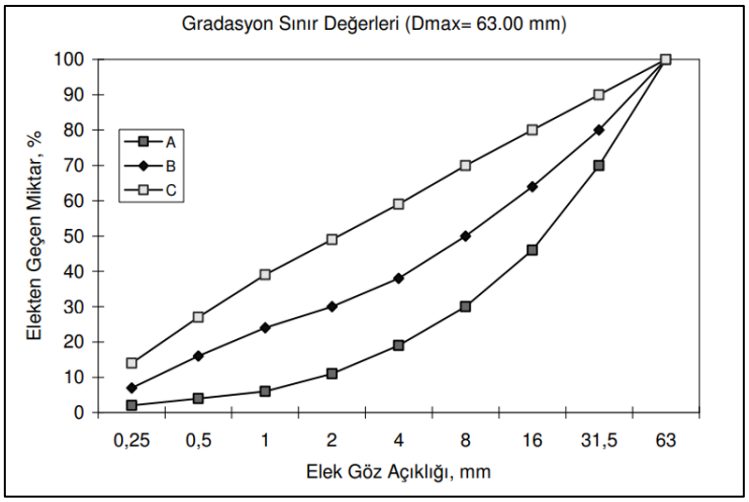
Şekil 2.1. Maksimum tane büyüklüğü 8,00 mm agregaya ait limit değerler



Şekil 2.2. Maksimum tane büyüklüğü 16,0 mm agregaya ait limit değerler

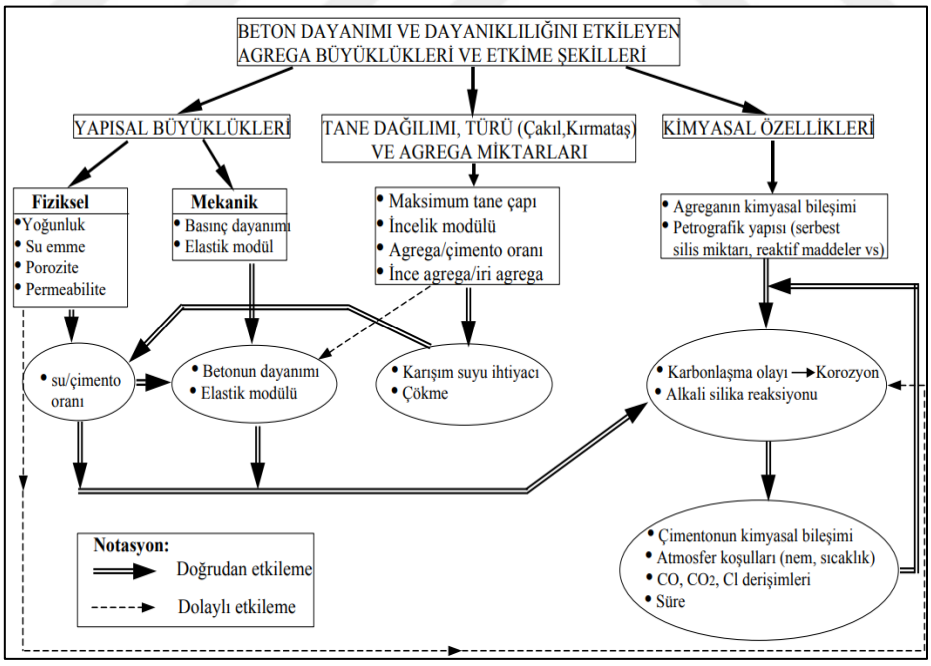


Şekil 2.3. Maksimum tane büyüklüğü 31,50 mm agregaya ait limit değerler



Şekil 2.4. Maksimum tane büyüklüğü 63,00 mm agregaya ait limit değerler

Uygun olmayan agrega şekillerinde, betonda kullanılacak su miktarı fazla olmaktadır. Geometrik olarak bozuk ve uygun olmayan agregalar, agrega ile çimento arasındaki geçiş bölgesinin aderansını negatif yönde etkiler. Bu durum betonun dayanıklılık performansını azaltır. Betonda dayanımı etkileyen agregaların betona etkileri Şekil 2.5'te verilmiştir (Arıoğlu ve diğ., 2006).



Şekil 2.5. Agreganın özellikleri ve betona etkileri

Birim ağırlığı fazla olan betonun mukavemeti ve taşıma gücü fazladır. Betonun mukavemetine etki eden temel faktörlerden biri de betonda kullanılan agregaların birim

ağırlığıdır. Beton agregalarının birim ağırlığı, minerolojik yapılarına göre farklılık gösterir. Agregaların, beton içerisindeki sıkışma miktarı yüksekse betonun basınç dayanımı da bir o kadar yükselir (Aydeniz, 2012).

Agregaların özgül ağırlığı, betonun birim ağırlığını doğrudan etkiler. Agregalar elde edildikleri kaynaklara göre ikiye ayrılır. Bunlar; doğal ve yapay kaynaklardır. Özgül ağırlıklarına göre normal agrega, hafif agrega ve ağır agrega olarak gruplandırılır.

- Normal agreganın birim hacim kütlesi; EN 1097-6'da belirtildiği üzere yapılan analiz sonrası 2000 kg/m^3 ila 3000 kg/m^3 aralığındadır.
- Hafif agreganın birim hacim kütlesi EN 1097-6'da belirtildiği üzere yapılan analiz sonrası birim hacim kütlesi 2000 kg/m^3'ten küçük olarak belirtilir.
- Ağır agrega; EN 1097-6'da belirtildiği üzere yapılan analiz sonrası birim hacim kütlesi 3000 kg/m^3 'ten yüksek olan agregadır (Kurt, Çimsa).

2.2.2. Çimento

Çimento, temel hammaddeleri kalker ve kilin belirli oranda 1400°C -1500°C'lerde döner fırınlarda pişirilip %3-5 oranında alçı taşı ilavesiyle öğütülerek elde edilen toz formda hidrolik bir bağlayıcıdır.

Çimento hamurunun (pastasının) görevi, betonu oluştururken agregaların yüzeylerini sarmak ve agregalar arasındaki poroziteyi azaltmak, agregaların birbirine tutunmasını sağlamaktır (Erdoğan, 2003).

Çimento; klinkerin çeşitli proseslerle öğütülmesiyle elde edilen, su ile birleştiğinde hidratasyona uğrayan ve hidratasyon kaynaklı kimyasal reaksiyonların gerçekleştiği ve sonrasında priz alarak sertleşen inorganik bir malzemedir.

Çimento öğütme işlemi sırasında karışıma belirli bir oranda mineral katkılar eklendiğinde katkılı farklı çimento türleri elde edilir. Bu katkı maddesi, enerji ve hammadde kaynaklarının düşük tüketimi nedeniyle ekonomik açıdan önemli olmakla birlikte, sülfat ve klorür ortamlarında olumsuz etkilere karşı direnç açısından da önemlidir (Postacıoğlu, 1986). Çimentolara ait ana sınıflar Tablo 2.2'de gösterilmiştir (TSE, 2012).

Tablo 2.2. Çimento ana sınıfları

CEM I Tipi	Portland çimentosu
CEM II Tipi	Portland kompoze çimentosu
CEM III Tipi	Yüksek fırın cürufu içeren çimento
CEM IV Tipi	Puzolanik çimento
CEM V Tipi	Kompoze çimento

2.2.2.1. Çimentonun Ana Bileşenleri ve Çimentoya Etkileri

Çimentonun en temel bileşiği C_3S fazıdır. Çimentoda istenilen mukavemeti sağlayan faz C_3S' dir.C_2S 'nin çimentoda ilk dayanıma etkisi düşüktür fakat ileriki yaşlarda dayanıma etkisi yüksektir. C_3A ise çimento öğütme aşamasında eklenen alçı taşının olmaması ya da yeterli olmaması durumunda hızlı reaksiyona girer ve hızlı sertleşmeye neden olur (Aydın, 2006). C_4AF'nin ise dayanıma etkisi neredeyse yoktur. Beton üzerindeki en önemli etkisi, renk üzerindeki etkisidir. Daha yüksek C_4AF konsantrasyonları, daha koyu renkli betonlarla sonuçlanacaktır. Beyaz çimentoda C_4AF yüzdesi düşük tutulur, yaklaşık %1 ila %2 seviyesindedir (Burg ve diğ., 1993). Çimentonun ana bileşenleri Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Çimentonun ana bileşenlerine ait tablo

Oksitler (Kısaltmaları)	**Oksitler (Uzun Gösterimi)**	**Okunuşu**
C_3S	n $(CaO)_3\,SiO_2$	trikalsiyum silikat
C_2S	$(CaO)_2SiO_2$	bikalsiyum silikat
C_4AF	$(CaO)_4\,Al_2O_3Fe_2O_3$	tetra kalsiyum alümino ferrit
C_3A	$(CaO)_3Al_2O_3$	trikalsiyum alüminat

Farklı tiplerdeki çimentoların kimyasal yapıları da birbirinden farklıdır. Çimento tiplerine göre çimentonun yaklaşık kimyasal içerikleri Tablo 2.4'te verilmiştir (Kocataşkın, 1965).

Tablo 2.4. Çimento tiplerine göre ortalama kimyasal bileşimleri

Kimyasal Bileşim	**Yaklaşık Oksit Analizi Yüzdeleri (%)**				
	CEM V	**CEM IV**	**CEM III**	**CEM II**	**CEM I**
Kireç (CaO)	64	60	65	63	64
Alümin (Al_2O_3)	2,5	5	5,5	5	6,5
Manyezi (MgO)	2	3	2,3	3	2,5
Silis (SiO_2)	26	24	20	22	21
Demir oksit (Fe_2O_3)	1,5	4,5	3	4	2,5

2.2.3. Su

Çimentonun hidratasyonu, su ile sağlanır. Çimento ile su arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucunda, agrega taneleri birbirine tutunarak sertleşmiş betonu meydana getirir.

Hidratasyon reaksiyonu, çimento parçacıklarının yüzeyinde bulunan iyonların salınması ve çimentoda bulunan farklı sülfat formlarının çözeltiye geçmesiyle başlar. Bu çözünme işlemi sırasında çimento hamurunun sıcaklığı bir miktar yükselir (Aitcin, 2015). Beton dizaynında kullanılacak su miktarı beton dayanımına direkt etki etmektedir. Beton yapımında kullanılan su miktarı arttıkça, betonun işlenebilirliği ve kıvamı artar fakat betonda su/çimento (S/Ç) oranı, dayanımla ters orantılıdır. Beton dizaynında S/Ç oranı azaldıkça betonda dayananım artar ayrıca beton karışımı içerisinde porozite düşer ve kılcal boşlukların miktarı düşer.

Beton içerisindeki boşluk (porozite) ne kadar düşük olursa, betonun basınç dayanımının o kadar yüksek olduğu ve diğer fiziksel özelliklerinin de istenilen seviyelerde olduğu bulunmuştur (Şimşek, 2004). Beton içerisinde hem su miktarını azaltmak hem de betonun işlenebilirliğini sağlamak için TS EN 934-2'ye uygun akışkanlaştırıcı ya da süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkılar kullanılmaktadır.

2.2.4. Kimyasal Katkı

Betonda kullanılan katkılar, mineral ve kimyasal katkılar olarak ikiye ayrılır. Beton kimyasal katkıları, betonun teknik özeliklerini değiştirerek betonun performansını arttırmak için beton tasarımındaki çimento miktarı esas alınarak kullanılmaktadır. Kimyasal katkılar gereğinden çok kullanıldığında zararlı etkiler oluşturabilir. Bu zararlı etkilerden bazıları; betonda kusma, ayrışma, priz süresinin istenilen süreden fazla uzamasıdır. Katkıların gereğinden az kullanılması durumunda da beton, istenilen teknik ve fiziksel özellikleri sağlayamaz. Betonda kullanılan süperplastikleştirici kimyasal katkılar beton dizaynında belirlenen çimento kütlesinin %5'ini geçmemek üzere kullanılmalıdır.

Süperplastikleştirici beton katkılarının kullanımının üç temel amacı vardır:

- Betonun yerleşme özelliklerini geliştirmek için karışım bileşimini değiştirmeden işlenebilirliği arttırmak.
- S/Ç oranını düşürerek mukavemeti arttırmak.
- Çimentodan tasarruf etmek ve çimento hidratasyonunun ısısından kaynaklanan büzülme ve termal gerilmeleri azaltmak için belirli bir işlenebilirlikte hem suyu hem de çimentoyu azaltmak (Collepardi, 1998).

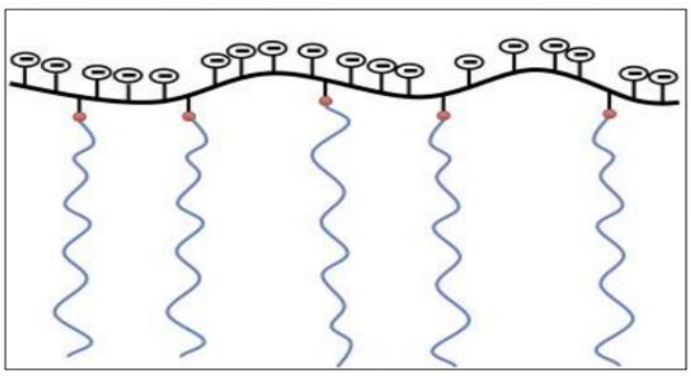
Betonda kullanılan akışkanlaştırıcı katkıların içerdikleri hammaddelere göre betonda su kesme (azaltma) oranları da birbirinden farklıdır (Nkinamubanzi ve diğ., 2016). Katkılarda kullanılan hammaddelere göre yaklaşık su azaltma oranları Tablo 2.5'te verilmiştir (Ayvaz, 2021).

Tablo 2.5. Akışkanlaştırıcıların hammaddelerine göre yaklaşık su azaltma yüzdeleri

Temel Hammadde	**(%) Ortalama Su Azaltma**
Ligno Sülfonat	10
Naftalen Sülfonat	30
Sülfone Naftalin Formaldehit Kondensatları, Melamin Sülfonat	20-30
Polikarboksilat ve Akrilik Kopolimerler	40

Polikarboksilat esaslı katkılar diğer katkılara göre daha fazla su kesme oranına sahiptir.

Son yıllarda üretilen ve yeni jenerasyon olarak adlandırılan Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcılar, yüksek miktarda su kesme özelliğinde tarak biçimli eş polimerlerden oluşmuştur (Tsubakimoto ve diğ., 1984). Tarak şeklindeki polikarboksilatların (PCE) yapısı, Şekil 2.6'da gösterildiği üzere genel olarak omurga adı verilen karboksil gruplara sahip temel (ana) zincir ve bu temel zincire bağlanan iyonik olmayan polieter yapıda yan zincirlerinden oluşmaktadır (Gelardi ve diğ.,2016).



Şekil 2.6. Taraksı yapıdaki polikarboksilat şekli

Yüksek oranda su azaltıcı olan polikarboksilatlar adsorpsiyon mekanizmaları sayesinde çimentoyla etkileşim içerisine girer bu sayede elektrostatik itme veya sterik etki yoluyla betondaki çimento parçacıklarının dağılımını arttırır. Aglomerasyonu önleme ve dağıtma özelliklerine sahip yeni nesil (yeni jenerasyon) katkı maddesi olarak adlandırılan polikarboksilatlar, çimento partikülleri üzerine adsorbe olan ve sadece elektrostatik itme değil aynı zamanda sterik etkileri sayesinde dispersiyon davranışı sergileyen tarak şeklindeki polimerlerdir (Uchikawa ve diğ., 1996).

Beton üretiminde kullanılan ve TS EN 934-2'de belirlenen kimyasal katkılar Tablo 2.6'daki şekilde gruplandırılır (TSE, 2013).

Tablo 2.6. TS EN 934-2'de tanımlanan beton kimyasal katkıları

No	Kimyasal Katkı Tipi ve Türleri
1	Su azaltıcı ve akışkanlaştırıcı katkılar
2	Priz geciktirici ve su azaltıcı akışkanlaştırıcı katkılar
3	Priz hızlandırıcı ve su azaltıcı akışkanlaştırıcı katkılar
4	Yüksek oranda su azaltıcı süperakışkanlaştırıcı katkılar
5	Priz geciktirici ve yüksek oranda su azaltıcı süperakışkanlaştırıcı katkılar
6	Priz geciktirici katkılar
7	Priz hızlandırıcı katkılar
8	Su tutucu katkılar
9	Su geçirimsizlik katkıları
10	Viskozite iyileştirici/düzenleyici katkılar
11	Hava sürükleyici katkılar
12	Sertleşmeyi hızlandırıcı katkılar

2.2.4.1. Su Azaltıcı ve Akışkanlaştırıcı Katkılar

Dizaynı belli olan beton karışımında beton kıvamını değiştirmeden beton içerisine giren su miktarının düşürülmesini sağlayan kimyasal katkılardır. Betondaki su azaltma oranı, katkı kullanılmadan üretilen eşit kıvamdaki betonla karşılaştırıldığında asgari %5 'i sağlayan katkı türüdür.

2.2.4.2. Priz Geciktirici ve Su Azaltıcı Akışkanlaştırıcı Katkılar

Taze beton karışımının priz başlangıç süresini uzatırken aynı zamanda beton içerisinde giren su miktarını da azaltan kimyasal katkılardır. Betondaki su azaltma oranı, katkı kullanılmadan üretilen eşit kıvamdaki betonla karşılaştırıldığında asgari %5 'i sağlayan katkı türüdür.

2.2.4.3. Priz Hızlandırıcı ve Su Azaltıcı Akışkanlaştırıcı Katkılar

Bu başlıktaki katkılar; betonda su azaltıcı yönleriyle beraber priz geciktirici etkisini de gösteren kimyasal katkı türüdür.

2.2.4.4. Yüksek Oranda Su Azaltıcı Süperakışkanlaştırıcı Katkılar

Dizaynı belli olan beton karışımında beton kıvamı değiştirmeden beton içerisine giren su miktarını yüksek oranda azaltılmasını sağlayan kimyasal katkılardır. Betondaki su azaltma oranı, katkı kullanılmadan üretilen eşit kıvamdaki betonla karşılaştırıldığında asgari %12'yi sağlayan katkı türüdür.

2.2.4.5. Priz Geciktirici ve Yüksek Oranda Su Azaltıcı Süperakışkanlaştırıcı Katkılar

Bu katkılar; betonda yüksek miktarda su azaltma etkisiyle birlikte priz geciktme etkisini sağlamak için kullanılır. Betondaki su azaltma oranı, katkı kullanılmadan üretilen eşit kıvamdaki betonla karşılaştırıldığında asgari %12'yi sağlayan katkı türüdür.

2.2.4.6. Priz Geciktirici Katkılar

Taze beton karışımının plastik formdan katı forma geçişini bir başka deyişle betondaki priz başlangıç süresini uzatmak amacıyla kullanılan katkılardır.

2.2.4.7. Priz Hızlandırıcı Katkılar

Taze beton karışımının plastik formdan katı forma geçiş süresini azaltmaya yarayan katkılardır. Priz hızlandırıcı kimyasallar su ile çimento arasındaki reaksiyonu hızlandırarak, hidratasyonun hızlı gelişimini sağlar. Priz hızlandırıcılar, erken kalıp sökülmesi gereken durumlarda tercih edilir.

2.2.4.8. Su Tutucu Katkılar

Bu katkıların görevi betonda çökme ve ayrışmanın önüne geçmektir. Bu katkılar suyun viskozitesini arttırır ve beton karışımının homojen ve işlenebilir olmasını sağlar. Taze beton içerisinde beton içerisindeki fazla su miktarı tutularak betonda kusma-terleme azaltılır.

2.2.4.9. Su Geçirimsizlik Katkıları

Su geçirimsizlik katkıları, betonda oluşan boşlukların doldurulmasını sağlar. Çatlaksız betonda, betona nüfuz eden su miktarı buharlaşan su miktarından az ise betonun su geçirmez olduğu söylenebilir (Akyol, 2008).

Su geçirimsizlik katkılarının içerdiği kimyasallar, beton içindeki kılcal boşlukları su itici bir tabaka olarak doldurarak betonun su emilimini azaltır. Bu katkılar baraj betonlarında, prekast betonlarda ve tünellerde kullanılır.

2.2.4.10. Viskozite İyileştirici/Düzenleyici Katkılar

Betonda, kohezyonu iyileştirmek amacıyla ayrışmayı önlemek için taze betona eklenen kimyasal katkılardır.

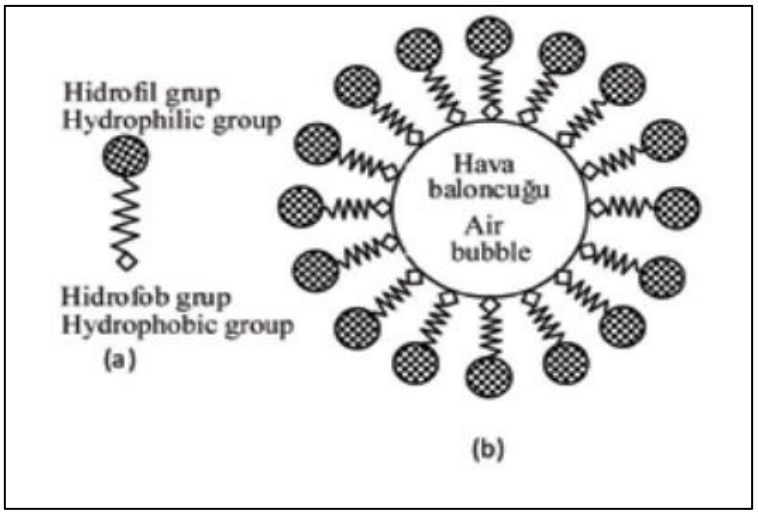
2.2.4.11. Hava Sürükleyici Katkılar

Taze betona kontrollü ölçeklerde mikro ölçekli hava kabarcığı sürükleyen kimyasal katkılardır. Hava sürükleyici katkılar, beton içerisinde hava boşlukları yaratarak betonun donma-çözülme olaylarına karşı direnci arttırırlar. Beton içerisinde sürüklenen hava sayesinde betonun işlenebilirliği bir miktar artar. Saha betonlarında, baraj kütle betonlarında, havaalanı pistlerinde kullanılırlar ve beton ömrünü uzatırlar.

Hava sürükleyici kimyasal katkılar hava-su ara yüzeyine etkisiyle suyun köpüklenmesini sağlayan yüzey aktif maddelerdir. Yüzey aktif maddeler, molekülün hidrofob (su itici) ucu hava baloncuğu içine girer ve hava-su ara yüzeyine yerleşirler. Molekülün bir ucu hidrofil diğer ucu hidrofob özelliktedir. Hava baloncukları taze beton içinde meydana gelir ve sertleşmiş beton içinde mikro boşluk biçimindeki yapılarını korurlar (ACI, 1991).

Beton içerisine sürüklenen hava ile birlikte, betonun donma-çözülme gibi betonda istenmeyen etkilere karşı dayanıklılığı artmaktadır (Zhang ve diğ., 2011).

Hava sürükleyici katkıların beton içerisindeki davranışını gösteren mekanizma Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Hava sürükleyici katkıların mekanizması

2.2.4.12. Sertleşmeyi Hızlandırıcı Katkılar

Sertleşmeyi hızlandırıcı katkılar, betonda istenilen ön (erken) mukavemet kazanma hızını arttıran katkılardır.

2.2.5. Mineral Katkılar

Mineral katkılar; betonun işlenebilirliğini, mukavemetini, dayanıklılığını, maliyetini iyileştirmek amaçlı ve gerektiğinde sülfat saldırılarına karşı direncini arttırmak için kullanılan ayrıca hidratasyonu kontrol etmek için betona eklenen partikül malzemelerdir. Betonda kullanılan mineral katkılar, betonun istenilen son özelliğine göre seçilir.

Mineral katkılar beton karışımına direkt ilave edilmekte ve beton içerisindeki diğer bileşenlerle birlikte karıştırılmaktadır. Genellikle beton dizaynında kullanılacak çimento miktarını azaltmak amaçlı kullanılmaktadır (Erdoğan, 2003).

TS EN 206-1 standardında Tip I ve Tip II olmak üzere iki tip mineral katkı tanımlanmıştır. Mineral katkı tipleri Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Mineral katkı tipleri

Mineral Katkılar	Özellikleri
Tip- I	Kabul edilebilir inert katkılar
Tip-II	Puzzolanik katkılar

Tip- I Katkılar: İnce ya da öğütme işleminden geçirilmiş kalker filleriyle Kalsit fili bu katkılara örnektir. Bu tür katkıların bağlayıcı özelliği yoktur (puzolanik etki) ve betonda yalnızca boşluk doldurma amaçlı kullanılırlar.

Tip- II Katkılar: Silis dumanı, cüruf, uçucu kül ve tras bu katkılara örnek gösterilebilir. Bu türdeki mineral katkılar hem betonda boşluk doldurma hem de gizli bağlayıcılık etkilerine sahiptir (Yapıtest, 2014).

Mineral katkılar esas olarak mikro yapıyı güçlendirir ve agregalar arasındaki boşlukları kapatır. Cüruf, silika dumanı ve metakaolin, pozzolanik reaksiyona bağlı olarak $Ca(OH)_2$ ile kimyasal reaksiyona girer ve kalsiyum silikat hidratlarla birlikte kalsiyum alüminosilikat hidratları meydana getirirler. Böylece çimento yapısına benzer bileşenlerin oluşmasını sağlar (Duan ve diğ.,2005).

2.3. Beton Dizaynı

Beton dizaynı ya da bir başka deyişle beton tasarım hesabı; $1m^3$ hacim içerisine yerleştirilecek beton içerisinde kullanılacak malzemelerin önceden belirlenmesi ve miktarlarının ayarlanmasıdır. Beton dizaynının, beton üretiminden önce tasarlanması gerekir. Beton tasarımın hesabı; dayanım, işlenebilme, estetik şartlar ve gerekli standartları sağlarken maliyet arasında bir denge oluşturmalıdır. Beton içerisindeki her bir bileşenin kendine özgü, özgül ağırlığı vardır. Bu özelliklerine göre beton dizaynı tamamen değişebilir ve sonuç olarak istenilen kaliteye ve istenilen beton özelliklerine ulaşılması için mutlaka beton dizaynının yapılması gerekir.

Dizayn oluşturulmadan önce; kullanılacak agreganın kil içeriğinin belirlenmesi, elek analizlerinin yapılması, maksimum tane boyutunun ve özgül ağırlıklarının belirlenmesi, çimentonun özgül ağırlığının belirlenmesi, kimyasal katkıların yaklaşık su azaltma yüzdesinin belirlenmesi, çimentonun su ihtiyacının saptanması ve çimentonun tanecik boyutunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu analizler ve değerler sonucunda beton gradasyonu oluşturulmalıdır.

Beton içerisindeki her bileşene ait özellikler belirlendikten sonra yapılacak betonun kıvam sınıfı belirlenir. İstenilen kıvam sınıfı belirlendikten sonra betona girecek karışım

suyu hesaplanır. Bir betonda kullanılacak karışım (karma) suyunun miktarını şunlar etkiler:

- Agregaların en büyük tane çapı,
- Agregaların granülometresi,
- Agregaların içerdiği nem,
- Agregaların su emme yüzdeleri,
- Kullanılan çimentonun dozajı,
- Çimentonun tanecik boyutu
- Çimentonun tipi ve cinsi,
- Mineral katkı dozajı,
- Mineral katkının kimyasal içeriği,
- Mineral katkının tanecik boyutu,
- Kimyasal katkının kullanım dozajı,
- Kullanılan kimyasal katkının içeriği.

1 m^3 betona giren bileşenlerin miktarı (TSE, 2016) aşağıda verilen bağıntı yardımıyla hesaplanır:

$$\frac{ç}{\rho ç} + \frac{p}{\rho p} + \frac{k}{\rho k} + w + \frac{wa}{pa} + 10 \times A = 1000\ dm^3 \quad (2.1)$$

k: Kullanılacak kimyasal katkının miktarı (kg)

ρk: Kullanılacak Kimyasal katkıya ait yoğunluk (kg/dm^3),

ç: Kullanılacak çimentonun miktarı (kg) ,

ρç: Kullanılacak Çimentoya ait yoğunluk (kg/dm^3) ,

p: Kullanılacak mineral katkının miktarı (kg),

ρp: Kullanılacak Mineral katkıya ait yoğunluk (kg/dm^3) ,

W: Beton dizaynında (karışımında) kullanılacak suyun hacmi (dm^3),

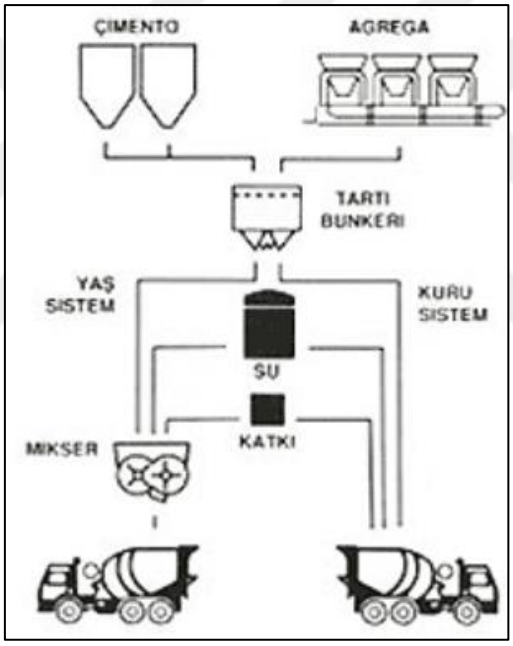
Wa: Kullanılacak agreganın miktarı (kg),

ρa: Kullanılacak agreganın ortalama özgül ağırlığı (kg/dm^3) ,

A: Betondaki toplam yüzde hava miktarı.

2.4. Hazır Beton Üretimi

Hazır beton üretiminde yaş ve kuru sistem olarak iki yöntem kullanılır. Bu metotların seçiminde betonun döküm yapılacağı yerin mesafesi önemlidir. Yaş sistemde, beton dizaynında kullanılan tüm malzemeler miksere aktarılır. Mikser içerisindeki tüm malzemeler, homojen forma gelinceye dek karıştırılır. Homojen şekilde elde edilen taze beton, beton taşıyıcı transmiksere boşaltılır. Kuru karışım olarak hazırlanan yöntemdeyse kullanılacak agrega ve çimento santralde tartılır, santralde veya transmikser içerisinde karıştırılır. Beton dökümünün yapılacağı alanda su ve kimyasal katkı sonradan eklenir (Şenbil, 2016). Kuru ve yaş yöntemlere ait beton prosesi Şekil 2.8'de gösterilmiştir (Arsoy, 2018).



Şekil 2.8. Yaş ve kuru sisteme ait beton prosesi

Hazır beton üretildikten sonra kalite kontrol numunelerinin alınması gereklidir. Üretilen taze betonların kontrolü için TS EN 12390-1 standardında belirtilen özelliklerdeki kalıplar kullanılır. Taze beton kalıplara yerleştirilmeden önce kalıp ayırıcı yağ kullanılır ve TS 206, TS 13515 ve TS 500 standartlarında belirtilen miktarda betondan numune alınır**.**

Kalıplara doldurulan ve kalıp yüzeyi düzeltilen beton numuneleri, 20 ^{o}C 'de ve nem kaybı olmayacak şekilde üzeri örtülerek sertleşinceye kadar asgari 16 saat saklanır. Beton

numuneleri kalıplardan çıkartılacak sertliğe eriştikten sonra çıkarılır. Beton numuneleri 20ºC' de kirece doygun ve sıcaklık kontrollü termostatlı kür havuz içinde saklanır. Basınç dayanım testinden 2-3 saat önce kür havuzundan çıkarılan numuneler basınç deneyine tabii tutulur ve basınç dayanımları belirlenir (Özkul, 2007).

2.5. Beton Sınıfları

Beton sınıfları, taze beton sınıfları ve sertleşmiş beton sınıfları olarak ikiye ayrılır. Taze betonda kıvam sınıfları ve sertleşmiş betonda ise dayanım sınıfları olarak sınıflar belirlenmiştir.

2.5.1. Kıvam Sınıfları

Betonda kıvam, betonun çökme ve yayılma değerlerine bakılarak belirlenir. S1, S2, S3, S4 ve S5 kıvam sınıfı olarak kategorize edilir. Hazır beton sektöründe en yaygın kullanılan kıvam ölçme yöntemi olan çökme deneyi sonuçlarına göre yapılan sınıflandırma Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8. Betonda kıvam sınıfları

Kıvam	Çökme (cm)	Yayılma (cm)
S1 Sınıfı	1-4 cm	34 cm altı
S2 Sınıfı	5-9 cm	35-41
S3 Sınıfı	10-15 cm	42-48
S4 Sınıfı	16-21 cm	49-55
S5 Sınıfı	22 cm ve üstü	56-62

2.5.2. Basınç Dayanım Sınıfları

Betonun basınç mukavemeti, 15 cm çapında, 30 cm uzunluğunda silindirik numunenin %100 nemli ortamda 20 °C'de 28 gün kürlendikten sonra eksenel basınç altındaki mukavemeti olarak ifade edilir. Beton dayanım sınıfları, İngilizcede ‘’concrete’’kelimesinin yani beton anlamındaki kelimenin baş harfi olan "C" ile gösterilir. Beton numuneleri hem küp hem de silindir kalıplara alınabilmektedir. Silindir şeklindeki kaplara alınan beton ile küp numunelere alınan betonun dayanımları eşit değildir bu yüzden silindir ve küp numunelerin 28 gün sonunda istenen basınç dayanımları birbirinden farklıdır.

Silindir ve küp numunelerdeki dayanım farkının temel nedenleri:

- Gerilme yoğunluğu, silindir numunelerde daha uniform iken küp numunelerde bu yoğunluğun köşe kısımlarında fazla olması,
- Numune ve beton pres cihazı arasındaki sürtünme kuvvetinin, küp numunelerde daha fazla olması olarak belirtilmiştir (Engin, 2015).

TS500-2000 ile TS EN 206'da belirtilen betona ait dayanım sınıfları ve karakteristik basınç dayanımları Tablo 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.9. Beton sınıfları (TS500-2000 ve TS EN 206-1/2002)

No	Beton Sınıfı (TS EN 206-1)	Beton Sınıfı (TS500)	Silindir Basınç Dayanımı	Küp Basınç Dayanımı
1	C16/20	C16	16 Mpa	20 Mpa
2	C18/22	C18	18 Mpa	22 Mpa
3	C20/25	C20	20 Mpa	25 Mpa
4	C25/30	C25	25 Mpa	30 Mpa
5	C30/37	C30	30 Mpa	37 Mpa
6	C35/45	C35	35 Mpa	45 Mpa
7	C40/50	C40	40 Mpa	50 Mpa
8	C45/55	C45	45 Mpa	55 Mpa
9	C50/60	C50	50 Mpa	60 Mpa

2.6. Tez Çalışmasında Kullanılan Beton Deneyleri

2.6.1. Çökme Sınıfı Tayini

Taze betonda çökme (slump) tayini slump hunisi ile yapılır, metre ile ölçülen çökme ve yayılma değerine göre betonun kıvam sınıfı belirlenir. Taze beton, koni yapıdaki kalıba üç aşamada doldurulur. Her üç aşamada da 25 kez demir şiş ile taze beton sıkıştırılır ve koninin yüzeyi ve altındaki tabla silindikten sonra koni dik bir şekilde kaldırılır ve koni kalıp betonun yanına koyulur. Koninin tepe kısmı ile beton arasındaki mesafe ölçülerek çökme miktarı belirlenir. Betonda çökme değerinin ölçümünün belirlenmesi sırasında yapılan görsel Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Betonda çökme (slump) değerinin ölçümü

2.6.1.1. Betonda Sıkıştırılabilme Sınıfı Tayini

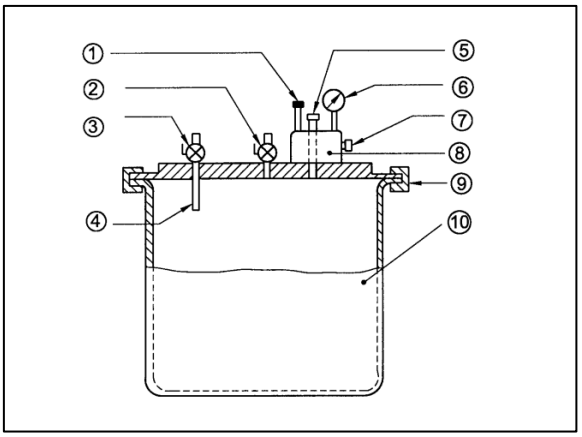
Betonun sıkıştırılabilirlik sınıfı, prizmatik bir kaba gevşek bir şekilde yerleştirilmiş hazır betonun vibratör ile hacmi daha fazla azalmayana kadar sıkıştırılmasıyla belirlenir (TSE,2019).

2.6.1.2. Taze Betonda Hava İçeriğinin Tayini

Taze betonda bulunan hava miktarı, agregadaki boşluklar hariç hava hacminin beton hacmine oranı olarak ifade edilir. TS EN 12350-7 standardının iki farklı cihaz kullanımına yönelik iki farklı test kuralı vardır ve bu yöntemler testte kullanılan yönteme göre ikiye ayrılır:

- Su sütunu yöntemi
- Basınç ölçüm yöntemi

Bir basınç sütunu kullanılarak gerçekleştirilen hava ölçümlerine dayalı cihaz modellemesi Şekil 10'da gösterilmektedir.



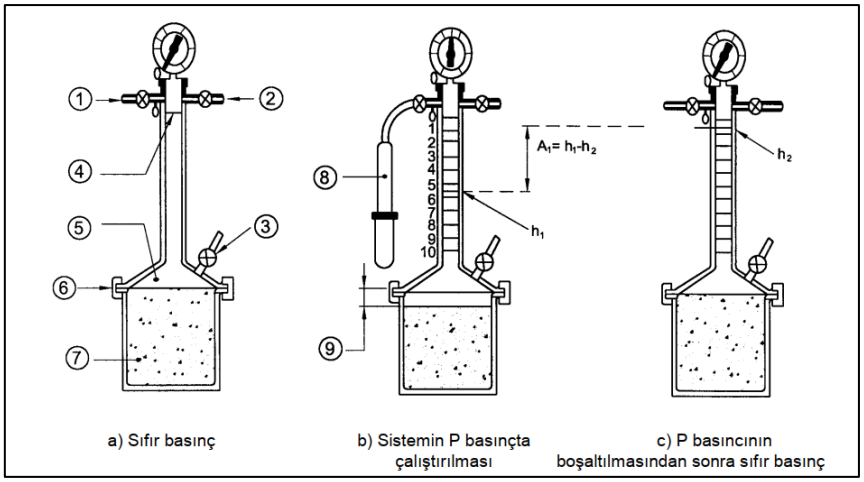
Şekil 2.10. Basınç ölçme metoduna ait cihaz

Basınç ölçme metodunda kullanılan parçalar ve açıklamaları Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.10. Deney düzeneğindeki tablo açıklamaları

Numara	Açıklamalar
1	Pompa düzeneği
2	Vana-1
3	Vana -2
4	Kalibrasyon borusu düzeneği
5	Ana hava vanası
6	Basınç ölçer
7	Hava tahliye vanası
8	Hava hücresi
9	Kelepçeleme parçası
10	Kap

Su sütunu kullanılarak yapılacak hava ölçümünün kullanıldığı cihaza ait modelleme Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11. Su sütunu metodunda kullanılan cihaz

Basınç ölçme metodunda kullanılan parçalar ve açıklamaları Tablo 2.11'de verilmiştir.

Tablo 2.11. Deney düzeneğindeki tablo açıklamaları

Numara/Harf	Açıklamalar
1	Selenoid vana düzeneği
2	Hava deliği / vanası düzeneği
3	Su boşaltma vanası
4	İşaret düzeneği
5	Su
6	Kelepçe
7	Beton
8	Hava pompası
9	Seviye
h1	Okuma değeri
h 2	Okuma değeri

Beton, hacminin %0,5 ila %8 oranında hava muhteva eder ve beton içerisindeki boşluk arttıkça dayanım, dayanıklılık düşer (Uysal,2023).

2.6.1.3. Taze Betonun Birim Ağırlığının Hesaplanması

Taze beton, kütlesiyle hacmi bilinen bir kalıba kaba sıkıştırılarak yerleştirilir, tartılır. Yoğunluk, ağırlık sonucunun kabın hacmine bölünmesiyle hesaplanır. Beton numuneleri 15x15x15 cm' lik küp kalıplara alınır

Taze betonda birim ağırlık aşağıdaki formül ile hesaplanır (Doğan,2020).

$$\rho = \frac{(m1 - m2)}{V} = \frac{(m1 - m2)}{(0{,}15)^3} = \frac{(m1 - m2)}{0{,}003375\ m^3} \qquad (2{,}2)$$

ρ: yoğunluk kg/m3

m1: dara kg

m2 :brüt kg

V: kap hacmi m^3

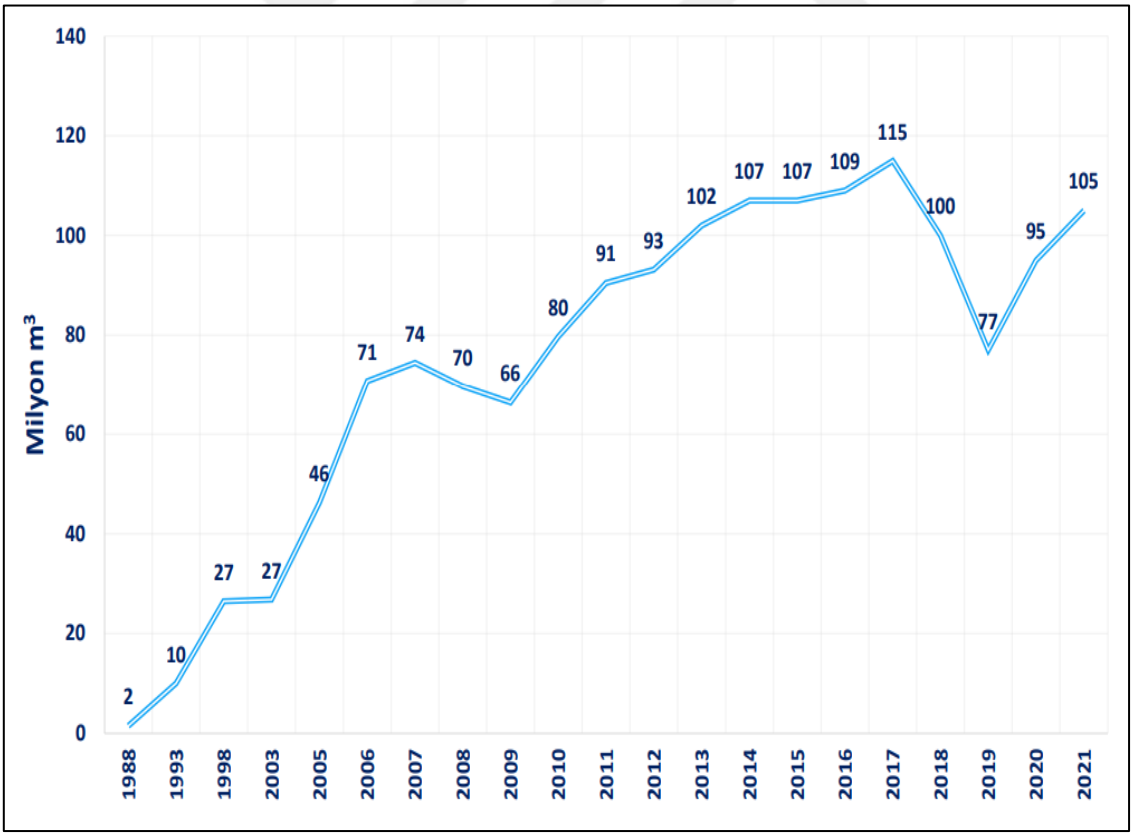
0,003375m^3: Küp hacmi

2.6.1.4. Betonun Basınç Dayanımının Ölçülmesi

Kür havuzundan çıkarılan beton numunelerinin mukavemet testi öncesinde yüzeyindeki suyu kurulanır ve basınç dayanım cihazında kullanılacak test başlıkları kontrol edilir. Küp şeklinde alınan numune, yük uygulama yönü beton döküm yönüne dik olacak şekilde yerleştirilir. 0,2 MPa/s ile 1,0 MPa /s aralığında sabit yükleme hızı ile numuneye aktarılır. Betonda mukavemet tayini TS EN 12390-3 standardında belirtilmektedir ve deney yönteminde silindir veya küp kalıplar kullanılarak numunelerin dayanım sınıfı belirlenmektedir.

2.7. Türkiye'de Hazır Beton Üretim Miktarı

Türkiye Hazır Beton Birliği 2020 raporuna göre, Türkiye'de 2020 yılında 95 milyon metreküp beton üretilmiştir. Türkiye Hazır Beton Birliği'nin yayınladığı üretim istatistikleri Şekil 2.12'de verilmiştir (THBB, 2021).



Şekil 2.12. Yıllara göre Türkiye hazır beton üretim istatistikleri

2.8. Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)

Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), petrol bazlı bir malzemedir ve diğer polietilenlere göre daha iyi kimyasal dirence sahiptir. Yüksek yoğunluklu polietilen darbelere karşı dayanıklıdır. Bu tür termoplastiklerin ayırt edici bir özelliği, üretim kolaylığıdır (Saydaş Plastik, 2021).

Yüksek yoğunluklu polietilen gibi plastikler hidrofobik özellikler gösterir ve organik dolgu maddelerinin de hidrofilik yapılarından dolayı polimer kompozitlerin üretilmesi esnasında malzemeler arasında zayıf şekilde bağlanma oluşur (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

2.8.1. Beton İçerisinde Plastik Atık Kullanımı

Betonun teknik özeliklerini iyileştirmek için taze beton dizaynında farklı metotlarla farklı miktarlarda eklenilen belirli boya, narinlik kriterlerine ve bazı spesifik özelliklere sahip olan polimer, mineral veya doğal yapıdaki malzemeler lif olarak adlandırılır ve lifler; cam, çelik, plastik (polietilen, polipropilen vb.) gibi farklı malzemelerden farklı tiplerde üretilmektedirler (Ünal ve Gençel, 2007).

Plastik malzemelerin doğada bozunma süreleri çok uzundur ve bu malzemelerin ayrı ayrı sınıflandırılıp biriktirilmesi, geri kazanılmaları sağlanmalıdır. Plastiklerin birçoğu geri kazanılır durumdadır fakat işleme proseslerindeki zorluklardan dolayı genelde 3 tip plastiğin geri kazanılması sağlanmaktadır (Tan ve diğ., 2007). Bu plastikler; YYPE, Polivinil klorür, Polietilen teraftalat'tır (Özel ve diğ., 2011).

Beton içerisinde; Polietilen tereftalat, yüksek yoğunluklu Polietilen, Polipropilen kullanımına literatürde sıklıkla rastlanır. Yapılan çalışmalarda bu malzemelerin hem lif olarak hem de agregalar ile ikame edilerek kullanıldığı görülmektedir.

Plastik atıkların az bir kısmı doğrudan betonda kullanılırken; büyük çoğunluğu fiziksel veya kimyasal teknikler kullanılarak geri dönüşüm yöntemi ile tekrar kullanılabilir hale getirilmiştir Literatürde şimdiye kadar plastik atıkların agrega olarak değerlendirildiği ve

agrega yerine ikame edildiği görülmüştür. Plastik atıklar ile yapılan çalışmalara ait özet bilgi Tablo 2.12'de gösterilmiştir (Peker ve Ataş, 2022).

Tablo 2.12. Literatür taramasında bulunan plastik atıkların kullanımı

No	Parametre	Plastik/İkame Malzeme	Bulgular
1	İşlenebilirlik yönü	YYPE ve iri agrega (GDA)	Ramesan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada plastik miktarının artmasıyla işlenebilirliğin arttığı belirtilmiştir.
2	İşlenebilirlik yönü	PET ve ince Agrega)	Rahmani ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada artan plastik miktarıyla işlenebilirliğin azaldığı bildirilmiştir.
3	Eğilme/Çekme	PET ve ince agrega (GDA)	Safi ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada plastik miktarının artışı ile eğilme dayanımının azaldığı aktarılmıştır.
4	Birim hacim ağırlığı	PET ve ince agrega (GDA)	Choi ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada atık plastik miktarı arttıkça birim ağırlığın düştüğü belirtilmiştir.
5	Yüzde Hava İçeriği	YYPE ve ince agrega (GDA)	Chen ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada atık plastik miktarının artışıyla hava içeriğinin arttığı görülmüştür.
6	Basınç Dayanımı	PVC ve ince agrega	Kou ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada plastik miktarının artışı ile dayanımın düştüğü belirtilmiştir.
7	Eğilme/Çekme	PET ve ince agrega (GDA)	Safi ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada plastik miktarının artışı ile eğilme dayanımının azaldığı aktarılmıştır.
8	Birim hacim ağırlığı	PET ve ince Agrega (GDA)	Safi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada birim hacimdeki ağırlığının maksimum %50 oranında agrega yerine plastik atık kullanılması durumunda sürekli azaldığı gözlemlemiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzemeler

Tez çalışmalarında kullanılan materyallerin özellikleri Tablo 3.1'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1. Deneylerde kullanılan ekipman ve cihazlar

Malzeme	Marka -Model
Terazi-1	Ohaus
Terazi-2 (Hassas Terazi)	Ohaus
Nem tayin cihazı	Precica
FT-IR	Thermo Scientific
DSC	TA 25
Partikül Boyut Analizi Cihazı	Mastersizer 3000
Otomatik slump (çökme) seti	Liyatest
Beton numune kalıpları	Testform
Çimento harç numune kalıpları	Toni Technic
Hava ölçer	Liyatest
Kür havuzu	-
Basınç dayanım cihazı-1	Matest
Basınç dayanım cihazı-2	Testform
Elek seti	Utest
Taze beton deney düzeneği	Utest
Termometre	Loyka
Metilen mavisi deney seti	Phoenix

Tez çalışması sırasında kullanılan kimyasal malzemeler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 13. Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal malzemeler

Malzeme	Tedarik Edilen Firma/Özellik
n-Hekzan	Merck
Ksilen	Merck
Metilen Mavisi	Merck
Süperakışkanlaştırıcı	Akkim /Akhidralin Hp 1111-1
Çimento	Cem I 42,5 R Portland Çimentosu
Agrega	Ege Bölgesi/İzmir
Geri dönüştürülmüş YYPE	Tanrıkulu Plastik
Cen Standart Kumu	Limak Batı Çimento

3.2. Yöntem

Bu çalışmada literatürden farklı olarak geri dönüştürülmüş pelet olarak temin edilen yüksek yoğunluklu polietilen numuneleri toz hale getirilmiş ve hem mikro hem de makro yapıdaki beton üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çalışma 1 olarak yapılan deneylerde; toz formdaki YYPE' nin mikro ölçekli etkileri, prizmatik çimento harç numuneleri üzerinde incelenmiştir.

Çalışma 2 olarak yapılan deneylerde; toz formdaki YYPE' nin makro ölçekli etkileri, kimyasal katkısız ve kimyasal katkılı olarak hazırlanan beton numuneleri üzerinde incelenmiştir.

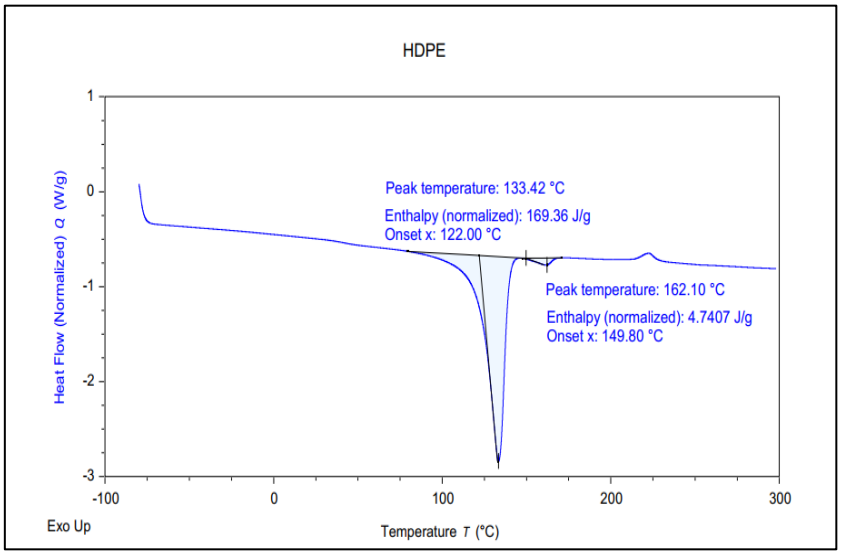
3.2.1. Geri Dönüştürülmüş YYPE' nin Toz Haline Getirilmesi

Geri dönüştürülmüş pelet şeklinde tedarik edilen yüksek yoğunluklu polietilen, bu formda iken öğütme işlemi ile toz haline getirilememiştir. Pelet şeklinde tedarik edilen YYPE numunelerine ait görsel Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Pelet şeklindeki YYPE numuneleri

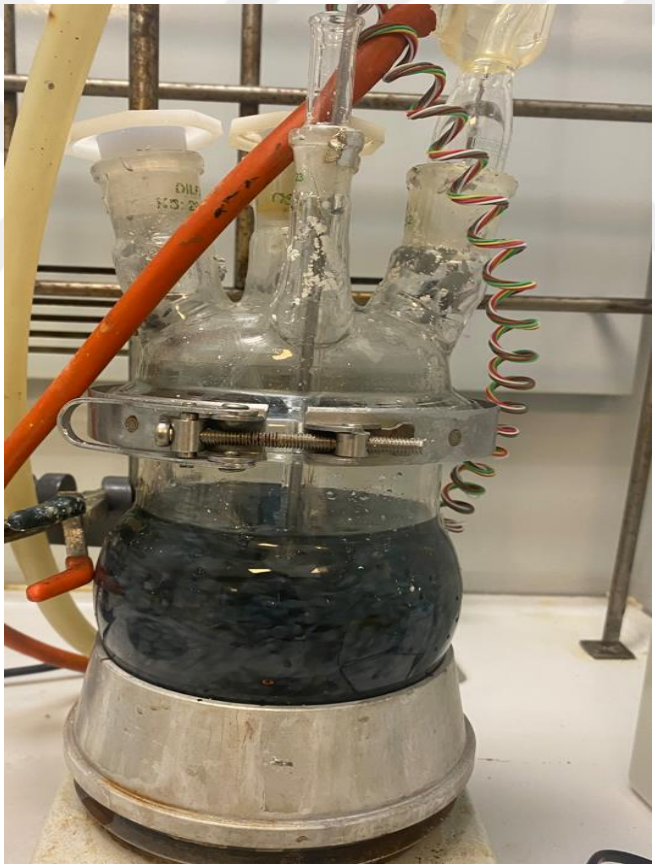
YYPE numunelerinin ısı kapasitelerinin sıcaklıkla değişimi TA DSC 25 cihazı incelenmiş ve literatürden bulunan yüksek yoğunluklu polietilene ait DSC analizleri ile karşılaştırılmıştır. YYPE numunelerine ait DSC grafiği Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. YYPE numunesine ait DSC kromotografisi

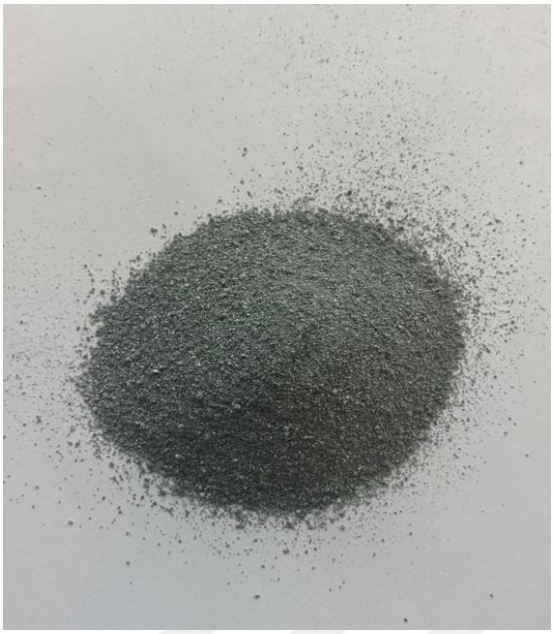
Literatürden elde edilen bilgiler ile YYPE' yi toz haline getirmek için ''Çözünme/ Yeniden Çökeltme'' tekniği seçilmiştir. Çözücü olarak ksilen, çözücü olmayan solvent olarak n- hekzan kullanılmıştır. Çözücü / çözücü olmayan solvent oranı hacim oranı: 1/3, deneysel olarak polimer (1 g) ve çözücü (20 ml) olarak kullanılmıştır. Malzemeler, dikey yoğunlaştırıcı ve manyetik karıştırıcı ile donatılmış cam balona eklenerek sistem 30 dakika boyunca 110 °C 'ye sıcaklığa ısıtılmış daha sonra, polimer çözeltisi, çözücü olmayan solvent içerisine (n-hekzan) uygun şekilde dökülmüştür. Polimer çökeltilerek, süzülmüş ve fırında kurutulmuştur. Homojen partiküller elde etmek için kurutulan polimer öğütücüden geçirilmiştir (Achilias ve diğ., 2007).

Çöktürme yöntemine ait deney düzeneği görüntüsü Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Çöktürme tekniğine ait deney düzeneği

Çöktürme tekniği ile elde edilen toz forma getirilen YYPE numunesine ait görüntü Şekil 3.4'de verilmiştir.



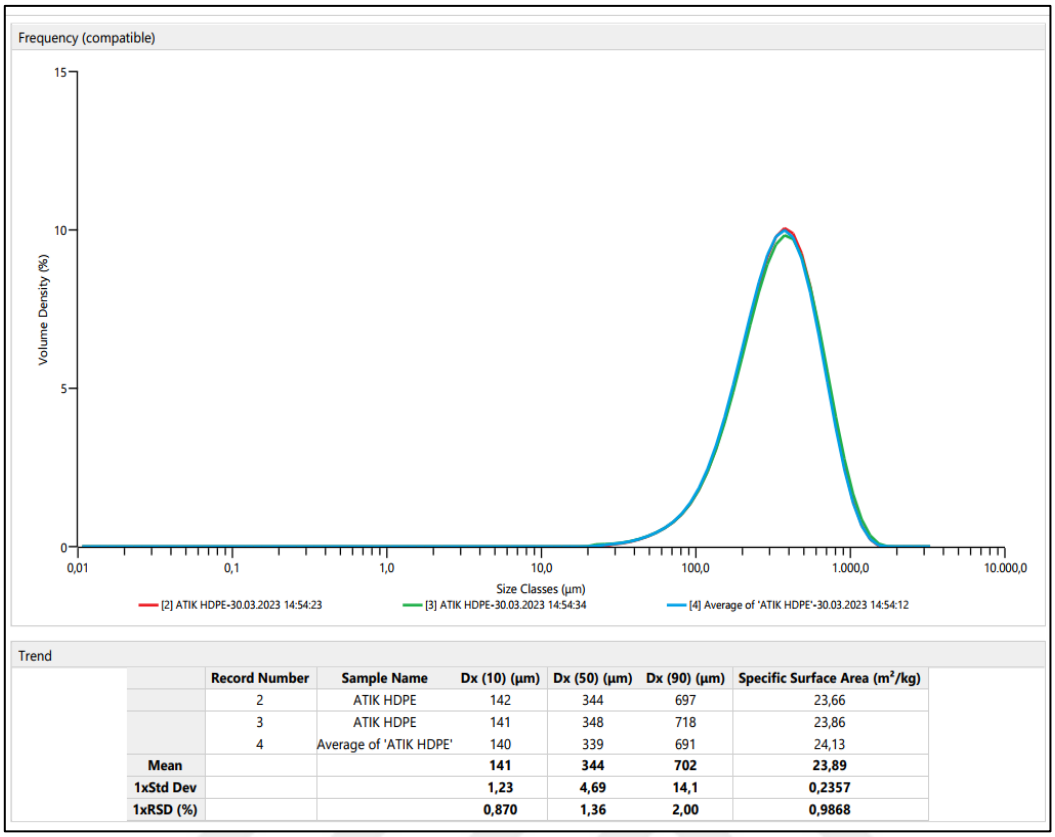
Şekil 3.4. Toz hale getirilen YYPE numunesinin görüntüsü

İkame olarak kullanılmak istenen kumun 0-5 mm boyutları arasında olmasından dolayı YYPE, 0- 5 mm aralığında öğütülmüş ve partikül boyut analizi yapılmıştır. Partikül boyut analizinde öğütülen numunelerin de ortalama değerlerinin bu aralıkta olduğu görülmüştür. Toz hale getirilen YYPE numunelerinin Mastersizer 3000 cihazı ile partikül boyut analizi yapılmıştır. Cihaza ait görüntü Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Partikül boyut analizi cihazı

Toz hale getirilen numunelere ait partikül boyut analizi Şekil 3.6'da verilmiştir.

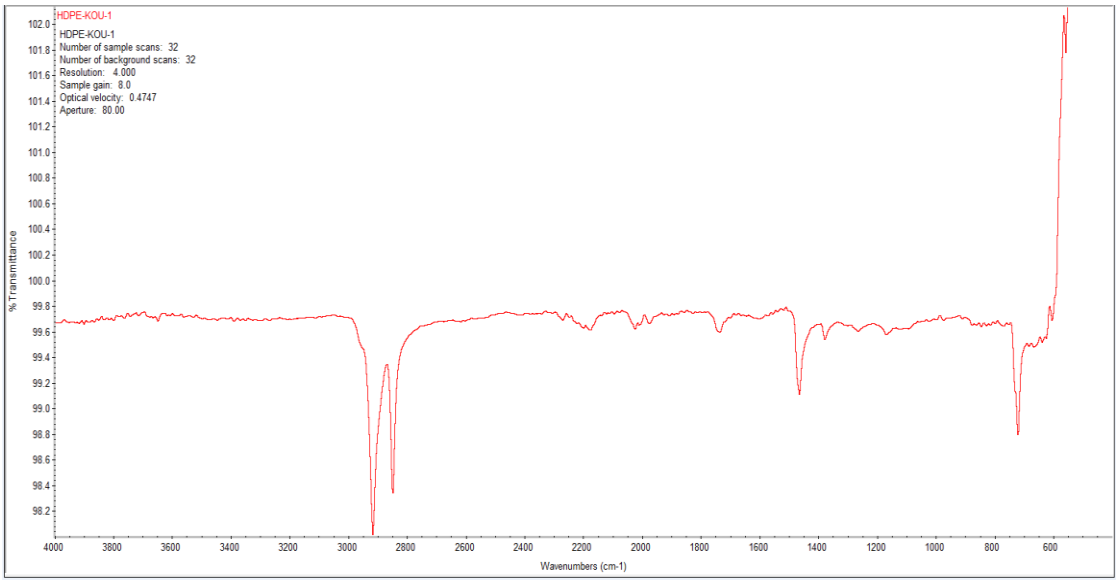


Trend

	Record Number	Sample Name	Dx (10) (µm)	Dx (50) (µm)	Dx (90) (µm)	Specific Surface Area (m²/kg)
	2	ATIK HDPE	142	344	697	23,66
	3	ATIK HDPE	141	348	718	23,86
	4	Average of 'ATIK HDPE'	140	339	691	24,13
Mean			**141**	**344**	**702**	**23,89**
1xStd Dev			**1,23**	**4,69**	**14,1**	**0,2357**
1xRSD (%)			**0,870**	**1,36**	**2,00**	**0,9868**

Şekil 3.6. Toz YYPE numunelerinin partikül boyutu kromatogramı

Toz hale getirilen YYPE'nin FT-IR karakterizasyonu yapılmıştır ve Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. YYPE numunesine ait FT-IR analizi

3.2.2. Deneyde Kullanılan Çimentoya ait Analizler

Deneyde kullanılan çimentoya ait kimyasal analiz Akcoat Tic. ve San. A.Ş.'de yapılmıştır ve literatürde de belirtilen Portland CEM I 42,5 R çimentosuna benzer özellikler elde edilmiştir. Analize ait sonuçlar Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Deneyde kullanılan çimentonun kimyasal analizi

İçerik	(%)
CaO	66,42
SiO_2	18,42
AL_2O_3	4,16
Fe_2O_3	4,141
SO_3	3,857
MgO	1,58
K_2O	0,545
TiO_2	0,258
Cr_2O_3	0,152
Na_2O	0,136
P_2O_5	0,134
SrO	0,1150
MnO	0,0883

Beton dizaynında kullanılan malzemelere ait özgül ağırlıkları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Deneyde kullanılan malzemelere ait özgül ağırlıklar

Malzeme	Özgül Ağırlık (g/cm^3)
Agrega (Doğal Kum)	2,68
Agrega (Kırma Kum)	2,61
Agrega (1 Nolu Mıcır)	2,69
Agrega (2 Nolu Mıcır)	2,70
CEN Standard Kumu	2,56
CEM I 42,5 R Çimento	3,15
YYPE	0,96

3.2.3. Çalışma 1: YYPE' nin Çimento Harç Numunelerindeki Etkileri

Toz haline getirilen yüksek yoğunluklu polietilen, çimento harcında kullanılan standart kum ile ağırlıkça ikame edilerek çimento harç numuneleri hazırlanmıştır. TS EN 196 standardında belirtilen 4×4×16 cm boyutunda Tablo 3.5'de gösterilen malzeme miktar ve dizaynlarına göre çimento harç prizmaları numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler sırasıyla; C1, C2, C3, C4, C5 ve C6 olarak kodlanmıştır. Yapılan harçların 7 ve 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımlarına bakılmıştır.

Deney numuneleri TS EN 196-1 standardında, laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Hazırlanan numune harçları çelik kalıplara dökülmüş, sarsma ve düzeltme işlemleri uygulanmıştır. Sarsma ve düzeltme işlemi sonrasında deney numuneleri, %95 bağıl nem içeren nem kabininde 1 gün bekletilerek 24 saat sonunda çıkarılıp kür havuzunda 7 ve 28. güne kadar bekletilmiştir.

Çimento harç numunelerine uygulanacak basınç dayanımı deneyinde, TS EN 196-1 standardına belirtildiği gibi eğilme deneyi sonucu elde edilen prizmalar iki parçaya bölünerek kullanılmıştır. Deney Prizmalar, basınç dayanım testine yan yüzeylerinden basınç yüklenerek deneye tâbi tutulmuşlardır. Yük, 2400 N/s olarak prizma numuneleri kırılana kadar uygulanmış ve numunelerin basınç mukavemet değerleri bulunmuştur. Eğilme dayanımı deneyi için numunelere yük 50±10 N/s olacak şekilde uygulanmış ve yükleme prizma numuneleri kırılıncaya kadar devam etmiştir.

Tablo 3.5. Çimento harç numunelerinin karışım dizaynı

No	YYPE (g)	Standart Kum (g)	Çimento (g)	Su (g)	S/Ç	Birim Ağırlık (g)
C1	0,0	1350	450	225	0,50	593,7
C2	5,0	1345	450	225	0,50	585,0
C3	10,0	1340	450	225	0,50	573,8
C4	15,0	1335	450	225	0,50	567,6
C5	20,0	1330	450	225	0,50	565,4
C6	25,0	1325	450	225	0,50	561,9

Çalışmada kullanılan CEN standart kumuna ait elek analizi Tablo 3.6‘da verilmiştir.

Tablo 3.6. Standart kum elek analizi

Göz açıklığı (mm)	Kümülatif (elekte kalan) (%)
2,00	0
1,00	32
0,50	54
0,25	79
0,125	87
0,08	99

Çimento harçları karışımları EN 196-1 standardına uygun olarak Şekil 3.8’de gösterilen Ele Marka karıştırıcı ile hazırlanmıştır.



Şekil 13. Çimento harcının hazırlandığı karıştırma cihazı

Çimento harcı hazırlandıktan sonra 40 mm 40mm 160 mm boyutlarındaki çimento kalıplarına yerleştirilmiştir. Hazırlanan çimento harçları Şekil 3.9'da verilmiştir.



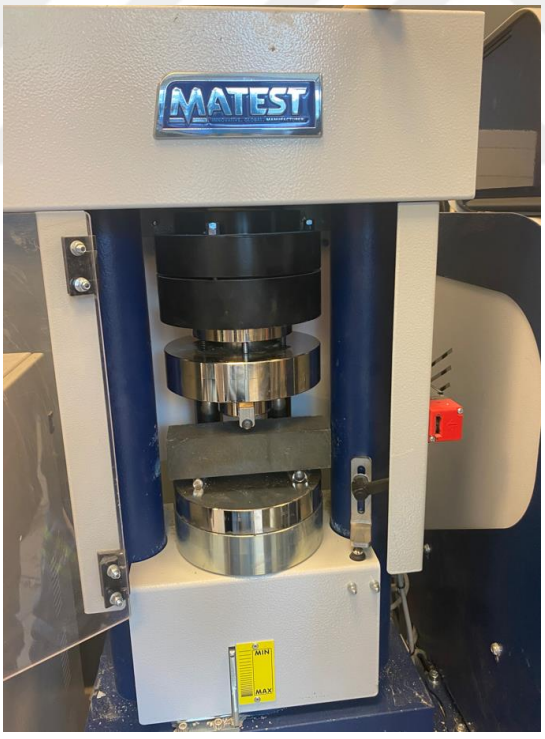
Şekil 3.9. Çimento harç kalıpları

24 saat sonunda kalıptan çıkartılan çimento harç numuneleri kür havuzuna alınmış ve 20°C'de bekletilmiştir. Numunelerin bekletildiği kür havuzu Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Çimento harç numunelerine ait kür havuzu

Çimento harç numunelerinin 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Numunelerin farklı başlıklarla hem basınç hem de eğilme dayanımlarının ölçüldüğü cihaz Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



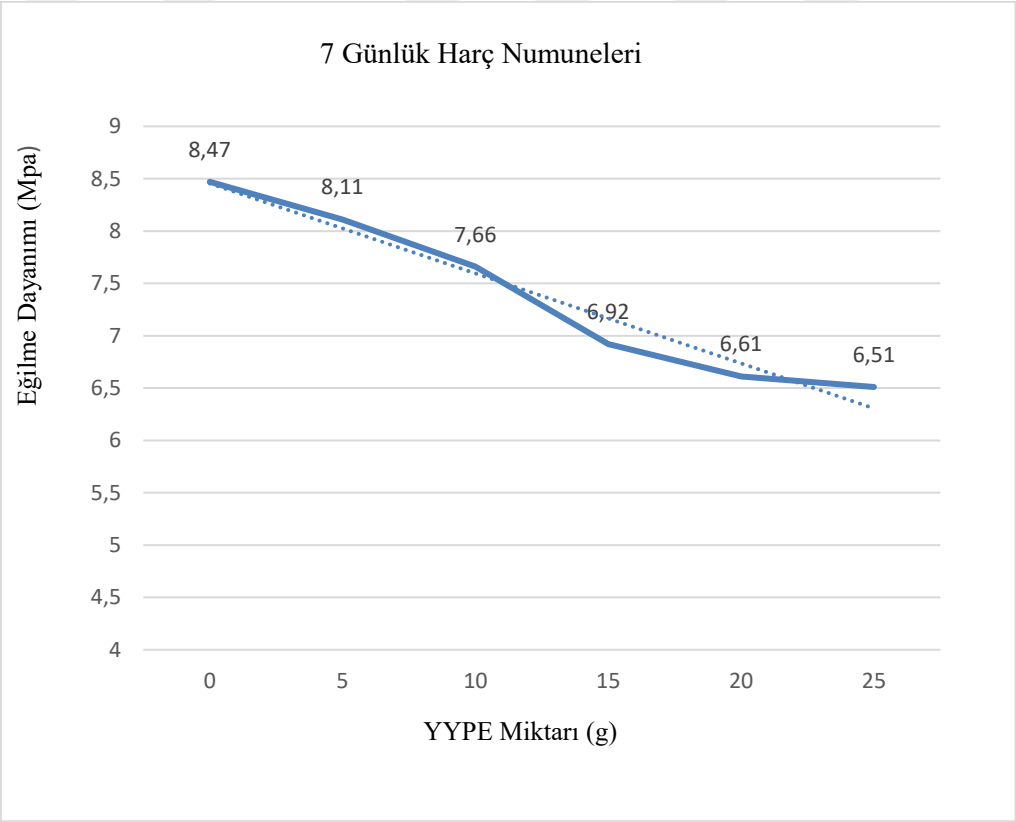
Şekil 3.11. Çimento harç numunelerinin basınç dayanımı ve eğilme dayanımı test cihazı

Çimento harç numunelerinin 7 günlük basınç ve eğilme dayanımlarının sonuçları Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. 7 günlük basınç ve eğilme dayanım sonuçları

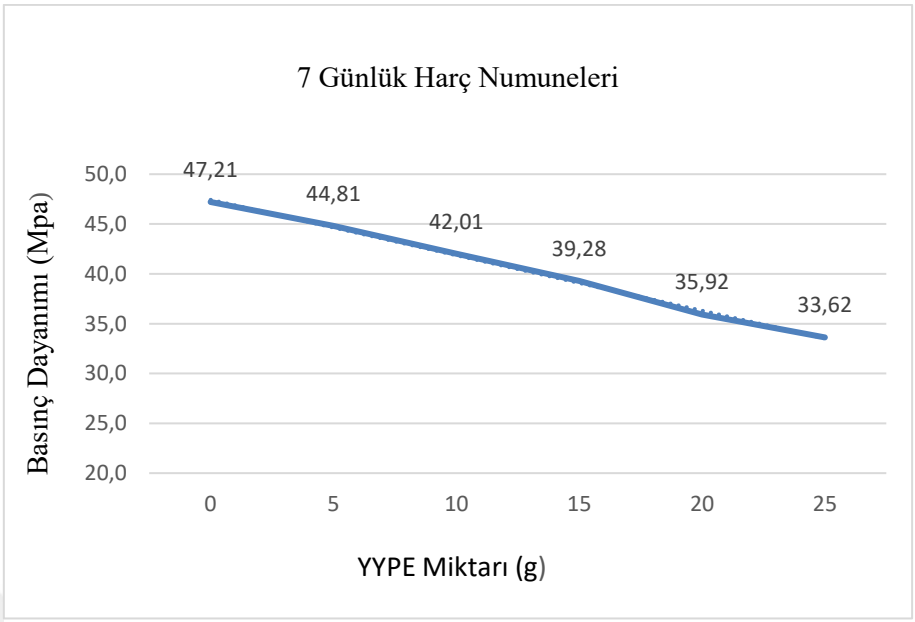
No	Basınç Dayanımı (Mpa)	Eğilme Dayanımı (Mpa)
C1	47,21	8,47
C2	44,81	8,11
C3	42,01	7,66
C4	39,28	6,92
C5	35,92	6,61
C6	33,62	6,51

7 günlük harç numunelerine ait YYPE miktarının artmasıyla değişen eğilmede çekme dayanımı grafiği Şekil 3.12'de verilmiştir.



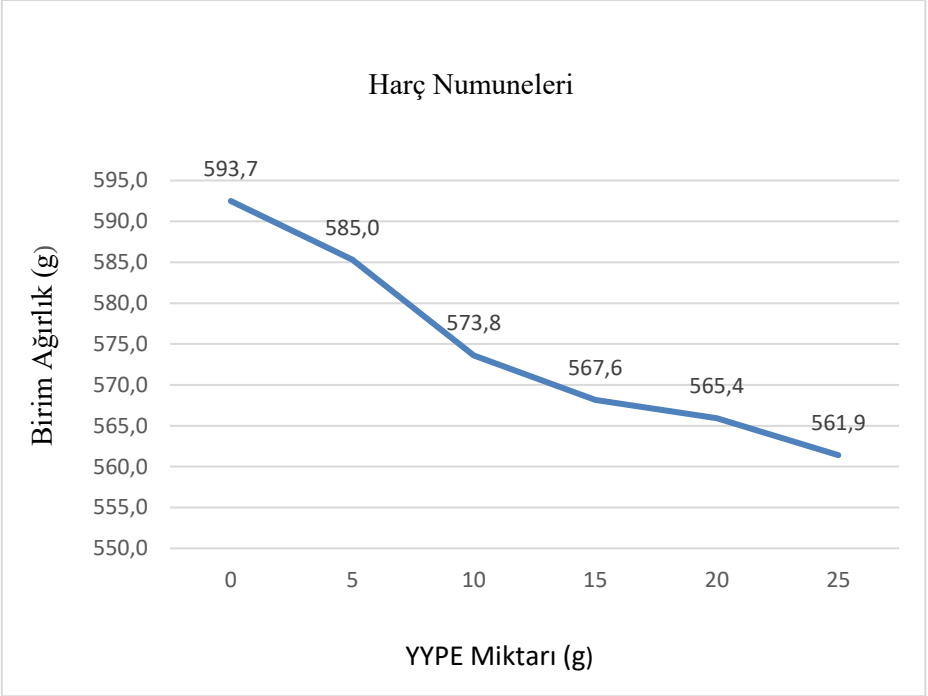
Şekil 3.12. 7 günlük numunelerin eğilmede çekme dayanımının-YYPE miktarıyla değişim grafiği

7 günlük harç numunelerine ait YYPE miktarının artmasıyla değişen basınç dayanımı grafiği şekil 3.13'te verilmiştir



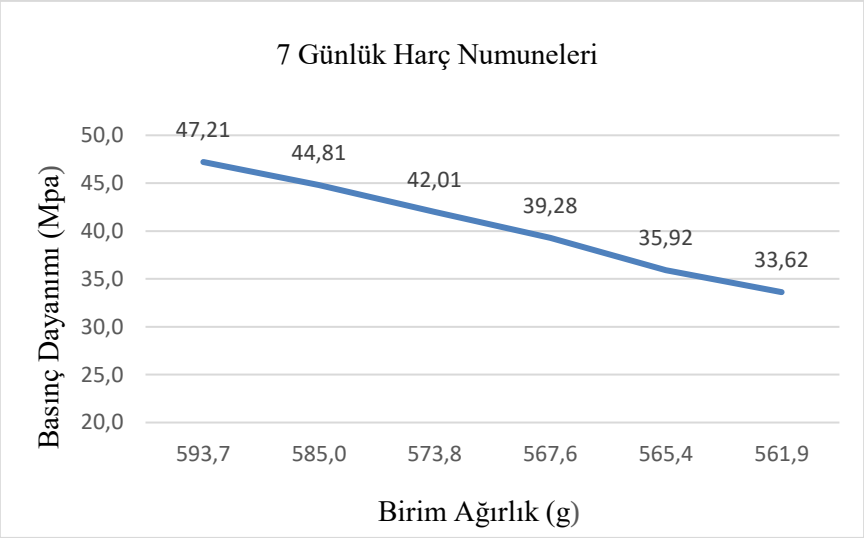
Şekil 3.13. 7 günlük numunelerin basınç dayanımının YYPE miktarıyla değişim grafiği

YYPE miktarının artmasıyla değişen harç numunelerinin birim ağırlıklarına ait grafik Şekil 3.14'de verilmiştir.



Şekil 3.14. Birim ağırlığın YYPE miktarıyla değişim grafiği

YYPE miktarının artışıyla düşen birim ağırlıklarının basınç dayanımına karşı değişim grafiği Şekil 3.15'te verilmiştir.



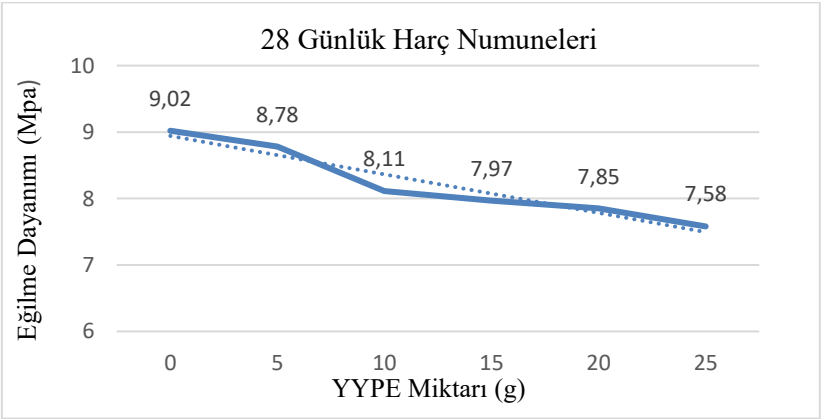
Şekil 3.15. Basınç dayanımı -birim ağırlık değişim grafiği

Çimento harç numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının ve eğilmede çekme dayanımlarının sonuçları Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8. 28 günlük basınç ve eğilme dayanım sonuçları

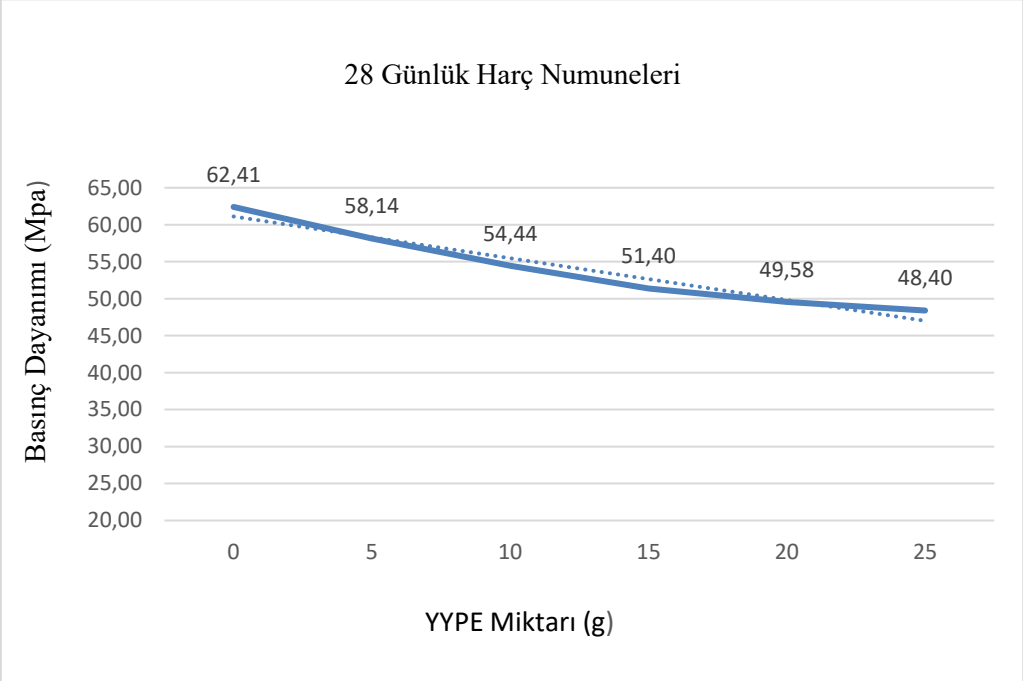
Deney No	Basınç Dayanımı (Mpa)	Eğilme Dayanımı (Mpa)
C1	62,41	9,02
C2	58,14	8,78
C3	54,44	8,11
C4	51,40	7,97
C5	49,58	7,85
C6	48,40	7,58

28 günlük harç numunelerine ait YYPE miktarının artmasıyla değişen eğilmede çekme dayanımı grafiği Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. 28 günlük numunelerin eğilmede çekme dayanımının-YYPE miktarıyla değişim grafiği

28 günlük harç numunelerine ait YYPE miktarının artmasıyla değişen basınç dayanımı grafiği Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17. 28 günlük numunelerin basınç dayanımının YYPE miktarıyla değişim grafiği

3.2.4. Çalışma 2 YYPE'nin Makro Beton Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Şahit beton ve YYPE eklenerek, kimyasal katkısız beton ve kimyasal katkılı betonlar iki set olarak hazırlanmıştır. Kimyasal katkının kullanılmadığı numuneler YYPE ile ağırlıkça %0, %5, %10 %15 oranlarında doğal kum ile ikame edilerek sırasıyla; N1, N2, N3, N4 olarak adlandırılmıştır.

Kimyasal katkı kullanılarak hazırlanan numuneler YYPE ile %0, %5, %10, %15 oranlarında doğal kum ile ikame edilerek %0,7 oranında polikarboksilat bazlı yüksek oranda su azaltan süperakışkanlaştırıcı kullanılarak hazırlanmıştır.

Taze beton üzerinde çökme (slump), birim ağırlık, % hava, yayılma deneyleri yapılmış ve sertleşmiş betonun mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile 7 ve 28 günlük basınç dayanımları incelenmiştir.

Taze ve sertleşmiş betonda Tablo 3.9'da verilen standartlar kullanılmıştır.

Tablo 3.9. Taze beton deney standartları

Taze Beton Deneyleri	
Taze betonda birim hacim deneyi	TS EN 12350-6
Çökme değerinin bulunması deneyi	TS EN 12350-2
Taze betonda hava içeriğinin bulunması deneyi	TS EN 12350-7
Sertleşmiş Betona Ait Deneyler	
Basınç dayanımı deneyi	TS EN 12390-3
Numunelerin hazırlanması- küre tabi tutulması deneyi	TS EN 12390-2

3.3. Agrega Analizleri

Betonda kullanılan agregaların granülometrik değerlerini belirlemek ve beton gradasyonunu oluşturmak için elek analizleri; 31,5 mm 22,4 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2mm, 1mm, 0,50 mm ve 0,250 mm göz açıklıklı elekler kullanılarak yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan elek sarsma cihazı ve elekler Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Elek sarsma tablası

Deneyde kullanılan agregalara ait elek analizi sonuçları Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. Elek analizi sonuçları

	Doğal Kum	**Kırma Kum**	**1 Nolu Agrega**	**2 Nolu Agrega**
(Özgül Ağırlık (g/m^3)	2,68	2,61	2,69	2,70
Elek Açıklığı(mm)	%Geçen	%Geçen	%Geçen	%Geçen
31,5	100	100	100	100
22,4	100	100	100	99
16	100	100	100	47
8	100	100	66	0
4	98	93	7	0
2	96	63	1	0
1	92	43	0	0
0,5	86	34	0	0
0,250	77	21	0	0
% Karışım Dizaynı	5	55	14	26

3.4. Metilen Mavisi Deneyi

Betonda kullanılan kumun mineral yapısını belirlemek için metilen mavisi deneyi yapılmıştır. Deneye ait Metilen Mavisi sonucu Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11. Kumun metilen mavisi deney sonuçları

Malzeme	**Kum**	
Numune kütlesi (g)	M_1	200
İlave olarak koyulan boya çözeltisinin toplam hacmi (ml)	V_1	5
Metilen Mavisi Değeri	$MMD=(V_1/M_1)*10$	0,25

3.5. Kimyasal Katkının Analizleri

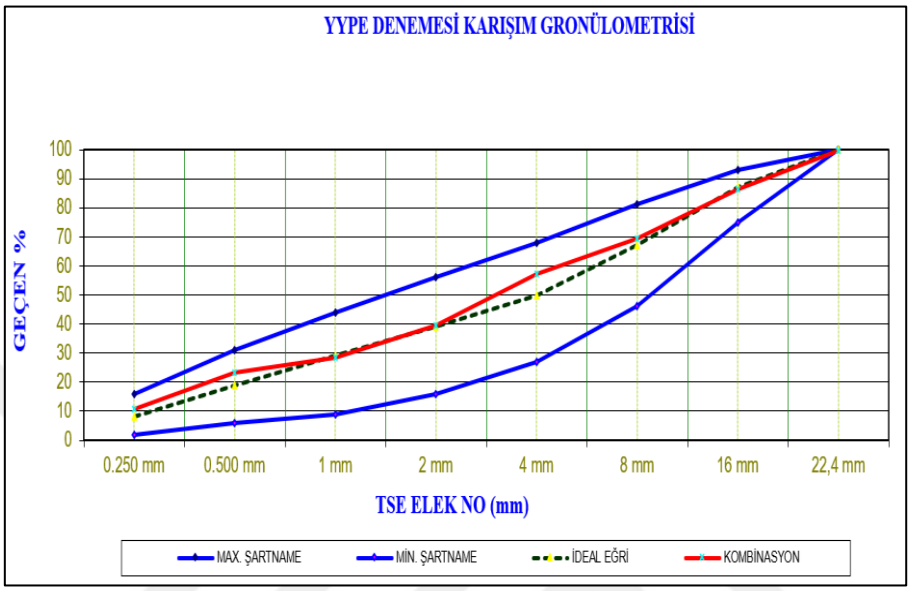
Çalışmada kullanılan polikarboksilat esaslı kimyasal katkının analizleri Tablo 3.12 de verilmiştir.

Tablo 3.12. Kimyasal katkıya ait analizler

Ürün	**Analiz Metodu**	**Değerler**
pH	ISO 4316	4,50
%Katı madde	EN 480-8	18,06
Yoğunluk	ISO 758	1,06
Alkali miktarı (Na_2O) eşdeğeri	EN 480-12	0,480
Klorür içeriği	EN 480-10	0,0681
Renk	Gözle	Açık Kahverengi
Etkin bileşen		Polikarboksilat

3.6. Beton Gradasyonunun Oluşturulması

Agregaya ait elek analizi ve özgül ağırlık değerleri çıkartıldıktan sonra beton dizaynı oluşturulmuştur. Deneyde kullanılan beton dizaynı Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.19. Agrega analizleri sonrası oluşturulan beton gradasyon eğrisi

Karışımın hazırlanması için tane boyut dağılımları belirlenmiş ve Şekil 18'deki kırmızı referans çizgisi belirlenmiştir. Beton dizaynında %5 oranında doğal kum, %55 oranında kırma kum, %14 oranında 1 no.lu agrega ve %26 oranında 2 no.lu agrega kullanılmıştır.

Agrega analizi, çimento analizi, kimyasal katkı analizi sonrasında oluşturulan beton dizaynı Tablo 3.13'te verilmiştir.

Tablo 3.13. Beton numunelerinin karışım dizaynı

Deney No	YYPE (Kg/m^3)	YYPE (%) İkame	Doğal Kum (Kg/m^3)	Kırma Kum (Kg/m^3)	1 Nolu Agrega (Kg/m^3)	2 Nolu Agrega (Kg/m^3)	Çimento (kg/m^3)	Katkı (%)	S/Ç
N1	0	0	87,7	1013,1	268,8	450,5	270	0	0,74
N2	4,4	5	83,3	1013,1	268,8	405,5	270	0	0,74
N3	8,7	10	79,0	1013,1	268,8	405,5	270	0	0,74
N4	13,1	15	74,6	1013,1	268,8	405,5	270	0	0,74
N5	0	0	87,7	1013,1	268,8	405,5	270	0,7	0,59
N6	4,4	5	83,3	1013,1	268,8	405,5	270	0,7	0,59
N7	8,7	10	79,0	1013,1	268,8	405,5	270	0,7	0,59
N8	13,1	15	74,6	1013,1	268,8	405,5	270	0,7	0,59

Çalışma için beton karışım hesabı tasarlanmış ve çimento miktarı 270 kg olarak belirlenmiştir. Kimyasal katkı ilave edilmeden yapılan ön çalışmalarda betonun işlenebilir hale gelmesi için 19 cm başlangıç çökme değeri (slump) olarak seçilmiş ve çalışmada 19 cm çökme değerine kadar beton karışımına su ilave edilmiştir. Şahit betonda bulunan S/Ç oranı ile katkısız yapılan çalışmalarda S/Ç oranı sabit tutularak beton karışımları hazırlanmış ve çökme (slump), basınç dayanımı, hava içeriği ve birim ağırlık değişimleri incelenmiştir.

Taze beton yapımında kullanılan ekipman; otomatik slump seti, vibrasyon masası ve pan tipi beton mikseri Şekil 3.20 de verilmiştir.



Şekil 3.20. Taze beton deney düzeneği

Sertleşen beton numunelerinin kürlendiği kür havuzu ve beton numuneleri Şekil 3.21'de verilmiştir.



Şekil 3.21. Beton numunelerine ait kür havuzu

Beton numunelerinin basınç dayanımlarının ölçüldüğü cihaz Şekil 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.22. Beton numunelerinin basınç dayanımı test cihazı

Taze betonda hava içeriğini tespit etmek amacıyla kullanılan cihaz Şekil 3.23'te verilmiştir.



Şekil 14.23. Taze beton hava ölçüm cihazı

Taze betona ait slump, birim ağırlık ve %'de hava içerikleri Tablo 3.14'de verilmiştir.

Tablo 3.14. Taze beton deney sonuçları

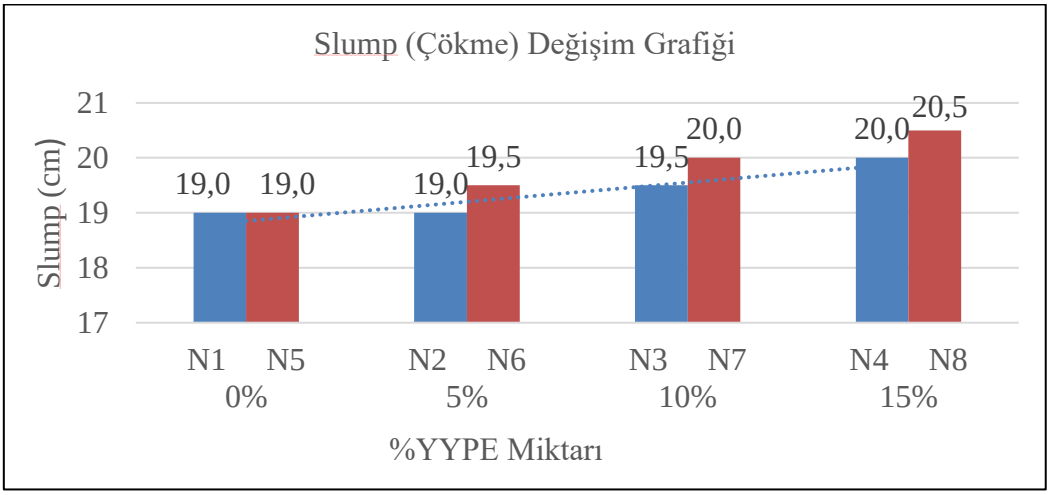
Deney No	Slump (cm) 0'	Birim Ağırlık (g)	Hava İçeriği (%)
N1	19,0	2372	2,4
N2	19,0	2367	2,6
N3	19,5	2343	2,8
N4	20,0	2314	3,0
N5	19,0	2396	3,3
N6	19,5	2380	3,6
N7	20,0	2368	3,7
N8	20,5	2355	3,8

Taze ve sertleşmiş betona ait deney sonuçları Tablo 3.15'te verilmiştir.

Tablo 3.15. Taze ve sertleşmiş beton deneylerinin sonuçları

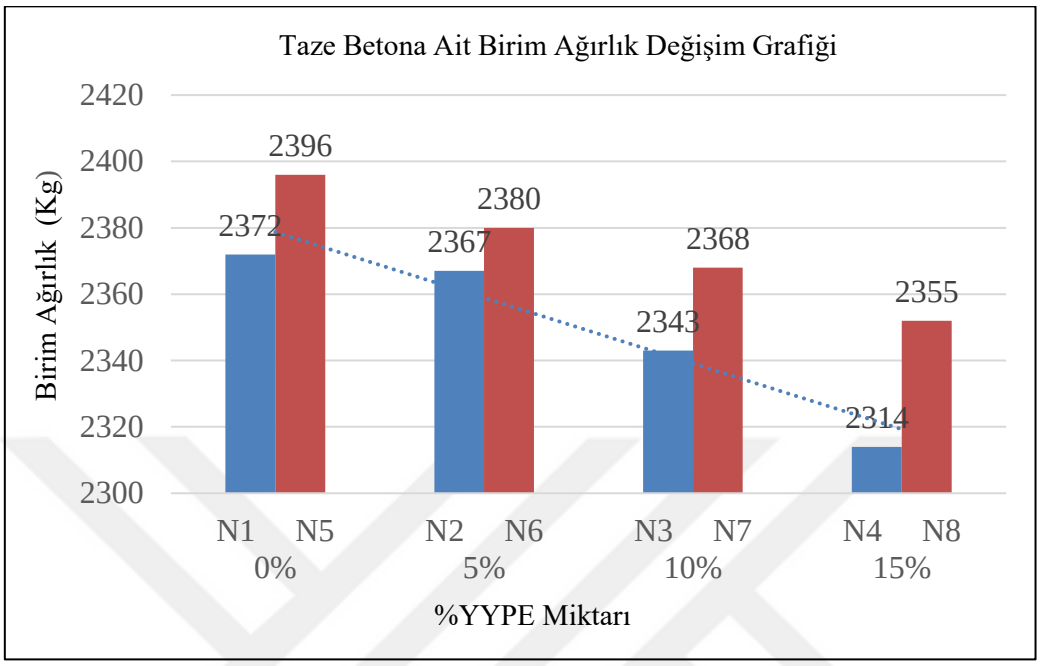
Deney No	Slump (cm) 0'	Birim Ağırlık (g)	Hava İçeriği (%)	Basınç Dayanımı (7 Gün) (Mpa)	Basınç Dayanımı (28 Gün) (Mpa)
N1	19,0	2372	2,4	30,5	37,2
N2	19,0	2367	2,6	28,9	35,3
N3	19,5	2343	2,8	28,7	34,1
N4	20,0	2314	3,0	25,9	32,7
N5	19,0	2396	3,3	45,0	51,6
N6	19,5	2380	3,6	41,8	47,6
N7	20,0	2368	3,7	40,4	45,7
N8	20,5	2355	3,8	39,4	44,4

Taze betonda YYPE miktarının artmasıyla değişen slump değerleri Şekil 3.24'de verilmiştir.



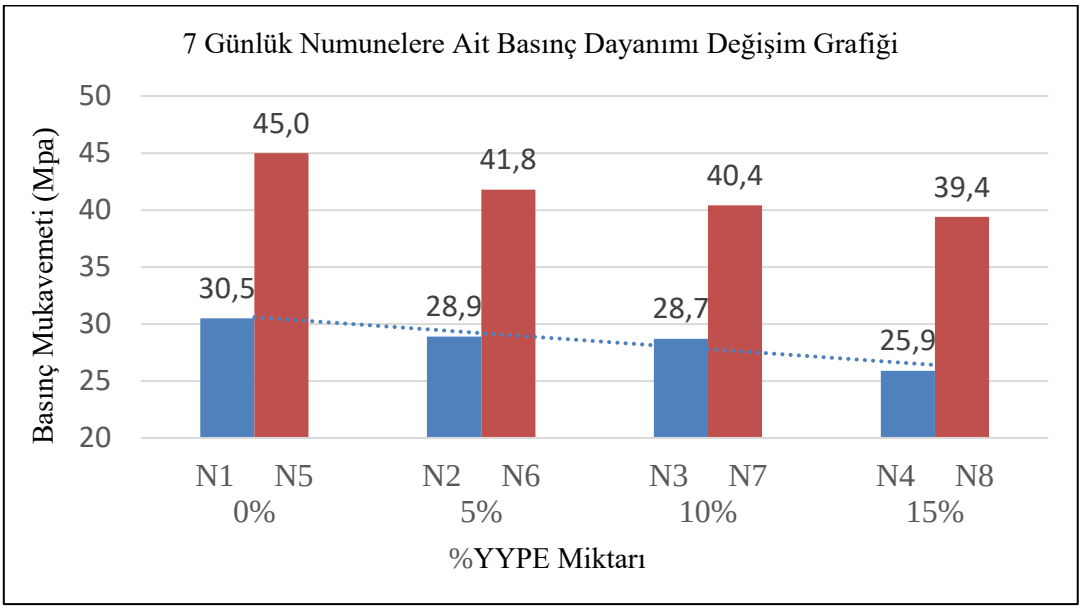
Şekil 15.24. Slump- YYPE değişim grafiği

Taze betonda YYPE miktarının artmasıyla değişen birim ağırlık değerleri Şekil 3.25'de verilmiştir.

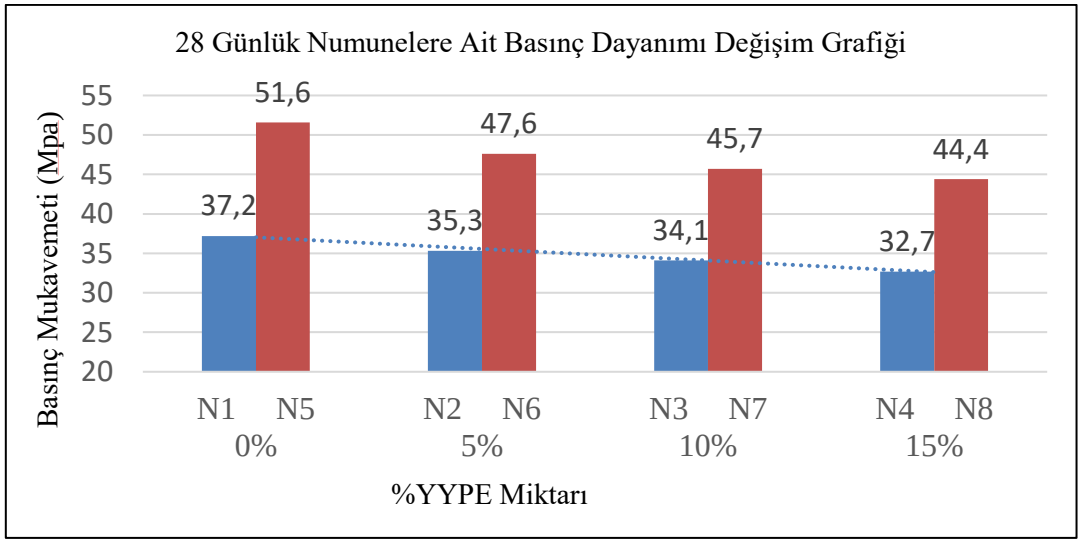


Şekil 3.25. Birim ağırlık- YYPE değişim grafiği

7 ve 28 günlük sertleşmiş betona ait YYPE miktarının artmasıyla değişen basınç dayanım grafikleri Şekil 38 ve Şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 166. 7 günlük basınç mukavemeti -YYPE değişim grafiği



Şekil 177. 28 günlük basınç mukavemeti -YYPE değişim grafiği

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çimento harç numuneleri ile yapılan Çalışma 1 olarak adlandırılan deney sonuçlarında; Şahit numune olan C1'e kıyasla YYPE miktarı arttıkça 7 ve 28 günlük C2, C3, C4, C5 ve C6 numunelerinin hem basınç hem de eğilme dayanımlarında düşüş görülmüştür.

YYPE miktarı arttıkça çimento harç numunelerine ait birim ağırlık azalmış ve bu sonuca bağlı olarak basınç dayanımı düşmüştür. Çimento harç numunelerinin birim ağırlıklarındaki düşüş; ikame edilen standart kumun özgül ağırlığının, YYPE' nin özgül ağırlığından yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Kimyasal katkı kullanılarak dayanım kaybının azaltılması amaçlanan Çalışma 2 'de:

Kimyasal katkı kullanılmadan hazırlanan N2, N3, N4 numunelerinde şahit numune N1'e kıyasla, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında YYPE miktarının artışıyla birlikte birim ağırlıklarının ve dolayısıyla basınç dayanımlarının düştüğü görülmüştür. Basınç dayanımlarındaki düşüş sebeplerinden biri kullanılan doğal kumun özgül ağırlığının YYPE'nin özgül ağırlığından yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

YYPE miktarının artmasıyla birlikte hem kimyasal katkılı hem de katkısız beton numunelerinde hava miktarı artmıştır. Hava miktarındaki artış YYPE numunelerini hidrofobik yapısından kaynaklanmaktadır. Beton içerisinde hava miktarının artması da beton dayanımını düşüren diğer etkenlerden biri olmuştur. Beton içerisinde hava miktarının artmasıyla birlikte eşit slump olarak başlanılan ve eşit su/çimento olarak kıyaslanan beton numunelerinin slump miktarı da artmıştır.

Kimyasal katkı kullanılarak hazırlanan N6, N7 ve N8 numunelerinde şahit numune N5'e kıyasla 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında YYPE miktarının artışıyla birlikte birim ağırlığının düştüğü ve dolayısıyla basınç dayanımlarının YYPE miktarındaki artışla doğru orantılı olarak düştüğü görülmüştür.

Kimyasal katkı kullanılarak hazırlanan beton (N5), şahit katkısız betona (N1) göre beton dizaynında yaklaşık %20 oranında su azaltmıştır. Beton dizaynına giren su miktarının azaltılmasıyla kimyasal katkı kullanılan betonların birim ağırlıkları yükselmiştir.

Eşit dizayna sahip beton numuneleri kimyasal katkılı ve katkısız olarak kıyaslandığında:

7 günlük basınç dayanımları sonuçlarına göre;

- N5 numunesinin basınç dayanımı N1'e kıyasla %47,5,
- N6 numunesinin basınç dayanımı N2'ye kıyasla %44,6,
- N7 numunesinin basınç dayanımı N3'e kıyasla %40,7,
- N8 numunesinin basınç dayanımı N4'e kıyasla %52,12 oranında artmıştır.

28 günlük basınç dayanımları sonuçlarına göre;

- N5 numunesinin basınç dayanımı N1'e kıyasla %38,71,
- N6 numunesinin basınç dayanımı N2'ye kıyasla %34,84,
- N7 numunesinin basınç dayanımı N3'e kıyasla %34,02,
- N8 numunesinin basınç dayanımı N4'e kıyasla %35,78 oranında artmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

YYPE'nin doğal kumla ikamesi ve beton karışım dizaynında YYPE miktarının artışıyla, betonun birim ağırlığı düşmekte; basınç dayanımı, eğilme dayanımı gibi mekanik özellikleri zayıflamaktadır.

YYPE içeren ve kimyasal katkı kullanılan sınıf betonlarında (normal beton) kimyasal katkı kullanılmayan şahit betonlara göre basınç dayanımı artış gösterse de YYPE miktarının artışıyla orantılı olarak basınç dayanımı düşmüştür.

Toz formdaki YYPE'nin, polikarboksilat bazlı yüksek oranda su azaltıcı süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı ile birlikte hafif betonlarda ve özgül ağırlığı düşük hafif agregalarla (pomza, diyamotit, vermikülit ve pozzolanlar vb.) yer değiştirilerek kullanılabileceği düşünülmektedir.

Toz formdaki YYPE'nin, betonda hava oranının yüksek olması istenilen yapılarda, betonun durabilitesini etkileyen donma-çözünme olayına karşı betonun teknik özelliklerini koruyabilecek yüksek oranda su kesici kimyasal katkı ile birlikte kullanılabileceği düşünülmektedir.

Bir sonraki yapılacak çalışmada, toz formdaki YYPE'nin hava sürükleyicilik etkisi sayesinde soğuk iklim şartlarında betonun durabilitesini etkileyen donma-çözünme olayına karşı kullanılabilirliği ve hafif agregalarla ikame edildiğinde ısısal yalıtımı, yangın dayanıklılığı ve lif olarak kullanımıyla birlikte enerji yutma kapasitesi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Achilias, D.S., Antonakou, E., Roupakias, E.C., Megalokonomo, P. ve Lappas, A. (2008). Recycling Techniques of Polyolefins From Plastic Wasted, *Global NEST Journal, 10*(1), 114-122.

Aïtcin, P.C. (2015). Water and Its Role on Concrete Performance. *Science and Technology of Concrete Admixtures.* DOI: 10.1016/B978-0-08-100693-1.00005-9.

Akyol, K. (2008). Su Yalıtımı ve Su Geçirimsizlik Katkı Oranlarının Beton Su Emmesine ve Basınç Dayanımına Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 214012.

American Concrete Institute (1991). ACI Committee 212, *Chemical Admixtures for Concrete,* ACI 212.3R-91. Michigan: Farmington Hills,

Arıoğlu, E., Arıoğlu, N. ve Yılmaz, O. (2006). *Beton Agregaları Çözümlü Problemler Bilgi Föyleri.* Evrim Yayınevi.

Arsoy, A. (2018). Elektrik Ark Ocağı Cürufunun Alkalilerle Aktivasyonu ile Üretilen Betonların Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 502559.

Aydeniz, S. (2012). Agrega Dane Boyutunun Beton Dayanımına Etkisi ve Su Emmesine Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 318356.

Aydın, K. (2006). Farklı Üretim Alanlarından Alınan Aynı Tip Çimentolarla Üretilen Beton Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 185470.

Ayvaz, E. (2021). Farklı Yüzey Aktif Kimyasal Maddesi İçeren Polikarboksilat Esaslı Su Azaltıcı Katkı Kullanımının Çimentolu Sistemlerin Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

Borrelle, S., Ringma, J., Law, K. L., Monnahan,L.L., McGiver, A., Murphy, E., Jambeck, J., Leonard, H.G., Hilleary, M.A., Eriksen, M., Possingham,H.P., Frond, D.,H., Gerber, R.L., Polidoro, B., Tahir, A., Bernard, M., Mallos, N.,Barnes, M., Rochman, M.C. (2020). *Predicted Growth in Plastic Waste Exceeds Efforts to Mitigate Plastic*. Pollution. DOI: 10.1126/science.aba3656.

Burg, R. (1993.) *Track Cement Chemistry to Help Predict Performance.* Construction Technology Laboratories Inc., Skokie, Ill. #J930907.

Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Jang, J. H., Abu-Omar, M., Scott, S. L., Suh, S. (2020). Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 8*(9), 3494–3511. DOI: 10.1021/ACSSUSCHEMENG.9B06635

Collepardi, M. (1998). Admixtures Used to Enhance Placing Characteristics of Concrete. *Enco Engi Neering Concrete, Cement and Concrete Composites, 20*(1998), 103-112.

Çetmeli, E. (1974). *Yeni Alman Betonarme Şartnamesi Betonarme Hesap Esasları, Kesitlerin Boyutlandırılması ve Donatının Yerleştirilmesi*. Uluğ Kitabevi.

Devlet Su İşleri Müdürlüğü (2018). *Beton İşleri Teknik Şartnamesi*. Ankara.

Doğan, Z. (2020). *Beton Çimento Kum Çakıl*. *Yapı Malzemeleri Ders Notları*. https://cdn3.beun.edu.tr/insaat/297a396322b1bf9bc53575e6ee2cf870/3-yapi-malzeme-deneyleri-3-beton.pdf, (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2023).

Duan, P., Shuia, Z., Chena, W. ve Shenc, C. (2005). Efficiency of Mineral Admixtures in Concrete: Microstructure, Compressive Strength and Stability of Hydrate Phases. *Applied Clay Science*, 83.

Engin, Y. (2015). *Küçük Ebatlı Silindir&Küp Beton Numunelerinin Özellikleri ve Avantajları*. https://www.betonvecimento.com/beton-2/beton-numune-ozellikler, (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2023).

Erdoğan, T.Y. (2003). *Beton*. ODTÜ Geliştirme Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını.

Gelardi, G., Flatt, R.J. (2016). Working Mechanisms of Water Reducers and Superplasticizers. Aïtcin, P. C., Flatt, R. J. (Ed.), *Science and Technology of Concrete Admixtures* (257-278).

Geyer, R. (2022). A Brief History of Plastics. *A Brief History of Plastics Springer*. 31-47. DOI: 10.1007/978-3-030-38945-1_2

Kocataşkın, F. (1965). *Çimento ve Özellikleri Hakkında Ne Biliyoruz?* İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.

Kurt, S. *Agrega Nedir?Agrega Özellikleri Nelerdir?* https://cimsa.com.tr/, (Ziyaret tarihi: 15 Nisan 2023).

Mehta, P. K., Monteiro, J. M. P. (2006). *Concrete, Microstructure-Properties and Materials* (3. Baskı). Mc Graw Hill.

Mengeloglu F., Karakuş K. (2008). Thermal Degradation, Mechanical Properties and Morphology of Wheat Straw Flour Filled Recycled Thermoplastic, *Sensors, 8*, 500-519.

Nkinamubanzi, P.C., Mantellato, S., Flatt, R.J. (2016). Superplasticizers in Practice. *In Science and Technology of Concrete Admixtures*, 353–377. DOI: 10.1016/b978-0-08-100693-1.00016-3

Onaran, K. (1995). *Kompozit Malzemeler Malzeme Bilimi*. Bilim Teknik Yayınevi.

Özdemir, M. (2006). Kayaç Mukavemetinin Beton Dayanımına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 198015.

Özel, C., Filiz, M., Sevinç, A., Kıran, C., (2011). Betonda Fiber Katkı Olarak Polietilen Tetraftalatın Kullanabilirliğinin Araştırılması. *SDU International Journal of Technologic Sciences, 3,* 17 28.

Özkul, H. (2007). *Betonda Kalite Denetimi*. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Anabilim Dalı.

Öztürk, M. (2021). Kirli ve Karışık Plastik Atık Tehlikesi. *Independent Türkçe,* https://www.indyturk.com/node/362871/t%C3%BCrki%CC%87yedensesler/kirli-ve-kar%C4%B1%C5%9F%C4%B1k-plastik-at%C4%B1k-tehlike, (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2023).

Peker, M.A., Ataş, O., Aksel, M. (2022). Plastik Atıkların Betonda Değerlendirmesindeki Güncel Durum. *ALKU Journal of Science*, *4*(3), 159-178.

Postacıoğlu, B. (1986). *Beton, Cilt-1, Bağlayıcı Maddeler*. Matbaa Teknisyenleri Basımevi.

Şenbil, U.E. (2016). Kil İçeriği Yüksek Agregalarla Çalışabilecek Uygun Beton Kimyasal Katkı Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 420540.

Şimşek, O. (2004). *Beton ve Beton Teknolojisi.* Seçkin Yayıncılık.

Tan, E., Tarakçılar, A.R., Yurtseven, R. (2007). Plastik Geri Kazanımları ve Plastik Atıklardan Plastik Üretim Teknolojileri. *Metal Dünyası, 170,* 132-137.

Tsubakimoto, T., Hosoido, M., Tahara, H. (1984). U.S. Patent No. 4,471,100. *U.S. Patent and Trademark Office*.

Türk Standardları Enstitüsü (2012). *Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri* (TS EN 197-1).

Türk Standartları Enstitüsü (2013). *Beton Kimyasal Katkıları7-Tarifler, Gerekler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme.*(TS EN 934 -2).

Türk Standartları Enstitüsü. (2016). Beton Karışımı Tasarımı Hesap Esasları. (TS 802)

Türk Standartları Enstitüsü. (2019). *Birim Hacim Kütlesi* (TS EN 12350-6). Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2019). *Çökme (Slamp) Deneyi* (TS EN 12350-2). Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2019). *Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabi Tutulması* (TS EN 12390-2). Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2019). *Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini* (TS EN 12390-3). Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2019). *Hava İçeriğinin Tayini-Basınç Yöntemleri* (TS EN 12350-7). Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü. (2019). *Sıkıştırılabilme Derecesi* (TS EN 123504). Ankara.

Türkiye Hazır Beton Birliği. https://www.thbb.org/sektor/hazir-beton-sektor-raporu/2021-yili-hazir-beton sektor-raporu/Hazır Beton Sektör Raporu, (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2023).

Uchikawa, H., Hanehara, S., Sawaki, D. (1996). The Role of Steric Repulsive Force in the Dispersion of Cement Particles in Fresh Paste Prepared with Organic Admixture. *Cement and Concrete Research, 27*(1), 37-50.

URL-1: https://pagev.org/turkiye-plastik-sektor-izleme-raporu-2021, (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2023).

URL-2: http://www.yapitest.net/mineral-katk%C4%B1lar.html, (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2014).

URL-3: https://saydasplastik.com.tr/yuksek-yogunluklu-polietilen-hdpe-nedir, (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2023).

Uysal, M. (2001). *Taze Beton Özellikleri-Çeper Etkisi*, Yapı Malzemeleri Anabilim Dalı Beton-1 Ders Notları.

Ünal, O., Uygunoğlu, T., Gençel, O. (2007). Çelik Liflerin Beton Basınç ve Eğilme Özeliklerine Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13*(1), 23-30.

Yalçın, H., Gürü M. (2007). *Çimento ve Beton.* Palme Yayıncılık.

Zhang Y., Cai J.D., Xu S.L. ve Yue C.X. (2011). Experimental Investigation of Effect of Admmixture on Concrete Strength and Frost-Resistance. *International Conference on Electric Technology and Civil Engineering, ICETCE 2011* – Proceedings. 5774370: 2180–2183.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Güçlü, S., Doğancı, E., Dandan Doğancı, M., (2023). Geri Dönüştürülmüş Toz Formdaki Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Beton İçerisinde Kullanımın İncelenmesi, *Inholis 2023 Spring Organizing Commitee,* 20 Mayıs 2023.

Güçlü, S., Şenbil, U. E., (2023). Investigation of the Concrete Resistance to Sulfate Attack Using Superplasticizer, *19th Asian Chemical Congress,* İstanbul Teknik Üniversitesi, 10 Temmuz 2023.

Güçlü, S., Şenbil, U.E., (2022). Kimyasal ve Mineral Katkı Kullanımının Betondaki Sülfat Saldırısına Karşı Direncinin İncelenmesi,*34.Ulusal Kimya Kongresi,* Yalova Üniversitesi,04 Eylül 2022.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Konya Ereğli'de tamamladı. Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldu. 2020-2023 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2015-2016 yılları arasında, Konya Ereğli Hazır Beton LTD.ŞTİ.' nde Kalite Kontrol Mühendisi olarak, 2016-2017 yılları arasında Polisan Kimya San.ve Tic A.Ş.-Adana Şubesi'nde Ar ge Laboratuvar Sorumlusu, 2017-2018 yılları arasında Polisan Kimya San ve Tic. A.Ş.-Samsun Şubesi'nde Ar ge ve Kalite Kontrol Uzmanı, 2019-2020 yılları arasında İsapur Plastik'te Kalite Sistem Yöneticisi, 2020-2021 yılları arasında Metin Mecik İnşaat Ltd.Şti.'nde (Magicton Yapı Kimyasalları) Ar ge ve Kalite Kontrol Yöneticisi olarak görev yaptı. 2021 yılından itibaren Akkim Kimya San ve Tic. A.Ş' de Yapı Kimyasalları Ar ge Kıdemli Uzmanı olarak çalışmaktadır.