



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

**KİLLİ AGREGALARDA KIVAM KORUYUCU OLARAK
KULLANILACAK POLİKARBOKSİLAT İÇERİKLİ BETON
KATKI MALZEMESİ SENTEZİ VE PERFORMANSININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Zeynep ÖZSERÇE HASTE
(20169226003)**

**Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sevil ÇETİNKAYA**

**SİVAS
ARALIK 2018**

Zeynep ÖZSERÇE HASTE'nin hazırladığı ve “**Killi Agregalarda Kıvam Koruyucu Olarak Kullanılacak Polikarboksilat İçerikli Beton Katkı Malzemesi Sentezi Ve Performansının İncelenmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Sevil ÇETİNKAYA**
Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Prof. Dr. Yeşim SAĞ AÇIKEL**
Hacettepe Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Duygu ANAKLI
Cumhuriyet Üniversitesi

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından M-715 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Zeynep ÖZSERÇE HASTE, 2018

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

24.12.2018

Zeynep ÖZSERÇE HASTE

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Sevil ÇETİNKAYA'ya çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü hocalarıma teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca beni maddi manevi destekleyen babam Halil İbrahim ÖZSERÇE annem Şaziye ÖZSERÇE eşim Mustafa HASTE ve tüm kardeşlerime çok teşekkür ederim.

Ayrıca tez için deneylerin yapımı aşamasında emeklerini esirgemeyen arkadaşlarım Mustafa AÇIKGÖZ, Melih ÖZDURAN, Eren ÖKKEŞOĞULLARI ve Mehmet AĞDAŞ'a teşekkür ederim.

**KİLLİ AGREGALARDA KIVAM KORUYUCU OLARAK KULLANILACAK
POLİKARBOKSİLAT İÇERİKLİ BETON KATKI MALZEMESİ SENTEZİ
VE PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

Zeynep ÖZSERÇE HASTE

Yüksek Lisans Tezi

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sevil ÇETİNKAYA

2018, 84 +xvi sayfa

Gelişen beton teknolojisiyle birlikte, daha iyi özelliklere sahip beton katkı malzemelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı iyi kalitede polikarboksilat (PCE) üretiminin önemi gittikçe artmaktadır. Polikarboksilatların su azaltıcı, kıvam koruyucu, toksik olmaması ve çevreye zarar vermemesi özelliklerinden dolayı beton katkı malzemesi olarak tercih edilmektedirler.

Bu çalışma kapsamında kil içeriği yüksek agregalarda kıvam koruyucu olarak kullanılacak modifiye bir PCE kopolimerizasyon yöntemiyle sentezlendi. Bunun için TPEG (izoprenil oksijen poli etilen glikol eter), HPEG(ω - metoksi veya ω hidroksi poli (etilen glikol) eteri) monomerlerinin belli oranlarda karışımı ve HEMA (2-hidroksi etil metakrilat) kullanıldı. Bu malzemelerin karışım oranları, sisteme besleme süreleri, deney sıcaklığı ve HEMA derişimi değiştirilerek sentezlenen polikarboksilatların (PCEs) beton performansı incelendi. Hazırlanan betonun slump, kıvam koruma ve basma dayanımını sonuçlarına göre sentezlenen polikarboksilatların optimum deney şartları belirlendi.

Optimum deney şartlarında sentezlenen PCEs'in performansı kirlilik oranları (kütlece kil) %2, %3, %5 olan agregalarla hazırlanan betonun slump ve basınç dayanımlarına bakılarak incelendi. Beton deneyleri sonucuna göre sentezlenen PCEs'in killi agrega ile hazırlanan betonun kıvamını koruduğu, basınç dayanımlarının da standartlara uygun olduğu gözlemlendi. Optimum deney şartlarında sentezlenen PCEs'in özellikleri NMR, FTIR, XRD ve SEM teknikleri ile incelendi.

Anahtar kelimeler: Polikarboksilat, Killi agrega, Süper Akışkanlaştırıcı, Kopolimer, TPEG.



ABSTRACT

SYNTHESIS OF POLYCARBOXYLATE SUPERPLASTICIZER FOR CLAY-CONTAMINATED CONCRETE AND INVESTIGATION OF ITS PERFORMANCE ON CONCRETE

Zeynep ÖZSERÇE HASTE

Master of Science Thesis

Department of Chemical Engineering

Supervisor: Prof Dr. Sevil ÇETİNKAYA

2018, 84 +xvi pages

In recent years, with the rapid progress of high-performance concrete technology, it is necessary to improve some high-performance chemical admixture which can help concrete to improve its performances. Therefore, Polycarboxylate superplasticizer (PCE) has become a key material in the preparation of high-performance concrete (HPC) for its advantages of low dosage, high slump retention and water-reducing rate.

In this study, a high performance polycarboxylate superplasticizer (PCE) was successfully synthesized by copolymerization method for clay-contaminated concrete to improve workability of the concrete. For this purpose, a mixture of TPEG (isoprenyl oxy poly ethylene glycol ether), HPEG (larda-methoxy or) hydroxy poly (ethylene glycol) ether) monomers and HEMA (2-hydron ethyl methacrylate) was used. The concrete performance of the polycarboxylates (PCEs) synthesized by changing the mixing ratios of these materials, feeding times to the system, experimental temperature and concentration of HEMA were examined. The optimum experimental conditions of the polycarboxylates (PCEs) synthesized according to the results of slump and compressive strength of the prepared concrete were determined. After that, the applications of the PCEs in clay-contaminated concrete which was prepared with aggregates, which were 2%, 3%, 5%, by mass, were tested. The results

showed that the water reducing rate, compressive strengths and the slump performances of PCEs in the concrete prepared with clay-contaminated aggregates were better than those of the common commercial PCEs. The morphology and elemental analysis of PCEs were analyzed by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), Nuclear Magnetic Resonance (^1H NMR) and Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy.

Key Words: Polycarboxylate, clay-contaminated concrete, super plasticizer, copolymer (comb polymer)



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Kaynak Özeti	2
2. KURAMSAL TEMELLER	13
2.1 Beton ve Özellikleri	13
2.1.1 Agregalar	16
2.1.2 Çimento	18
2.1.3 Kimyasal beton katkı maddeleri	20
2.1.4 Su.....	24
2.2 Beton Hazırlamada Kullanılan Agrega Deneyleri	26
2.3 Beton Deneyleri	28
2.4 Polimerizasyon ve Polimerizasyon Yöntemleri.....	35
2.4.1 Kopolimerler ve kopolimerizasyon	36
2.5 Polikarboksilat (PCE)	37
2.6 Kilin Yapısı ve Çeşitleri	40
2.6.1 Kaolinit	41
2.6.2 Montmorillonit	43
2.6.3 İllit	44
3. MATERYAL VE METOT	45
3.1. Materyaller	45
3.2. Metot.....	46
3.2.1 PCE sentezi.....	46

3.2.2 İnce agregada metilen mavisi deneyi.....	48
3.2.3 Beton deneyleri.....	50
3.2.3 Optimum deney şartlarında sentezlenen PCEs'in kirli agregalarla hazırlanan beton üzerine etkisi	53
3.3 PCE Karakterizasyonu	54
3.3.1 Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)	54
3.3.2 Nükleer manyetik rezonans spektrometresi (NMR).....	54
3.3.3 X-Işınları kırınımı (XRD).....	54
3.3.4 Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	54
4. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	55
4.1 Farklı Monomer Oranları İle Sentezlenen PCEs'in Beton Performansı Üzerine Etkisi	55
4.2 HEMA ve AA'nın Farklı Besleme Süreleri İle Sentezlenen PCEs' in Beton Performansı Üzerine Etkisi	57
4.3 Farklı HEMA Derişimlerinde Sentezlenen PCEs'in Beton Performansı Üzerine Etkisi	60
4.4 Farklı Sıcaklıklarda Sentezlenen PCEs'in Beton Performansı Üzerine Etkisi .	62
4.5 Optimum Deney Şartlarında Sentezlenen PCEs'in Kirli Agregalarla Hazırlanan Beton Performansı Üzerine Etkisi	63
4.7 Piyasada Kullanılan PCEs ile Sentezlenen PCEs'in Beton Performanslarının Karşılaştırılması	65
4.8 Optimum Şartlarda Sentezlenen PCEs Karakterizasyonu	67
4.8.1 Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)	67
4.8.2 Nükleer manyetik rezonans spektrometresi (NMR).....	68
4.8.3 X-ışınları kırınımı (XRD).....	71
4.8.4 Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	72
5. SONUÇLAR	75
KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	PC1 ve PC2'nin kimyasal yapısının şematik diyagramı	3
Şekil 1.2	PC1 ile çimento-MMT macunu akıcılığı.....	4
Şekil 1.3	PC2 ile çimento-MMT macunu akıcılığı.....	4
Şekil 1.4	Konvansiyonel PCE' nin moleküler yapısı.....	5
Şekil 1.5	Amid modifiye PCE moleküler yapısı.....	5
Şekil 1.6	Çimento hidratasyon tabakasında dağılma tutma özelliğinin grafiksel . . özeti.....	8
Şekil 1.7	Çalışma mekanizmasının şematik diyagramı	11
Şekil 2.1	Elek analizi deney seti	277
Şekil 2.2	Slump-Çökme deney seti.....	30
Şekil 2.3	Slump – çökme değerinin ölçülmesi.....	301
Şekil 2.4	Taze betonun çökme şekilleri	311
Şekil 2.5	Standart küp ve silindir şeklindeki beton kalıpları	33
Şekil 2.6	Silika tetrahedral	411
Şekil 2.7	Alüminyum oktahedral	411
Şekil 2.8	Silisyum tetrahedral tabaka.....	422
Şekil 2.9	Alüminyum oktahedral tabaka.....	42
Şekil 2.10	Kaolinit kil mineralinin yapısı	433
Şekil 2.11	Montmorillonit kil mineralinin yapısı	433
Şekil 2.12	İllit kil mineralinin yapısı	444
Şekil 3.1	Deney düzeneği ve aşamaları.....	455
Şekil 3.2	PCE sentez düzeneği	466
Şekil 3.3	Metilen mavisi deney seti	499
Şekil 3.4	Pan tipi beton mikseri	511
Şekil 3.5	Slump testi.....	52
Şekil 3.6	Kalıplara alınan beton numuneleri.....	522
Şekil 3.7	Kür tankı	533
Şekil 3.8	Basınç dayanımı deneyi	533

Şekil 4.1	TPEG/HPEG karışım oranının betonun slump değeri üzerine etkisi. . . (Agrega kirliliği %2)	56
Şekil 4.2	TPEG oranının basınç dayanımı üzerine etkisi (Agrega kirliliği %2)	577
Şekil 4.3	Besleme süresinin slump üzerine etkisi (Kirlilik %1.25)	588
Şekil 4.4	Besleme süresinin basınç dayanımı üzerine etkisi (Kirlilik % 1.25)	588
Şekil 4.5	Besleme süresinin slump üzerine etkisi (Kirlilik % 2)	59
Şekil 4.6	HEMA konsantrasyonunun slump üzerine etkisi(Agrega Kirliliği % 2)	611
Şekil 4.7	HEMA konsantrasyonunun basınç dayanımı üzerine etkisi (Agrega Kirliliği % 2)	611
Şekil 4.8	Sentez sıcaklığının slump üzerine etkisi (Agrega kirliliği %2)..	622
Şekil 4.9	Sentez sıcaklığının basınç dayanımı üzerine etkisi(Agrega Kirliliği. %2)	633
Şekil 4.10	Agrega kirliliğinin slump üzerine etkisi	644
Şekil 4.11	Agrega kirliliğinin basınç dayanımı üzerine etkisi	654
Şekil 4.12	a) Sentezlenen PCE ile b) Piyasa 2 PCE ile hazırlanan beton numunesi	677
Şekil 4.13	Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCE' lerin FTIR spektrumları	688
Şekil 4.14	PCE sentezinin 1. günü 1H NMR spektrumu.....	699
Şekil 4.15	PCE sentezinin 2. günü 1H NMR spektrumu.....	70
Şekil 4.16	PCE sentezinin 3. günü 1H NMR spektrumu.....	70
Şekil 4.17	PCE sentezinin 5. günü 1H NMR spektrumu.....	701
Şekil 4.18	PCE sentezinin 7. günü 1H NMR spektrumu.....	711
Şekil 4.19	Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCE'lerin Na bentonitle XRD. diyagramları.	712
Şekil 4.20	Saf Na Bentonit ve PCE çözeltisi ile hazırlanmış Na Bentonit SEM. görüntüleri	744

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Beton sınıfları ve dayanımları (Erdoğan, 2015).....	16
Çizelge 2.2	Beton karma suyunda bulunabilecek yabancı maddelerin kabul edilebilir miktarları (Erdoğan, 2015)	25
Çizelge 2.3	Değişik kıvamlardaki betonların çökme değerleri (Erdoğan, 2015)...	32
Çizelge 2.4	Türk Standardına göre betonların çökme değerleri (TSE, 2002a).....	32
Çizelge 3.1	Kullanılan kimyasalların özellikleri.....	46
Çizelge 4.1	Piyasadaki PCEs ile bu çalışmada sentezlenen PCEs'in beton performansı üzerine etkisinin karşılaştırılması	66

KISALTMALAR DİZİNİ

AA	: Akrilik asit
dak	: Dakika
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
HBMA	: 4 hidroksi bütül metakrilat
HEA	: Hidroksi etil akrilat
HEMA	: 2- hidroksi etil metakrilat
HPEG	: ω - metoksi veya ω hidroksi poli etilen glikol eter
HPMA	: 3 hidroksi propil metakrilat
MA	: Maleik anhidrit
MMT	: Montmorillonit
MPEG	: α - metoksi poli etilen glikol
MSA	: Metan sülfonik asit
NMR	: Nükleer manyetik rezonans
PCE	: Polikarboksilat
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SPS	: Sodyum peroksidi sülfat
TPEG	: İzoprenil oksi poli etilen glikol eter
XRD	: X- Işınları kırınımı

1. GİRİŞ

Gelişen inşaat sektörüyle birlikte betonun ve beton katkılarının önemi gittikçe artmaktadır. Betonun kullanımından önce kıvamının korunması, su azaltıcı kullanılarak daha dayanıklı beton elde edilmesi ayrıca, çimento ve işçilikten tasarruf edilmesi beton katkıları ile sağlanır. Beton katkıları üç nesilden oluşmaktadır: Birinci nesil yaygın olarak ligno sülfonatlar ve ikinci nesil sülfonatlanmış naftalin formaldehit veya sülfolanmış melamin formaldehitten üretilir. 1980'lerde, polikarboksilatlar (PCEs) üçüncü nesil beton katkıları olarak piyasaya sürüldü. (Hirata, 1981). Beton katkılarında PCEs esaslı süper akışkanlaştırıcılar farklı kimyasal yapıları sayesinde çok daha düşük su-çimento oranı, kolay işlenebilirlik, kıvam koruma, yüksek segregasyon direnci, yüksek dayanım, yüksek akışkanlığa sahip beton üretilebilmesi, çevre dostu olmaları, kimyasal ve performans özelliklerinin kolay modifiye edilmeleri nedeniyle son derece popüler hale gelmiştir. (Mehta, 1999 ; Yamada vd., 2000) Süperplastikleştiriciler, macun ve diğer uygulamalarda aglomera hidrat çimento partiküllerini dağıtarak, betonun işlenebilirliğini arttırmak için, beton karışımlarına eklenebilecek önemli kimyasal katkılardır. (Liao vd., 2006 ; Zhu vd., 2012) Betonun mukavemeti, eklenen su miktarı veya su-çimento (w/c) oranı ile ters orantılıdır. Ancak, su miktarı çok düşük olduğunda, beton karışımı işlenemez ve karıştırılması zor olabilir. Bu nedenle, bir süperplastikleştiricinin ana işlevi, çimento macunlarının akışkanlığını kaybetmeden su-çimento oranında bir düşüş sağlamaktır, bu da daha yüksek mukavemet ve daha iyi beton dayanımı ile sonuçlanmaktadır (Lu vd., 2010 ; Plank vd., 2010). Tarak şekilli PCE kopolimerleri, negatif yüklü omurga ve aşılansız yan zincirlerden, tipik olarak polietilen glikolden (PEO) oluşur (Yoshioka vd., 1997 ; Keller vd., 2013). PEO yan zincirleri suda asılı çimento partikülleri arasında sterik bir engel yaratır (Li vd., 2005 ; Lei vd., 2012). Bu eşsiz mekanizmayla PCE süperakışkanlaştırıcılar polikondensatlara kıyasla üstün dağılma kuvveti sergiler. PCE moleküllerinin kolaylıkla ayarlanabilen yapısal parametreleri olduğu için, PCE'ler uzun süre çökmelerden koruyabilme (>2 saat) , yüksek akış hızı (Saratto kan etkisi) ve çok düşük su/çimento oranlarında (w/c 0,25) etkinlik gibi birçok farklı amaca uygundur (Lei vd., 2012).

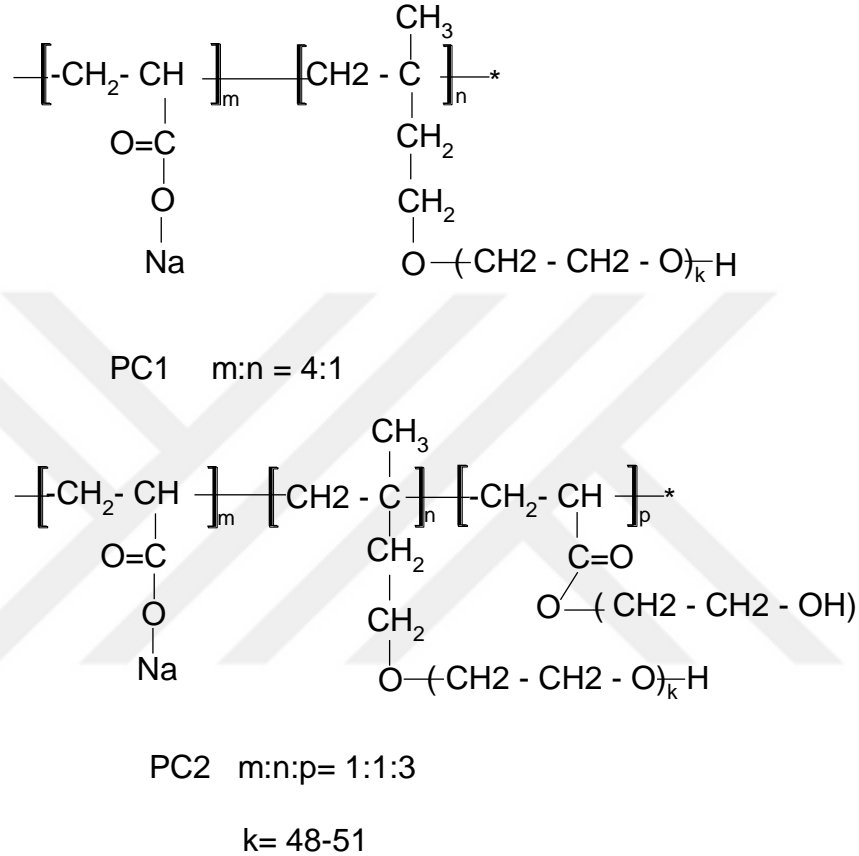
Son zamanlarda PCE'lerin farklı çimento kompozisyonlarına oldukça duyarlı oldukları (örneğin sülfat etkisi nedeniyle), agrega ve kireçtaşında bir safsızlık olarak ortaya çıkabilen kil ile kolaylıkla etkileşime girdiği açıktır (Jeknavorian vd., 2003 ; Magarotto vd., 2006). Agregadaki kil minerallerinin varlığı, PCE'nin su azaltıcı etkilerini azaltabilir ve sıklıkla betondaki akışkanlığın hızlı bir şekilde azalmasına yol açabilir (Fernandes vd., 2007 ; Tregger vd., 2010). Bu, PCE'nin zayıf "kil toleransı" olarak adlandırılır (Tan vd., 2015 ; Xu vd., 2015). Hızlı akışkanlık kaybıyla, beton normal olarak dökülemez ve bu nedenle akışkanlık kaybı, mühendislik uygulamasında işlenebilirliğin değerlendirilmesinde kullanılacak iyi bir parametredir. Bu anlamda en zararlı kil minerali olan montmorillonit (MMT) PCE'nin dağılma kabiliyetini önemli ölçüde azaltır. (Sakai vd., 2006); (Wang vd., 2012); (Konan vd., 2008)

Bu çalışmada, killi agregalarda kıvam koruyucu olarak çalışabilecek PCE kopolimerizasyon yöntemi ile sentezlendi. PCE üretiminde 2- hidroksi etil metakrilat (HEMA) kullanılarak polietilen oksitten farklı yan zincirlerin oluşması sağlanarak PCEs hazırlandı. Sentezlenen PCEs'in farklı kirlilik oranları içeren agregalar ile hazırlanan beton üzerine etkileri incelendi. Hazırlanan PCEs numunelerinin karakterizasyonu XRD, FTIR, H^1 NMR ve SEM ile yapıldı.

1.1 Kaynak Özeti

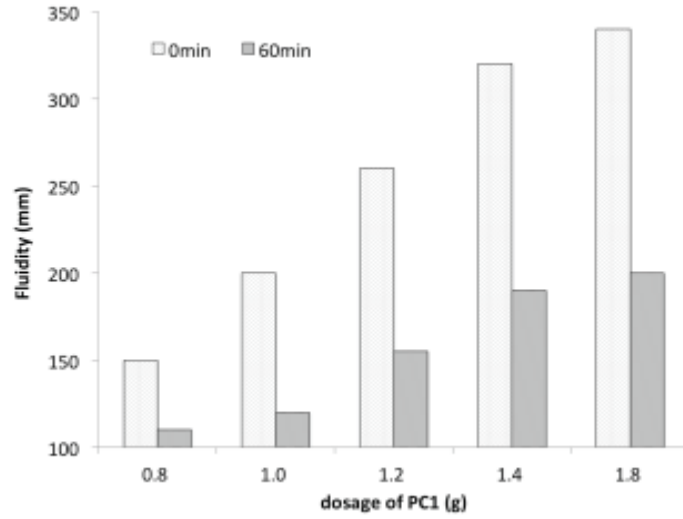
Lei vd. (2012) PEO' den başka yan zincirler içeren PCEs'lerin kil varlığında davranışlarını incelemişlerdir. Bu amaçla 2.5:1 veya 8:1 molar oranlarında metakrilik asit (MAA) ve 2 hidroksi etil metakrilat (HEMA), 3 hidroksi propil metakrilat (HPMA) veya 4 hidroksi bütül metakrilat (HBMA) esterlerinden sentezlenen, yapısal olarak modifiye edilmiş, bir PCE sentezi gerçekleştirmişlerdir. (Lei vd., 2012) Başlatıcı olarak sodyum peroksidi sülfat (SPS), yan zincir aktarım maddesi olarak metan sülfonik asit (MSA) kullanmışlardır. 80 °C sıcaklık ve 4 saat besleme süresi ile PCE 'ler sentezlenmişlerdir. PCE eklenmeden hazırlanan kil ile çimento macunu karışımında tamamen kıvam kaybı söz konusu iken, 2.5 :1 mol oranında MAA-co HAMA PCE ile hazırlanan kil, çimento macunu karışımında kıvam kaybını yaklaşık %30 olarak bildirilmişlerdir.

Tan vd. (2016b) çalışmalarında yan zincirde ester grubunun varlığında ve yokluğunda PCEs'ın kil toleransını karşılaştırmışlardır. 50 °C sıcaklık, 3 saat besleme süresinde, akrilik asit (AA)ve TPEG ile sentezlediklerini PC1, AA, TPEG ve hidroksi etil akrilat (HEA) ile sentezlendiklerini PC2 olarak kodlamışlardır.(Tan vd., 2016b)

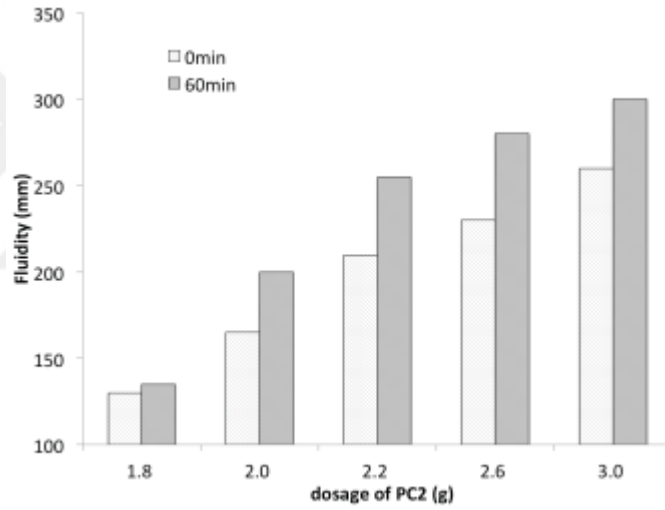


Şekil 1.1 PC1 ve PC2'nin kimyasal yapısının şematik diyagramı

Sentezlenen bu PCE' ler ile çimento- montmorillonit (MMT) macununun akıcılığı incelenerek test edilmiştir.



Şekil 1.2 PC1 ile çimento-MMT macunu akıcılığı

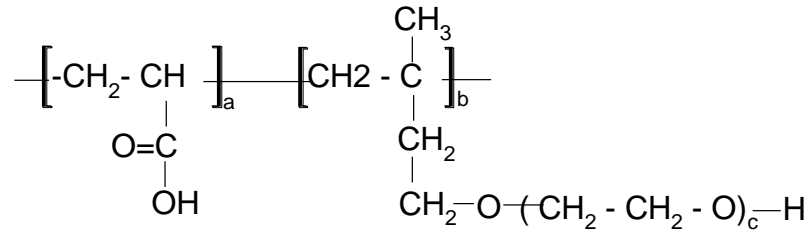


Şekil 1.3 PC2 ile çimento-MMT macunu akıcılığı

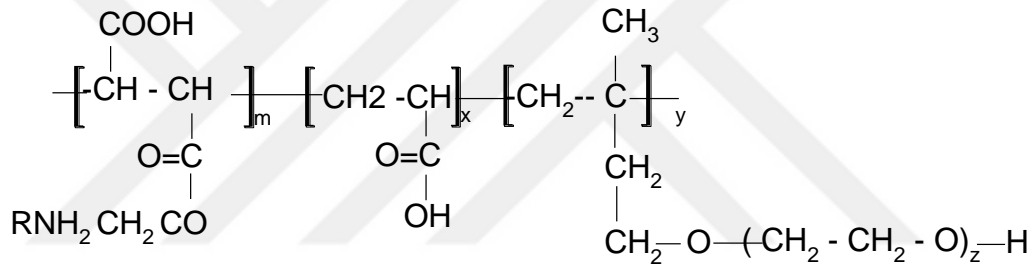
Şekil 1.2 ve Şekil 1.3' te görüldüğü gibi yan zincirdeki ester grubu olan PC2 'nin, MMT' in neden olduğu hızlı adsorpsiyondan kaçınmak için kullanılabilmesi olasılığını ortaya koymuşlardır.

Sun vd. (2015) üç tip kil, MMT, kaolinit ve muskovitin çimento ile konvansiyonel PCE ve amid modifiye PCE' nin dağılma kabiliyeti üzerindeki etkisini

karşılaştırmışlardır. PCE' lerin sentezi ile ilgili bilgi vermemişlerdir.(Sun vd., 2015) Geleneksel PCE' nin her üç kil tipinden de olumsuz etkilendiği gözlenmiş ancak amid ile modifiye edilmiş PCE' nin daha az etkilendiğini bulmuşlardır. Somut uygulama performansı, amid ile modifiye edilmiş PCE' nin, kil taşıyıcı agrega kullanıldığında geleneksel PCE' den daha sağlam olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 1.4 Konvansiyonel PCE' nin moleküler yapısı



Şekil 1.5 Amid modifiye PCE moleküler yapısı

Yamada vd. (2000) çalışmalarında PCE' nin kimyasal yapısının, macun akışkanlığı ve zamana bağlılığı üzerindeki etkileri, özel olarak sentezlenmiş PCE tarak-polimerleri kullanarak incelemişlerdir.

1. Daha uzun PEO yan zincirleri aynı dozajda daha fazla akışkanlık sağladığını, zamanla daha büyük bir akışkanlık azalması ve priz süresinin daha kısa olduğunu,
2. Daha kısa omurga zincir uzunluğu, aynı dozajda daha fazla akışkanlık ve zamanla akışkanlık kaybının daha az olduğunu ve priz süresinin daha uzun olduğunu,
3. Polimerlerde daha fazla sülfonik grup içeriği aynı dozajda daha fazla akışkanlık sağladığını,

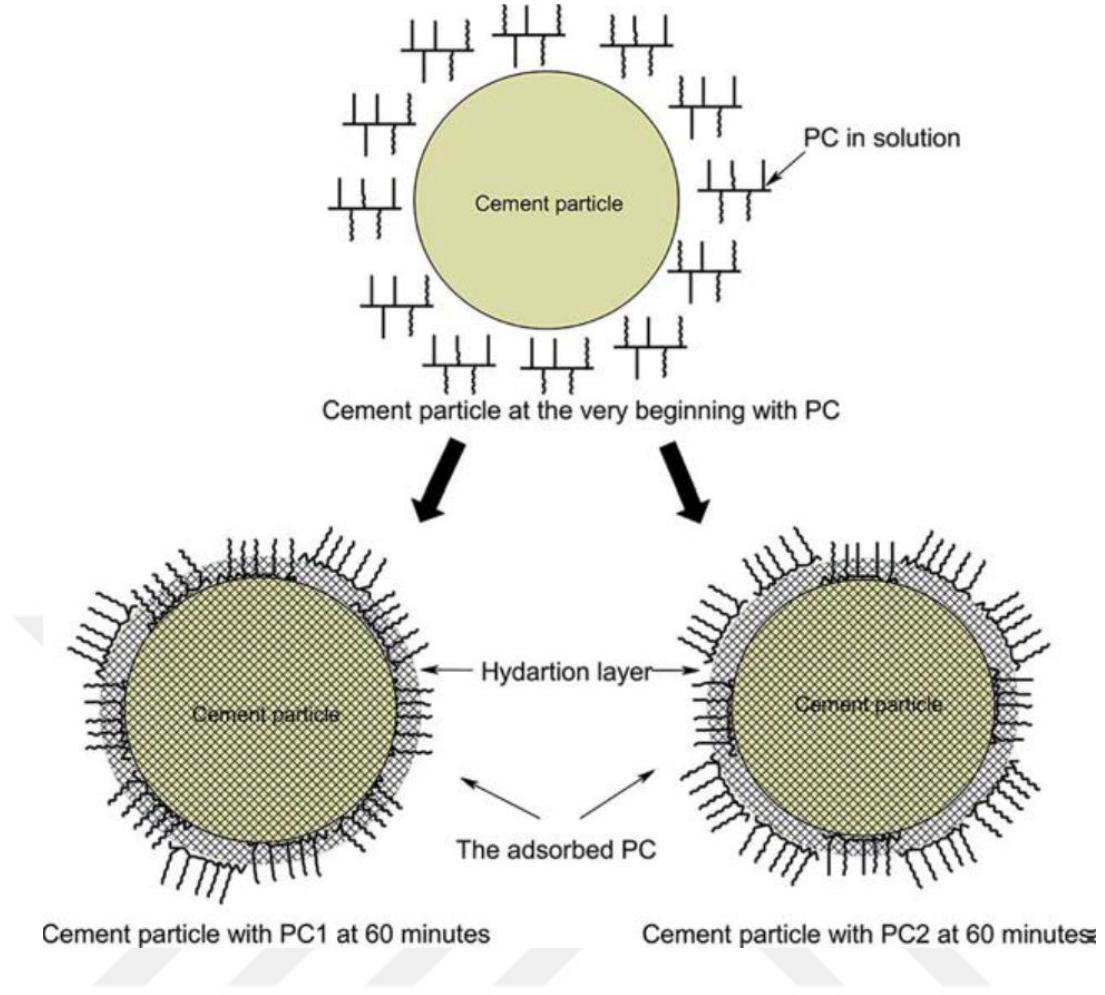
4. Çimento macununun priz süresinin, çimento macununun sulu fazında bulunan iyonik fonksiyonel grup konsantrasyonuna bağlı olduğunu bildirmişlerdir.(Yamada vd., 2000)

Liu vd. (2014b) çalışmalarında poliakrilik asit (PAA) ile amino sonlu metoksi polietilen glikol (amino-PEG) arasındaki amidasyon reaksiyonu ile amid yapılı polikarboksilat süperakışkanlaştırıcılar (amid-PCE'ler) sentezlemişlerdir.(Liu vd., 2014b) En uygun sentez şartlarının belirlenmesi için amid-PCE'lerin, amidasyon hızı ve çimento macununun akış hızı üzerine etkisi, katalizör dozajı, su taşıyıcı ajan dozajı, karboksil amino oranı, amidasyon reaksiyon sıcaklığı ve amidasyon reaksiyon süresinin etkilerini incelemişlerdir. Sentez için katı içeriği % 42 olan geleneksel PCE, katı içeriği % 49 PAA ve molekül ağırlığı 2000 g/mol amino-PEG kullanılarak 130-150 °C reaksiyon sıcaklığında sentez yapmışlardır. Katalizör olarak kütlece % 3.5'lik p-toluen sülfonik asit ve su taşıyıcı olarak kütlece %15 toluen kullanılmıştır. PAA ve amino-PEG ile en yüksek amidasyon oranı ve en iyi akış özellikleri 135 °C' de 4 saat besleme süresiyle en iyi karboksil-amino oranı ile sentezlemişlerdir. FTIR ve ¹H NMR ölçümleri sentezlenmiş ürünün amid yapısını doğrulamış ve molekül ağırlığı test sonuçları ile geleneksel PCE' nin yeterli amidasyon reaksiyonu ve ideal amid yapısına kavuştuğunu bildirmişlerdir. Amid-PCE' nin beton çöküşü, konvansiyonel PCE' ye benzemektedir ancak amid-PCE' nin hava tutma kabiliyeti, kabarcık tutma ve beton donmaya karşı direnci, geleneksel PCE' den daha iyi olduğunu bildirmişlerdir.

Tan vd. (2016a) çalışmalarında MMT ve PCE' nin etkileşim mekanizmasını incelemişlerdir. PCE sentezinde AA-MA ve AA-TPEG kullanarak PCE sentezlemişler. MMT ve PCE etkileşimleri incelendiğinde TPEG- AA ve AA-MA PCEs'de polimerlerin MMT'de bulunan ara tabakalara girdiğini gözlemlemişlerdir.(Tan vd., 2016a) Sonuçlar, uzun yan zincir polietilen oksit (PEO) içermeyen PCE' nin ana zinciri olan AA-MA' nın sadece MMT partiküllerinin yüzeyinde adsorbe edildiğini ve MMT ara tabakaları arasına PCE'nin uzun yan zinciri olan PEO'in, ara-katman boşluğu içine girdiği kanıtlamışlardır. Bu, büyük

adsorpsiyon miktarının ve çimento-MMT macununda daha az verimli dağılma kabiliyetinin ana sebebidir. Sonuçlar, tercihen, MMT' nin ara-katman alanına yerleştirilebilen polimerlerin, PCE'nin uzun yan zincirinin araya girmesini engellemek ve PCE' nin kil toleransını geliştirmek için kullanılabileceğini göstermişlerdir. Sentezlenen PCE'lerin yapısal özelliklerini X-ışını Difraktometresi (XRD), Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM), Fourier-Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), Thermo Gravimetrik Analiz (TGA), X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) ve Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) analiz sonuçları ile yorumlamışlardır.

Tan vd. (2017) çalışmalarında yan zincirdeki ester grubunun adsorbe edici davranış ve polikarboksilat süperplastikleştiricinin (PCE) dispersiyonu üzerindeki etkisi, iki tip PCE'nin performansı karşılaştırarak incelemiştir.(Tan vd., 2017) Çimento macununun akışkanlığı, dağılma kabiliyetini ve PCE'nin tutma kabiliyetini tartışmak üzere test etmişlerdir. Toplam organik karbon analiz cihazı, adsorpsiyon miktarını ölçmek için kullanılmışlar ve adsorpsiyon tabakası, x-ışını fotoelektron spektroskopisi ile elde etmişler. Ester grubunun kararlılığını doğrulamak için fourier-transform kızılötesi spektroskopisi, nükleer manyetik rezonans ve pH değerini kullanılmışlardır. Çimento partikülünün elektro kinetik özellikleri, zeta potansiyel ölçümü kullanarak doğrulamışlardır. Sonuçlar, yan zincirdeki ester grubunun, dağılma tutma kabiliyetini artırırken başlangıç dağıtma kabiliyetini azalttığını göstermişlerdir. Dağılma tutma kabiliyeti, adsorpsiyon miktarının ve adsorpsiyon tabakasının 5–60 dakika içinde artmasına bağlıdır ve daha büyük artış, daha iyi dağılma tutma kabiliyetine yol açar. Ester grubu, adsorpsiyon miktarının ve adsorpsiyon tabakasının daha fazla artmasının ve dağılma kabiliyetindeki iyileşmenin ana sebebi olan, çimento hidrasyon koşulu altında PCE'nin adsorbe etme kabiliyetini arttırmak için karboksil grubunu serbest bırakmak üzere ayrıştırılabilir olduğunu ve bu ester grubunun aşılınması dağılma tutma yeteneğini geliştirmek için iyi bir yol olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 1.6 Çimento hidrasyon tabakasında dağılma tutma özelliğinin grafiksel özeti

Li vd. (2014) çalışmalarında tarak benzeri polikarboksilat kopolimerleri sentezlemişlerdir ve ilk olarak kaolin süspansiyonları için dispersanlar olarak kullanmışlardır.(Li vd., 2014) Görünür viskozite, adsorpsiyon davranışı, zeta potansiyeli, reolojik davranış ve bu kopolimerler ile çözünmüş konsantre kaolin bulamaçlarının TEM görüntüleri sistematik olarak incelenmiştir. Sodyum akrilat homopolimer (SA), bu kopolimerlerin elektrostatik etkileşimi ve moleküler yapısının, koloidal kaolin süspansiyonlarının dağılımını, adsorpsiyonunu ve reolojik özelliklerini nasıl etkilediğine dair bilgi vermek amacıyla bir referans olarak seçilmiştir. Sonuçlar, kaolin bulamaçlarının dispersiyonunun esas olarak elektro-

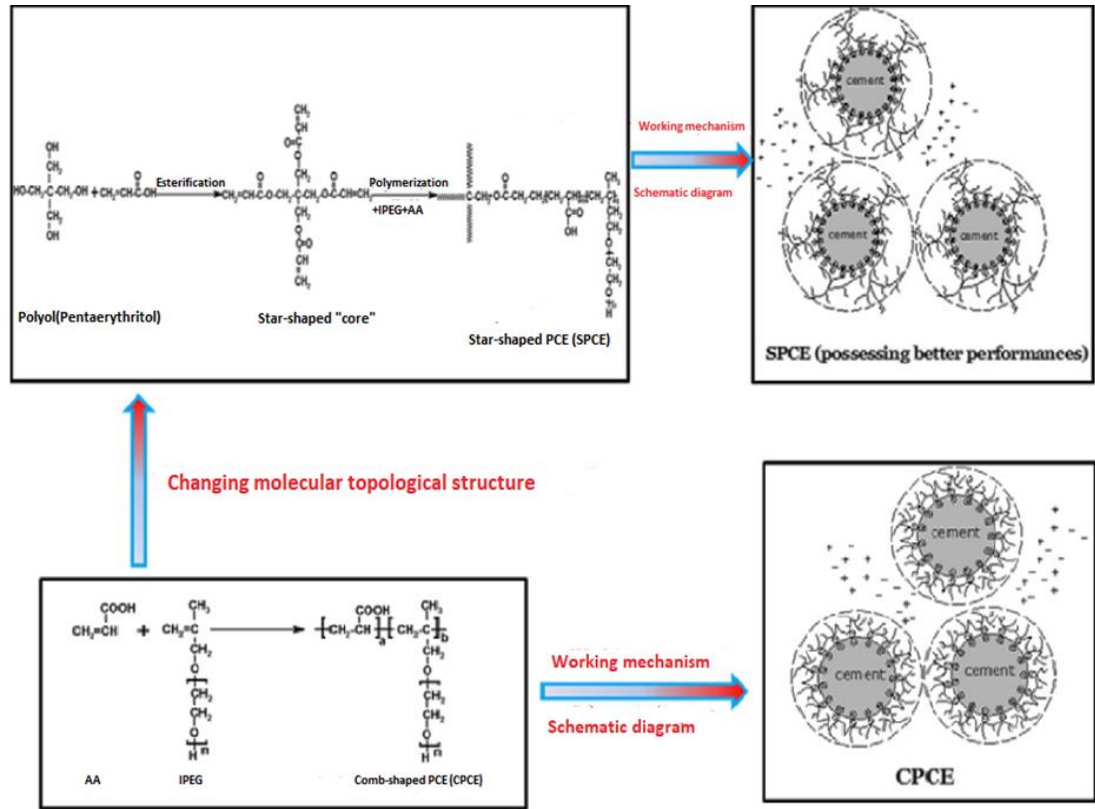
statik etkileşimin ve APEG tipi tarak benzeri kopolimerler için sterik engellemeye bağlı olduğunu gösterdi. Uygun karboksilik grupları ve yan zincirleri taşıyan PC2, konsantre kaolin bulamaçlarında kararlı dağılım ve akışkanlık sağlamıştır. Tarak benzeri kopolimerlerin elektrostatik ve sterik etkisine dayanarak, kaolin bulamaçları kesme kalınlaştırıcı bir davranış sergiler ve Herschel-Bulkley modeli reolojik davranışlarını iyi tanımlamıştır. Sonuçlar, kaolin bulamaçlarının dağılım kabiliyetinin esas olarak, yük yoğunluğunun etkilerine ve APEG tipi tarak benzeri kopolimerler için sterik engellemeye bağlı olduğunu göstermiştir. Kaolin bulamaçları, bir kesme kalınlaşma davranışı sergiledi ve Herschel-Bulkley modeli, reolojik davranışlarını iyi tanımladı. Mükemmel dispersiyon kabiliyetlerinin bir sonucu olarak bu tarak benzeri kopolimerlerin seramik endüstrisinde çekici potansiyel uygulamaları olabileceğini ve bu kopolimerlerin seramik bulamaç sistemlerinde kararlılık ve dağılım mekanizmaları üzerine sistematik bir çalışma yapmakta daha etkili olacağını bildirmişlerdir.

Chen vd. (2017) çalışmalarında uzun bir polioksietilen (PEO) zincirine ve bir karboksilik gruba sahip yeni bir PCE, çimentodaki performansını arttırmak için modifiye edilmiş bir süksinik anhidrit polieterden (SAE-IPEG) sentezlemişlerdir. Karboksil gruplarına sahip PCE, serbest radikal kopolimerizasyon reaksiyonlarından başarıyla sentezlemişlerdir. Sentezlenen PCEs'ı FT-IR ve ¹H NMR spektroskopisi ile karakterize etmişlerdir. Sentezlenen PCEs yüksek çimento dağıtma kabiliyetine ve iyi kil toleransına sahiptir. XRD deneyleri, yeni sentezlenen terpolimerlerin, geleneksel PCE ürünlerinin karşısında, sadece kil ile zayıf etkileşime maruz kaldıklarını göstermektedir. Sentez sırasında daha büyük miktarda esterlenmiş makromonomer kullanıldığında, PCE omurgasına daha fazla karboksil grubunun girdiğini ve bunun da MMT üzerindeki PCE'nin adsorpsiyon miktarının daha küçük olmasına neden olacağını rapor etmişlerdir.. MMT üzerindeki PCE'nin adsorbe miktarı negatif yüklü karboksil terminal grubuyla azaltılabildiği ve bunun sonucu olarak, çimento dağılım gücü, karboksil grupları ve negatif yüklü kil yüzeyler arasındaki elektrostatik itme nedeniyle arttığını bildirmişlerdir.(Chen vd., 2017)

Zhang vd. (2012) çalışmalarında kaolinit kil parçacıkları ile PCE tarak tipi bir polimer arasındaki etkileşimler, bir reometre ve bir yüzey kuvvetleri aparatı (SFA) ile viskozite ve yüzey kuvvetleri ölçümleri yoluyla araştırılmıştır. PCE eklenmesi, alkali çözeltilerdeki (pH = 8.3) konsantre kaolinit süspansiyonlarının viskozitesi üzerinde güçlü bir etki gösterirken, asidik koşullar altında zayıf bir etki gösterir (pH = 3.4). Asidik çözeltilerde, ölçülen yüksek viskozite, negatif yüklü bazal düzlemler ve kil parçacıklarının pozitif yüklü kenar yüzeyleri arasındaki güçlü elektrostatik etkileşime atfedilir. Alkali koşullar altında, süspansiyon viskozitesinin ilk önce önemli ölçüde arttığı ve daha sonra artan PCE dozu ile azaldığı bulunmuştur.(Zhang vd., 2012) Yüzey kuvvet ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, düşük dozajlarda PCE moleküllerinin, hidrojen asidi ile konsantre süspansiyonlardaki kaolinit parçacıklarını bağlayarak, bir kaolinit-PCE “ ağı ” nın oluşumuna ve dolayısıyla artan bir süspansiyon viskozitesine yol açabileceğini göstermektedir. Yüksek PCE dozajlarında, kil parçacıkları tamamen adsorbe edilmiş PCE molekülleri arasındaki sterik itme nedeniyle daha dağınık bir kaolinit süspansiyonlarına ve dolayısıyla düşük süspansiyon viskozitesine yol açan PCE molekülleri tarafından kaplanır. Farklı pH değerlerinde değişik tipte tarak tipi PCE içeren kaolinit süspansiyonlarının viskozitesi ve ara yüzey özelliklerinin ölçülmesinden elde edilen bilgiler birçok mühendislik uygulamasının temeli ve endüstriyel proseslerin optimize edilmesini sağlar.

Liu vd. (2017a) çalışmalarında süperplastikleştiricinin kimyasal çeşitliliğini sağlayarak yeni bir yapı ile PCE sentezlemişlerdir. Sentezledikleri PCE’ nin moleküler şeklini optimize etmenin katkısını doğrulamayı amaçlamışlardır. Bu yeni tip PCE, taze çimento esaslı malzemelerde bir reoloji modifiye edici madde olarak kullanılabilir. Yeni bir yıldız şeklinde polikarboksilat süperplastikleştiriciyi (SPCE), basit bir iki aşamalı yöntemle sentezlemişlerdir.(Liu vd., 2017a) Yapısal karakterizasyon için ¹H NMR ve IR ölçümleri kullanmışlardır. Aynı molekül ağırlığına sahip SPCE ve tarak şekilli polikarboksilat (CPCE) tasarlamış ve sentezlemişler. SPCE içeren çimento macunu daha erken akışlarda daha fazla akışkanlık, akışkanlık tutma, su azaltma,% 25 daha düşük doymuş PCE dozu,% 10

daha uzun ayarlama süresi, daha düşük hidrasyon ısısı, daha fazla geciktirilmiş nemlendirme ısısı ve daha az miktarda hidrasyon ürünü sergilediği belirtilmiştir. Ayrıca, SPCE ve CPCE' nin çimento macunlarındaki adsorpsiyon davranışı ve zeta potansiyeli araştırılmış ve daha sonra SPCE' nin çalışma mekanizması teorik olarak açıklanmıştır. Yapının tarak şeklinden yıldız şekline dönüşmesinin, dispersiyon etkisinin optimizasyonunu sağlayabileceği ve çalışma etkinliğini daha da geliştirebileceğini göstermişlerdir.



Şekil 1.7 Çalışma mekanizmasının şematik diyagramı

Liu vd. (2017) çalışmalarında kil ile kirlenmiş betonda ileri malzemelerin araştırılmasında teorik temeli ve teknolojik uygulamayı cazip bir şekilde sağlayan iki umut verici alternatif sunmaktır. Agrega yapısında bulunan killerin neden olduğu zararlı etkiyi en aza indirmek için, PCE moleküler tasarımından teori ve tekniklerin transferine dayanan iki yeni tasarım önerilmiştir.(Liu vd., 2017b) Bunlardan biri Hofmann düzenlemesi ve katyonlaştırma yoluyla, diğeri ise “ilk ve ikinci yan zincir çekimleri ile “yıldız şekilli polikarboksilat (SPCE)” sentezlemişler. Kızılıötesi

Spektroskopisi (IR) ve ^1H NMR sonuçları tasarlanmış yapıları doğrulamışlardır. Bu polimerlerin kil ile kirlenmiş çimento hamuru ve betondaki uygulamaları test edilmiştir. Sonuçlar, tarak şekilli polikarboksilat (CPCE)” ve SPCE' nin dağıtma kapasitelerinin hem çimento macunu hem de betonda kil eklenmesinden daha az etkilendiğini göstermiştir. Adsorpsiyon ve XRD deneyleri, SPCE için daha az zararlı tabaklar arası tutunma ve diğer uygulanabilir PCE' leri korumak için kil ara kat alanında tercihli tutunmayı ortaya çıkarmıştır. Bu ilginç yük karakteristiğini ve “sökme-birleştirmeyi” moleküler düzenlemeyi optimize etmenin, kile karşı mükemmel dirence katkıda bulunabileceğini göstermişlerdir.



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Beton ve Özellikleri

Beton; çimento, su, agrega ve gerektiğinde katkı maddelerinin (mineral, kimyasal, fiber vb.) belirli şartlar ve oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta şekil verilebilen plastik formda olup, zamanla çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonun gelişmesiyle (hidratasyon) sertleşerek mukavemet kazanan, harç fazı ve agregadan oluşan kompozit bir yapı malzemesidir. (Polat vd., 2012)

Çimento, su ve ince agreganın karıştırılması ile elde edilen karışıma harç denir. Harç, iri agrega içermeyen betondur. Çimento ve suyun karıştırılması ile elde edilen çimento hamuru başlangıçta yumuşak ve şekil verilebilir durumdadır. Fakat çimento ve su arasında çok hızlı başlayarak devam eden hidratasyon ile çimento hamuru birkaç saat içerisinde sertleşmeye başlar ve zaman geçtikçe tamamen katılaştır.

İlk hazırlandığı zaman plastik özellik gösterdiği ve şekil verilebildiği andan itibaren katılaştırmanın başladığı zamana kadarki haline taze beton denir. Betonun hidratasyon ile katılaştırmasından sonraki haline ise sertleşmiş beton denir. (Erdoğan, 2013) Çimento, su ve agregaların karıştırılmasıyla elde edilen beton başlangıçta plastik yapıdadır ve birkaç saat içerisinde sertleşmektedir. Sertleşmeye başlayan betonun dayanımı zamanla daha da artmaktadır. Betondaki bu özellikler çimento hamurunun yapısında gerçekleşen hidratasyon reaksiyonunun meydana getirdiği değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Sertleşmiş betonda zamanla oluşabilen büzülme veya sünme deformasyonları gerçekte çimento hamurunda meydana gelen hacim değişiklikleridir. Bu nedenle betonda kullanılan çimentonun özellikleri ve kullanıldığı miktarı, taze betonun özelliklerini, sertleşmiş betonun dayanımını ve ayrıca betonun dayanıklılığını da etkilemektedir.

Betonun özellikleri kullanılan malzemeler tarafından belirlenir. Beton hacminin yaklaşık %75'ini oluşturan agregaların kalitesi ve türü betonun performansını ve dayanımını büyük ölçüde etkilemektedir. Kaliteli ve uygun bir beton için uygun agrega kullanılması gerektiği bilinen bir gerçektir. (Şengül vd., 2003) .

Beton üretiminde iki ana hedef vardır:

- 1) Betonun istenilen kaliteye sahip olması
- 2) İstenilen kalitedeki betonun en ekonomik şekilde üretilebilmesi

Beton yapımında kullanılacak malzemelerin oranlarının belirlenmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli beton özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Taze betonun işlenebilme özelliği ve kıvamı
- Sertleşmiş betondaki basınç dayanımı
- Dayanıklılık
- Birim ağırlık
- Hidratasyon ısısı
- Ekonomi

Taze betonun işlenebilirliği, sertleşmiş betonun basınç dayanımı, dayanıklılığı ve ekonomi her betonun üretiminde göz önüne alınan özelliklerdir. Birim ağırlık ve hidratasyon ısısı yalnızca bazı uygulamalarda önemli olmaktadır. Taze betonun en önemli özelliği işlenebilir olmasıdır. İşlenebilme özelliği, kaliteli beton üretiminin en önemli koşulu sayılabilir. İşlenebilirlik betonun kolayca karılması, taşınabilir, pompalanabilir, kalıplara yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir ve yüzeyinin düzeltilebilir olması şeklinde tanımlanmaktadır.

Betonun işlenebilirlik özelliğine etki eden başlıca faktörler aşağıdaki gibidir.

- Su / çimento oranı : Su / çimento oranı arttırıldıkça taze beton akıcılığı artar. Fakat gereğinden fazla su kullanılması beton işlenebilme özelliğini arttırmasına rağmen diğer olumsuz etkileri nedeniyle fazla kullanımı tercih edilmez.
- Çimento dozajı : Çimento dozajını arttırmak betonun işlenebilme özelliğini de arttırmaktadır. Ancak çimento dozajı teknik ve ekonomik açıdan çok fazla arttırılamaz. Ayrıca çimento dozajı dışında çimento inceliği de beton işlenebilme özelliğini arttırmaktadır.

- Kum : Beton karışımında kullanılan kumun ince kum olması beton işlenebilirliğini arttırmaktadır. İnce kum daha fazla su tutarak karışım içindeki serbest suyu azaltır. Kumun inceliğinin yanı sıra yapısı da işlenebilirlikte önemlidir. Kumun yuvarlak yapıda ve düzgün granül şeklinde olması da işlenebilirlik açısından yararlıdır. Doğal dere kumu, kırma taş ile elde edilen kuma tercih edilmelidir.
- Karışım oranı : Beton karışım oranı iyi ayarlanarak taze betonun işlenebilirlik özelliği artırılabilir. Burada önemli olan çakıl/ kum oranı ve maksimum tane çapıdır. Betonda maksimum tane çapı arttıkça betonun işlenebilirlik özelliği azalmaktadır.
- Kimyasal katkıları : Hava katkısı beton işlenebilirlik özelliğini arttırmaktadır. Bu katkı sayesinde betondaki akışkanlık artar. Betonda segregasyon (ayırışma) ve kuma önemli derecede azalır. Betondaki kuma miktarını azaltmak amacıyla kullanılan su kesici kimyasal katkıları betonun slumpunu düşürmeden su/ çimento oranını azaltmaktadır. Bu katkı kullanılarak su / çimento oranı sabit tutulacak olursa slump değerinin arttığı görülür.
- Sıcaklık : Sıcaklığın yüksek olması taze betonun işlenebilirlik özelliğine olumsuz etki yapar. (Yalçın vd., 2006)

Betonun tanımlanması ve sınıflandırılması basınç dayanımına göre yapılır. Basınç dayanımı, çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan standart deney silindirlerinin 28 gün sonunda, TS 3068'e uygun biçimde test edilmesi ile elde edilir. Beton karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}), standart silindir veya küp şeklindeki kalıplara alınan beton numunesinin basınç dayanımı test sonuçları TS 500 standardında verilen değerlerde ya da bu değerden %10 düşük olma olasılığı ile değerlendirilir. (TSE, 2000) Beton sınıfları ve dayanımları için TS 500 standardında verilen değerler Çizelge 2.1'de aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.1 Beton sınıfları ve dayanımları (Erdoğan, 2015)

Beton Sınıfı	Karakteristik	Eşdeğer Küp	Karakteristik	28 Günlük
	Basınç	(200 mm)	Eksenel	Elastisite
	Dayanımı, f_{ck}	Basınç	Çekme	Modülü, E_c
	MPa	MPa	Dayanımı, f_{ctk}	MPa
C16	16	20	1,4	27 000
C18	18	22	1,5	27 500
C20	20	25	1,6	28 000
C25	25	30	1,8	30 000
C30	30	37	1,9	32 000
C35	35	45	2,1	33 000
C40	40	50	2,2	34 000
C45	45	55	2,3	36 000
C50	50	60	2,5	37 000

Beton üretiminde kullanılan maddeler agregalar, çimento, kimyasal beton katkı maddeleri ve su olmak üzere başlıca 4 gruba ayrılmaktadır.

2.1.1 Agregalar

Agregalar, beton yapımında su ve çimento ile birlikte kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi taneli malzemelerden oluşmaktadır. Beton hacminin % 60-80'ini oluşturan mineral kökenli, taneli malzemedir. Beton agregaları için en küçük boyut 0.06 mm'dir. 60 μ m ile 2 μ m arasındaki taneli malzeme "silt", 2 μ m'den ince malzeme "kil" olarak tanımlanır. Beton literatüründe kabaca 4.75 mm'den küçük ince taneli malzemeye "ince agrega" veya sadece "kum" denilir. "İri agrega" ise 4.75 mm ile en büyük boyut $d_{mak} = 40$ mm-betonarme betonu- arasındaki taneli malzemeyi tanımlar. (Arıoğlu vd., 2006)

Beton yapımında kullanılan temel malzemeler çimento, su ve agregadır. Bu maddeler arasında maliyeti en yüksek olanı çimentodur. Agreganın maliyeti çimento maliyetinden daha düşüktür. Beton kalitesini etkilemeyecek şekilde agrega miktarının

arttırılması beton maliyetini düşürmektedir. Ayrıca beton yapımında agrega kullanılması teknik özelliklere de olumlu katkı sağlamaktadır. Agreganın sağladığı bu teknik faydalar aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Çimento hamuru zamanla kuruyup büzülen bir malzemedir. Agrega taneleri çimento hamurunun zamanla gösterebileceği büzülme ve hacim değişikliğini önemli ölçüde engellemektedir. Bu nedenle betonda oluşabilecek çatlaklar da önemli ölçüde azalmaktadır.
- Agregalar, genellikle sert ve dayanımı yüksek olan malzemelerdir. Agreganın sahip olduğu yüksek dayanım beton dayanımının da yüksek olmasına ve aşınmaya karşı dirençli olmasına katkı sağlamaktadır. (Primel vd., 2000)

Genel olarak beton agregalarından beklenen bazı özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Harçtan en ekonomik şekilde yararlanılacak granül şekle sahip olmalı,
- Suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı,
- Çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli,
- Sert ve sağlam olmalı, su ile zararlı kimyasal bileşikler oluşturmamalı,
- Kimyasal olarak zararlı maddelerle ve kille sarılı bulunmamalı,
- Çimentonun bağlayıcı özelliğine zarar vermemeli, (Primel vd., 2000 ; Şengül vd., 2003)

Ayrıca beton üretiminde kullanılacak maddelerin karışım oranlarının hesaplanmasında bilinmesi gereken agrega özellikleri de aşağıdaki gibidir.

- Gradasyon
- Agreganın su emme kapasitesi, agregadaki su durumu
- Maksimum tane boyutu
- Birim ağırlık
- Özgül ağırlık

Agregaların Sınıflandırılması; Agregalar dokuz farklı yöntemle sınıflandırılmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibidir.

- 1) Kaynağına göre : Doğal, yapay

Doğal agregalar ; Deniz ve göl kıyılarında, nehir yataklarında doğal olaylar sonucu oluşan kum ve çakıl gibi agregalardır.

Yapay agregalar ; Taş ocaklarından çıkarılan kayaların kırılıp elenmesi ile elde edilen kırma taşlardır. Ayrıca pişmiş kil, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu vb. endüstriyel işlemlerde yan ürün olarak elde edilen taneli malzemeler de yapay agrega olarak kullanılabilir.

2) Özgül ağırlıklarına göre : Normal, hafif, ağır

Normal agregaların özgül ağırlıkları 2,4 - 2,8 arasındadır. Özgül ağırlığı 2,4 den daha düşük olan agregalara hafif, özgül ağırlığı 2,8 den daha büyük agregalar ise ağır agrega olarak tanımlanmaktadır. (Popovics, 1979 ; Erdoğan, 1995)

3) Tane büyüklüğüne göre : İri, ince

Göz açıklığı 4 mm olan elek üzerinde kalan ve en büyük tane boyutu 63 mm'den büyük olmayan agrega iri agrega, 0,25 – 4 mm göz açıklığı arasındaki elekler arasında kalan agrega ise ince agrega olarak tanımlanmaktadır. (TSE, 2003)

4) Tane şekline göre : Yuvarlak, köşeli, yassı, uzun

Agrega tanelerinin yapısı küresel veya küresel şekle yakın agregalar yuvarlak agrega olarak tanımlanmaktadır. Genellikle nehir yataklarından elde edilen agregalar bu şekle sahiptir.

Tane yapısı üzerinde keskin çıkıntıları olan keskin yüzeyle agregalar köşeli agregalar olarak tanımlanmaktadır. Kırma taşlardan elde edilen agregalar köşelidir.

Yassı veya uzun agregalarda ise agrega tanesindeki en küçük boyut ile en büyük boyut arasındaki fark büyüktür.

5) Yüzey dokusuna göre : Düzgün, granüler, pürüzlü, kristalli petekli

6) Elde edilme şekline göre : Doğal , yan ürün, ısı işleme tabi tutulmuş

7) Jeolojik yapılarına göre : Volkanik, tortul, metamorfik

8) Mineralojik yapılarına göre: Silisli, karbonatlı, mikalı, vb.

9) Reaktif özelliklerine göre : Reaktif, reaktif olmayan. (Erdoğan, 2013).

2.1.2 Çimento

Çimento betonun en önemli hammaddesidir. Kalkerli ve killi maddelerin belirli oranlarda karıştırılıp ortalama 1400-1500 °C sıcaklıkta pişirilip çok az miktarda

alçıtaşı ile öğütülmesi ile portland çimentosu üretilmektedir. Çimentonun en önemli özelliği hidrolik bağlayıcı olmasıdır. Su altında sertleşebilen ve suda erimeyen bağlayıcı özelliğe sahip maddeler hidrolik bağlayıcı olarak tanımlanmaktadır. Portland çimentosu genellikle gri renktedir. Bu renk portland çimentosunda çok az miktarda bulunan demir oksitten kaynaklanmaktadır. Kalkerli ve killi hammaddelerde demir oksit ve mangan oksit bulunmaması halinde elde edilen çimento beyaz veya beyaza yakın renkte olmaktadır.

Portland çimentosu oldukça ince yapıya sahiptir. Tanelerin boyutları 1-200 µm arasında değişmektedir. Özgül ağırlığı ise 3.10 – 3.15 arasındadır. Torbalanmış çimentonun birim ağırlığı 1.5 t/m³ civarındadır.

Çimento ve su bir araya geldiği andan itibaren bu iki madde arasında hidrasyon adı verilen kimyasal reaksiyon başlamakta ve devam etmektedir. Başlangıçta yumuşak plastik durumda olan çimento hamuru zamanla daha az plastik duruma gelmekte daha sonra katılaşır ve sertleşmektedir. Çimento hamurunun sertleşip şekil verilemez duruma gelmesine priz alma denilmektedir. Çimento hamurunun sertleşmesinden sonraki durumuna ise sertleşmiş çimento hamuru denilmektedir. (ACI, 2000 ; Yalçın vd., 2006)Çimento hamurundaki su ve çimento arasındaki kimyasal reaksiyonlar nemlilik ve sıcaklık uygun olduğu sürece devam etmekte ve dayanım miktarında artışa sebep olmaktadır. Çimento hamurunun katılaşma ve dayanım kazanma hızı çimentonun ana bileşenleri ile su arasındaki kimyasal reaksiyonun hızına ve reaksiyonun gerçekleşme oranına bağlıdır. Bu durum ise çimentoyu oluşturan ana bileşenlerin oranlarına, çimento tanelerinin inceliğine, reaksiyon ortamındaki nemlilik ve sıcaklığın ne kadar uygun olduğuna bağlı olarak değişmektedir.

Priz başlama süresi, çimentoyla suyun birleştiği andan çimento hamurunun katılaşmaya başladığı an arasında geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Priz sona erme süresi ise çimento ve suyun birleştiği andan çimento hamurunun katılaşığı an arasında geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Çimentoların priz alma süreleri ile ilgili olarak priz başlama süresinin çok kısa olmaması ve priz sona erme süresinin çok

uzun olması istenmektedir. Türkiye’de üretilen portland çimentoları için priz başlama süresi minimum 1 saat ve priz sona erme süresi maksimum 10 saattir. ASTM standartlarına göre ise priz başlama süresi minimum 45 dak priz sona erme süresi ise maksimum 375 dak olarak belirtilmiştir. (ASTM, 1994)

Çimentonun priz sürelerinin belirlenmesinde çimento hamurunun içerisindeki su miktarı sonuçları önemli ölçüde etkiler. Priz sürelerinin tayininde deneylerin standart koşullarda yapılmasını sağlamak için standart kıvam olarak adlandırılan bir kıvamda çimento hamuru hazırlanmaktadır. Standart kıvamda çimento hamuru hazırlamak için çimento ağırlığının yaklaşık % 25 - % 30’u kadar su kullanılmaktadır.

2.1.3 Kimyasal beton katkı maddeleri

Katkı maddeleri, taze ve/veya sertleşmiş betonun bazı özelliklerini değiştirmek amacıyla, beton temel malzemeleri (çimento, agrega, su) karılma işleminden hemen önce veya karılma işlemi sırasında beton karışımına çimento kütlelerinin %5’ inden fazla olmayacak kadar eklenen malzemelere ‘kimyasal beton katkı maddesi’ denilmektedir. (Whiting, 1979 ; TSE, 2002b)

Lifli beton üretiminde kullanılan çelik veya cam lifler ya da polivinil asetat, polivinil klorür gibi polimer lateksler beton katkı maddesi tanımının dışındadır. (ACI, 1994, 2000). Katkılı çimento üretiminde veya hava sürükleyici çimento üretiminde kullanılan katkı maddeleri kimyasal beton katkı maddeleri tanımındaki karma işleminden hemen önce veya karma işlemi sırasında eklenme şartına uymamasından dolayı beton katkı maddesi olarak tanımlanmamaktadır.

Beton katkı maddeleri taze ve sertleşmiş betonun bazı özelliklerini değiştirerek beton kalitesini arttırabilmek ve/veya betonun daha ekonomik üretilmesini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Beton katkı maddeleri kullanım amaçlarına göre 8 ana grup altında incelenebilir.

- 1) Su azaltıcı / akışkanlaştırıcı

- 2) Süper akışkanlaştırıcı
- 3) Betonda hava olmasını sağlayan
- 4) Priz hızlandırıcı
- 5) Priz geciktirici
- 6) Betondaki geçirgenliği azaltıcı
- 7) Çok amaçlı
- 8) Hava sürükleyici katkıları olarak gruplandırılır.

1) Su azaltıcı / akışkanlaştırıcı katkıları: Bir beton karışımında kullanılan su miktarını azaltıp, betonun kıvamında değişikliğe neden olmayan, su miktarını değiştirmeden slumpı arttıran veya bu iki etkiyi birlikte yapabilen kimyasal katkılarıdır. Bu katkıları çimento tanecikleri arasındaki çekim kuvvetlerini azaltan ve betonun akışkanlık özelliğini arttıran yüzey aktif maddelerdir. Bu maddeler sıvıların yüzey gerilimini düşüren aktif bileşikler oluşturur ve çimento taneleri tarafından adsorbe edilir ve çimento tanelerinin (+) ve (-) elektrikle yüklenmesini sağlar. Yüzey aktif maddeler uzun molekül zincir yapısına sahip organik bileşiklerdir. Bu maddelerin bir ucunda hidrofilik (suyu çeken) grup, diğer ucunda hidrofobik (suyu iten) grupları bulunmaktadır. Hidrofilik grupları SO^{-3} ve $R-COO^{-}$ gibi polar yapıda gruplarıdır. Bu yüzey aktif maddeler bir uçlarındaki polar grup ile suyu bağlarken diğer uçlarında bulunan hidrofobik grupları suyu iterek hava boşluğu oluştururlar. Bu grupları (-) yüklü uçları çimento partiküllerine bağlanırken diğer uçlarında ise hava kabarcıkları toplanır. Böylece suyun çimento partiküllerine yaklaşması önlenmiş olur. Hidroksillenmiş karboksilik asit, lignosülfonik asit, polisakkaritler gibi yüzey aktif maddeler bu mekanizma ile çimento tanecikleri arasında hava kabarcıkları oluşmasını sağlayarak betonun işlenebilirlik özelliğini arttırıcı ve kullanılacak su miktarını azaltıcı rol oynarlar.

Bu etkiler hidrasyon kinetiğini hızlandırır ve betonun akışkanlığı, işlenebilirlik özelliğini arttırır. Katkı maddesi kullanımı ile kullanılacak su miktarında % 5 – 15 arasında bir azalma sağlanabilir. Böylelikle sertleşmiş betonun basınç dayanımının büyük ölçüde artması sağlanmış olur.

2) Süper akışkanlaştırıcı katkılar: Bu katkılar su azaltıcı / akışkanlaştırıcı katkılara göre 3-4 kat daha fazla su azaltma etkisine sahip genel adlandırmaları PCE olan katkı maddeleridir. Süper akışkanlaştırıcı PCE kopolimerleri, yüksek molekül ağırlıklı, negatif yüklü omurga ve aşılınmış yan zincirlerden, tipik olarak PEO'dan oluşur. (Yoshioka vd., 1997 ; Keller vd., 2013) PEO yan zincirleri suda asılı çimento partikülleri arasında sterik bir engel yaratır (Li vd., 2005 ; Lei vd., 2012). Bu eşsiz mekanizmayla PCE süper akışkanlaştırıcılar polikondensatlara kıyasla üstün dağılma kuvveti sergiler. PCE moleküllerinin kolaylıkla ayarlanabilen yapısal parametreleri olduğu için, PCE' ler uzun süre çökmelerden koruyabilme (>2 saat) , yüksek akış hızı (Saratto kan etkisi) ve çok düşük su/çimento oranlarında (w/c 0,25) etkinlik gibi birçok farklı amaca uygundur. (Lei vd., 2012) PCE' ler kullanım amacına göre su azaltıcı ve kıvam koruyucu olarak iki gruba ayrılır.

3) Betonda hava olmasını sağlayan katkılar: Hava katkı maddeleri genel olarak yüzey aktif maddelerden oluşmaktadır. Betonun karılması esnasında betona eklenen çimento miktarının ortalama % 0,05'i kadar katılmasıyla mikro hava kabarcıklarının oluşumunu ve bunların düzenli bir şekilde dağılmasını sağlamaktadırlar. Bu katkı maddesi hava kabarcıklarının sayısını arttırırken çaplarının da küçülmesini sağlar.

Beton hava katkı maddeleri betonda işlenebilirlik, kıvam koruma, ayrışmanın azalması, dona dayanıklılık özelliklerinde olumlu etkilere neden olup beton kalitesini arttırmaktadır. Hava katkı maddesinin miktarı ile betonda oluşan hava kabarcıklarının miktarı orantılıdır. Bu katkı maddesi hava kabarcıklarının artmasını sağlarken katkı miktarı ile orantılı olarak betondaki basınç dayanımını azaltmaktadır.

4) Priz hızlandırıcı katkılar: Priz hızlandırıcı katkılar çimento su ile birleştiğinde başlayan hidratasyon reaksiyonunun hızını arttırarak priz alma süresini kısaltırlar. Priz hızlandırıcı katkılar aynı zamanda beton erken dayanımını olumlu yönde etkiler. Ayrıca priz hızlandırıcılar soğuk havalarda beton dökülürken hidratasyon reaksiyonunun yavaşlamasını önlemek, beton dökülen kalıpların erken sökülmesi

gereken durumlarda, betonun kürlenme süresinin kısaltılması amacıyla da kullanılmaktadır. Ancak priz hızlandırıcı katkı maddelerinin en büyük dezavantajı ise betonun nihai basınç dayanımının azalmasına neden olmaktadır. Priz hızlandırıcı olarak en çok kullanılan madde kalsiyum klorürdür.

5) Priz geciktirici katkıları: Priz geciktirici katkıları çimento su ile birleştiğinde başlayan hidrasyon reaksiyonunun hızını azaltarak priz alma süresinin uzamasını sağlarlar. Priz geciktirici katkıların az miktarda kullanımı, kendilerinin reaksiyona katılmaması, reaksiyon hızını yavaşlatması bu katkıların ortak özellikleridir.

Ligno sülfonatlar, organik asitler, karboksilik asit tuzları, şeker, nişasta, selüloz gibi karbonhidratlar, fosforik ve hümik asit priz geciktirici katkılarda kullanılan başlıca maddeleridir.

Priz geciktirici katkıları betonda 1 ve 2 günlük basınç dayanımlarında azalmalara neden olurken 28 günlük dayanımları katkısız betona kıyasla daha fazla olabilmektedir.

6) Betondaki geçirgenliği azaltıcı katkıları: Bu beton katkıları taze betona eklendiklerinde sertleşmiş betondaki su geçirgenliğini azaltmaktadır. Bu katkı maddelerinin üretiminde ince öğütülmüş bentonit, kaolin, kireç taşı tozu, diatom toprağı, uçucu kül, puzolonik maddeler kullanılabilir. Bu maddeler geçirimsizlik sağlarken sertleşmiş betondaki basınç dayanımını da arttırmaktadır.

7) Çok amaçlı katkıları: Beton karışımı içine katıldıklarında beton özelliklerinden iki veya daha fazlasını etkileyen katkı maddeleridir. Bu katkı maddelerinde genellikle öncelikli su azaltıcı, akışkanlaştırıcı özellikler bir arada bulunurken bazı katkılarda bunların yanında ayrıca priz geciktirme veya priz alma hızını arttıran özellikler de bulunmaktadır.

8) Hava sürükleyici katkıları: Hava sürükleyici katkıların yapımında en çok kullanılan madde çam kütüğünden elde edilen vinsol reçinesidir. Ayrıca sentetik

deterjanlar, ligno sülfonatlar, petrol asitleri tuzları, yağlı ve reçineli asitler kullanılmaktadır.

Bu maddeler sayesinde beton içine sürüklenmiş hava taze betonda akışkanlık, su azaltıcı, ayrışma ve terlemeyi önleyici etki yaparken, sertleşmiş betonda donma çözülme dayanıklılığı, buz çözme amaçlı kullanılan çeşitli klorürlü tuzlara karşı beton dayanıklılığını arttırmaktadır ancak, hava boşluklarının miktarının artması basınç dayanımının azalmasına neden olur. (Shetty 2000 ; Yalçın vd., 2006)

2.1.4 Su

Beton üretiminde, su üç farklı amaç için karma suyu, kür suyu, yıkama suyu olarak kullanılmaktadır.

Karma suyu; çimento ve agrega ile birlikte beton üretimini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Beton üretiminde kullanılan suyun iki önemli görevi bulunmaktadır. Çimento ile birleşerek hidrasyon reaksiyonunun gerçekleşmesini sağlamak ve betonun karılma işleminde agrega ve çimento yüzeyini ıslatıp taze betona işlenebilirlik sağlamasıdır.

Beton karışımında kullanılacak karma suyunun miktarı ve kalitesi beton kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Karma suyunda istenmeyen maddelerin olması hidrasyon reaksiyon hızını ve verimliliğini etkilemektedir. Buna bağlı olarak taze betonun priz alma süresi , sertleşmiş betonda ise basınç dayanımı etkilenmektedir. Ayrıca betonarme yapılarda yer alan demir parçalarda daha kolay ve daha çok korozyona neden olabilmektedir. (Erdoğan, 2015)

Çizelge 2.2 Beton karma suyunda bulunabilecek yabancı maddelerin kabul edilebilir miktarları (Erdoğan, 2015)

Yabancı Madde	Maksimum Konsantrasyon
Kil, silt gibi katı maddeler	0.2
Yağ	Çimento ağırlığının % 2' si
Yosunlu maddeler	% 0.05-0.1
Şeker	% 0.05
Kalsiyum, magnezyum bikarbonatlar	% 0.04
Alkali karbonatlar ve bikarbonatlar	% 0.1
Kalsiyum klorür	Çimento ağırlığının % 2' si
Sodyum klorür	% 2.0
Magnezyum klorür	% 4.0
Sodyum sülfat	% 1.0
Magnezyum sülfat	% 4.0
Fosfat, arsenat, borat	% 0.05
Demir tuzları	% 4.0
Hidroklorik ve sülfürik asitler	% 1.0
Sodyum hidroksit	Çimento ağırlığının % 0.5' i
Potasyum hidroksit	Çimento ağırlığının % 1.2' si

Kür suyu; Betonda istenilen dayanım /dayanıklılığı elde edebilmek, hidrasyon reaksiyonunun devam edebilmesi ve taze beton içindeki suyun buharlaşarak azalmaması için taze betona çeşitli kür yöntemleri uygulanmaktadır. Kür suyunun içinde betonda zararlı kimyasal olaylara neden olacak veya beton üzerinde lekelere neden olabilecek yabancı maddeler içermemesi gerekmektedir.

Yıkama suyu; Beton yapımında kullanılacak agregalarda kil, silt, organik maddeler gibi beton özelliklerini olumsuz etkileyecek maddelerin agregadan ayrılması amacıyla yıkama işlemi yapılmaktadır. Yıkama işleminin yapılacağı su içinde fazla miktarda yabancı madde bulunması halinde, agreganın taneleri kurduktan sonra bu

yabancı maddeler agregaya ile beton karışımı içerisinde girip betona zararlı olabilmektedir. (Erdoğan, 2015)

2.2 Beton Hazırlamada Kullanılan Agregaya Deneyleri

Beton hazırlığında kullanılan agregaya deneyleri aşağıdaki gibidir.

- 1) Elek Analizi ve Gradasyon
- 2) Özgül ağırlık ve yüzde su emme kapasitesi deneyi
- 3) İnce agregada metilen mavisi deneyi

1) Elek Analizi ve Gradasyon:

Agregaya içerisindeki tanelerin boyutlarına göre dağılımı gradasyon veya granülometri olarak tanımlanır. Gradasyonun belirlenmesinde agregaya içindeki taneler, tane büyüklüklerine göre gruplara ayrılır. Tane büyüklüklerine göre ayrılan her grup agreganın toplam ağırlıkları bulunarak tüm agregaya numunesi içinde ne oranda buldukları belirlenir.

Agregaya numunesinin farklı tane büyüklüklerine sahip olması sabit hacim içinde yer alan boşlukların azalmasına, doluluk oranının artmasına neden olmaktadır. İyi gradasyona ve yüksek yoğunluğa sahip agregaya ile yapılan beton, daha yüksek dayanımlı ve daha düşük maliyetli beton elde edilmesini sağlamaktadır. Beton üretimi için hesaplamalarda iki ana hedef vardır. Bunlardan birincisi betonun 28. günde istenen minimum basınç dayanımını göstermesidir. İkincisi ise taze betonun ayrışmadan kolayca karılabilir, yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir yani işlenebilir olmasıdır.

Elek analizinde standartlara uygun elek serisi kullanılmaktadır. Eleklerde bulunan deliklerin şekli kare ise göz açıklığı, deliklerin şekli daire ise delik açıklığı olarak tanımlanmaktadır. Delik yapısı kare olanlarda kenar boyutu, daire şekilli olanlarda çap boyutu olarak verilmektedir. En büyük göz açıklığı olan elek en üstte, en küçük göz açıklığı olan elek en altta olacak şekilde sırayla dizilir ve en altta en ince tozları toplayacak kap yerleştirilmektedir. Göz açıklığı en büyük olan eleğe agregaya konulur

ve eleme işlemi gerçekleştirilir. Her bir elek üzerindeki agrega miktarı tartılıp her biri için yüzde miktar hesaplaması yapılmaktadır. (TSE, 1985 ; Erdoğan, 1995 ; TSE, 1999)



Şekil 2.1 Elek analizi deney seti

2) Özgül Ağırlık ve Yüzde Su Emme Kapasitesi Deneyi:

Agrega yüzeyinde farklı gözenek ve boşluklar bulunmaktadır. Bunlardan ilki agrega içinde olup yüzey çatlakları veya yüzeydeki boşluklarla bağlantılı su geçirgen boşluklardır. Bu boşluklara su giriş çıkışı olmaktadır. Diğeri ise agrega iç yapısında olan boşlukların yüzeye bağlantısı olmayan boşluklardır. Bu boşluklar su geçirimsiz boşluklar olarak tanımlanır ve bu boşluklara su girememektedir. Agregalar içerdikleri su miktarına göre 4 farklı şekilde tanımlanmaktadır.

- a) Tamamen kuru durum (Etüv kuru) : Agreganın su geçirgen gözeneklerinde hiç su yoktur. Agreganın tamamen kuru duruma getirilmesi için agrega numunesi tartılır 110 °C sıcaklıktaki etüvde bir gece bekletilmesi ve sabit tartıma getirilmesi ile sağlanmaktadır.
- b) Hava kuru durum : Agreganın su geçirgen gözeneklerinin kısmen su ile dolu olduğu ve agrega tanelerinin yüzeylerinin kuru olduğu durumdur.
- c) Doygun, yüzey kuru durum (dyk) : Agregada tanelerindeki su geçirgen gözeneklerin tamamen su ile dolu ve agrega tanelerinin yüzeylerinin kuru olduğu durumdur. Agreganın doymuş, yüzey kuru hale getirilmesi için

öncelikle agregaya tartılır ve 24 saat su içerisinde bekletilir ve doymuş hale getirilir. Daha sonra sudan çıkarılan agregaya taneleri yüzeyinde su kalmayacak şekilde yüzey kurutulur. Kurutma işlemi için farklı yöntemler kullanılabilir. Agregaya numunesi bir tava içerisine yayılarak tablalı ısıtıcı üzerinde veya vantilatör kullanarak numune karıştırılıp yüzeyin tamamen kurumaya sağlanır. (TSE, 1980 ; ASTM, 2015a)

- d) Islak durum : Agregaya tanelerindeki su geçirgen gözeneklerin tamamen su ile dolu ayrıca agregaya tanelerinin yüzeyinde de su filmi vardır.

Beton yapımında kullanılacak olan agreganın su emme kapasitesinin belirlenmesi için agregaya yığınının temsil eden numune alınmalıdır. Tamamen kuru durumdaki agreganın emebileceği maksimum su miktarı su emme kapasitesi olarak tanımlanmakta ve yüzde olarak hesaplanmaktadır. (TSE, 1980)

$$\% \text{ Su emme kapasitesi} = \frac{W_{dyk} - W_k}{W_k} \times 100$$

W_{dyk}: Doymuş, yüzey kuru agregaya ağırlığı

W_k: Tamamen kuru agregaya ağırlığı

3) İnce Agregada Metilen Mavisini Deneyi:

Türk Standartlarına göre, tane büyüklüğü 0,063 mm den az olan maddeler ince madde olarak tanımlanmaktadır. (TSE, 2010) Bu tür maddeler Türk standartlarında çok ince maddeler olarak anılmaktadır. İnce agregaya içerisindeki kil, silt, taşunu gibi maddelerin beton üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Türk standartlarına göre ince agregadaki toplam çok ince madde miktarı % 3'ten az olmalıdır.

2.3 Beton Deneyleri

Beton deneyleri aşağıdaki gibidir.

- 1) Taze betonun kıvamı (Slump deneyi)
- 2) Sertleşmiş betonda mukavemet (Basınç dayanımı deneyi)

1) Taze Betonun Kıvamı (Slump deneyi):

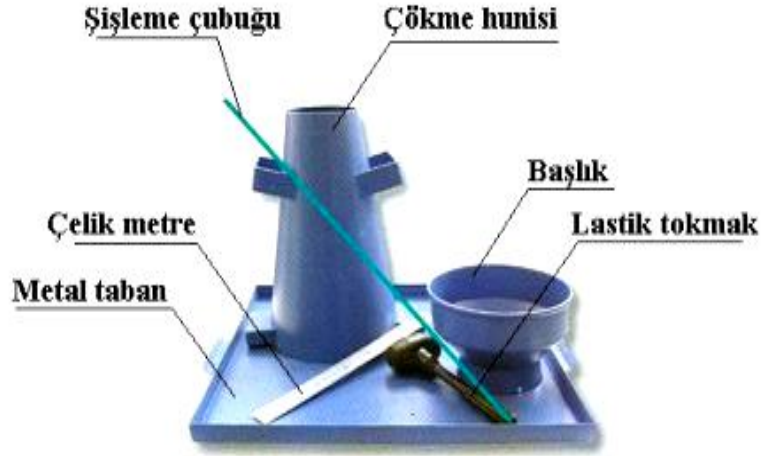
Taze betonun işlenebilirliği bazı özelliklerine bakılarak anlaşılabilir. Kolay karılabilmesi, ayrışma olmaması, kolay yerleştirilmesi, sıkıştırılabilmesi, yüzeyin düzeltilebilmesi, pompalanabilir olması gibi özelliklerin tamamı işlenebilirlik veya işlenebilirlik olarak tanımlanmaktadır.

Taze betonun kıvamını ve işlenebilirliğini sayısal olarak belirleyebilmek amacıyla çeşitli deneyler yapılmaktadır.

- a) Slump-çökme deneyi
- b) Sıkıştırma faktörü
- c) Ve-Be kıvam ölçer
- d) Sarsma tablası

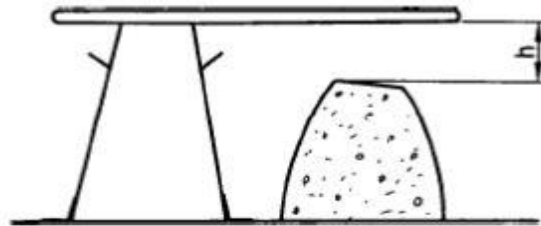
Ancak bu deneylerden hiçbiri tek başına betonun kolay karılabilmesi, akıcı olması, ayrışma olmaması, kolay yerleştirilmesi, sıkıştırılabilmesi, yüzeyin düzeltilebilmesi, pompalanabilir olması gibi özelliklerin tamamı hakkında bilgi veremez. Bu deney sonuçları ile taze betonun görünümünde ayrışma olup olmaması, akıcılığı kıvam koruması gözlemlenerek değerlendirilmelidir.

Slump- çökme deneyi Şekil 2.3'teki deney seti ile yapılmaktadır. Bu sette metalden yapılmış, kesik koni şeklinde, iki ucu açık, alt çapı 20 cm, üst çapı 10 cm, yüksekliği 30cm olan huni, huniye konulan taze betonu şişlemek için kullanılan 60 cm uzunluğunda, 1,6 cm çapında ucu yuvarlatılmış çelik çubuk, metal cetvel ve huninin altında bulunan tabladan oluşmaktadır.



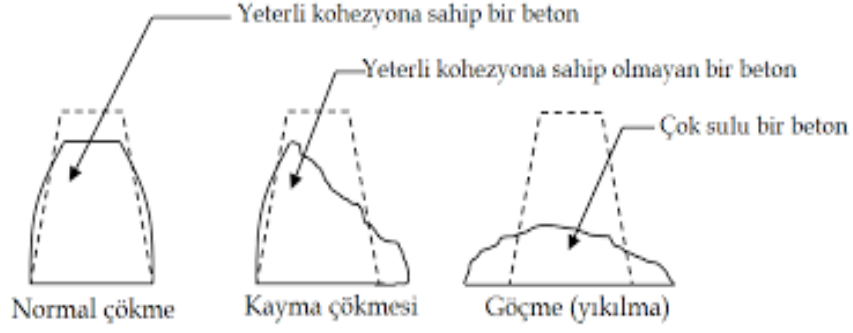
Şekil 2.2 Slump-Çökme deney seti

Slump deneyine başlamadan önce huninin içi nemli bir bezle silinir ve huni tablanın ortasına yerleştirilir. Huninin iki yanında bulunan çıkıntılara basılarak huninin 1/3'ü taze beton ile doldurulup şişleme çubuğu ile 25 kere şişlenir, huninin 1/3'kadar taze beton eklenip yine 25 kere şişlenir ve huni tamamen taze beton ile doldurulur 25 kere şişlendikten sonra huninin üst kısmında bulunan ağız kısmı alınıp beton yüzeyi şişleme çubuğu veya mala ile düzleştirilir. Bu işlemlerden sonra huni yandaki kulplardan tutulup düşey olarak yavaşça çekilir. Slump hunisi çöken betonun hemen yanına konular ve şişleme çubuğu üstüne konularak betondaki çökme mesafesi yüksekliği cetvel ile ölçülür. Bu değer slump-çökme değeri olarak tanımlanır. (TSE, 2002c ; ASTM, 2015b)



Şekil 2.3 Slump – çökme değerinin ölçülmesi

Taze betonun yapısına bağı olarak betondaki çökme farklı şekillerde olabilir.



Şekil 2.4 Taze betonun çökme şekilleri

Normal çökme; betonun şekli fazla bozulmadan ve kırılma olmadan meydana gelen betonun üst yüzeyinde hemen hemen aynı seviyede olan çökme şeklidir.

Kayma çökmesi; beton kütlesi bir yanda çok az, diğer yanında fazla olan çökme şeklidir. Bu tarz çökme şekli betonun yeterli kohezyona sahip olmadığını göstermektedir. Genellikle kayma çökmesi olan betonun yerleştirilebilirlik özelliğinin iyi olmadığını göstermektedir.

Tamamen çökme; Genellikle betonun çok sulu olduğunu, betonda çok az miktarda çimento kullanıldığını göstermektedir. (Erdoğan, 2015)

Değişik agrega ve malzeme oranları kullanılarak hazırlanmış iki farklı betondaki slump değerinin aynı olması iki betonun da işlenebilirliğinin aynı olduğunu göstermemektedir. Bu nedenle çökme hunisi çekildikten sonra çöken betonun yan tarafı şişleme çubuğu hafifçe dövülüp betonda dağılma olup olmadığı gözlemlenir. Betonda dağılma oluyorsa betonun yeterli kohezyona sahip olmadığı ve yeteri kadar ince agrega kullanılmadığı anlaşılmaktadır. (TSE, 1985)

Çizelge 2.3 Değişik kıvamlardaki betonların çökme değerleri (Erdoğan, 2015)

Beton Kıvamı	Çökme Değeri (cm)
Aşırı kuru	---
Çok kuru	---
Kuru	0 - 2,5
Kuru – Plastik	2,5 – 5,0
Plastik	7,5 – 10,00
Akıcı	15,0 - 17,5

Slump deneyi ile işlenebilirliğe dair çok önemli bilgi elde edilmektedir. Basit ve uygulama kolaylığından dolayı slump deneyi taze betonun kıvamını belirlemek amacıyla en çok kullanılan yöntemdir. Genellikle aynı slump değerine sahip betonların işlenebilirlik özelliklerinin benzer olduğu ve aynı amaçlar için kullanılacakları kabul edilmiştir. (Erdoğan, 2015)

Çizelge 2.4 Türk Standardına göre betonların çökme değerleri (TSE, 2002a)

Çökme Sınıfı	Çökme Değeri (cm)
S1 (Vibrasyonlu masterlı pist, yol betonları)	1 - 4
S2 (Kalıpsız eğimli çatı , sömel vb. betonlar)	5 - 9
S3 (Bilinçli, bilgili, etkin vibrasyon uygulayabilen şantiyeler)	10 - 15
S4 (Vibratörlü şantiyede genel betonlar)	16 - 21
S5 (vibratörsüz şantiyeler)	≥ 22

TS EN 206-1 nolu standarda göre taze betonun çökme (kıvam) sınıfları Çizelge 2.4 deki gibi sınıflandırılmaktadır (TSE, 2002a). Buradaki kıvam vibrasyon ilişkisi oldukça önemlidir. Kıvam azaldıkça taze betonu yerleştirmek ve sıkıştırmak zorlaşır, kullanılması gereken iş gücü ve enerji miktarı artar. Taze betonun tam sıkıştırılmadığı yerlerde makro ve mikro boyutta boşluklar oluşur. Bu boşluklar sertleşmiş betonda hem basınç dayanımının düşük olmasına hem de dayanımın

azalmasına yol açar. Bu yüzden beton çökme deneylerinde betonun kullanılacağı yere uygun çökme sınıfında beton yapılmalıdır.

2) Sertleşmiş Betonda Mukavemet (Basınç- Basınç Dayanımı Deneyi):

Betondaki basınç dayanımı aksenal basınç yükü altında sertleşmiş betonun kırılmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Betonun basınç dayanımını ölçmek için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler arasında en çok kullanılan standart basınç dayanımı yöntemidir. Bu yöntem standart deney yöntemi olarak da tanımlanmaktadır.

Standart deney yönteminin uygulanmasında silindir veya küp şeklinde standart kalıplar kullanılmaktadır. Silindir şeklindeki kalıbın çapı 15 cm ve yüksekliği 30 cm' dir. Standart silindir kalıplarda boy/çap oranı 2/1'dir. Küp şeklindeki kalıp boyutu standart 15 cm'dir. Standart beton kalıpları plastik, dökme demir veya çelik gibi su emmeyen ve şekil değişikliği göstermeyen malzemeden üretilmiş, iç yüzeyi ve tabanı pürüzsüz olmalıdır. (TSE, 2002d ; ASTM, 2018b, 2018a)



Şekil 2.5 Standart küp ve silindir şeklindeki beton kalıpları

Numunelerin Hazırlanması ve Deneyin Yapılışı: Taze betonun kalıplara yapışmasını önlemek için önce kalıplar çok ince madeni yağ ile ince tabaka yağ filmi ile kaplanmalıdır. Kalıba yerleştirilecek taze beton kalıplara, kalıbın 1/3'ü kadarını kaplayacak kadar konulur ve taze beton 25 defa şişlenir. Bu işlem 3 defa tekrarlanarak kalıplar taze beton ile doldurulur. Lastik tokmak ile kalıbın dış

yüzeyine vurularak, vibratör veya titreşim masası kullanılarak kalıp içinde kalan boşlukların dolması sağlanır. Daha sonra kalıbın yüzeyinde kalan taze beton metal çubukla düzleştirilip kalıbın kenar kısımlarında kalan beton bir bez veya nemli sünger ile temizlenir. Kalıplara alınan numuneler (20 ± 2) °C sıcaklıkta rutubetli ortamda 24 saat priz alması için bekletilir. Süre dolduktan sonra numuneler kalıptan dikkatlice çıkartılır. Numuneler (20 ± 2) °C sıcaklıktaki su içerisinde veya rölatif nemi % 95 olan kür odası veya kür tankında deney süresi dolana kadar bekletilir. Deney günü geldiğinde kür tankından çıkarılan numuneler deney presi kullanılarak kırılmaktadır. Prese küp biçimli numuneler yerleştirilirken yük uygulama yönü beton döküm yönüne dik olacak konumda ve presin alt bloğunun üstünde merkeze yerleştirilmelidir.

Deney presi, numunenin alt ve üst yüzeyine yük uygulayabilecek iki bloktan oluşmaktadır. Alt blok rijit yapıdadır ve numune bu blok üzerinde merkeze yerleştirilmektedir. Üst blok bir yatak üzerine oturtulmuş küresel ve oynak başlıktır. Bu sistem ile üst bloktaki başlık plakasının numune yüzeyine tamamen oturmasını ve yüzeye uygulanan yükün deney süresince yüzeye tamamen dik olarak uygulanmasını sağlamaktadır. Alt ve üst blok yüzeyleri özel olarak sertleştirilmiş pürüzsüz çelikten yapılmıştır.

Beton numunesi alt blok üzerinde merkeze yerleştirildikten sonra deney presi çalıştırılıp alt ve üst başlıkların dik ekseninde birbirlerine yaklaşmaları ve uygulanacak yükün düzgün dağılımlı uygulanması sağlanmaktadır. Numuneye uygulanan yük miktarı deney presi üzerindeki göstergeden okunmaktadır. Beton numunesi kırılıncaya kadar yük uygulama işlemi devam ettirilir ve kırılmaya neden olan yük miktarı belirlenmektedir.

Herhangi bir yaştaki (genellikle 28 günlük) beton numunesinin basınç dayanımını bulabilmek için en az üç adet küp veya silindir numune hazırlanıp kırılma deneyine tabi tutulması gerekmektedir. Her numunenin basınç dayanımı hesaplanıp ortalaması

alınır ve o yaştaki betonun basınç dayanımı bulunur. (Şimşek, 2010 ; TSE, 2012 ; Erdoğan, 2015)

2.4 Polimerizasyon ve Polimerizasyon Yöntemleri

Birbirlerine kovalent bağ ile bağlanarak büyük moleküller oluşturabilen küçük mol kütleli kimyasal maddelere monomer; çok sayıda monomerin kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturduğu iri moleküllere polimer denir. Monomerler polimerizasyon tepkimeleri ile birleşip yüksek molekül ağırlığına sahip ve uzun zincir halindeki polimerlere dönüşür. Bir polimer molekülünde çok sayıda monomer birimi bulunur. Polimerlerin bu tanımdan dolayı onlara makromonomer de denilmektedir.

Polimerler; hafif, ucuz, mekanik özellikleri çoğu kez yeterli, kolay şekillendirilebilen, değişik amaçlarla kullanıma uygun, dekoratif, kimyasal açıdan inert ve korozyona uğramayan maddelerdir. Bu üstün özelliklerinden dolayı yalnız kimyacıların değil; makine, kimya, tekstil, endüstri ve fizik mühendisliği gibi alanlarda çalışanların da ilgisini çeken materyallerdir. Tıp, biyokimya, biyofizik ve moleküler biyoloji açısından da polimerlerin önemi büyüktür. (Saçak, 2004)

Polimerler, farklı kimyasal tepkimeler aracılığıyla sentezlenebilir. Bu tepkimeler işleyiş mekanizmaları bakımından iki ana gruba ayrılmaktadır.

- 1) Basamaklı (Kondenzasyon) Polimerizasyonu
- 2) Katılma Polimerizasyonu

Kondenzasyon polimerizasyonunda fonksiyonel grupları bulunan iki monomer molekülünün aralarından H_2O , HCl , NH_3 gibi küçük bir molekül ayrılarak birleşmesi ile gerçekleşir.

Katılma polimerizasyonunda monomer molekülleri hızla birleşir ve büyümekte olan polimer zincirine monomerler birer birer ve hızla katılmaya devam eder. Hızlı zincir büyümesine bağlı olarak polimerizasyonun tüm aşamalarında polimer ve henüz

tepkimeye girmemiş monomer bulunur. Çoğu katılma polimerizasyonunda radikal oluşumunu sağlamak için başlatıcı olarak tanımlanan kimyasal maddeler kullanılır. Başlatıcının bozunma reaksiyonu ile aktif merkez oluşur. Başlatıcılar bazen polimer zincirine de katılabilir. Bu özelliği ile başlatıcılar katalizörlerden ayrılmaktadır.

Katılma polimerizasyonu radikallerden hariç iyonik aktif merkezler üzerinden de gerçekleşebilir. İyonik katılma polimerizasyonunda zincir büyümesini sağlayan aktif merkezin türüne göre katyonik katılma polimerizasyonu ve anyonik katılma polimerizasyonu olarak iki grupta incelenmektedir.

2.4.1 Kopolimerler ve kopolimerizasyon

Homopolimer, tek çeşit monomer kullanılarak sentezlenen polimerlerdir. Bunlara örnek polistiren, polivinil klorür verilebilir.

Kopolimer, polimer zincirinde kimyasal yapısı farklı birden fazla monomer birimi bulduran polimerlerdir. Bu polimerlere akrilonitril - stiren kopolimeri örnek verilebilir.

Kopolimerleri oluşturan kimyasal yapıları farklı iki monomer polimer zincirinde monomerlerin diziliş şekillerine bağlı olarak rastgele, ardışık, blok ve aşırı kopolimeri oluşturabilir.

$-M_1-M_2-M_2-M_1-M_1-M_1-M_2-M_1$ Rastgele Kopolimer

$-M_1-M_2-M_1-M_2-M_1-M_2-M_1-M_2$ Ardışık Kopolimer

$-M_1-M_1-M_1-M_1-M_2-M_2-M_2-M_2$ Blok Kopolimer

$-M_1 - M_1 - M_1 - M_1$
|
 M_2
|
 M_2 Aşırı Kopolimer

Radikalik Kopolimerizasyon; Radikalik kopolimerizasyona uygun iki farklı monomerin iyonlaştırıcı ışınlarla ışınlanması, elektroliz edilmesi veya radikalik başlatıcıların eklenmesi ile kopolimer elde edilmesi olarak tanımlanmaktadır.

İyonik Kopolimerizasyon; İyonik polimerizasyon monomer türü açısından seçici yapıya sahip olması nedeniyle bu yöntemle kopolimer oluşturabilen monomer çifti oldukça azdır.

Blok Kopolimerizasyonu; Farklı monomerlerden oluşan homopolimerik bloklar ana zincir üzerinde birleşerek blok kopolimeri oluştururlar. Doğal blok kopolimere rastlanmamıştır. Blok kopolimerler mekanik öğütme, iyonlaştırıcı ışınlar, UV ışınlar kullanılarak üretilir.

Aşılı Kopolimerizasyonu; Aşılı kopolimerleri bir polimer ana zincirinin uç kısmından farklı bir yere başka bir polimer zincirinin bağlanması ile oluşan kopolimerlerdir. Çoğu aşılı kopolimerleri radikal zincir polimerleşmesi ile meydana gelmektedir. Asıl aktifleşme tepkimesi polimere zincir transferi ile gerçekleşmektedir. Önemli bir ticari uygulama ABS reçinelerinin üretiminde stiren veya stiren – akrilonitril kopolimerlerinin butadien veya akrilonitril – butadien kopolimeri üzerine aşılmasıdır. Ayrıca iyonlaştırıcı ışınlar, UV ışınlar, redoks başlatıcıları da aşılı kopolimerlerinin üretiminde kullanılan diğer yöntemlerdir. (Carragher, 2003 ; Saçak, 2004)

2.5 Polikarboksilat (PCE)

Beton katkılarında PCE süper akışkanlaştırıcılar farklı kimyasal yapıları sayesinde çok daha düşük su-çimento oranı, kolay işlenebilirlik, kıvam koruma, yüksek segregasyon direnci, yüksek dayanım, yüksek akışkanlığa sahip beton üretilmesi, çevre dostu olmaları, kimyasal ve performans özelliklerinin kolay modifiye edilmeleri, kalıp alma süresini kısaltarak inşaat hızının artmasını, ve daha uzun süre servis ömrü olan betonların daha düşük maliyet ile üretilmesini sağlamaları

nedeniyle son derece popüler hale gelmiştir. (Mehta, 1999 ; Yamada vd., 2000). Günümüzde farklı özelliklere sahip PCE esaslı beton katkıları üretilmektedir. Bu katkıları sağladığı olumlu etkilerin yanı sıra beton karışımlarında olumsuz etkilerin oluşmasına da neden olabilmektedir. Taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini etkileyen parametreler kullanılan çimento, PCE, malzemelerin karışım oranı, sıcaklık gibi faktörlerden oluşmaktadır. Çimentodan kaynaklanan faktörler, çimentonun ana bileşenlerinin miktarı ile kimyasal bileşenlerinin yapısı (C_3A ve C_4AF miktarı ve C_3A 'nın kristal yapısı), çimento tanelerinin boyutu, klinkere eklenen alçının türü, çimentodaki alkali ve alçı miktarına bağlı olabilmektedir. (Roberts, 1995 ; Ramachandran vd., 1998 ; Jiang vd., 1999). PCE' ye bağlı etkenler ise ana zincir uzunluğu, yan zincir sayısı ve uzunluğu, molekül ağırlığı, moleküller arası bağ yapısı, kimyasal bileşimi, yoğunluğu, adsorpsiyon özelliği, beton karışımına eklenme şekli oldukça önemlidir. (Flatt vd., 2001 ; Mardani-Aghabaglou vd., 2013) Süperplastikleştiriciler, macun ve diğer uygulamalarda aglomera hidrat çimento partiküllerini dağıtarak betonun işlenebilirliğini arttırmak için beton karışımlarına eklenebilecek önemli bir kimyasal katkı sınıfıdır. (Liao vd., 2006 ; Zhu vd., 2012). Betonun mukavemeti, eklenen su miktarı veya su-çimento (w/c) oranı ile ters orantılıdır. Ancak, su miktarı çok düşük olduğunda, beton karışımı işlenemez ve karıştırılması zor olabilir. Bu nedenle, bir süperplastikleştiricinin ana işlevi, çimento macunlarının akışkanlığını kaybetmeden w/c'de bir düşüş sağlamaktır, bu da daha yüksek mukavemet ve daha iyi beton dayanımı ile sonuçlanmaktadır (Lu vd., 2010 ; Plank vd., 2010). Tarak şekilli PCE kopolimerleri, negatif yüklü omurga ve aşılansız yan zincirlerden, tipik olarak polietilen glikolden oluşur (Yoshioka vd., 1997 ; Keller vd., 2013) PEO yan zincirleri suda asılı çimento partikülleri arasında sterik bir engel yaratır. (Li vd., 2005 ; Lei vd., 2012) Bu eşsiz mekanizmayla PCE süperakışkanlaştırıcılar polikondensatlara kıyasla üstün dağılma kuvveti sergiler. PCE moleküllerinin kolaylıkla ayarlanabilen yapısal parametreleri olduğu için, PCE' ler uzun süre çökmelerden koruyabilme (>2 saat) , yüksek akış hızı (Saratto kan etkisi) ve çok düşük su/çimento oranlarında (w/c 0,25) etkinlik gibi birçok farklı amaca uygundur. (Lei vd., 2012)

Son zamanlarda araştırmacılar, PCE' lerin agregaların etrafına beton kirlenmesine neden olan killere karşı güçlü bir duyarlılığa sahip olduklarını ve işlenebilirlikte bir kayba neden olduğunu bulmuşlardır. (Jeknavorian vd., 2003 ; Lei vd., 2012 ; Ng vd., 2012). Sonuç olarak, dağılma kuvveti kil varlığında önemli ölçüde azalır. (Jeknavorian vd., 2003 ; Sakai vd., 2006). Kil, tabakalı veya tabakalı silikatlı, yapışma ve plastisiteye sahip mineral bir agregadır. Agregadaki kil minerallerinin varlığı, PCE' nin su azaltıcı etkisini azaltabilir ve genellikle betondaki akışkanlığın hızlı bir şekilde azalmasına yol açabilir. (Jeknavorian vd., 2003); Bu, PCE' nin zayıf "kil toleransı" olarak adlandırılır. (Manning vd., 2007 ; Lei vd., 2012). Bu etkiler sebebi ve farklı kullanım amaçları göz önüne alındığından kimyasal olarak farklı çok çeşitli PCE' ler üretilip piyasaya sürülmüştür.

Kimyasal olarak farklı PCE' ler üretilirken farklı monomerler de kullanılmıştır. Kullanılan bu farklı monomerler,

- **MPEG tipi PCE ler** ω - metoksi poli(etilen glikol) metakrilat ester(MPEG-MA) ya suda serbest radikal kopolimerizasyonu (Plank vd., 2008) ya da esterifikasyon / trans esterifikasyon (Guicquero vd., 1999) ile reaksiyonu yapılmaktadır.
- **APEG tipi PCE ler** α -allil- ω - metoksi ya da ω - hidroksi poli(etilen glikol) (APEG) eter ve maleik anhidrid anahtar monomerler vasıtasıyla radikal kopolimerizasyon ile ya yığın yada sulu solüsyonda yapılmıştır. (Akimoto vd., 1992). Stiren gibi komonomerler uzaysal moleküller olarak adlandırılır ve ana zincire konformasyonel esnekliği ayarlamak için sıklıkla kullanılır. Bu metot belli sertlik yada daha fazla sarmal yapıya sahip polimerler sağlar ve bunların adsorpsiyon davranışlarını değiştirir.
- **VPEG tipi PCE' ler** vinil eter bazlı genellikle düşük sıcaklıklarda (< 30 °C) kopolimerleştirilen örneğin 4-hidroksi bütül poli(etilen glikol) ile maleik asit anhidrid (Albrecht vd., 1996)

- **TPEG tipi PCE' ler** (bazen IPEG tipi PCE olarak da bilinir) Son zamanlarda bu tip PCE, çok yönlü hammaddelerden kolay hazırlanabilmesi ve yüksek etkinliğinden dolayı çok popüler olmuştur(Yamamoto vd., 2004).
- **HPEG tipi PCE' ler** makro monomer olarak da α metaleil ω - metoksi veya ω hidroksi poli (etilen glikol) eteri kullanılmaktadır. (Hamada vd., 2001).
- **XPEG tipi PCE' ler** hafifçe çapraz bağlanmış PCE' leri temsil eder, iki reaktif çift bağa (örneğin diesterler) veya iki ester bağı oluşturabilen diollere sahip olan ve dolayısıyla bir derece çapraz bağlanma sağlayabilen monomerlerden yapılırlar. (Tahara vd., 1995).
- **PAAM tipi PCE' ler** bu iyonik PCE ler poli amido amin (PAAM) ve PEO segmentlerinden oluşan karışık yan zincirlere sahiptir. Bu yapısal özellik temelde onları PEO/PPO yan zincirleri içeren diğer tüm PCE' lerden ayırır. PAAM tipi PCE' nin çimento w/c oranlarında 0,12 kadar düşük oranda sıvılaştırdığı söylenir. (Amaya vd., 2000). Fakat PAAM yan zincirinin maliyeti oldukça yüksektir. Ayrıca yapılan çalışmalara göre farklı çimento kompozisyonlarına oldukça duyarlı oldukları agrega ve kireçtaşında bir safsızlık olarak ortaya çıkabilen kil ile kolaylıkla etkileşime girdiği açıktır. (Jeknavorian vd., 2003 ; Magarotto vd., 2006).

PCE süper akışkanlaştırıcılar için en çok kullanılan yan zincir polietilen oksit(PEO)'dir. Bununla birlikte PEO yan zincirinin killerin alümina silikat tabakaları arasında kolaylıkla araya girdiği bilinmektedir. (Liu vd., 2004 ; Suter vd., 2009). Sonuç olarak süper akışkanlaştırıcı, çimento yüzeyine adsorbe etmek yerine kil ile kimyasal emiş yolu ile tüketilir. Bu etki PCE'nin akışkanlaştırma kabiliyetini azaltır.

2.6 Kilin Yapısı ve Çeşitleri

Kil; tane boyutu 2 mikrondan daha küçük, çoğunlukla alüminyum, magnezyum silikatlardan oluşan hidratlı minerallerdir. Kil kayaların fiziksel ve kimyasal sebeplerle en ileri safhada ayrışmasından oluşur. Kayacın kile dönüşmesi ve oluşan kilin yapısı bulunduğu ortamın özelliklerine, ortam sıcaklığı, kayaç türü, yağış, nemlilik, yeraltı su seviyesi, bitki örtüsü, pH ve tuzluluk oranına bağlıdır.

Kil mineralleri yapılarına göre ikiye ayrılır

- Amorf (kristal yapıda olmayan) kil mineralleri
- Kristal yapıdaki kil mineralleri

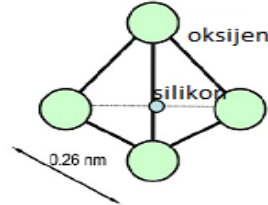
Kil mineralleri yapısının iki temel bileşeni vardır. Bunlar köşe-bağlantılı silisyum tetrahedral (dört yüzlü) ve kenar paylaşımlı alüminyum oktahedral (sekiz yüzlü) tabakasıdır. Bu tabakaların farklı sayıda ve kombinasyonda bir araya gelmesiyle farklı kil mineralleri oluşur.

Mineralojik yapılarına göre killer başlıca 3 ana gruba ayrılmaktadır.

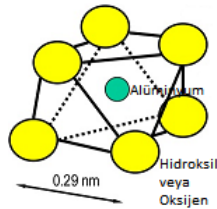
- Kaolinit
- Montmorillonit
- İllit

2.6.1 Kaolinit

Ana mineral olarak kaolinit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) genellikle demir oksit, silisyum oksit, silika türünde mika gibi yabancı maddeler içerirler. Genişlemeyen bir mineraldir. Katyon değişim kapasitesi düşüktür. Adezyon, kohezyon, şişme gibi fiziksel özellikleri zayıftır. Bir oktahedral tabakaya bağlı bir tetrahedral (1:1) tabakadan oluşur.

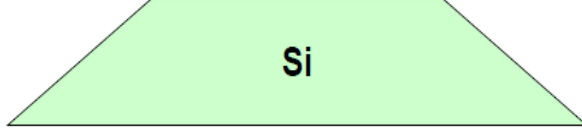


Şekil 2.6 Silika tetrahedral

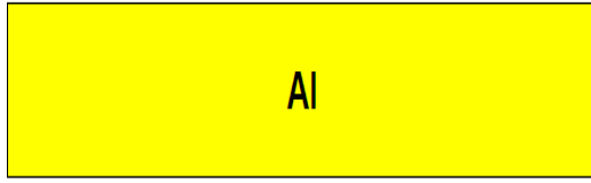


Şekil 2.7 Alüminyum oktahedral

Bu tabakaların daha basit gösterimi ise aşağıdaki gibidir.

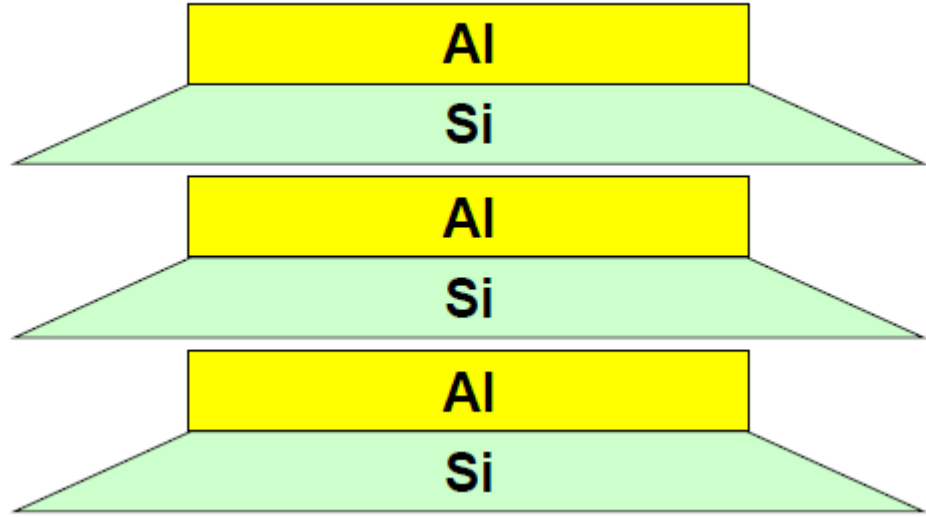


Şekil 2.8 Silisyum tetrahedral tabaka



Şekil 2.9 Alüminyum oktahedral tabaka

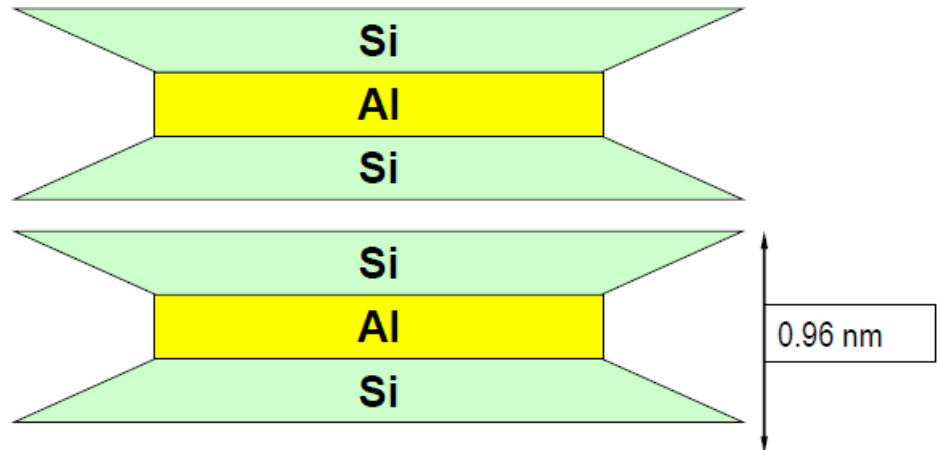
Kaolinit kil mineralinin yapısındaki tabakaların gösterimi de aşağıdaki gibidir. Tabakalar arasındaki bağlar kuvvetlidir ve ayırmak zordur. Kaolinit yapısı (1:1) bir tabaka tetrahedral ve bir tabaka oktahedral tabakanın dizilmesiyle oluşmaktadır.



Şekil 2.10 Kaolinit kil mineralinin yapısı

2.6.2 Montmorillonit

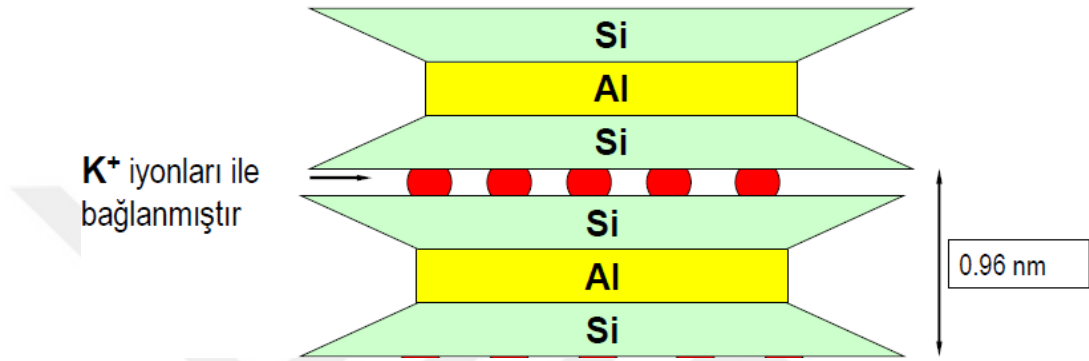
Montmorillonit semektit olarak da adlandırılır. Tüm bentonitler bu gruba girmektedir. 2:1 tabaka yapısına sahiptir. 2 tetrahedral tabaka arasında bir oktahedral tabaka bulunmaktadır. Çok büyük yüzey alanına sahiptir. Su emme kapasitesi oldukça yüksektir. Su ile temas ettiğinde şişer. Yapısında bulunan Mg^{+2} iyonlarının etkisiyle kation değişim kapasitesi yüksektir.



Şekil 2.11 Montmorillonit kil mineralinin yapısı

2.6.3 İllit

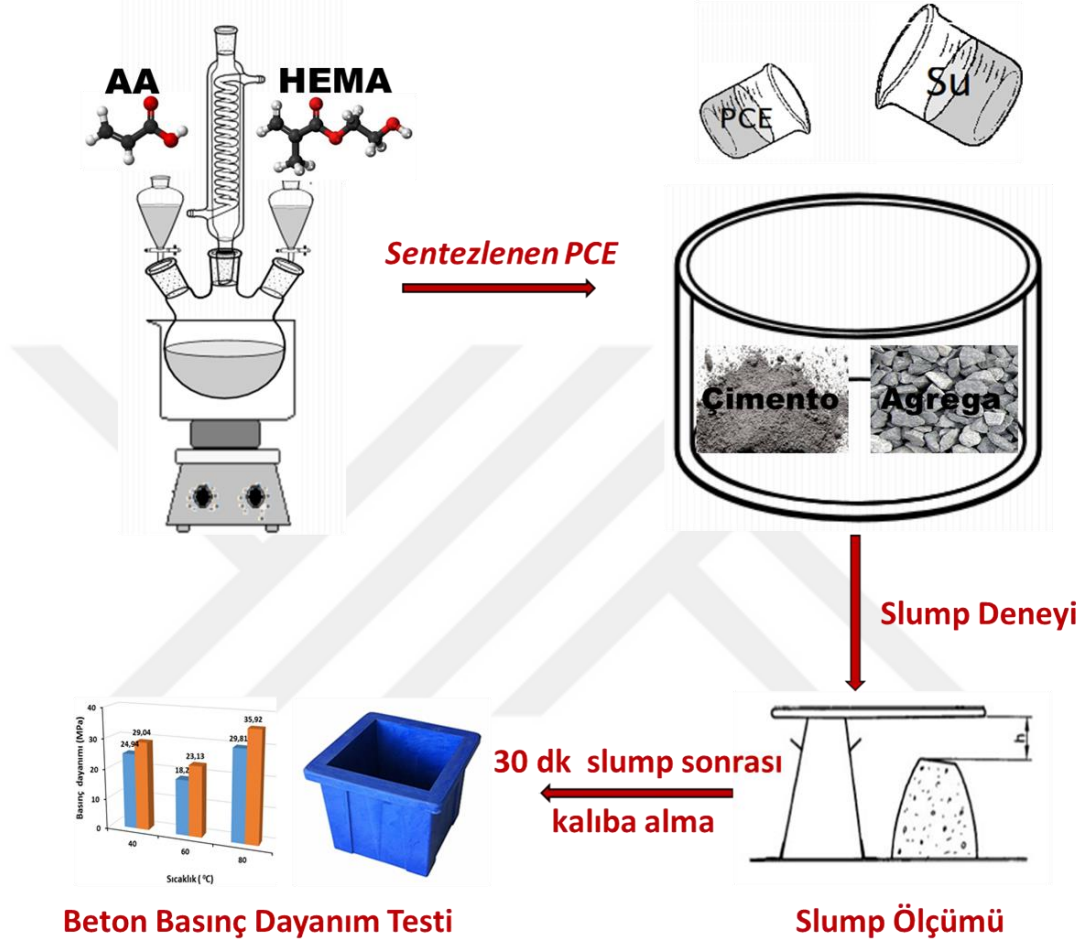
İllit minerallerinin yapısal özellikleri genellikle mika minerallerinin yapısına benzer. Montmorillonite benzer şekilde 2:1 tabaka yapısına sahiptir. 2 tetrahedral tabaka arasında bir oktahedral tabaka bulunmaktadır. Potasyum iyonlarının üniteler arasında köprü vazifesi görmesi ve bunları bağlamalarından dolayı su ile şişmezler. (Guggenheim vd., 2011 ; Le vd., 2012 ; Wilson vd., 2014)



Şekil 2.12 İllit kil mineralinin yapısı

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan deneysel sistem ile bütün deney aşamaları Şekil 3.1 ile verilmiştir. Şekilde PCE sentezi, betonun hazırlanması, beton deneyleri ve belli bir süre sonra kalıptan çıkartılan betonun basınç dayanımı gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Deney düzeneği ve aşamaları

3.1. Materyaller

HEMA (2 hidroksi etil metakrilat)Acros organics, SPS (sodyum peroksidi sülfat) AA (akrilik asit) ve MSA (metan sülfonik asit) Merck firmasından, TPEG (izoprenil oksi poli etilen glikol eter) ve HPEG (ω - metoksi veya ω hidroksi poli etilen glikol eter) Liaoning Oxiranchem'den, Çimento Votorantim CEM II A-LL 42.5 R Sivas'tan temin edilmiştir ve tüm maddeler temin edildiği gibi kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Kullanılan kimyasalların özellikleri

Kimyasal	Molekül Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)	Safılığı (%)
HEMA	C ₆ H ₁₀ O ₃	130.14	98.0
SPS	Na ₂ S ₂ O ₈	238.11	99.9
AA	C ₃ H ₄ O ₂	72.0	99.0
TPEG	(CH ₃) ₂ C=CHCH ₂ O(CH ₂ CH ₂ O) _n H	2400	99.0
HPEG	CH ₂ =C(CH ₃)CH ₂ O(CH ₂ CH ₂ O) _n H	2400	99.0
MSA	CH ₄ O ₃ S	96.11	99.0

3.2. Metot

3.2.1 PCE sentezi

PCE üretimi için kopolimerizasyon yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda sıcaklık hassasiyeti ± 1 °C ve karıştırma hızı ayarlanabilen manyetik karıştırıcı sepetli ısıtıcı, dört boyunlu balon, balona bağlanan geri soğutucu ve 2 adet damlatma hunisi kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.2 PCE sentez düzeneği

Killi agregada en iyi sonucu verecek PCE'yi üretebilmek amacıyla, sentez aşamasında HEMA ve AA' in besleme süresinin, monomer olarak TPEG ve HPEG

monomerlerin farklı oranlarda karışımının, HEMA miktarının ve sıcaklığın PCE verimi üzerindeki etkisi incelenerek belirlenen en iyi şartlarla nihai PCE sentezi yapılmıştır. PCE'lerin verimi betonda yapılan slump, priz alma süresi, basınç dayanımı sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

3.2.1.1 Farklı monomer oranları ile sentezlenen PCEs'in beton performansı üzerine etkisi

Çalışmanın ilk aşamasında farklı oranlarda monomer kullanılarak sentezlenen PCEs'in beton performansına etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada %100 TPEG, %75 TPEG +%25 HPEG, %50 TPEG +%50 HPEG monomer karışımları kullanılarak üç farklı PCE sentezlenmiştir.

Sentez için; belirlenen miktarda monomer dört boyunlu balona alınır ve üzerine 55 ml distile su ilave edilir. 60 °C sıcaklıkta 400 rpm hızla manyetik karıştırıcılı sepetli ısıtıcıda monomerler çözüldükten sonra başlatıcı olarak 2,1 g SPS eklenir. Damlatma hunisinden birincisine 2 M 50 ml akrilik asit konulur. 2.5 M 60 ml HEMA çözeltisi üzerine 4 g MSA eklenip karıştırılarak ikinci damlatma hunisine konulduktan sonra aynı anda sisteme 6 saat boyunca beslenmiştir. Sentez boyunca sıcaklık ve karıştırma hızı sabit tutulmuştur. PCE oda sıcaklığında soğutulmuştur. Sentezlenen bu PCEs'in, kirlilik oranı %2 agrega ile hazırlanan, betonun slump, işlenebilirlik gibi özelliklerine etkileri incelenerek PCE sentezinde kullanılacak TPEG/HPEG oranına karar verilmiştir.

3.2.1.2 HEMA ve AA'nın farklı besleme süreleri ile sentezlenen PCEs' in beton performansı üzerine etkisi

PCE sentezinde kullanılacak monomer oranları belirlendikten sonra bu oran sabit tutularak, AA ve HEMA'nın besleme süresi 3, 4, 5, 6 saat olarak değiştirilerek PCEs sentezlenmiştir. Bunun için, belli miktarda monomer dört boyunlu balona konularak 60 °C sıcaklıkta 400 rpm hızla manyetik karıştırıcılı sepetli ısıtıcıda çözülmüştür. Daha sonra başlatıcı eklenerek damlatma hunilerine AA ve HEMA konularak, huniler 3 saat boyunca damlatacak şekilde açılmıştır. Bu deneyler hunilerin 4,5, 6 saat damlatması için de ayarlanarak tekrarlanmıştır. Elde edilen PCEs'in beton

performansı üzerine etkisi incelenerek hunilerin damlatma süresine karar verilmiştir. Sentez boyunca sıcaklık ve karıştırma hızı sabit tutulmuştur. PCE oda sıcaklığında soğutulmuştur.

3.2.1.3 Farklı HEMA derişimlerinde sentezlenen n PCEs'in beton performansı üzerine etkisi

PCE sentezi için monomer oranı ile HEMA ve AA'nın deney sistemine besleme süreleri belirlendikten sonra, farklı derişimlerde HEMA kullanılarak sentezlenen PCEs'in beton performansına etkisi incelenmiştir. Bunun için, HEMA çözeltisi kullanılarak ve yukarıda deneylerde belirlenmiş olan monomer türü ve oranı ile AA ve HEMA besleme süreleri sabit kalmak koşuluyla, 2.5 M, 1.25M, 0.625 M derişimlerinde HEMA kullanılarak sentezlene PCEs'in beton performansı üzerine etkileri incelenmiş ve en uygun HEMA derişimine karar verilmiştir. Sentez boyunca sıcaklık ve karıştırma hızı sabit tutulmuştur. PCE oda sıcaklığında soğutulmuştur.

3.2.1.4 Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs'in beton performansı üzerine etkisi

PCE'in sentezi için yukarıda bulunan değerler sabit tutularak, 40 °C, 60 °C, 80 °C sıcaklıklarda PCEs sentezlenmiş ve bunların beton üzerine performansları incelenmiştir. Sentez boyunca karıştırma hızı sabit tutulmuştur. PCE oda sıcaklığında soğutulmuştur.

3.2.2 İnce agregada metilen mavisi deneyi

Metilen Mavisi Deneyi için 10 g/L lik metilen mavisi çözeltisi TS EN 933-9'a göre saflık \geq %98,5 olan metilen mavisi tozu ile hazırlanır. Hazırlanan çözelti, hafif renkli, kapaklı bir cam şişede saklanmalıdır. Metilen mavisi çözeltisi, hazırlandıktan sonra 28 günden fazla kullanılmamalıdır. Stok boya çözeltisi, serin ve karanlık bir yerde muhafaza edilmelidir. Çözelti etiketinde 10 g/L metilen mavisi çözeltisi, hazırlanma tarihi ve son kullanma tarihi yazılmalıdır.

Agrega numunesi süspansiyonun hazırlanması : Göz açıklığı 2 mm olan elekten elenerek elde edilen 200 g agregada numunesi 110±5 °C sıcaklıkta sabit tartıma gelene

kadar kurutulur. Deney numunesi kısmı tartılır ve kütle 1 g yaklaşımla M_1 olarak kaydedilir. Hazırlanan 200 g agrega 500 ml su ile Şekil 3.3'deki metilen mavisi deney setindeki behere alınır. 600 rpm de 5 dak karıştırılır. Daha sonra 5 ml metilen mavisi çözeltisi eklenir beherdeki malzeme, (400 ± 40) devir/dak hızda en az 1 dak karıştırılır ve süzgeç kâğıdı üzerinde leke deneyi yapılır ve hale verip vermediği kontrol edilir. Süzgeç kağıdında hale yoksa hale görünene kadar aynı işlem tekrar edilir. Hale görüldükten sonra harcanan metilen mavisi çözelti miktarı (V_1) kaydedilir.



Şekil 3.3 Metilen mavisi deney seti

(0-2 mm) tane büyüklüğü metilen mavisi değeri (MB) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10$$

M_1 : Deney numunesi kısmının kütlesi, g,

V_1 : İlâve edilen boya çözeltisinin toplam hacmi, mL'dir.

MB değeri, (0-2) mm aralığının beher kilogramı için kullanılan boya miktarı, 0,1 g yaklaşımla kaydedilir. (Şimşek, 2009 ; TSE, 2013)

3.2.3 Beton deneyleri

Sentezlenen PCEs'in betona uygulanması önemli bir aşamadır. Betona uygulama aşamasından önce agreganın kirlilik oranını belirlemek amacıyla metilen mavisi deneyi yapılmıştır. Daha sonra beton numuneleri 8 dm³ hacimde, su /çimento oranı 0.62 olacak şekilde reçeteye uygun hazırlanmıştır. Beton deneylerinde kullanılan 8 dm³'lük beton reçetesi aşağıda verilmiştir. Beton karma işlemi için, Şekil 3.4'de gösterilen, U-Test marka pan tipi beton mikseri kullanılmıştır.

8 dm³ beton hacmi için; (Agrega kirliliği %2)

0-5 mm Agregası	: 6500 g
5-13 mm Agregası	: 2180 g
13-22 mm Agregası	: 5240 g
Bypass	: 1500 g
Çimento	: 2170 g
Su	: 1350 g



Şekil 3.4 Pan tipi beton mikseri

Beton karma işleminde önce agregalar ve çimento tartılarak mikserine konular üzerine tartım alınmış su eklenip 1 dak karıştırıldıktan sonra tartım alınmış PCE eklenerek 2 dak daha karıştırılır. Beton karma işlemi gerçekleştirildikten sonra hemen ilk slump bakılır ve slump 1 olarak adlandırılır. Slump bakılan beton tekrar beton mikserine boşaltılıp 30 dak bekletilir. Bu arada slump hunisi, tabla, şişleme çubuğu temizlenir. 30 dak sonra beton mikserde 1 dak karıştırılır ve tekrar slump bakılır. Bu da 30 dak slump olarak tanımlanmaktadır. Beton karma işlemi yapıldıktan sonra ayrıca ayrışma (segregasyon) ve kanama olup olmaması, betonun pompalanabilir olup olmadığı da makroskobik olarak incelenmiştir.

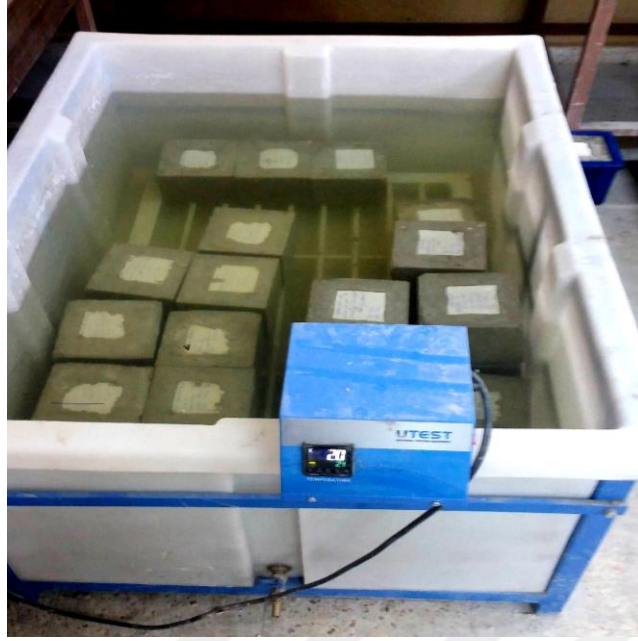


Şekil 3.5 Slump testi

Slump testleri tamamlandıktan sonra slump değerleri, işlenebilirliği, kıvam koruması kabul edilebilir beton numuneleri basınç dayanımı testi yapılması amacıyla kalıplara alınmıştır. 30 dak bekletildikten sonra slump değeri 9 cm'nin altında çıkan beton numuneleri işlenebilirlik açısından uygun olmayacağından kalıba alınıp basınç dayanımı deneyi yapılmamıştır. Kalıba alınan numuneler (Şekil 3.6) 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak 20 ± 1 °C ısıtıcılı kür tankına alınmıştır(Şekil 3.7). Kür tankında 7 gün ve 28 gün bekletildikten sonra U-TEST marka UTM-400/S 60 kN , basınç 0-500 N olarak ayarlanıp basınç dayanımı ölçülmüştür (Şekil 3.8).



Şekil 3.6 Kalıplara alınan beton numuneleri



Şekil 3.7 Kür tankı



Şekil 3.8 Basınç dayanımı deneyi

3.2.3 Optimum deney şartlarında sentezlenen PCEs' in kirli agregalarla hazırlanan beton üzerine etkisi

Daha önce belirlediğimiz en uygun deney şartlarında sentezlenen PCEs'in agrega kirliliği % 2, % 3, % 5 olan beton numuneleri üzerine etkisi incelenmiştir. Verilen kirlilik oranlarında agregalar kullanılarak hazırlanan beton numunelerinin ilk slump ve 30 dak beklemeden sonraki slumpları ölçülerek, betonun işlenebilirliği de göz

önünde tutularak, PCEs'in uygunluğuna karar verilmiş daha sonra, kalıba alınabilecek betonlar kalıplanarak, 7-28 günlük basma dayanımları ölçümleri için bekletilmiştir.

3.3 PCE Karakterizasyonu

3.3.1 Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Bütün numuneler Bruker marka Alpha Eco-Atr Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi ile, sıvı fazda 450-4500 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında analiz edilmiştir.

3.3.2 Nükleer manyetik rezonans spektrometresi (NMR)

Jeol (400 MHz) JNM-ECZ 400S/L1 cihazı ve D₂O çözücü ile hazırlanan yeni sentezlenmiş PCE numunesinin ¹H NMR spektrumu elde edilmiştir.

3.3.3 X-Işınları kırınımı (XRD)

Rigaku Dmax IIIC marka $\lambda = 0,154$ nm, Cu anotlu, CuK α radyasyonu, gerilim 35 kV, akım 15 mA altında XRD analizi gerçekleştirilmiştir. $\lambda = 2.d.\sin\Theta$ formülü kullanılarak d değerleri hesaplanmıştır.

3.3.4 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Tescan Mira3 XMU marka SEM cihazı ile 10.0 kV voltaj ile yüzey görüntüleri elde edilmiştir.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

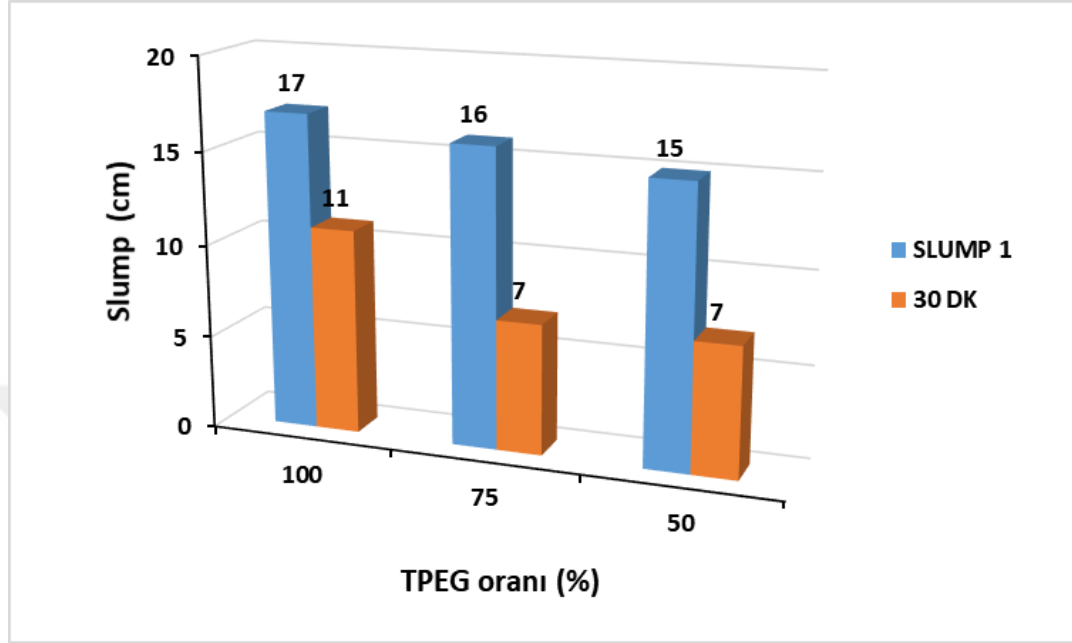
Sentezlenen PCEs'in beton performansı üzerine etkileri incelenirken deney sonuçları TSE standartlarındaki beton sınıfları ve verilerine göre değerlendirildi. Sentezlenen PCEs, hazırlanan beton numunelerinin kullanılacağı alanlara ve yerlere göre, çökme sınıfı ve slump deneyi sonuçları için alt-üst sınırlar belirlenmelidir. (TSE, 2002c) Çökme sınıfı kullanılacağı yere uygun olarak belirlenen beton üretiminde iş gücü ve enerji tasarrufu sağlanırken, diğer yandan betonun basınç dayanımı ve dayanıklılığı artmaktadır.(Baradan vd., 2012) Bu tez çalışmasında sentezlenen PCE ile çökme sınıfı S3 – S4 beton üretimi yapılması hedeflendi. Bu nedenle 21 ve 10 cm aralığında olan slump değerleri uygun görüldü. Ayrıca beton numunesi ilk hazırlandığı anda elde edilen slump değeri ile 30 dak bekleme sonrasında elde edilen slump değeri arasındaki farkın az olması kıvam koruma yönünden betonun iyi olduğunu göstermektedir.

Ayrıca, sentezlenen PCEs'le yapılan beton numunelerinin basınç dayanımı test sonuçları değerlendirilirken elde edilen en yüksek basınç değeri en iyi sonuç olarak kabul edildi.

4.1 Farklı Monomer Oranları İle Sentezlenen PCEs'in Beton Performansı Üzerine Etkisi

Farklı TPEG/HPEG oranı ile hazırlanan PCEs'in beton performansı üzerine etkisini incelemek amacıyla %100 TPEG, %75 TPEG + %25 HPEG ve %50 TPEG + %50 HPEG kullanılarak hazırlanan PCEs beton deneylerinde kullanılarak betondaki slump değişimleri Şekil 4.1'de gösterildi. Hazırlanan beton numunelerinde kullanılan agrega kirliliği metilen mavisi deneyi ile % 2 olarak belirlendi. Deneysel sonuçlardan % 100 TPEG kullanılarak sentezlenen PCE'nin ilk slump (Slump1) değeri 17 cm iken, 30 dak bekleme sonrası slump değeri 11 cm'e düşerek aradaki fark 6 cm olarak ölçüldü. %75 TPEG+%25 HPEG monomerleri kullanılarak sentezlenen PCE ile yapılan beton slump deneylerinin sonuçları slump 1 16 cm iken,30 dak bekleme sonrası bakılan slump değeri 7 cm'dir. %50 TPEG + %50 HPEG monomerleri kullanılarak sentezlenen PCE ile yapılan beton slump deneylerinin sonuçları slump 1

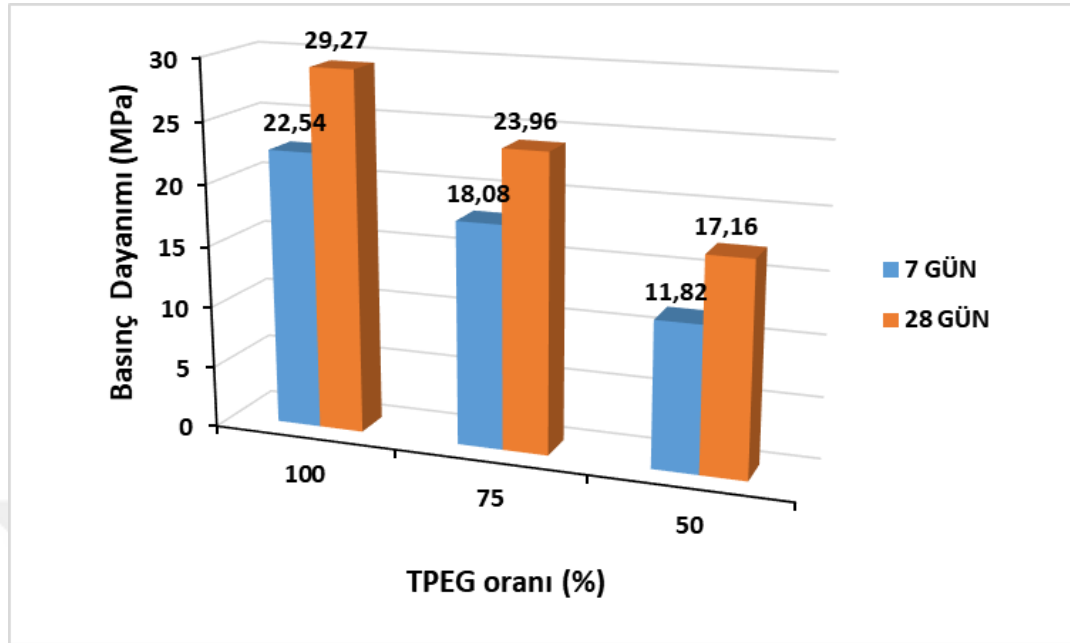
15 cm iken, 30 dak bekleme sonrası bakılan slump değeri 7 cm'dir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde ilk slump ile 30 dak bekleme sonrası bakılan slump değerleri arasındaki farkın en az olması kıvam koruma yönünden en yüksek performansa sahip PCE'nin % 100 TPEG monomeri kullanılarak sentezlenen PCE olduğu görüldü.



Şekil 4.1 TPEG/HPEG karışım oranının betonun slump değeri üzerine etkisi (Agrega kirliliği %2)

Farklı TPEG/HPEG oranı ile hazırlanan PCEs'in beton performansı üzerine etkisini incelemek amacıyla %100 TPEG, %75 TPEG + %25 HPEG ve %50 TPEG + %50 HPEG kullanılarak hazırlanan PCEs beton deneylerinde kullanılarak betondaki basınç dayanımı değişimleri Şekil 4.2'de gösterildi. %100 TPEG monomeri kullanılarak sentezlenen PCEs' de 7günlük basınç dayanımı 22.54 MPa ve 28 günlük basınç dayanımı 29.27 MPa'dır. %75 TPEG+%25 HPEG monomerleri kullanılarak sentezlenen PCE'de 7 günlük basınç dayanımı 18.08 MPa ve 28 günlük basınç dayanımı değeri 23.96 MPa' dır. %50 TPEG + %50 HPEG monomerleri kullanılarak sentezlenen PCE 7 günlük basınç dayanımı 11.82 MPa ve 28 günlük basınç dayanımı 17.16 MPa' dır. Betondaki basınç dayanımı değerleri incelendiğinde basınç dayanımının en yüksek elde edildiği PCE %100 TPEG monomeri kullanılarak sentezlenen PCE olduğu görüldü. Basınç dayanımının yüksek olması beton dayanım

sınıfının daha yüksek olmasını dolayısıyla PCE' nin beton performansı üzerine etkisinin arttığını da göstermektedir.(TSE, 2002d)

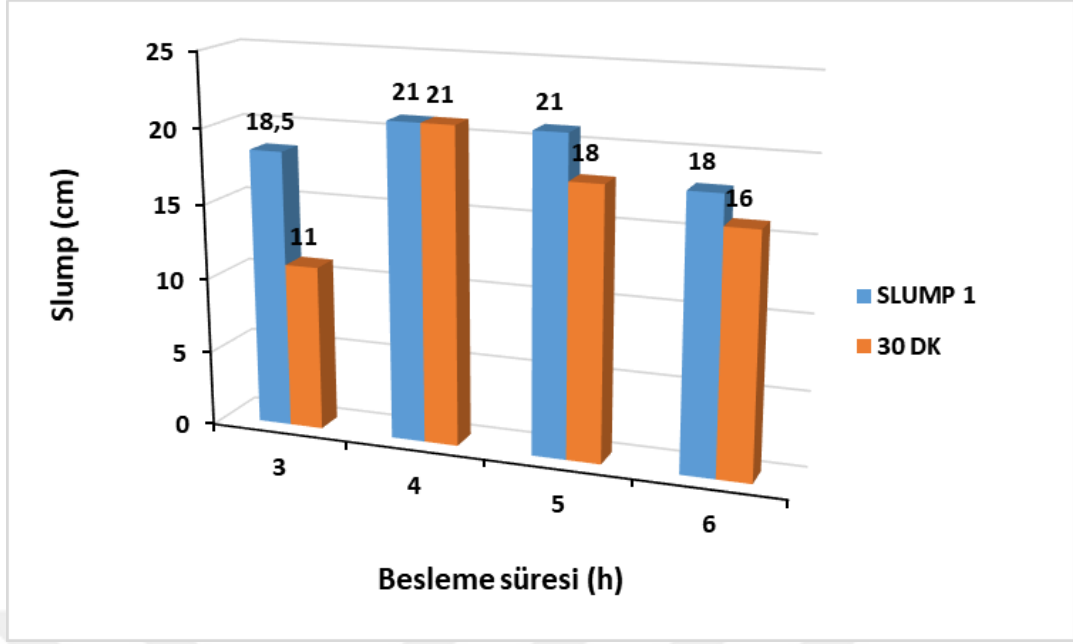


Şekil 4.2 TPEG oranının basınç dayanımı üzerine etkisi (Agrega kirliliği %2)

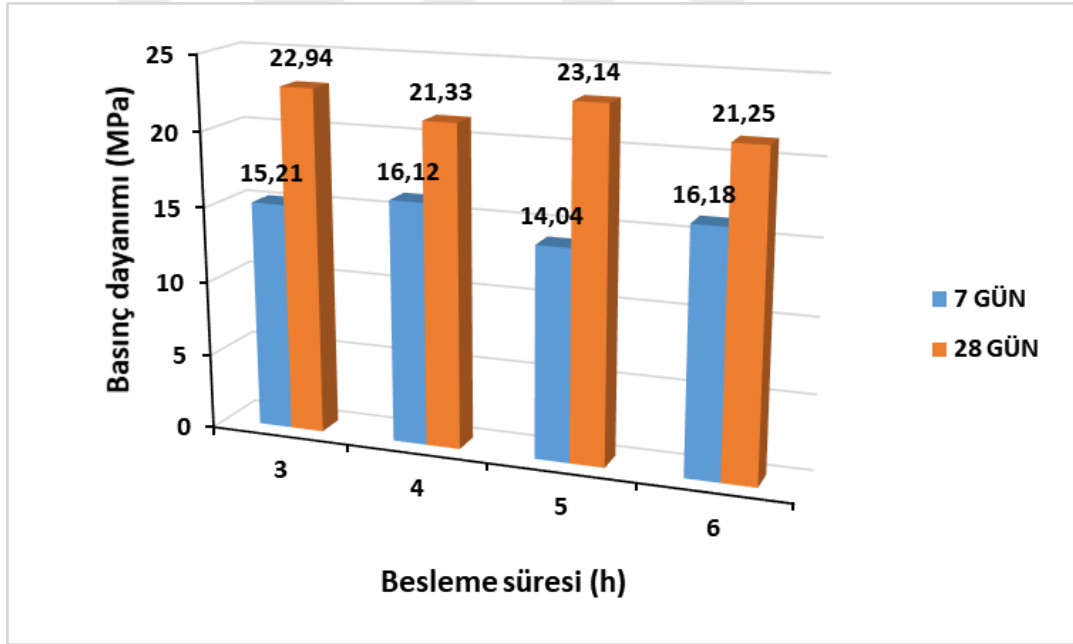
Bu veriler ışığında daha sonraki PCEs sentezlerinde % 100 TPEG monomeri kullanıldı.

4.2 HEMA ve AA'nın Farklı Besleme Süreleri İle Sentezlenen PCEs' in Beton Performansı Üzerine Etkisi

HEMA ve AA'nın besleme sürelerinin PCE verimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla yapılan beton deneylerinden elde edilen slump değerleri Şekil 4.3, Şekil 4.5 ve basınç dayanımı değerleri Şekil 4.4 de verilmiştir. Şekil 4.3 ve 4.4'de kullanılan agrega kirliliği %1.25 olarak belirlenmiştir. HEMA ve AA'nın 3 saat besleme süresi ile sentezlenen PCEs'in kullanıldığı beton deneylerinde ilk slump ile 30 dak sonraki slump arasındaki (18.5-11) fark 7.5 cm bulunurken, 4, 5 ve 6 saat besleme süreleri için bu değer sırasıyla 0, 3 ve 2 cm olarak bulunmuştur. İlk slump ve 30 dak sonraki slump değerleri arasındaki farkın en az olması kıvam koruma yönünden en iyi performansa sahip PCEs' in HEMA ve AA'nın 4 saat besleme süresi ile sentezlenen PCEs olduğu belirlenmiştir.



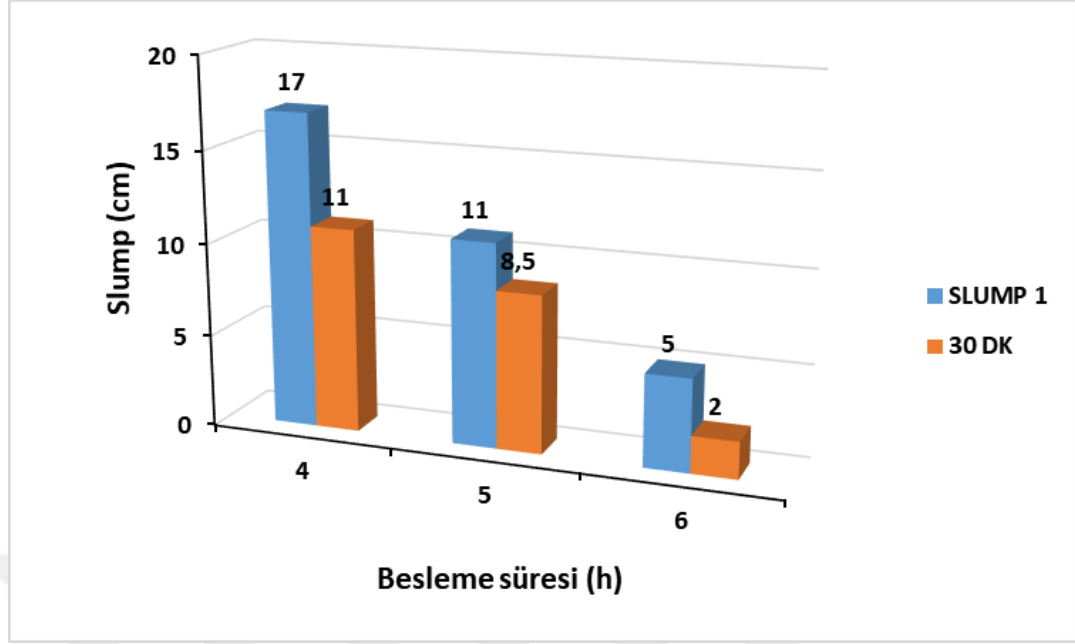
Şekil 4.3 Besleme süresinin slump üzerine etkisi (Kirlilik %1.25)



Şekil 4.4 Besleme süresinin basınç dayanımı üzerine etkisi (Kirlilik % 1.25)

%1,25 kirlilikle hazırlanan beton numuneleri arasında slump ve basınç dayanımı değeri 3 saat, 4 saat, 5 saat ve 6 saat besleme süresinde hazırlanan PCE' lerde birbirlerine çok yakın değerler elde edilmiştir. Bu yüzden PCE' lerin verimi agrega kirliliği % 2 olan beton numunesi ile slump deneyi yeniden yapılarak

değerlendirilmiştir.



Şekil 4.5 Besleme süresinin slump üzerine etkisi (Kirlilik % 2)

% 2 kirli agrega ile hazırlanan beton numunesinde 4 saat, 5 saat, 6 saat besleme süreleri ile sentezlenen PCE' lere ait slump değerleri Şekil 4.5' te görülmektedir.

Türk standartlarına göre çökme sınıfı S3- S4 olan betonlar için kabul edilebilir slump değerleri 21 ve 10 cm arasındadır (TSE, 2002c). HEMA ve AA'in 5 saat ve 6 saat besleme süresinde hazırlanan PCE' lerle yapılan slump deney sonuçları 10 cm'nin altında olduğu ve çökme sınıfına uygun olmadığı belirlendiği için bu numunelerle basınç dayanımı testi yapılmamıştır. HEMA ve AA'in 4 saat besleme süresi ile sentezlenen PCEs ile çökme sınıfına uygun, işlenebilirlik ve kıvam koruma yönünden iyi bir beton elde edilmiştir. HEMA ve AA'in 4 saat besleme süresi ile sentezlenen PCEs ile basınç dayanımı testlerinde 7 günlük basınç dayanımı 22.54 MPa ve 28 günlük basınç dayanımı 29.27 MPa'dır. Kıvam koruma, işlenebilirlik ve basınç dayanımı sonuçlarında en yüksek performans HEMA ve AA'nın 4 saat besleme süresi ile elde edilmiştir. Bundan sonraki sentezlerde HEMA ve AA'nın besleme süresi 4 saat olarak belirlenmiştir.

4.3 Farklı HEMA Derişimlerinde Sentezlenen PCEs'in Beton Performansı Üzerine Etkisi

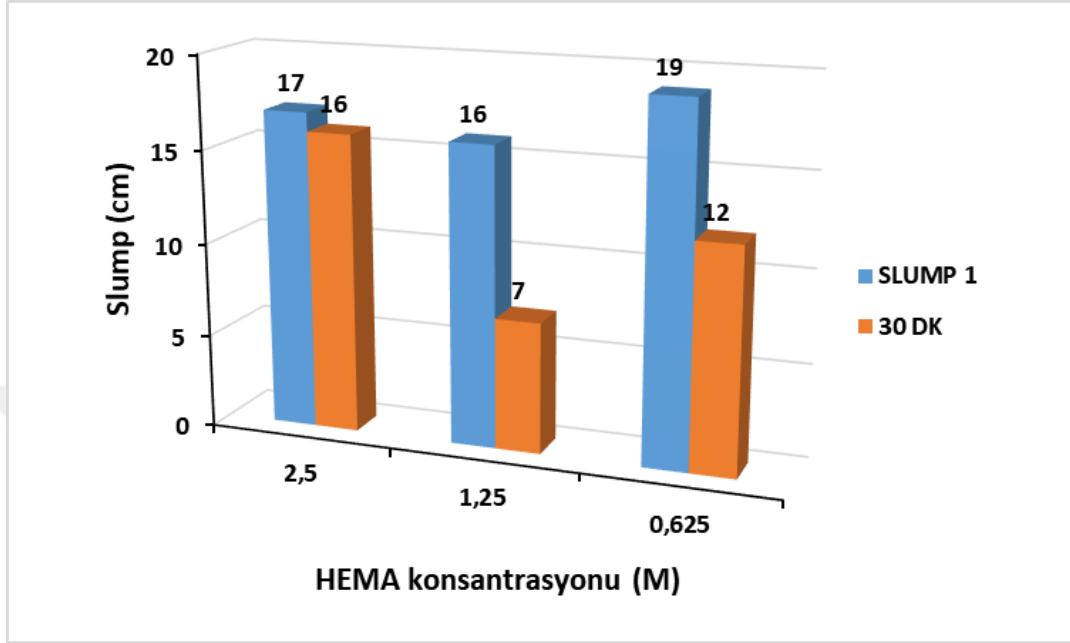
Farklı HEMA derişimlerinde sentezlenen PCEs'in beton performansı üzerine etkisi incelenerek sonuçlar Şekil 4.6 Şekil 4.7'de verilmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan agrega kirliliği % 2'dir.

Beton numunesi ilk hazırlandığı anda elde edilen slump değeri ile 30 dak bekleme sonrasında elde edilen slump değeri arasındaki farkın az olması kıvam koruma yönünden betonun iyi olduğunu göstermektedir.

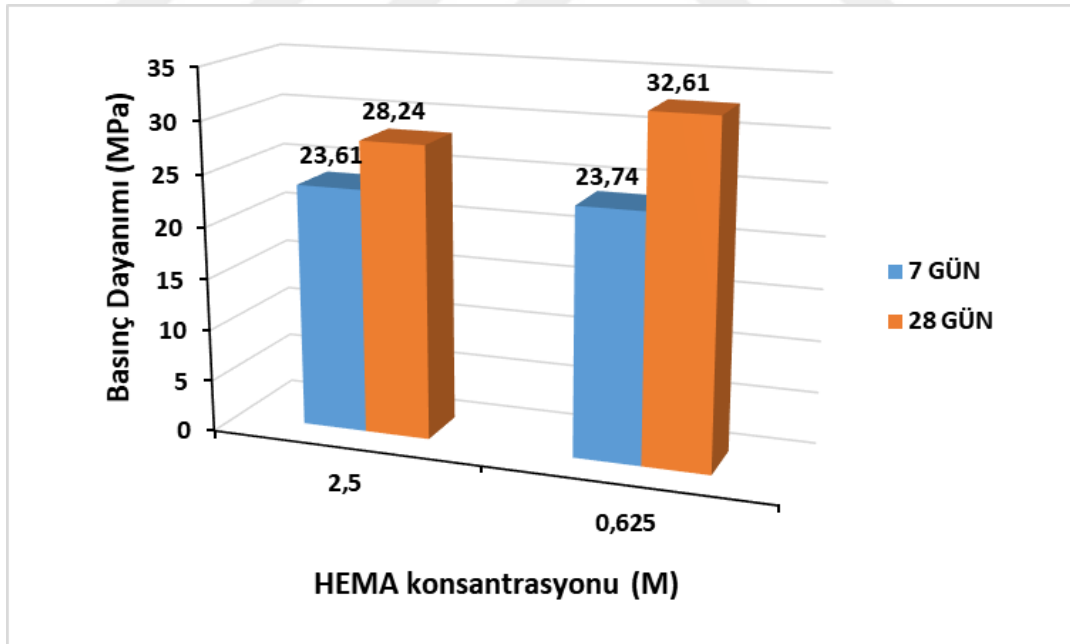
(TSE, 2002c) Sekil 4.6'da farklı HEMA derişimleri ile sentezlenen PCEs' in kullanıldığı betonların slump değerleri verilmiştir. 0.625 M HEMA derişimi ile sentezlenen PCE ile yapılan beton numunesinde ilk slump 19 cm, 30 dak bekleme sonrası slump değeri 12 cm'dir. 1.25 M HEMA derişimi ile sentezlenen PCE ile yapılan beton numunesinde ilk slump 16 cm iken 30 dak bekleme sonrası slump değeri 7 cm'dir. Slump değerleri incelendiğinde 2.5 M HEMA kullanılarak sentezlenen PCE'in kullanıldığı betonun ilk slumpı 17 cm, 30 dak sonraki slump değeri 16 cm olduğu görülmektedir. Bu bilgiler ışığında farklı HEMA derişimleri ile sentezlenen PCEs'in kullanıldığı beton deneylerinde en düşük slump farkı 2.5 M HEMA kullanılarak hazırlanan PCE ile hazırlanan beton olduğundan en iyi kıvam koruma bu PCE ile sağlanmıştır.

Sekil 4.7 ile farklı derişimlerde HEMA ile sentezlenen PCEs kullanılarak hazırlanan betonun basma dayanımları verilmiştir. Derisimi 1.25 M HEMA ile sentezlenen PCE ile hazırlanan betonun 30 dak sonraki slump değeri 9 cm altında olduğu ve çökme sınıfına uygun olmadığı için basınç dayanımı deneyi yapılmamıştır. 2.5 M HEMA ile elde edilen 7 günlük basınç dayanımı 23.61 MPa, 28 günlük basınç dayanımı sonucu 28.24 MPa'dır. 0.625 M HEMA konsantrasyonu ile sentezlenen PCE'de 7 günlük basınç dayanımı 23.74 MPa ve 28 günlük basınç dayanımı 32.61 MPa'dır. İki numune de ilk dayanımlar birbirleri ile aynı iken 28 günlük basınç dayanımı 0.625 M HEMA ile sentezlenen PCE' nin daha iyi olduğu görülmektedir. Fakat 2.5 M HEMA derişimi ile sentezlenen PCE'de kıvam koruma ve işlenebilirlik daha iyi olduğu ve

basınç dayanımı değerleri de birbirine yakın olması nedeniyle daha sonraki PCE sentezlerinde HEMA derişimi 2.5 M alınarak devam edildi.



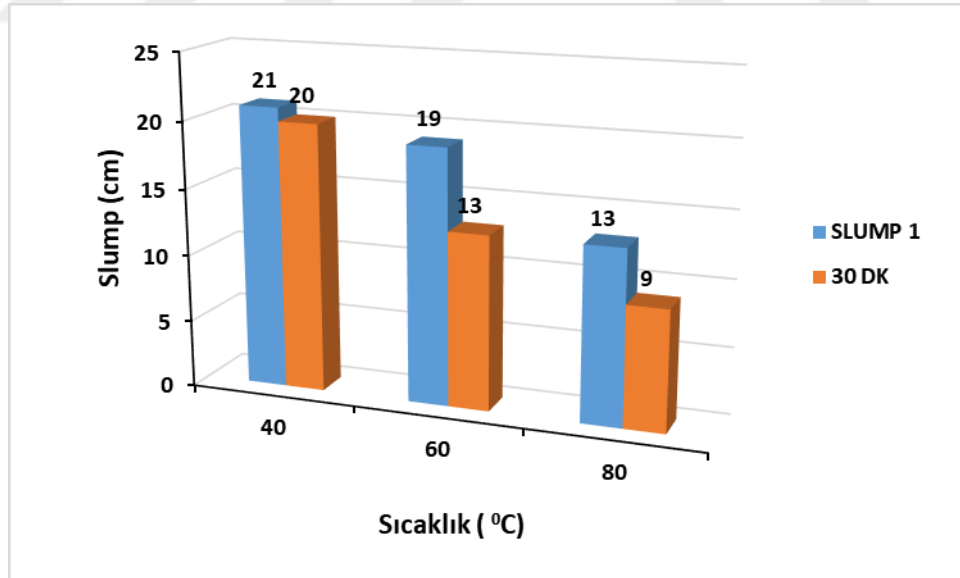
Şekil 4.6 HEMA konsantrasyonunun slump üzerine etkisi (Agrega Kirliliği % 2)



Şekil 4.7 HEMA konsantrasyonunun basınç dayanımı üzerine etkisi (Agrega Kirliliği % 2)

4.4 Farklı Sıcaklıklarda Sentezlenen PCEs'in Beton Performansı Üzerine Etkisi

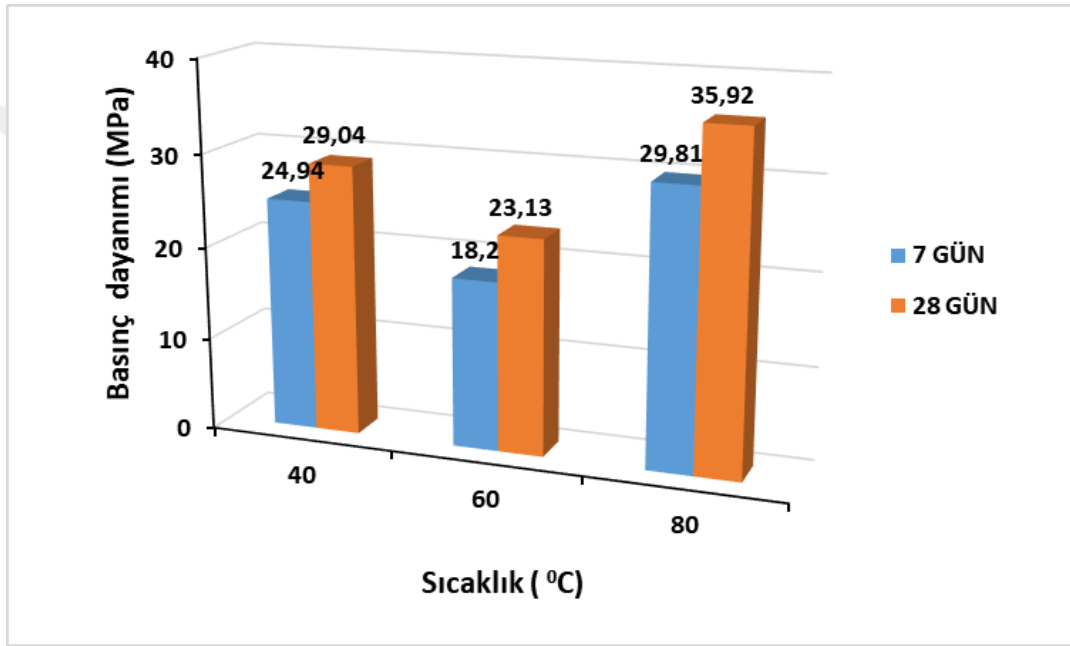
Farklı sentez sıcaklıklarında hazırlanan PCEs'in beton verimi üzerine etkisi incelenerek Şekil 4.8 ve 4.9'da gösterilmiştir. 40, 60 ve 80 °C'lerde sentezlenen PCEs kullanılarak hazırlanan betonların ilk slump ve 30 dak beklemeden sonraki slump ve 30 dak beklemeden sonraki slump değerleri ölçülmüştür (Şekil 4.8). 40 °C sıcaklıkta sentezlenen PCE ile yapılan beton deneyinde ilk slump 21, 30 dak beklemeden sonraki slump 20 cm olarak ölçülmüş ve slump değeri arasında 1 cm gibi çok küçük bir fark elde edilmiştir. Ayrıca, deney sırasında betonun işlenebilirliğinin iyi olduğu ve kıvamını da koruduğu gözlemlenmiştir. 60 °C sıcaklıkta sentezlenen PCE' nin kullanıldığı beton deneyinde ilk slump ve 30 dak beklemeden sonraki slump arasında 6 cm lik bir fark elde edilmesine, başlangıçta kıvam ve işlenebilirliğin iyi olmasına rağmen 30 dak sonra bu özelliğini kaybettiği, 80 °C sıcaklıkta sentezlenen PCE' nin kullanıldığı beton deneyinde de başlangıç kıvamının ve işlenebilirliğin iyi olmadığı, betonun kıvamını korumadığı gözlemlenmiştir. Betonun slump ve işlenebilirlik değerlerine göre en iyi beton performansı 40 °C sıcaklıkta sentezlenen PCE ile elde edilmiştir. Ancak sadece betonun slump sonuçlarına göre değerlendirme yapılmayıp basınç dayanımları da incelenmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.8 Sentez sıcaklığının slump üzerine etkisi (Agrega kirliliği %2)

40 °C, 60 °C ve 80 °C sıcaklıklarda sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonların basınç dayanımları incelendiğinde 60 °C sıcaklıkta sentezlenen PCE ile hazırlanan betonun

7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının diğer sıcaklıklarda sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonun basınç dayanımlarından daha düşük olduğu Şekil 4.9'da gözlenmektedir. 7 ve 28 günlük en yüksek basınç dayanımı sırasıyla 29.81 ve 35.92 MPa olarak 80 °C'de sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonda olduğu şekilden gözlenmiştir. Ancak, bu sıcaklıkta sentezlenen PCE'in kullanıldığı betonun işlenebilirliğinin ve slump değerlerinin kötü olması ayrıca, beton kıvamını korunamadığı için bu sentez sıcaklığı tercih edilmemiştir. Bundan dolayı hem slump hem de basınç dayanımı açısından en iyi değerleri veren 40 °C'de sentezlenen PCE olduğundan bundan sonraki çalışmalarda sentez sıcaklığı 40 °C olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.9 Sentez sıcaklığının basınç dayanımı üzerine etkisi(Agrega Kirliliği %2)

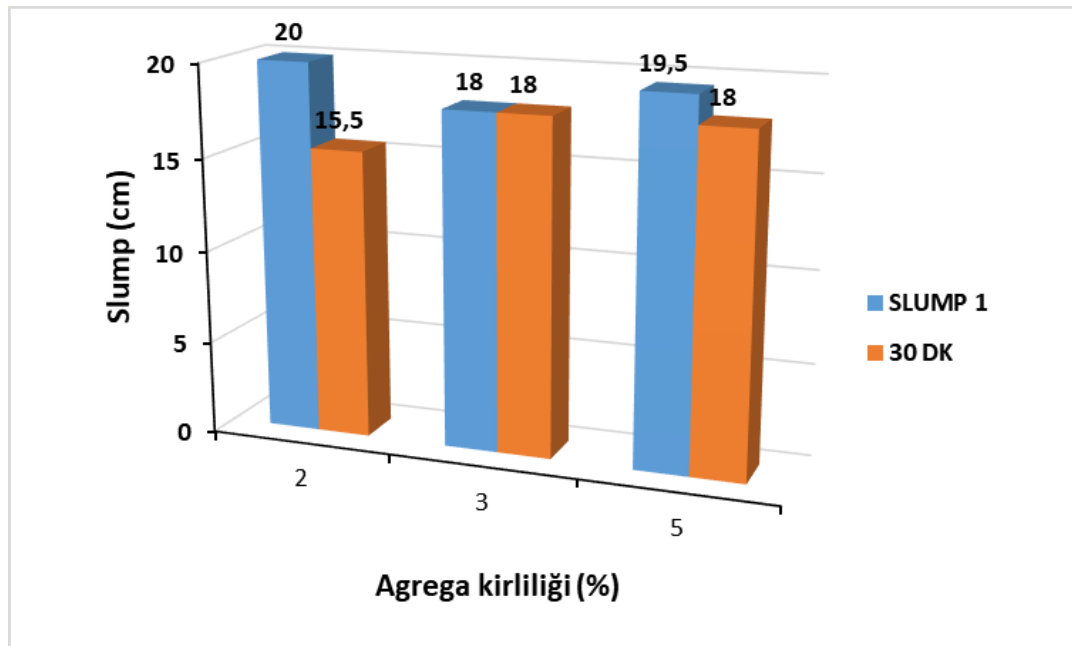
Bütün beton deneyler sonuçlarına göre, PCEs sentezi için optimum koşullar; monomer olarak %100 TPEG, monomeri, HEMA ve AA için besleme süresi 4 saat, HEMA derişimi 2.5 M ,sentez sıcaklığı 40 °C olarak belirlenerek bundan sonraki PCEs sentez deneyleri bu şartlarda gerçekleştirildi.

4.5 Optimum Deney Şartlarında Sentezlenen PCEs'in Kirli Agregalarla Hazırlanan Beton Performansı Üzerine Etkisi

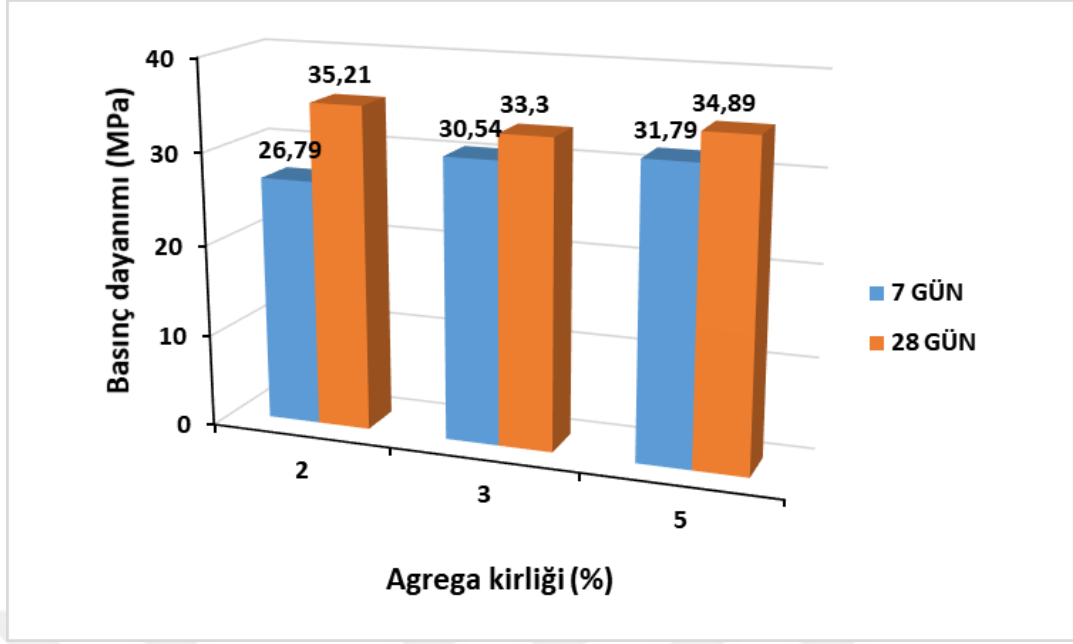
Optimum deney şartlarında sentezlenen PCEs'in agrega kirliliği % 2, % 3 ve % 5 olarak kullanılan agregalarla hazırlanan beton numunelerinin slump ve basınç

dayanım deneyleri yapılarak sırasıyla Şekil 4.10 ve 4.11’de verilmiştir.. Bu deneyler sonucunda agrega kirliliği arttıkça ihtiyaç duyulan PCEs miktarının da arttığı gözlenmiştir. Buna göre, % 2 agrega kirliliğinde 40 g, % 3 agrega kirliliğinde 60 g ve % 5 agrega kirliliğinde ise 75 g PCE kullanılmıştır. Bütün numunelerin 24 saat içerisinde priz aldığı gözlenmiştir.

%2 kirlilik içeren agregalarla hazırlanan betonun ilk ve 30 dk bekleme sonrasındaki slump değerleri arasındaki fark 4.5 cm, %3 kirlilikte bu fark 0 cm ve % 5 kirlilikle 1.5 cm çıkmıştır (Şekil 4.10). Bu sonuçlar optimum deney şartlarında sentezlenen PCEs’in kirlilik oranı yüksek agregalarla hazırlanan betonlarda kıvam koruduğunu göstermektedir. %2, %3 ve %5 kirlilik oranına sahip agregalarla hazırlanan betonun 28 günlük basınç dayanımı değerleri sırasıyla 35.21, 33.3 ve 34.89 MPa bulunmuştur (Şekil 4.11). Bu sonuçlara göre sentezlenen PCEs farklı agrega kirliliklerinde hazırlanan beton numunelerinde kıvam koruyucu olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Üstelik, yapılan beton deneyleri sonucunda sentezlenen PCEs’in kullanıldığı betonlarda işlenebilirlik açısından da oldukça iyi sonuçlar sağladığı görülmüştür. 28 günlük basınç dayanımı sonuçları ise C25/30 sınıfı beton üretildiğini göstermektedir. (TSE, 2000)



Şekil 4.10 Agrega kirliliğinin slump üzerine etkisi



Şekil 4.11 Agreg a kirliliğinin basınç dayanımı üzerine etkisi

4.7 Piyasada Kullanılan PCEs ile Sentezlenen PCEs'in Beton Performanslarının Karşılaştırılması

Karşılaştırma yapılacak PCEs için hazırlanan beton karışımı aşağıda verilmiştir.

Bu betonlarda agreg a kirlilik oranı %4 olarak, su / çimento oranı 0.62 alınarak hazırlanan beton hacmi 8 dm³ olarak belirlenmiştir..

8 dm³ beton hacmi için; (Agreg a Kirliliği % 4)

0-5 mm Agreg a	: 6000 g
5-13 mm Agreg a	: 2180 g
13-22 mm Agreg a	: 5240 g
Bypass	: 3000 g
Çimento	: 2170 g
Su	: 1350 g

Karşılaştırma yapmak amacıyla %100 TPEG monomeri, besleme süresi 4 saat, HEMA konsantrasyonu 2.5 M, sentez sıcaklığı 40 °C'de sentezlenen ürün (SPCE) ve

kullanıma hazır şekilde piyasada satılan iki farklı PCE kullanılmıştır. Piyasada killi agregalarda kullanılacak PCE henüz bulunmamaktadır. Bu yüzden piyasadan temin edilen PCE'ler agrega kirliliği % 1.25 ve daha az kirliliğe sahip agregalarla beton üretiminde kullanılmak üzere üretilmişlerdir. Ayrıca PCE'ler %1.25 ve daha az kirliliğe sahip agregalarla yapılan betonlarda oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Bu nedenle karşılaştırma amacıyla bu ürünler tercih edilmiştir. Piyasadan temin edilen PCE'ler Piyasa 1 ve Piyasa 2 olarak tanımlanmıştır.

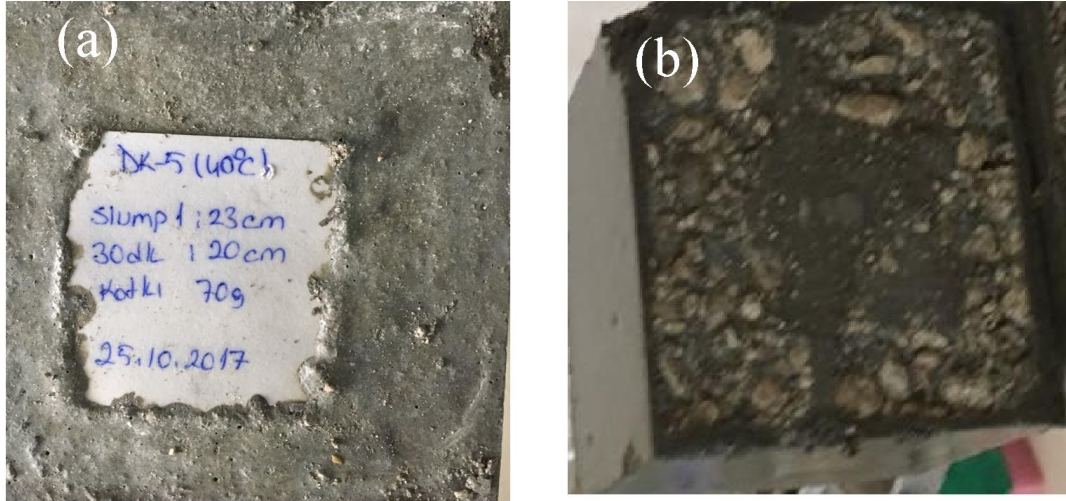
Çizelge 4.1 Piyasadaki PCEs ile bu çalışmada sentezlenen PCEs'in beton performansı üzerine etkisinin karşılaştırılması

Yapılan Deneyler	SPCE	Piyasa 1 PCE	Piyasa 2 PCE
Slump 1 (cm)	17	18	18
30 dak (cm)	12	4.5	Şişleme yapılamadı
7 Gün BasınçDayanımı (MPa)	32.25	Priz almadı	Priz almadı
28 Gün BasınçDayanımı (MPa)	38.36	Priz almadı	Priz almadı
Katkı Miktarı (g)	105	170	115

SPCE ürünü ile yapılan betonda hiç ayrışma olmadığı, işlenebilirliğinin ve kıvam korumasının da en iyi olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.12-a) . Beton numunesi 24 saat sonra priz almıştır. 28 günlük basınç dayanımı sonuçları ise C30/35 sınıfı beton üretildiğini göstermektedir. TSE (2000)

Piyasa 1 PCE ile yapılan betonda başlangıçtaki beton kıvamının ve işlenebilirliğinin iyi az miktarda ayrışma olduğu, fakat 30 dak sonra kıvam kaybı ve işlenebilirlikte çok fazla azalma olduğu görülmüştür. Beton numunesi 4 gün kalıpta bekletilmesine rağmen priz almamıştır.

Piyasa 2 PCE ile yapılan betonda oldukça fazla ayrışma olduğu gözlemlendi, Başlangıçtaki beton kıvamının ve işlenebilirliğinin iyi olduğu fakat 30 dak sonra beton tamamen kıvamını kaybettiği gözlenmiştir. 30 dak sonra slump bakmak için slump hunisine alınan beton şişlenemediği için 30 dak sonra slump testi yapılamamıştır. Piyasa 2 PCE ile hazırlanan bu beton numunesinin 4 gün kalıpta bekletilmesine rağmen priz almadığı .ve oldukça fazla ayrışma olduğu görülmüştür (Şekil 4.12-b).



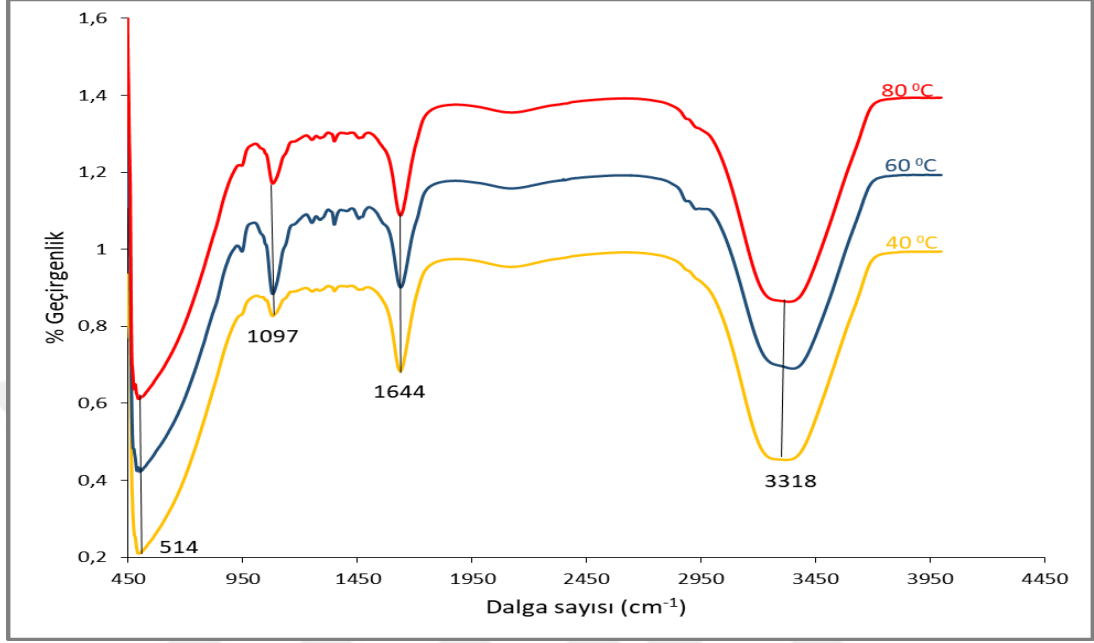
Şekil 4.12 a) Sentezlenen PCE ile b) Piyasa 2 PCE ile hazırlanan beton numunesi

4.8 Optimum Şartlarda Sentezlenen PCEs Karakterizasyonu

4.8.1 Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

40 °C, 60 °C, 80 °C sıcaklıklarda sentezlenen PCEs'in FTIR spektrumları Şekil 4.13'de gösterilmektedir. 3318 cm⁻¹'de gözlemlenen daha büyük yoğunluklu geniş absorpsiyon pikinin, O-H (O-H, COOH germe) bağının gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır (Liao vd., 2015). 1097 cm⁻¹ C-O-C'nin absorpsiyon piki polieter

yan zincirinin polioksietileninin uzun zincirinde eter bağlantısını göstermektedir. (Qian vd., 2017), 1644 cm^{-1} 'de C = C gerilmesi doymamış bileşiklerin varlığını göstermektedir. (Li vd., 2017 ; He vd., 2018)

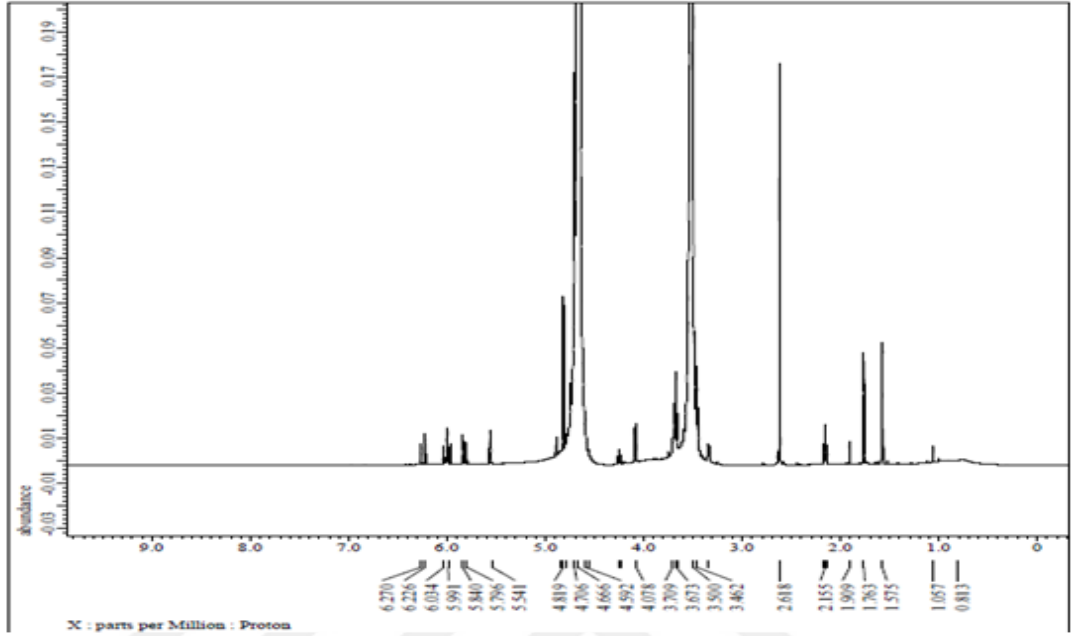


Şekil 4.13 Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs'ın FTIR spektrumları

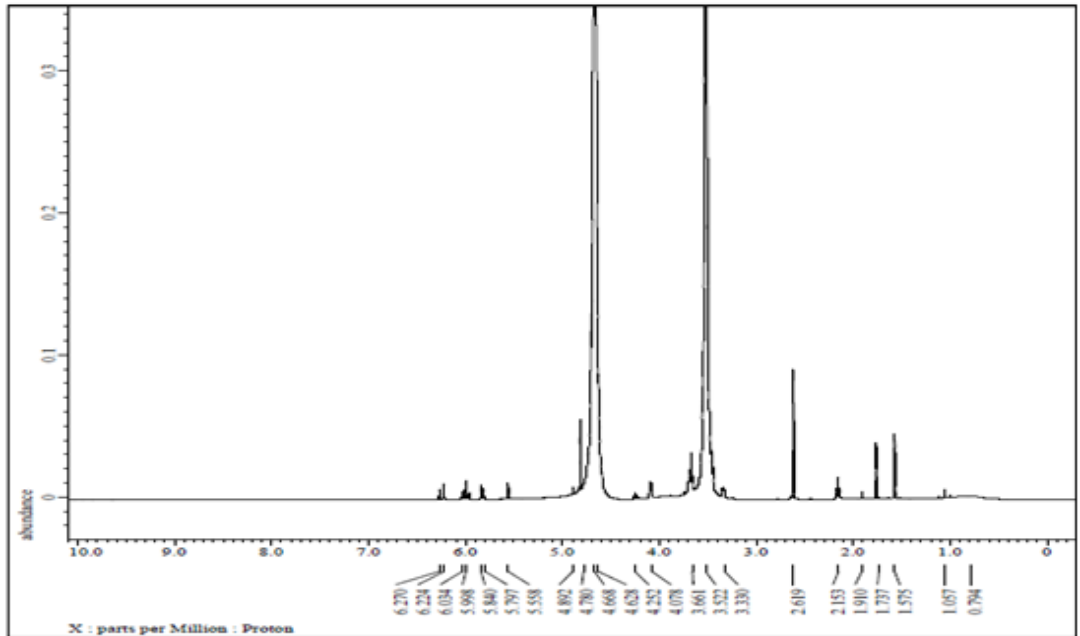
4.8.2 Nükleer manyetik rezonans spektrometresi (NMR)

D₂O çözücü ile hazırlanan sentezlenmiş PCEs'ın, sentezlerinden sonraki bekleme sürelerine göre, çekilen ¹H NMR spektrumu Şekil 4.14 – 4.18'de gösterilmiştir. Sentezlenen PCEs'ın sentezlendiği günden 7. güne kadar farklı zamanlarda, aynı koşullarda, yapılan ¹H NMR ile reaksiyon takip edildi. 5.5-6.3 ppm arasındaki HEMA ve AA'e ait olduğu düşünülen piklerin zamanla şiddetinde azalma olduğu (Şekil 4.14-18) , 7. günde alınan spektrumda ise neredeyse tamamen yok olduğu gözlenmiş, bu piklerin Şekil 4.18'de neredeyse tamamen yok olmasıyla sentez süresinden sonra da bu yapıların ana zincire bağlandığı düşünülmüştür. Tipik olarak, ana zincirde, -CH₃ ($\delta = 0.8 \sim 1.0$ ppm), C-CH₂-C ($\delta = 1.0 - 2.0$ ppm) sinyaller vermiştir. ($\delta = 3.30, 3.80$ ppm) güçlü tepe yan zincir etilen oksit(- CO-CH₂)'i göstermektedir. Ayrıca, $\delta = 4.70$ ppm' deki zirve D₂O varlığına işaret etmektedir. Tüm örnek ürünlerin karakteristik fonksiyonel gruplara sahip olduğu ve dolayısıyla

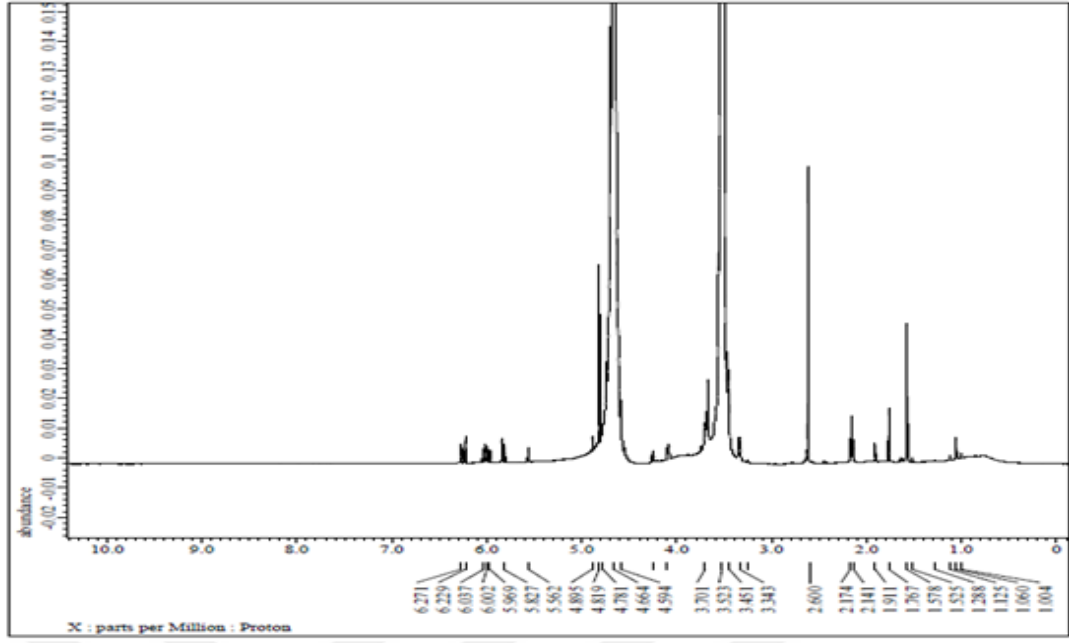
AA ile TPEG arasında üçüncü monomer olarak HEMA dahil olmak üzere nispeten tamamlanmış bir kopolimerizasyon olduğu düşünülebilir.(Yamamoto vd., 2004 ; Liu vd., 2014a ; Liu vd., 2014b ; Tan vd., 2016c)



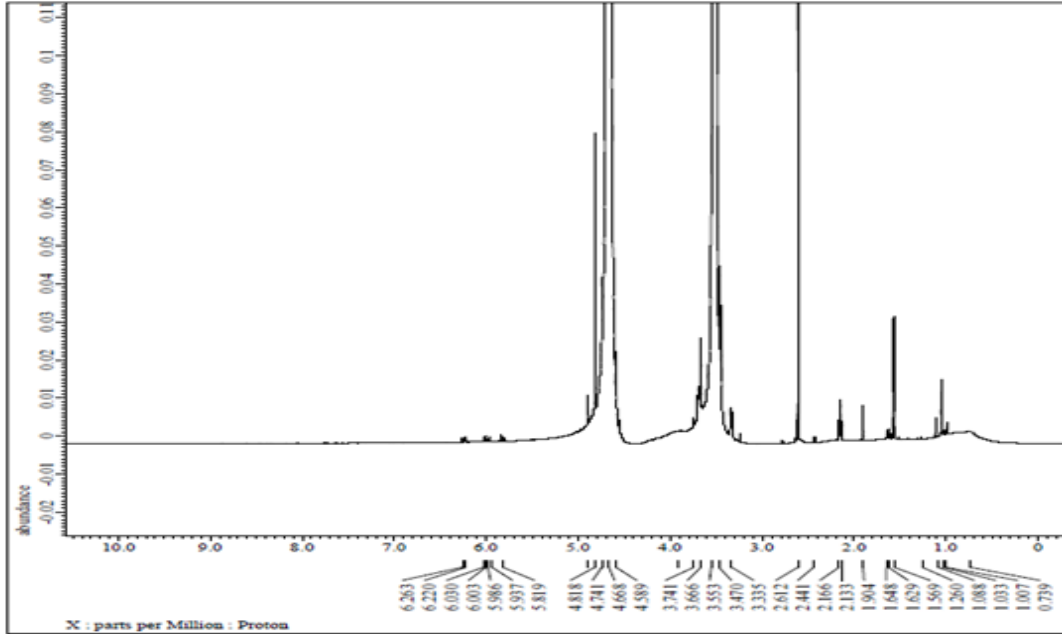
Şekil 4.14 PCE sentezinin 1. günü ¹H NMR spektrumu



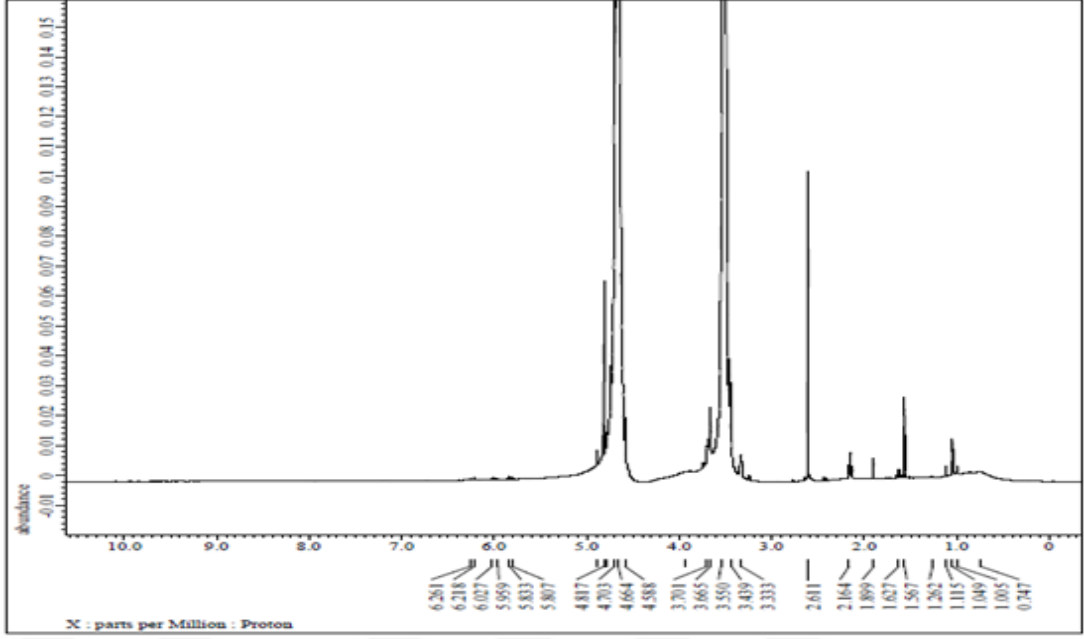
Şekil 4.15 PCE sentezinin 2. günü ¹H NMR spektrumu



Şekil 4.16 PCE sentezinin 3. günü ^1H NMR spektrumu

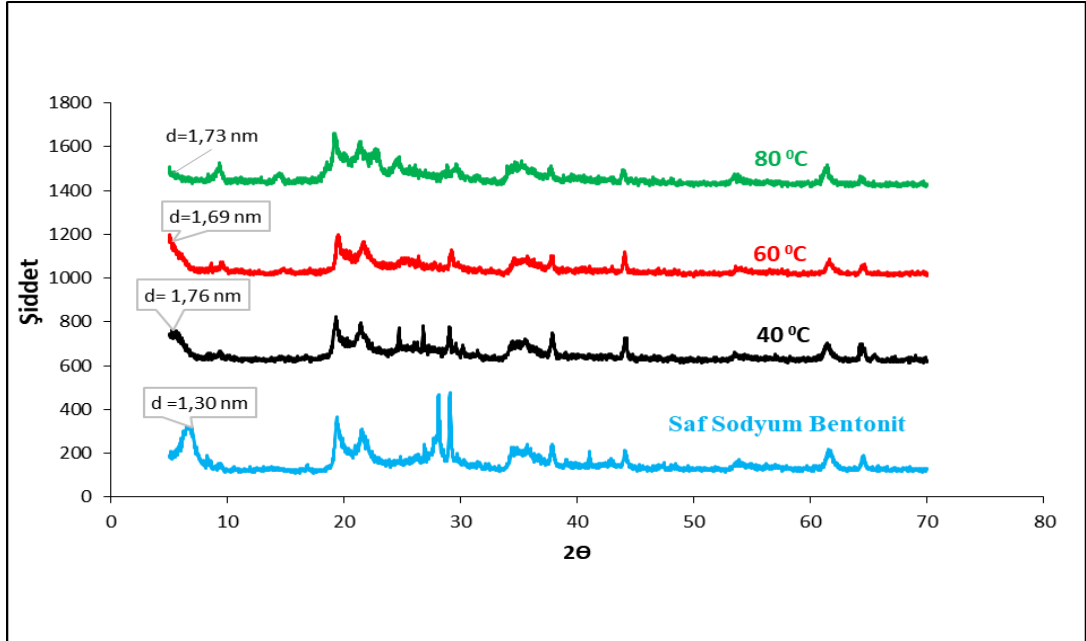


Şekil 4.17 PCE sentezinin 5. günü ^1H NMR spektrumu



Şekil 4.18 PCE sentezinin 7. günü ^1H NMR spektrumu

4.8.3 X-ışınları kırınımı (XRD)



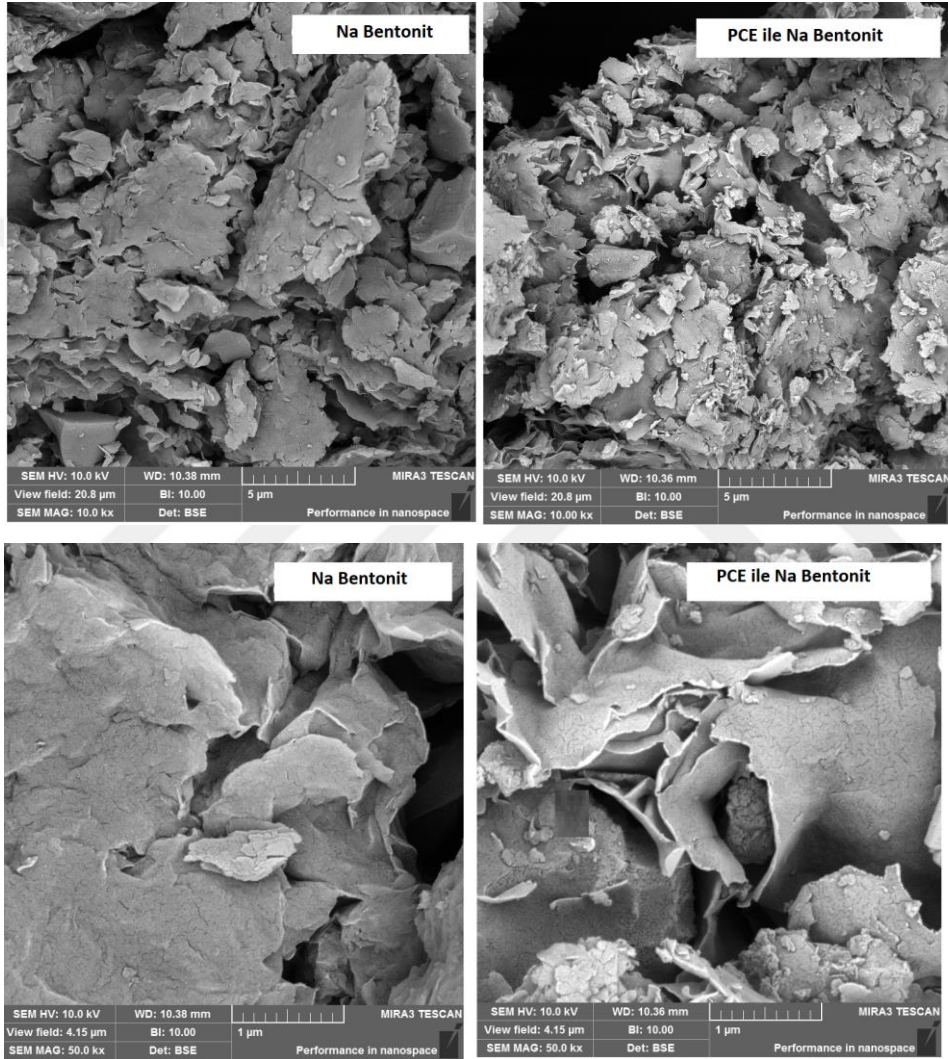
Şekil 4.19 Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs ve Na bentonitle hazırlanan numuneler ile saf Na-Bentonitin XRD diyagramları

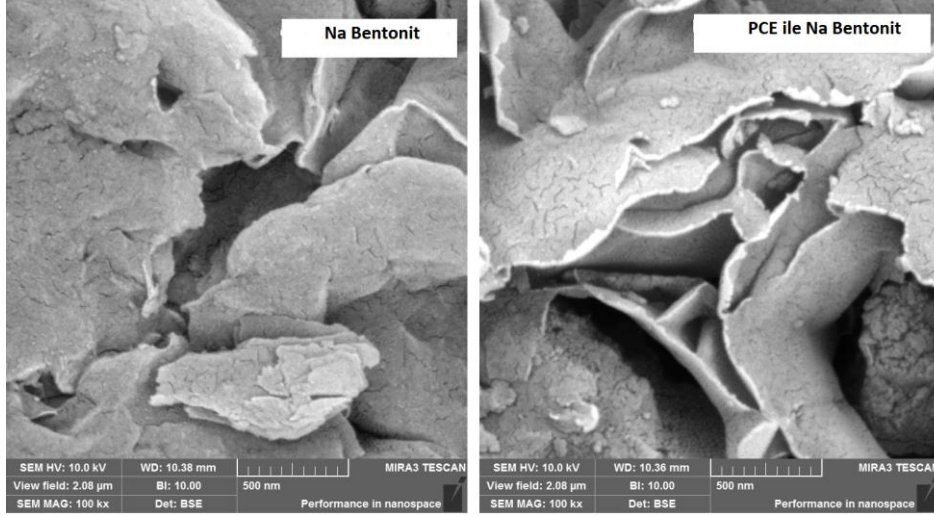
Farklı sıcaklıklar kullanılarak sentezlenen PCE'sın Na- Bentonit ile karıştırılıp X-ışını kırınımı ölçümleri $2\theta=5^{\circ}-70^{\circ}$ arasında yapılarak Şekil 4.19 da verilmiştir. d değerleri $\lambda = 2.d.\sin\theta$ formülü kullanılarak hesaplandı. Saf Na - bentonitin ara katman aralığının $d = 1.30$ nm ($2\theta = 6.76^{\circ}$) iken, 40°C 'de sentezlenmiş PCE emdirilmiş Na-bentonitin ara katman aralığı $d = 1.76$ nm ($2\theta = 5^{\circ}$), 60°C 'de sentezlenmiş PCE emdirilmiş Na-Bentonit ara katman aralığı $d = 1.69$ nm ($2\theta = 5.2^{\circ}$), 80°C 'de sentezlenmiş PCE emdirilmiş Na-Bentonit ara katman aralığı $d = 1.73$ nm ($2\theta = 5.1^{\circ}$) olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan PCE' nin varlığının Na-Bentonitin ara tabaka mesafesini $0.39-0.46$ nm arttırdığı bu hesaplamalar sonucunda elde edilmiştir. Bu sonuca göre sentezlenen PCE'in Na-Bentonitteki alüminasilikat tabakalarının arasına girdiği (interkalasyonu) tabakaların arasının açılmasından anlaşılmaktadır. Bu sonuçlara göre, sentezlenen PCE'sın kil içerikli agregalar ile hazırlanan betonda kullanılabileceği, yukarıda yapılan beton deneyleri ile birlikte, XRD sonuçları ile de desteklenmiştir.(Tan vd., 2016b). Bu duruma PCE yan zincirlerinin Na-Bentonit yapısındaki alümina silikat tabakalarının yüksek kimyasal çekim gücünün neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca XRD sonuçları SEM görüntülerindeki açılmış yaprak görünümünü de desteklemektedir. 40°C ' de sentezlenen PCE ile yapılan betondaki slump test sonuçlarına dayanarak, PCE' nin sadece uzun yan zincir terminal grubunun kısmen esterleştiği düşünülmektedir, 60°C ve 80°C 'de sentezlenen PCE's'de ise esterleşmenin daha az olması nedeniyle betondaki slump deneyleri sonucu daha düşük çıkmıştır.(Chen vd., 2018) 40°C 'de sentezlenen PCE'de kısmen oluşan esterleşme PCE molekülünün anti-kil özelliğine sahip olmasını sağlarken aynı zamanda iyi dağılım kapasitesini de korumaktadır. (Chen vd., 2018)

4.8.4 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Şekil 4.20'de PCE varlığında ve yokluğunda Na-Bentonitin SEM görüntüleri görülmektedir. Saf Na-Bentonit ve PCE ile hazırlanan Na-Bentonit görüntüleri karşılaştırıldığında tabakalar arası boşlukların arttığı gözlemlenmiş, ayrıca farklı

boyutlarda yapılan yakınlaştırmalarda ise PCE varlığında örnekte yaprak şeklinde bir açılmanın olduğu da gözlemlenmiştir. Bu açılmalar PCE' nin tabakalar arasında tutunduğunu göstermektedir. Buna göre sentezlenen PCEs'ın kil toleransını ve killi agregalarla hazırlanan betonda kıvam korumayı artırdığı sonucu çıkarılarak diğer analizleri desteklediği görülmüştür.





Şekil 4.20 Saf Na -Bentonit ve PCE çözeltisi ile hazırlanmış Na- Bentonit SEM görüntüleri

5. SONUÇLAR

1980'lerde polikarboksilat süperakışkanlaştırıcılar (PCEs) yeni nesil beton katkıları olarak tanımlanmıştır. Genellikle PCE bir anyonik polimer omurgasına asılmış polietilen oksit (PEO) yan zincirlerinden oluşur. PEO yan zincirleri, suda asılı çimento tanecikleri arasında siterik bir engelleme etkisi yaratır. Bu eşsiz mekanizma sayesinde, PCE süper akışkanlaştırıcılar polikondensatlara kıyasla üstün dağılma kuvveti sergiler. PCEs'da moleküllerinin ayarlanması kolay olan çok sayıda ayarlanabilir yapısal parametre bulunduğundan, PCEs birçok farklı maddeye uyum sağlayabilir. Bundan dolayı PCEs uzun çökme-tutma (> 2 saat), yüksek akış hızı sağlama ve çok düşük su - çimento oranlarında etkinlik (w / cb0.25) gibi birçok farklı amacı barındırabilir.

Çimentoda kil parçacıkları reolojik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir, çimentonun akıcılığını düşürür ve çimentonun uygun işlenebilirliğini korumak için daha yüksek su tüketimine neden olur. Bu nedenle, polimerik bir modifiye edici, yani beton katkı kimyasalları, çimento karışımında cüruf, uçucu kül gibi büyük miktarlarda endüstriyel atıklar bulunduğu, çimentonun su içeriğini azaltmak ve işlenebilirliğini korumak için sıklıkla kullanılır. Polimer katkı maddeleri, uygulama amaçlarına bağlı olarak kolloidal parçacıkları ya stabilize etmek ya da topaklanmayı engelleme için çeşitli kolloidal süspansiyonlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada özellikle kil içeren agregalarla hazırlanan betonun kıvamını koruyacak polikarboksilat içerikli bir beton katkı malzemesi hazırlanmıştır. Bunun için, monomerin cinsi, malzemelerin deney sistemine besleme süreleri, polimerizasyon sıcaklığı ve süresi gibi parametreler ön denemeler ile belirlenmiştir. Değiştirilen her parametre için sentezlenen PCEs'in, ilk önce %1.25 kirliliğe sahip agregalarla hazırlanan beton üzerine performansı incelenerek, sentez parametrelerine karar verilmiştir. Bütün sentez parametreleri belirlendikten sonra farklı kirlilik oranları içeren agregalar ile hazırlanan beton performansı değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Bu çalışmada killi agregalarla hazırlanan beton için süper akışkanlaştırıcı ve kıvam koruyucu bir PCE sentezlenmiştir. Bunun için:
- AA, TPEG ve HEMA kullanılarak kopolimerizasyon yöntemiyle PCE sentezi yapılmıştır.
- Betonun slump ve basınç dayanımları değerlendirilerek en uygun deney şartları olarak 4 saat HEMA ve AA'nın besleme süresi, 2.5 M HEMA derişimi ve 40 °C sıcaklık olarak belirlenmiştir.
- Sentezlenen nihai PCE ile %2, %3 ve %5 kirliliklere sahip agrega ile hazırlanan betondaki PCE'nin performansı incelenmiştir. Bu beton deneyleri sonucu %2, %3 ve %5 kirliliğe sahip agregalarla hazırlanan betonun ilk slump değerleri sırasıyla 20, 18, 19.5 cm, 30 dak bekleme sonrası slump değerleri 15.5, 18, 18 cm ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri sırasıyla 35.21, 33.3 ve 34.89 MPa bulunmuştur. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde standartlara göre C25/30 sınıfı beton elde edildiği görülmüştür. Bu da sentezlenen PCE' nin betondaki performansının oldukça iyi olduğunu göstermektedir.
- Piyasada kullanılan PCEs ile sentezlenen PCE kıyaslandığında %2 ve daha fazla kirlilik içeren agregalarla hazırlanan betonda piyasa ürünlerinin sonuç vermediği gözlemlendi.
- Optimum şartlarda sentezlenen PCE' nin karakterizasyonu XRD, ¹H NMR, FT-IR ve SEM analiz yöntemleriyle belirlenmiştir.
- PCE'nin ¹H NMR spektrumu ($\delta=3.30, 3.80$ ppm) güçlü tepe yan zincir etilen oksit(- CO-CH₂)'i göstermektedir. AA ile TPEG arasında üçüncü monomer olarak HEMA dahil olmak üzere nispeten tamamlanmış bir kopolimerizasyon olduğu düşünülebilir.
- Sodyum bentonite PCE emdirilerek hazırlanan numunelerin XRD ölçümleri alınarak tabakalar arası boşluk hesaplanmıştır. Saf Na - bentonitin ara katman aralığının $d = 1.30$ nm ($2\theta = 6.760$) iken, 40 °C'de sentezlenmiş PCE emdirilmiş Na-bentonitin ara katman aralığı $d = 1.76$ nm ($2\theta = 50$), 60 °C'de sentezlenmiş PCE emdirilmiş Na-Bentonit ara katman aralığı $d = 1.69$ nm ($2\theta = 5.20$), 80 °C'de sentezlenmiş PCE emdirilmiş Na-Bentonit ara katman aralığı $d = 1.73$ nm ($2\theta = 5.10$) olarak hesaplanmıştır. Tabakalar arasındaki

boşlukların artması, polikarboksilatın boşluklar arasına girerek, suyu emme eğiliminde olan beton içerisindeki killerin bu eğilimlerinin engellendiği bu sonuçlarla kanıtlanabilir.

- PCE varlığında ve yokluğunda Na bentonitin SEM görüntüleri Na bentonit deki ara tabakalar arasında açılma olduğunu göstererek XRD sonuçlarını desteklemiştir.
- Elde edilen deneysel sonuçlara göre, bugüne kadar henüz piyasada bulunmayan, killi agregalarla hazırlanan betonda kıvam koruyucu olarak kullanılabilen polimer içerikli bir kimyasal beton katkısı elde edildiği sonucuna varılmıştır. Üstelik, bu katkı ile hazırlanan beton deneylerinin standartlara uygun olduğu gözlenerek, piyasada kullanılabilen bir ürün sentezlendiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ACI (1994), 212 IR-81: Admixture for Concrete, edited, *American Concrete Institute (ACI)*, USA, 51.
- ACI (2000), 116R-90: Cement and Concrete Terminology, edited, *American Concrete Institute (ACI)*, USA, 68.
- Akimoto, S., Honda, S. and Yasukohchi, T.**, (1992). Additives for cement, *EP Patent* 0,291,073,
- Albrecht, G., Weichmann, J., Penkner, J. and Kern, A.**, (1996). Copolymers based on oxyalkylene glycol alkenyl ethers and derivatives of unsaturated dicarboxylic acids, *EP Patent* 0,736,553,
- Amaya, T., Ikeda, A., Imamura, J., Kobayashi, A., Saito, K., Danzinger, W. and Tomoyose, T.**, (2000). Cement dispersant and concrete composition containing the dispersant, *WO Patent* 00/39045
- Arioğlu, E., Arioğlu, N. and Yılmaz, A.O.**, (2006). Beton Agregaları 2. *Evrım Yayınevi*, İstanbul, 1-33.
- ASTM (1994), C 150: Standard Specification for Portland Cement, edited, *Annual Book of ASTM Standards*.
- ASTM (2015a), C127-15: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, edited, *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, West Conshohocken, PA.
- ASTM (2015b), C143M-15a: Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, edited, *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, West Conshohocken, PA, .
- ASTM (2018a), C39M-18: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, edited, *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, West Conshohocken, PA.
- ASTM (2018b), C 31M-18a: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field, edited, *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, West Conshohocken, PA.
- Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., Ün, H., Yiğiter, H., Felekoğlu, B., Felekoğlu Tosun, K., Aydın, S., Yardımcı, M.Y., Topal, A. and Öztürk, A.U.**, (2012). Beton, 334. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları* İzmir.
- Carraher, C.E.**, (2003). Polymer Chemistry. *Marcel Dekker*, New York.
- Chen, G., Lei, J., Du, Y., Du, X. and Chen, X.**, (2017). A polycarboxylate as a superplasticizer for montmorillonite clay in cement: Adsorption and tolerance studies. *Arabian Journal of Chemistry*.
- Chen, G., Lei, J., Du, Y., Du, X. and Chen, X.**, (2018). A polycarboxylate as a superplasticizer for montmorillonite clay in cement: Adsorption and tolerance studies. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(6): 747-755.
- Erdoğan, T.Y.**, (1995). Agregalar. *Türkiye Hazır Beton Birliği*, İstanbul.
- Erdoğan, T.Y.**, (2013). Beton. *ODTÜ Yayıncılık*, Ankara.
- Erdoğan, T.Y.**, (2015). Beton. *ODTÜ Yayıncılık*, Ankara.

- Fernandes, V.A., Purnell, P. and Still, G.T.**, (2007). The effect of clay content in sands used for cementitious materials in developing countries. *Cement and Concrete Research*, 37: 751-758.
- Flatt, R.J. and Houst, Y.F.**, (2001). A simplified view on chemical effects perturbing the action of superplasticizers. *Cement and Concrete Research*, 31(8): 1169-1176.
- Guggenheim, S. and Krekeler, M.**, (2011). The Structures and Microtextures of the Palygorskite–Sepiolite Group Minerals, 3.
- Guicquero, J.P., Maitrasse, M.A. and Mosquet, A.S.**, (1999). A water soluble or water dispersible dispersing agent, *FR patent 2,776,285*,
- Hamada, D., Yamato, F., Mizunuma, T. and Ichikawa, H.**, (2001). Additive mixture for cementbased concrete or mortar contains a copolymer of polyalkoxylated unsaturated acid and a mixture of alkoxyated carboxylic acid with a corresponding ester and/or an alkoxyated alcohol, *DE Patent 10,048,139*,
- He, T., Yang, R., Xu, Y., Shi, C., Zou, Y., Li, H. and Fang, J.**, (2018). Synthesis and Properties of Ester Ether Copolymerization Polycarboxylate Superplasticizer *Journal Of The Chinese Ceramic Society* 46(2): 218-223.
- Hirata, T.**, (1981). A cement dispersant. S59-018338, *JP Patent 84.2022* Japan
- Jeknavorian, A.A., Jardine, L., Ou, C.C., Koyata, H. and Folliard, K.J.** (2003), Interaction of Superplasticizers with Clay-Bearing Aggregates, in *ACI/7th CANMET International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*, edited by V. Malhotra, *American Concrete Institute*, Berlin, Germany, 1293-1316.
- Jiang, S., Kim, B.G. and Aïtcin, P.C.**, (1999). Importance of adequate soluble alkali content to ensure cement/superplasticizer compatibility. *Cement and Concrete Research*, 29(1): 71-78.
- Keller, H. and Plank, J.**, (2013). Mineralisation of CaCO₃ in the presence of polycarboxylate comb polymers. *Cement and Concrete Research*, 54: 1-11.
- Konan, K.L., Peyratout, C. and Cerbelaud, M.**, (2008). Influence of two dispersants on the rheological behavior of kaolin and illite in concentrated calcium hydroxide dispersions. *Applied Clay Science*, 42: 252-257.
- Le, T., Fatahi, B. and Khabbaz, H.**, (2012). Viscous Behaviour of Soft Clay and Inducing Factors, 30.
- Lei, L. and Plank, J.**, (2012). A concept for a polycarboxylate superplasticizer possessing enhanced clay tolerance. *Cement and Concrete Research*, 42(10): 1299-1306.
- Li, C.Z., Feng, N.Q., Li, Y.D. and Chen, R.J.**, (2005). Effects of polyethylene oxide chains on the performance of polycarboxylate-type water-reducers,. *Cement and Concrete Research*, 35: 867-873.
- Li, J., Zhou, Y., Yao, Q., Wang, T., Zhang, A., Chen, Y., Wu, W. and Sun, W.**, (2017). Preparation and Evaluation of a Polyether-Based Polycarboxylate as a Kind of Inhibitor for Water Systems. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 56(10): 2624-2633.
- Li, Y., Zhang, Y., Zheng, J., Guo, H., Yang, C., Li, Z. and Lu, M.**, (2014). Dispersion and rheological properties of concentrated kaolin suspensions with

- polycarboxylate copolymers bearing comb-like side chains. *Journal of the European Ceramic Society*, 34(1): 137-146.
- Liao, G.S., Zhao, P., Xiao, Y. and Yang, H.**, (2015). Research on The Polycarboxylic Slump Retaining Admixture. *3rd International Conference on Material, Mechanical and Manufacturing Engineering*: 83-89.
- Liao, T.S., Hwang, C.L., Ye, Y.S. and Hsu, K.C.**, (2006). Effects of a carboxylic acid / sulfonic acid copolymer on the material properties of cementitious materials. *Cement and Concrete Research*, 36: 650-655.
- Liu, S., Mo, X., Zhang, C., Sun, D. and Mu, C.**, (2004). Swelling Inhibition by Polyglycols in Montmorillonite Dispersions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 25(1): 63-66.
- Liu, X., Guan, J., Lai, G., Wang, Z., Zhu, J., Cui, S., Lan, M. and Li, H.**, (2017a). Performances and working mechanism of a novel polycarboxylate superplasticizer synthesized through changing molecular topological structure. *Journal of colloid and interface science*, 504: 12-24.
- Liu, X., Guan, J., Lai, G., Zheng, Y., Wang, Z., Cui, S., Lan, M. and Li, H.**, (2017b). Novel designs of polycarboxylate superplasticizers for improving resistance in clay-contaminated concrete. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 55: 80-90.
- Liu, X., Wang, Z., Zheng, Y., Cui, S., Lan, M., Li, H., Zhu, J. and Liang, X.**, (2014a). Preparation, Characterization and Performances of Powdered Polycarboxylate Superplasticizer with Bulk Polymerization. *Materials*, 7(9): 6169-6183.
- Liu, X., Wang, Z., Zhu, J., Zheng, Y., Cui, S., Lan, M. and Li, H.**, (2014b). Synthesis, characterization and performance of a polycarboxylate superplasticizer with amide structure. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 448: 119-129.
- Lu, S.H., Liu, G., Ma, Y.F. and Li, F.**, (2010). Study on synthesis and application of a new vinyl graft copolymer superplasticizer. *Journal of Applied Polymer Science*, 117: 273-280.
- Magarotto, R., Moratti, F. and Zeminian, N.** (2006), Influence of sulfates content in cement on the performances of superplasticizers, in *ACI/8th CANMET Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*, edited by Concrete, I.C.o.S.a.O.C.A.i., American Concrete Inst, Sorrento, Italy, 215-222.
- Manning, D., Bergaya, F., Theng, B.K.G. and Lagaly, G.E.**, (2007). Handbook of Clay Science (Developments in Clay Science, 1). *Elsevier's Science & Technology*.
- Mardani-Aghabaglou, A., Tuyan, M., Yılmaz, G., Ariöz, Ö. and Ramyar, K.**, (2013). Effect of different types of superplasticizer on fresh, rheological and strength properties of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*: 1020-1025.
- Mehta, P.**, (1999). Advancements in concrete technology. *Concrete International*, 21: 69-76.
- Ng, S. and Plank, J.**, (2012). Interaction mechanisms between Na montmorillonite clay and MPEG-based polycarboxylate superplasticizers. *Cement and Concrete Research*, 42(6): 847-854.

- Plank, J., Dai, Z.M., Keller, H., Hossle, H. and Seidl, W.,** (2010). Fundamental mechanisms for polycarboxylate intercalation into C3A hydrate phases and the role of sulfate present in cement. *Cement and Concrete Research*, 40: 45-57.
- Plank, J., Pöllmann, K., Zouaoui, N., Andres, P.R. and Schaefer, C.,** (2008). Synthesis and performance of methacrylic ester based polycarboxylate superplasticizers possessing hydroxy terminated poly(ethylene glycol) side chains. *Cement and Concrete Research*, 38(10): 1210-1216.
- Polat, H. and Özel, C.,** (2012). TS EN 206-1'e göre tasarlanan ve zararlı kimyasal ortamlara maruz kalacak betonların basınç dayanımının bulanık mantık yöntemiyle tahmini. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8: 26-35.
- Popovics, S.,** (1979). Concrete Making Materials. *McGraw-Hill Inc*, Washington.
- Primel, L. and Tourenq, C.,** (2000). Aggregates : geology, prospection, environment, testing, specifications, extraction, processing plants, equipments, quality control. *A. A. Balkema*, Rotterdam, 590.
- Qian, S., Jiang, H., Ding, B., Wang, Y., Zheng, C. and Guo, Z.,** (2017). Synthesis and performances of polycarboxylate superplasticizer with clay-inerting and high slump retention capability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 182: 012033.
- Ramachandran, V., Malhotra, V., Jolicoeur, C. and Spiratos, N.,** (1998). Superplasticizers: properties and applications in concrete. *Natural Resources Canada*, Ottawa.
- Roberts, L.R.** (1995), Dealing with cement admixture interactions, , , in *23rd Annual Convention of the Institute of Concrete Technology*, edited, Telford, UK.
- Saçak, M.,** (2004). Polimer Kimyası. *Gazi Kitabevi*, Ankara
- Sakai, E., Atarashi, D. and Daimon, M.** (2006), Interaction between superplasticizers and clay minerals, in *Proceedings of the 6th International Symposium on Cement & Concrete and CANMET/ACI International Symposium on Concrete Technology for Sustainable Development*, edited, 1560-1566.
- Shetty , M.S.,** (2000). Concrete Technology Theory and Practice. *S. Chand & Company Ltd.*, New Delhi
- Sun, C., Zhou, H., Li, X., Wang, S. and Xing, J.** (2015), The Clay-tolerance of Amide-modified Polycarboxylate Superplasticizer and Its Performance with Clay-Bearing Aggregates, in *Proceedings of the 2015 International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering*, edited by Zhang, G. and Lee, M., *Atlantis Press*, 237-241.
- Suter, J.L. and Coveney, P.V.,** (2009). Computer simulation study of the materials properties of intercalated and exfoliated poly(ethylene)glycol clay nanocomposites. *Soft Matter*, 5: 2239-2251.
- Şengül, Ö., Taşdemir, C., Koruç, Ş. and Sönmez, R.** (2003), Agregat Türünün Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etkisi, paper presented at 3. Ulusal Kırma taş Sempozyumu.
- Şimşek, O.,** (2009). Beton ve Beton Teknolojisi. *Seçkin Yayıncılık*, Ankara.
- Şimşek, O.,** (2010). Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri. *Seçkin Yayıncılık*, Ankara.

- Tahara, H., Ito, H., Mori, Y. and Mizushima, M.,** (1995). Cement additive, method for producing the same, and cement composition, *US Patent* 5,476,885,
- Tan, H., Gu, B., Ma, B., Li, X., Lin, C. and Li, X.,** (2016a). Mechanism of intercalation of polycarboxylate superplasticizer into montmorillonite. *Applied Clay Science*, 129: 40-46.
- Tan, H., Guo, Y., Ma, B., Li, X. and Gu, B.,** (2017). Adsorbing behavior of polycarboxylate superplasticizer in the presence of the ester group in side chain. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 38(5): 743-749.
- Tan, H., Li, X., Liu, M., Ma, B., Gu, B. and Li, X.,** (2016b). Tolerance of Clay Minerals by Cement: Effect of Side-Chain Density in Polyethylene Oxide (PEO) Superplasticizer Additives. *Clays and Clay Minerals*, 64(6): 732-742.
- Tan, H., Lin, C.L. and Yang, H.,** (2015). Effect of clay minerals on the properties of cement paste with the addition of sodium naphthalene sulphonate superplasticizer. *Cement Wapno Beton*, 20: 193-200.
- Tan, H., Sheng, W., Shouwei, J., Baoguo, M., Xin, L. and Muyu, L.,** (2016c). Effect of ester group in side chain of polycarboxylate superplasticizer on fluidity of cement-montmorillonite paste. *Cement, Wapno, Beton*, 21(3): 157-168.
- Tregger, N.A., Pakula, M.E. and Shah, S.P.,** (2010). Influence of clays on the rheology of cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 40: 384-391.
- TSE** (1980), TS 3526: Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Tayini edited, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)* Ankara.
- TSE** (1985), TS 802: Beton Karışım Hesapları, edited, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)*Ankara.
- TSE** (1999), TS 1227 ISO 3310-1: Deney Elekleri Teknik Özellikler ve Deneyler Kısım 1 : Tel Örgülü Deney Elekleri, edited, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)*Ankara.
- TSE** (2000), TS 500: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, edited, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)* Ankara, 67.
- TSE** (2002a), TS EN 206-1 Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, edited, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)* Ankara.
- TSE** (2002b), TS EN 934-2: Kimyasal Katkılar, edited, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)* Ankara.
- TSE** (2002c), TS EN 12350-2: Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 2: Çökme (slamp) deneyi, edited, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)* Ankara.
- TSE** (2002d), TS EN 12390-2: Sertleşmiş Beton Deneyleri -Bölüm3 : Deney Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini, edited, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)*, Ankara.
- TSE** (2003), TS 706 EN 12620: Beton Agregaları, edited, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)*, Ankara.
- TSE** (2010), TS EN 933-10: Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 10: İnce malzeme tayini - İnce dolgu malzemelerinin tane büyüklüğüne göre sınıflandırılması (hava jetiyle eleme), edited, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)* Ankara.

- TSE** (2012), TS 3323: Beton - Basınç deney numunelerinin hazırlanması, hızlandırılmış küre tabii tutulması ve deneyleri, edited, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)* Ankara.
- TSE** (2013), TS EN 933-9+A1 Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 9: İnce malzeme tayini - Metilen mavisi deneyi, edited, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)* Ankara, 17.
- Wang, W.S., Zheng, B.C. and Feng, Z.J.**, (2012). Adsorption of polycarboxylate-based superplasticizer onto natural bentonite. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 10: 323-331.
- Whiting, D.**, (1979). Effects of High Range Water Reducers on Some Properties of Fresh and Hardened Concrete. R&D Bulletin No RD-61-OIT Portland Cement Association, Skokie, Illinois.
- Wilson, M.J. and Wilson, L.**, (2014). Clay mineralogy and shale instability: an alternative conceptual analysis. *Clay Minerals*, 49: 127-145.
- Xu, H.J., Sun, S.M. and Wei, J.X.**, (2015). Beta-cyclodextrin as pendant groups of a polycarboxylate superplasticizer for enhancing clay tolerance. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54: 9081-9088.
- Yalçın, H. and Gürü, M.**, (2006). Çimento ve Beton. *Palme Yayıncılık*, Ankara.
- Yamada, K., Takahashi, T., Hanehara, S. and Matsuhisa, M.**, (2000). Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer. *Cement and Concrete Research*, 30: 197-207.
- Yamamoto, M., Uno, T., Onda, Y., Tanaka, H., Yamashita, A., Hirata, T. and Hirano, N.**, (2004). Copolymer for cement admixtures and its production process and use, *US Patent* 6,727,315
- Yoshioka, K., Sakai, E., Daimon, M. and Kitahara, A.**, (1997). Role of steric hindrance in the performance of superplasticizers for concrete. *Journal of the American Ceramic Society*, 80: 2667-2671.
- Zhang, L., Lu, Q., Xu, Z., Liu, Q. and Zeng, H.**, (2012). Effect of polycarboxylate ether comb-type polymer on viscosity and interfacial properties of kaolinite clay suspensions. *Journal of colloid and interface science*, 378(1): 222-231.
- Zhu, J., Zhang, G., Miao, Z. and Shang, T.**, (2012). Synthesis and application of a new vinylcopolymer superplasticizer. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 412: 101-107.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Zeynep ÖZSERÇE HASTE
Doğum Yeri ve Tarihi	İstanbul, 07.08.1980
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
E-posta Adresi	zeynepozserce@hotmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	İnönü End. Mes. Lisesi Kimya Bölümü, 1997
Ön Lisans	Mersin MYO Kimya Bölümü 2002
Lisans	Atatürk Üniversitesi, Kimya Müh. 2006

İş Tecrübesi

Bağcılar Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Kimya Mühendisi (2006-2010)
Creamagna Chemicals San.ve Tic.Ltd.Şti	Kalite Kontrol Müdürü (2010-2011)
Beta Proses Özel Kimyasallar San.ve Tic.Ltd.Şti	Arge Müdürü (2011-2016)
Teknik Önder Mimarlık ve Müh.Ltd.Şti	Kimya Mühendisi (2017-2018)

Sertifikalar

Atatürk Üniversitesi Toplam Kalite Yönetimi Sertifikası (2006)

Kimya Mühendisleri Odası LPG Sorumlu Müdürlük Eğitim Sertifikası (2012)

Kimya Mühendisleri Odası Sorumlu Müdürlük Eğitim Sertifikası (2012)