



SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİKARBOKSİLAT ESASLI SU KESİCİ/KIVAM KORUYUCU BETON
KATKI MALZEMESİNİN ÜRETİMİ VE BETON ÜZERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melih ÖZDURAN

(20179226002)

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sevil ÇETİNKAYA GÜRER

SIVAS

MAYIS 2020

MELİH ÖZDURAN' ın hazırladığı ve “**POLİKARBOKSİLAT ESASLI SU KESİCİ/KIVAM KORUYUCU BETON KATKI MALZEMESİNİN ÜRETİMİ VE BETON ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı Prof. Dr. Sevil ÇETİNKAYA GÜRER
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Meral KARAKIŞLA
Ankara Üniversitesi

Jüri Üyesi: Dr. Duygu ANAKLI
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

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

Prof. Dr. Özlem Pelin CAN
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 M744 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



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

© MELİH ÖZDURAN, 2020

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.

.../.../2020

Melih ÖZDURAN

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Tezin her aşamasında yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen, bilgi ve deneyimleriyle sürekli yanımda olan danışman hocam Prof. Dr. Sevil ÇETİNKAYA GÜRER' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin laboratuvar çalışmalarıyla ilgili çalışma alanı desteği sağlayan Teknik Önder Mimarlık Mühendislik Ltd. Şirketinden Mustafa AÇIKGÖZ'e ve yine aynı şirketin Maden Mühendisleri olan Halil İbrahim AKSU ve Eren ÖKKEŞOĞLLARI' na, deneysel çalışmalarda yardımcı olan arkadaşlarım Zeynep ÖZSERÇE HASTE, Dilek BİÇER, Melek KURUTÇU ve Mehmet AĞDAŞ' a teşekkür ederim.

ÖZET
POLİKARBOKSİLAT ESASLI SU KESİCİ/KIVAM KORUYUCU BETON
KATKI MALZEMESİNİN ÜRETİMİ VE BETON ÜZERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

Melih ÖZDURAN

Yüksek Lisans Tezi

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sevil ÇETİNKAYA GÜRER

2020, 78+xvi sayfa

Beton katkıları su/çimento oranını düşürerek (çimento oranı azaltılmaksızın), kolayca işlenebilir, akıcı, yüksek dayanıma sahip beton elde edebilmek amacıyla kullanılır. İnşaat sektörünün gelişmesiyle betona olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Günümüzde, iyi kalitede beton elde etmek için polikarboksilat (PCE) esaslı beton katkı kimyasalları yaygın olarak kullanılmaktadır. Polikarboksilatlar (PCEs) yapısı gereği sınırsız modifikasyon özelliği sunar ve böylelikle istenilen özelliklerde PCE esaslı (PCEs) kimyasallar sentezlenebilir.

Bu çalışma kapsamında, yüksek oranda su kesici/kıvam koruyucu özelliği gösteren bir PCE radikalik polimerizasyon yöntemiyle sentezlendi. Bunun için tresylated polyethylene glycol (TPEG) makromonomeri, akrilik asit (AA), tiyoglikolik asit (TGA) ve askorbik asit (Vc) kullanıldı. Sentez aşamasında polimerizasyon süresi, sıcaklığı ve başlatıcının (H_2O_2) miktarı değiştirilerek sentezlenen PCEs'in beton üzerindeki performansları, betonun slump ve basma dayanımları ölçülerek incelendi. Buna göre en uygun PCE hazırlama koşulları; A çözeltisi için 4.30 ve B çözeltisi için 4.00 saat besleme süresi, başlatıcı miktarı 0.040 mol H_2O_2 ve sentez sıcaklığı 25 °C olarak belirlendi. En uygun şartlarda sentezlenen PCE ile hazırlanan betonun ilk slump değeri 20 cm iken 30 dk sonraki slump değeri 13 cm olarak ölçüldü. 7 gün ve 28 günlük basma dayanımı sırasıyla 29,53 ve 33,62 MPa olarak bulundu. Ayrıca betondaki su kesme oranı da %31 olarak belirlendi.

Yapılan beton deneyleri sonucunda sentezlenen PCE'in yüksek oranda su kesici/kıvam koruyucu özelliği gösterdiği ve standartlara (TS EN 934-2) uygun olduğu belirlendi. Sentezlenen PCEs'in karakterizasyonu mol kütlesi tayini için jel geçirgenlik kromatografisi (GPC), Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FTIR), X-Ray difraksiyonu (XRD) ve nükleer manyetik rezonans (NMR) teknikleri kullanılarak yapıldı.

Anahtar kelimeler: Polikarboksilat, Süper Akışkanlaştırıcı, Radikalik Polimerizasyon, TPEG.



ABSTRACT
PRODUCTION OF POLYCARBOXYLATE BASED WATER
REDUCING/SLUMP RETENTION CONCRETE ADMIXTURES AND
INVESTIGATION OF EFFECT ON CONCRETE

Melih ÖZDURAN

Master of Science Thesis

Department of Chemical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Sevil ÇETİNKAYA

2020, 78+xvi pages

Concrete additives are used to reduce the water / cement ratio (without reducing the cement ratio) and to obtain easily workable, fluent, high strength concrete. With the development of the construction industry, the need for concrete is increasing rapidly. Today, polycarboxylate (PCE) based concrete additive chemicals are widely used to obtain good quality concrete. Polycarboxylates (PCEs) offer unlimited modification properties due to their structure and thus PCEs can be synthesized in desired properties.

In this study, it was synthesized by a PCE radical polymerization method, which has a high rate of water-cutting / slump retention. For this, TPEG (tresylated polyethylene glycol) macromonomer, AA (acrylic acid), TGA (Thioglycolic acid) and Vc (Ascorbic acid) were used. The performances of PCEs synthesized by changing the polymerization time, temperature and initiator (H₂O₂) amount during the synthesis phase were examined by measuring the slump and compressive strengths of the concrete. Accordingly, the most suitable PCE preparation conditions are; The feeding time of 4.30 for solution A and 4.00 hours for solution B was determined as the amount of initiator 0.040 mol H₂O₂ and the synthesis temperature was 25 °C. While the first slump value of the concrete prepared with PCE synthesized under the most favorable conditions was 20 cm, the slump value after 30 minutes was measured as 13 cm. The compressive strength of 7 days and 28 days was 29.53 and 33.62 MPa, respectively.

In addition, the water cutting rate in concrete was determined as 31%. It was determined that the PCE synthesized as a result of concrete experiments has a high rate of water-cutting / slump retention properties and is in compliance with the standards (TS EN 934-2). Molecular weight determination of synthesized PCEs was performed using Gel Permeability Chromatography (GPC) and characterization of samples using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-Ray diffraction (XRD) and Nuclear Magnetic Resonance (NMR) techniques.

Keywords: Polycarboxylate, Superplasticizer, Radicalic Polymerization, TPEG.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Kaynak Özeti	2
2. KURAMSAL TEMELLER.....	13
2.1 Beton ve Özellikleri.....	13
2.1.1 Yapı malzemesi olarak beton.....	13
2.1.2 Betonun mukavemeti	14
2.1.3 Betondan beklenen performans.....	15
2.1.4 Betonun avantajları ve dezavantajları.....	16
2.1.5 Beton standartları	17
2.2 Çimento ve Özellikleri	17
2.2.1 Çimentonun hidratasyonu	18
2.2.2 Hidratasyon reaksiyonları	19
2.3 Agregalar ve Özellikleri	20
2.4 Karma Suyu ve Özellikleri	21
2.5 Betonda Slump ve Basma Dayanımı Deneyleri	23
2.6 Beton Katkı Malzemeleri	27
3. MATERYAL ve METOT	31
3.1 Materyaller	31
3.1.1 Monomer	31
3.1.2 Çimento	32
3.1.3 Kimyasallar	33
3.1.4 Agregalar	33
3.2 Metot	35
3.2.1 Polikarbosilat Sentezi	35
3.3 Beton hazırlama.....	39
3.4 Agregalar için doyurma suyunun belirlenmesi.....	41
3.5 Metilen mavisi çözeltilisinin hazırlanması	42
3.5.1 Metilen mavisi deneyinin uygulaması ve hesaplaması	43
3.6 Karakterizasyon	44
3.6.1 Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR).....	44
3.6.2 X-ışını kırınım difraksiyonu (XRD)	44
3.6.3 Nükleer manyetik rezonans spektrometresi (NMR).....	45
3.6.4 Jel geçirgenlik kromatografisi (GPC).....	45
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	46
4.1 Farklı Besleme Sürelerinde A ve B Çözeltileri ile Sentezlenen PCEs'in	47
Beton Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi.....	47
Şekil 4.1 A ve B çözeltilerinin farklı besleme sürelerinde sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonun slump değeri (PCE sentez sıcaklığı 25 °C)	48
4.2 Farklı Sıcaklıklarda Sentezlenen PCEs' in Beton Performansı Üzerine Etkisi 50	

4.3 Farklı Miktarda Başlatıcı (H ₂ O ₂) ile Sentezlenen PCEs'ın Beton Performansı Üzerine Etkisi	52
4.4 Hava Sürükleyici Eklenen PCEs' ın Beton Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi.....	56
4.5 MA Eklenerek Sentezlenen PCEs'ın Beton Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi.....	58
4.6 Sentezlenen PCE ile Piyasada Kullanılan PCEs'ın Hazırlanan Beton Üzerine Etkilerinin Karşılaştırılması	59
4.7 Sentezlenen PCE'ın Betonun Su Kesme Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi.....	63
4.8 Sentezlenen PCEs' ın Karakterizasyonu	64
4.8.1 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)	64
4.8.2 X-ışınları kırınımı (XRD).....	65
4.8.3 Jel Geçirgenlik Kromatografisi (GPC).....	66
4.8.4 Nükleer manyetik rezonans spektrometresi (NMR)	67
5. SONUÇLAR	71
6. KAYNAKLAR	74
7. ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Çalışmada kullanılan monomerlerin kimyasal yapıları ve sentezlenmiş polikarboksilat kopolimerleri: (a) AA, (b) HEA, (c) HPA	3
Şekil 1.2 Süper akışkanlaştırıcıların çimento macununda çalışma mekanizması.....	3
Şekil 1.3 Reaksiyon sisteminin sıcaklık çeşitliliği eğrisi ve PCEs' ların çimento macunu akışkanlığı üzerindeki ilk sıcaklık ve zamanın etkisi.	4
Şekil 1.4 EGDMA-APEG-AA polikarboksilatın şematik görüntüsü.	11
Şekil 2.1 Hidratasyon süreçleri (Akçansa, 2012).....	19
Şekil 2.2 Beton bileşiminin yüzdesel oranları(Demiryürek, 2007)	20
Şekil 2.3 Slump deney seti.....	23
Şekil 2.4 Betonu numunesini sıkıştırma basamakları	24
Şekil 2.5 Slump deney seti teknik özellikleri	24
Şekil 2.6 Çökme şekilleri.....	25
Şekil 2.7 Slump çeşitleri	26
Şekil 2.8 Huninin çekilmesi ve çökme değerinin hesaplanması (MEB, 2015)	26
Şekil 2.9 Küp kalıba numune alınması	27
Şekil 2.10 Sodyum lignosülfonat.....	28
Şekil 2.11 PCE' in moleküler yapısı.....	30
Şekil 3.1 PCEs üretimi ve betona uygulama aşamaları	31
Şekil 3.2 TPEG -2400 monomeri.....	32
Şekil 3.3 Beton karışımında kullanılan 0-5 mm kırmataş	34
Şekil 3.4 PCEs sentezinde kullanılan deney düzeneği.....	35
Şekil 3.5 Beton karıştırmada kullanılan pan tipi beton mikseri.....	39
Şekil 3.6 Slump seti	40
Şekil 3.7 Kalıplara alınmış beton numuneleri.....	41
Şekil 3.8 Beton kür havuzu.....	41
Şekil 3.9 Metilen mavisi deney seti	43
Şekil 3.10 Metilen mavisi deneyi, hale veren aşama(Özçiftçi, 2020)	43
Şekil 4.1 A ve B çözeltilerinin farklı besleme sürelerinde sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonun slump değeri (PCE sentez sıcaklığı 25 °C).....	48
Şekil 4.2 A ve B çözeltilerinin farklı besleme sürelerinde sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonun basma dayanımı (PCE sentez sıcaklığı 25 °C).....	49
Şekil 4.3 Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonun slump değerleri (A:4.30 ve B:4.00 saat çözelti besleme süreleri sabit).....	51
Şekil 4.4 Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonun basma dayanımı (A:4.30 ve B:4.00 saat çözelti besleme süreleri sabit)	52
Şekil 4.5 Farklı başlatıcı miktarlarında sentezlenen PCEs'in kullanıldığı betonun slump değeri (A: 4.30 ve B: 4.00 saat besleme süresi, sentez sıcaklığı 25°C).....	54
Şekil 4.6 Farklı başlatıcı mol oranlarında sentezlenen PCEs'in betonun basma dayanımı üzerine etkisi (A: 4.30 ve B: 4.00 saat besleme süresi, sentez sıcaklığı 25°C)	55
Şekil 4.7 Hava sürükleyici kullanılarak ve kullanılmadan hazırlanan betonun.....	57
Şekil 4.8 Hava sürükleyici kullanılarak ve kullanılmadan hazırlanan betonun.....	58
Şekil 4.9 Sentezlenen PCE ve YPCE ile hazırlanan betonların betonun.....	59

Şekil 4.10 Piyasa kullanılan PCEs, sentezlenen PCE ve PCE+HSK katkıları ile hazırlanan betonların slump değerlerinin karşılaştırılması	61
Şekil 4.11 Piyasa kullanılan PCEs, sentezlenen PCE ve PCE+HSK katkılarının betonun basınç dayanımı üzerine etkilerinin karşılaştırılması	62
Şekil 4.12 Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs'in FTIR spektrumları (A: 4.30 ve B: 4.00 saat besleme süresi, 0.040 başlatıcı mol oranı)	65
Şekil 4.13 TGEP e ve farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs'in XRD desenleri.....	66
Şekil 4.14 Sentezlenen PCE' nin GPC analizi (A: 4.30 ve B: 4.00 saat besleme süresi, sentez sıcaklığı 25°C, 0.040 başlatıcı mol oranı).....	67
Şekil 4.15 Sentezlenen PCE' in 1. saat bekletmeden sonraki ¹ H NMR spektrumu	68
Şekil 4.16 Sentezlenen PCE' nin 24 saat bekletmeden sonraki ¹ H NMR spektrumu	68
Şekil 4.17 Sentezlenen PCE' nin 48 Saat bekletmeden sonraki ¹ H NMR spektrumu	69
Şekil 4.18 Sentezlenen PCE' nin 72. Saat bekletmeden sonraki ¹ H NMR spektrumu	69
Şekil 4.19 Sentezlenen PCE' nin 7 gün bekletmeden sonraki ¹ H NMR spektrumu	70
Şekil 4.20 TPEG monomerinin ¹ H NMR spektrumu	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 PCEs' ların fiziksel özellikleri ve moleküler yapısı (Liu vd., 2012).....	6
Çizelge 1.2 AA, SSS ve MAPTAC ve bunlara karşılık gelen polimerlerin adsorpsiyon miktarları ve zeta potansiyeli. (Y.-R. Zhang vd., 2015)	8
Çizelge 1.3 Çimento macunu akışkanlığı ve PCE'nın GPC sonuçları.(Qian vd., 2017)	10
Çizelge 1.4 Farklı monomerlerin çimento akışkanlığına etkisi. (Lv vd., 2012)	11
Çizelge 1.5 Farklı EGDMA miktarının çimento akışına etkisi. (Lv vd., 2012)	11
Çizelge 2.1 Betonun fiziksel özellikleri (Yalçın ve Gürü, 2006)	14
Çizelge 2.2 Türk standartlarındaki beton sınıfları ve karakteristik dayanımları (Uğurlu, 2005).....	17
Çizelge 2.3 Karma suyu içerisinde bulunabilecek yabancı maddelerin kabul edilebilir değerleri(Erdoğan, 2013)	22
Çizelge 2.4 Çökme sınıfı ve değerleri.....	25
Çizelge 3.1 TPEG-2400 monomerine ait ürün özellikleri	32
Çizelge 3.2 PCEs sentezinde kullanılan kimyasalların özellikleri.....	33
Çizelge 3.3 Beton hazırlama aşamasında kullanılan agregaların kimyasal bileşimi .	34
Çizelge 3.4 Beton hazırlama aşamasında kullanılan agregaların alt ve üst bölgelerine	34
Çizelge 3.5 8 dm ³ hacminde beton karışımı için gerekli malzemelerin miktarları....	39
Çizelge 3.6 Betona eklenecek doyurma suyunun hesaplanması.....	42
Çizelge 4.1 Sentezlenen PCEs ve piyasa PCEs' ın kullanıldığı beton karışımı	60
Çizelge 4.2 Şahit beton ile sentezlenen PCE'ın kullanılarak.....	64

KISALTMALAR DİZİNİ

AA: Akrilik asit

dak: Dakika

DI: Deiyonize su

D₂O: Döteryum oksit

FTIR: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi

HSK: Hava sürükleyici katkı

MA: Maleik anhidrit

NMR: Nükleer manyetik rezonans

PCEs: Polikarboksilat

SMF: Melamin formaldehit sülfonat

SNF: Naftalin formaldehit sülfonat

TPEG: Tresile polietilen glikol

TGA: Tiyoglikolik asit

XRD: X- Işınları kırınımı

1. GİRİŞ

Beton katkı malzemeleri, betonun özelliklerini iyileştirmek için kullanılan malzemelerdir. İnşaat sektörünün gelişmesiyle, betondan beklenen performans daha da artmıştır. Bu gelişim yerinde beton dökme anlayışının çok uzağındadır. İyi kalitedeki bir beton, kullanım yerine ve amacına göre değişebilir. Ancak, betonun mukavemeti, işlenebilirliği ve ekonomik olması, aranan ilk özelliklerdendir. Günümüzde, beton katkı malzemesi kullanılmadan hazırlanan beton yok denecek kadar azdır. Betonu oluşturan malzemeler, çimento, (hidrolik bağlayıcı) agrega, su ve beton katkı malzemeleridir. Çimento ile suyun reaksiyona girmesiyle hidrasyon reaksiyonu başlamış olur. Beton karışımı başlarda plastik (işlenebilir) haldeyken, bir süre sonra priz almaya başlar (betonun katılaşmaya başlaması/plastiklik özelliğini kaybetmesi). Eskiden, beton döküleceği yerde hazırlanırken, günümüzde hazır betonlar kullanılmaktadır. Hazır beton, beton santrallerinde hazırlandıktan sonra betonun döküleceği yere kadar transmikserler ile taşınır ve orada beton dökme işlemi gerçekleştirilir. Bu aşamada beton santrali ile betonun döküleceği yer arasında bulunan mesafe süresince, betonun kıvamını ilk karıldığı andaki gibi kıvamlı ve işlenebilir olması istenmektedir. Aksi takdirde betonun yerleştirilmesi sırasında zorluklar yaşanır. Sahada, beton dökme işini yapan görevliler, betonun daha iyi yerleşmesi ve master tutması için kıvamını kaybetmiş beton içerisine su eklerler. Beton içerisine gereğinden fazla eklenen su ise betonun işlenebilirliğini anlık olarak iyileştirse de, mukavemetini önemli ölçüde olumsuz etkiler. Bu durumda betonda fazla su ihtiyacını azaltmak ve mukavemeti koruyabilmek için beton katkı malzemelerinin; kıvam koruma, betona eklenecek su miktarını azaltma (su kesmesi) ve betona mukavemet kazandırması beton katkı malzemelerinden beklenen en önemli özelliklerdendir.

Süper akışkanlaştırıcı beton katkıları günümüzde, beton bileşimi içerisinde bulunan hidrat çimento partiküllerini dağıtarak daha az su/çimento oranına sahip taze beton oluşturma imkânı sunar. Betonun işlenebilirliğini sağlamak için vazgeçilmez bileşenler haline gelmektedir.

Farklı süper akışkanlaştırıcılar, spesifik moleküler mimarileri ile yakından ilişkili olarak farklı adsorpsiyon davranışları ve gecikme etkileri gösterirler. Polikarboksilat (PCEs) esaslı süper akışkanlaştırıcılar üçüncü nesil beton katkıları olarak bilinirler.

Ligno sülfonatlar ve sülfolanmış naftalin formaldehit esaslı süper akışkanlaştırıcılar ise sırasıyla birinci ve ikinci nesil beton katkıları olarak tanınırlar (Wang vd., 2015).

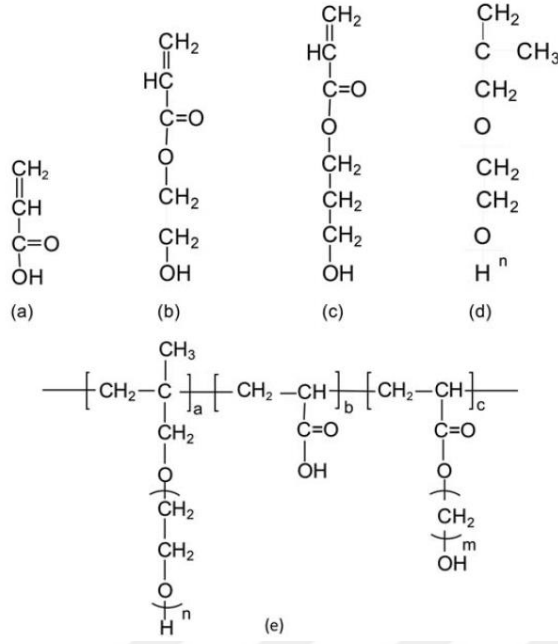
PCEs esaslı katkıları yüksek su azaltma ve akışkanlaştırma verimliliği sayesinde modern beton formülasyonunda vazgeçilmez bileşenlerden biri haline gelmiştir. PCEs' lar tarak benzeri moleküler yapıya sahiptir, genellikle bir anyonik polimer omurgası ve polietilen oksit (PEO) yan zincirlerinden oluşurlar. PCEs molekülleri çimento taneciklerinin yüzeyine adsorbe edildikten sonra anyonik gruplar ve PEO yan zincirleri çimento partikülleri arasında bir elektrostatik itme kuvveti oluşturarak çimento taneciklerinin bir araya gelmesini engelleyen sterik bir etki yaratır. PCEs' ların etki mekanizmasını belirleyen parametrelerin başında molekül ağırlığı, şarj yoğunluğu ve yan zincir uzunluğu gelir (L. Zhang vd., 2017).

PCEs esaslı katkıların en önemli avantajlarından biri moleküler yapılarının, performanslarını iyileştirmek için kombine monomerlerini değiştirerek modifiye edilme potansiyeline sahip olmasıdır (Liu vd., 2012).

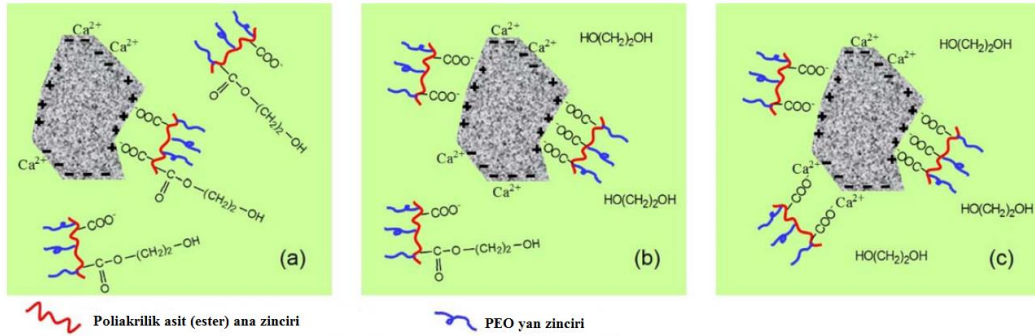
1.1. Kaynak Özeti

Zhang vd. (2017) çalışmalarında akrilat ihtiva eden polikarboksilat süper plastikleştirici sentezlemişlerdir. Makro monomer olarak HPEG (ω - metoksi veya ω hidroksi poli etilen glikol eter) ve akrilat olarak ise HEA (hidroksietil akrilat) ve HPA (hidroksipropil akrilat) kullanarak kopolimerleşme polimerizasyonundan yararlanarak PCEs' lar sentezlemişlerdir. 50 °C polimerizasyon sıcaklığında ürettikleri polikarboksilatların ortalama molekül kütlesi M_w 140,000 g/mol civarındadır.

Akrilat içeren kopolimerlerin içerisindeki ester gruplarının alkali koşullarda hidrolize olduğu ve bu nedenle R-COO⁻ gruplarının polimerde sürekli olarak üretildiğini, yaptıkları FTIR ve spesifik yük yoğunluğu ölçümlerinde, ortaya koymuşlardır. Sentezledikleri PCEs' ların yüksek karboksil etkisiyle sıcak havada beton dökümüne elverişli olduğunu belirtmişlerdir (L. Zhang vd., 2017).

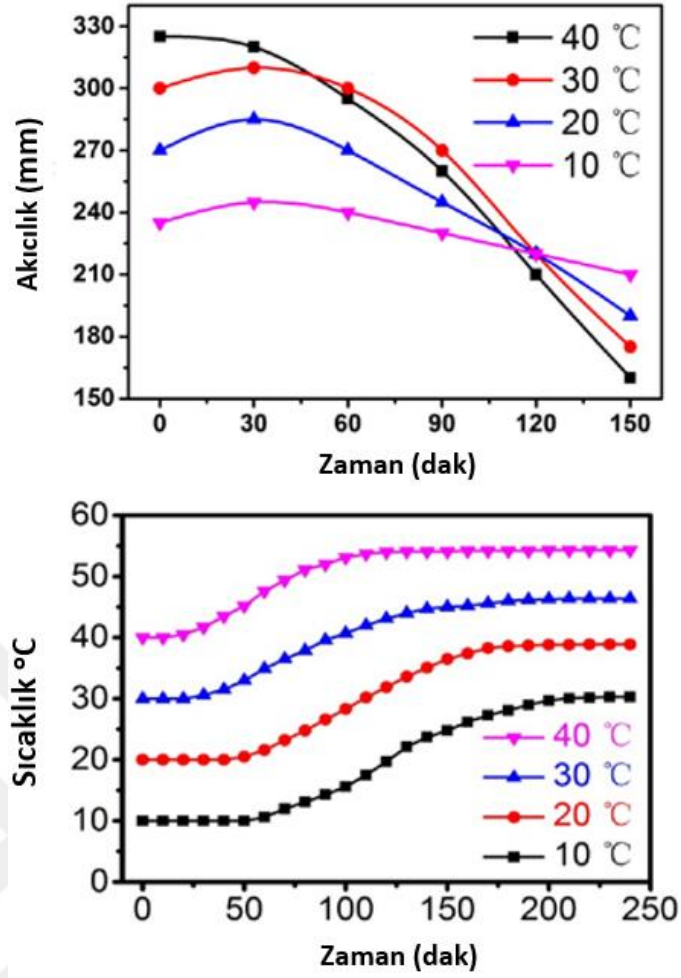


Şekil 1.1 Çalışmada kullanılan monomerlerin kimyasal yapıları ve sentezlenmiş polikarboksilat kopolimerleri: (a) AA, (b) HEA, (c) HPA ve (d) HPEG; (e) akrilat ile modifiye edilmiş PCE kopolimerleri.



Şekil 1.2 Süper akışkanlaştırıcıların çimento macununda çalışma mekanizması

Wang vd. (2015) polimerizasyon sıcaklığının etkisini incelemek amacıyla 10-40 °C arasında farklı başlatma sıcaklıklarında polikarboksilatlar sentezlemişlerdir. Çalışmalarında farklı sıcaklıklarında sentezlenen PCEs' ların benzer fonksiyonel gruplara sahip olduğunu fakat farklı molekül kütlesi ve dağılımına sahip olduklarını belirtmişlerdir. Sonuç olarak, düşük başlangıç sıcaklığında sentezlenen PCEs' ın molekül ağırlığının düşük olduğunu fakat kıvam koruma kapasitesinin daha yüksek olduğunu, yüksek başlangıç sıcaklığında sentezlenen PCEs' ın ise daha yüksek molekül kütlesi sahip olduğunu ve başlangıç akışkanlığının daha iyi olduğunu belirtmişlerdir (J. Wang vd., 2015).



Şekil 1.3 Reaksiyon sisteminin sıcaklık çeşitliliği eğrisi ve PCEs' ların çimento macunu akışkanlığı üzerindeki ilk sıcaklık ve zamanın etkisi.

M. Li vd. (2017) polikarboksilatların sınırsız modifikasyon özelliğine dayanarak, iki farklı tipte PCEs üretmişlerdir. Makromonomer olarak APEG (polietilen glikol monoalil) ve MAH (maleik anhidrit), akrilat olarak HEA ve EA (etil akrilat) kullanmışlardır.

HEA ile hazırlanan PCEs'ın betonda kıvam koruma performansının daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Sentezlenen PCEs'ların molekül kütlesinin çimento partikülleri üzerindeki etkisini; molekül kütlesi çok küçükse, moleküller zincirin çok kısa olacağını, bunun da su azalıcı özelliğini olumsuz etkileyeceğini ve betonun kanaması anlamına gelen segregasyonu tetikleyeceğini belirtmişlerdir.

Eğer molekül kütlesi çok büyükse beton üzerinde bypass etkisi göstererek, flokülasyon (çimento taneciklerinin topaklaşması) olacağını böylelikle kıvam korumasının olumsuz etkileneceğini belirtmişlerdir.

Ayrıca, çimento-su sisteminde polikarboksilat süper akışkanlaştırıcının; elektrostatik itme ve sterik engelleme gibi temel fonksiyonlarının etki mekanizmasını tartışmışlardır. Buna göre:

-Elektrostatik itme etkisini: hidroksi ester yapılı polikarboksilat süper akışkanlaştırıcısı çimento partiküllerinin üzerine adsorbe edildiğinde, çimento partiküllerinin yüzeyinde aynı yüke sahip olan hidrofilik kutupların etkileşimiyle bir itme mekanizması oluşur. Böylece sistemi nispeten sabit bir süspansiyon durumuna getirir ve çimento macununda akışkanlık etkisi yaratır şeklinde ifade etmişlerdir.

-Sterik engelleme etkisini: çimento parçacıklarının yüzeyinde adsorbe edilmiş hidroksi ester yapısına sahip süper akışkanlaştırıcının ana zinciri ve hidrofilik yan zincir, sıvı fazda daha kalın moleküler adsorban tabakası oluşturmak üzere gerilir, böylelikle sterik engelleme etkisiyle çimento parçacıkları birbirlerini iterler ve dağılırlar. Ana zincir üzerindeki hidrofilik hidroksietil ester hidroksil grubu, hidrojen bağları formundaki polar su molekülleri ile kolayca hidrojen bağları oluşturabilir ve polieter yan zinciri ile çimento parçacıklarının yüzeyi üzerinde belirli bir mekanik mukavemete sahip kararlı membran tabakası oluşturarak sterik engellemeyi güçlendirmede rol oynar şeklinde ifade etmişlerdir (M. Li vd., 2017).

Felekoğlu vd. (2008) kendiliğinden yerleşen betonun karışım tasarımında polikarboksilat esaslı süper plastikleştiricileri etkisini incelemişlerdir. Radikalik polimerizasyon tekniği kullanarak sentezledikleri PCEs' ların çimento macunu testiyle zamana bağlı işlenebilirliğini araştırmışlardır.

Test sonuçlarına göre, kimyasal yapı olarak kıvam koruma performansının ana omurga ve kopolimerin yan zinciri arasındaki bağ yapısının değişmesi ile doğrudan değiştiğini belirtmişlerdir. Ester bazlı PCEs' ların alkali ortamdaki zayıflığı nedeniyle taze betonun işlenebilirliğini koruması aşamasında etkili olmadığını, öte yandan polioksi etilen yan zincirini kopolimerin omurgasına bağlayarak taze betonun işlenebilirliğini en az 2 saatlik bir süre boyunca etkili bir şekilde koruyabileceğini göstermişlerdir.

Polikarboksilat tipine ek olarak, işlenebilirlik ve kıvam koruma performansının, çimento/su oranı ve eklenecek PCE miktarıyla da doğrudan ilişkili olduğunu belirtmişlerdir (Felekoğlu vd., 2008).

Liu vd. (2012) PCEs' lar arasındaki farklı özellikleri daha iyi anlamak amacıyla radikalik kopolimerizasyon yöntemine dayanan çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında reaksiyon monomerlerinin dönüşüm oranının belirlemek için yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- 1- Reaksiyon monomerlerinin dönüşüm oranının %97' den fazla olduğunu ve tüm reaksiyon monomerlerinin polimerizasyonda olduğunu,
- 2- Ester tipi PCEs' ların eter tipinden daha yüksek su azaltma kapasitesine sahip olduğunu,
- 3- Aynı dozajda ester tipi PCEs' ların adsorpsiyon ve dispersiyon yeteneğinin eter tipinden daha güçlü olduğunu ancak, eter tipi PCEs' ların nispeten daha iyi bir dağılma kabiliyeti ve kıvam koruma performansı sergilediğini belirtmişlerdir.(Liu vd., 2012)

Çizelge 1.1 PCEs' ların fiziksel özellikleri ve moleküler yapısı (Liu vd., 2012)

Kısaltma	Katı oranı	pH	Yoğunluk	Kimyasal yapı
PC-1	9,74%	6,2	1,08	Akrilik kopolimer
PC-2	9,46%	6,0	1,07	Metaakrilik asit kopolimer
PC-3	19,04%	5,80	1,09	Polioksietilen kopolimer

L.Y. Wang vd. (2013) hidrofobik yan zincirlere sahip polikarboksilat esaslı süper plastikleştiricileri radikalik kopolimerizasyon yöntemiyle sentezlemişlerdir. Çalışmalarında PCEs' ların köpürme davranışını, köpük hacimini, PCEs' ların yüzey gerilimini ve beton içerisindeki hava içeriğini araştırmışlardır. Elde ettikleri verilere göre hidrofobik karbon zincirinin uzunluğunun artırılmasının köpük tabakasının kalınlığını azaltabileceğini ve köpük oluşumunu önleyeceğini belirtmişlerdir.

Çimento macunuyla yapılan akışkanlık testlerine göre hidrofobik yan zincirlere sahip PCEs' ların su azaltma kapasitesinin daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. Moleküler zincirde hidrofilik bölümün varlığının basınç dayanımına da olumlu etkisinin olduğunu ortaya koymuşlardır (L. Y. Wang vd., 2013).

Y.R. Zhang vd. (2015) geleneksel PCEs' ların genellikle negatif yüklü polimerler olduğunu ve karboksilat fonksiyonları sayesinde çimento tanecikleri ile elektrostatik bir etkileşime girerek çimento yüzeyine adsorbe olduklarını ifade etmişlerdir. Çalışmalarında kopolimerizasyon yöntemiyle sentezlenen PCEs' ların yük karakteristiklerinin adsorpsiyon davranışları üzerindeki etkileri ve çimento hidratasyonu üzerindeki gecikme etkileri araştırılmıştır.

PCEs' ların adsorpsiyon ve geciktirme etkilerini, moleküllerin yük özelliklerine bağlı olduğunu açıklamak için p-metoksi polietilen glikol metakrilat (MPAGMA), akrilik asit (AA), sodyum p-stiren sülfonat (SSS), trimetil amonyum klorür (MAPTAC), sodyum metil akril sülfonat (SMAS), 2-akrilamid-2-metilpropan sülfonik asit (AMPS), amonyum persülfat (APS) ve 3-merkaptopropiyonik asit (MPA) kullanarak PCEs' lar sentemizleştirdi. Sonuç olarak;

- 1- Çimento üzerinde tek başlarına kullanılan organik monomerlerin, (AA, SSS ve MAPTAC) adsorpsiyon sırasında büyük entropik kayıp yaşamaları sebebiyle çimento yüzeyinde görünür adsorpsiyon özellik göstermediğini, buna bağlı olarak da çimento hamuru içine eklendiklerinde çimento hidrasyonun kinetiği üzerinde hiçbir etkisi olmadığını belirlemişlerdir. Ancak bu monomerlerle üretilen PCEs' ların sorunsuzca çimento tanecikleri ile etkileşime girerek yüzeye adsorbe olduklarını ifade etmişlerdir.
- 2- AA ve SSS ile sentezlenen PCEs' ların adsorpsiyon oranı %60' ın üzerindeyken MAPTAC ile sentezlenen PCEs' ın çok az bir kısmının adsorbe olduğunu yaptıkları çalışmada ifade etmişlerdir.
- 3- Pozitif yüklü polimerlerin (PMAPTAC), çimentodaki hidrasyon kinetikleri üzerinde küçük bir etkisi varken, negatif yüklü polimerlerin (PSSS ve PAA) çimento hidrasyonunu farklı seviyelere kadar geciktirdiğini ileri sürmüşlerdir. Karboksil gruplara sahip PAA, daha yüksek adsorpsiyon miktarına ve Ca^{2+} ile güçlü kompleksasyon etkisine bağlı olarak PSSS' den daha güçlü bir geciktirme etkisi oluşturmuştur.

4- Negatif yüklü tarak şekilli PCEs kopolimerlerinin, hem adsorpsiyon kapasitesi hem de geciktirici etkisi, pozitif yüklü PCEs' lardan daha güçlü olduğunu ve aynı negatif yük yoğunluğuna sahip PCEs' larda daha fazla karboksil grubu içeren kopolimerlerin, çimento yüzeyindeki adsorpsiyon ve çimento hidrasyonunu gecikme açısından daha güçlü etkiler gösterdiğini belirlemişlerdir (Y.-R. Zhang vd., 2015).

Çizelge 1.2 AA, SSS ve MAPTAC ve bunlara karşılık gelen polimerlerin adsorpsiyon miktarları ve zeta potansiyeli. (Y.-R. Zhang vd., 2015)

Madde		AA	SSS	MAP TAC	PAA	PSSS	PMAP TAC
Başlangıç ekleme miktarı	(g/g çimento)	0.12%	0.34%	0.36%	0.12%	0.34%	0.36%
	($\mu\text{mol/g}$ çimento) ^a	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5	16.5
Adsorplanan miktar ($\mu\text{mol/g}$ çimento) ^a		0	0	0	14.0	10.8	2.2
Adsorplanan miktar, Düzeltilmiş ($\mu\text{mol/g}$ çimento) ^b		0	0		11.5	10.8	2.2
Adsorpsiyon oranı (%)		0	0	0	69.8	65.5	13.3
Zeta potansiyeli (mV)		9.5	10.1	3.2	-24.0	-49.2	25.2

^a Organik monomerler için, maddelerin molü ile ölçülür, karşılık gelen homopolimerleri için, tekrar eden birimin molü ile ölçülür.

^b Çözeltide çöken PAA, üst sıradaki adsorpsiyon miktarından düşülmüştür.

Qian vd. (2017) ana zincir üzerinde klor gruplarına sahip olan makro moleküllerin, moleküler yapı tasarımı prensibine göre, TPEG (tresile polietilen glikol) HEA (2-hidroksietil akrilat) ve VBC (vinil benzil klorür) ile bir başlatıcı ve zincir transfer ajanıyla radikalik polimerizasyon prensibine dayanarak kil içeren agregalarla hazırlanan beton tasarımında, kilin olumsuz etkisini tölere edici PCEs' lar sentezlemişlerdir.

İnşaat sektörünün hızla ilerlemesinden kaynaklı yüksek kalitede agraga (kil içermeyen) kaynaklarının azaldığı bilinmektedir. Kil içeren agregalar beton yapım aşamasında kullanılan polikarboksilat esaslı süper plastikleştiricilerin etkisini azalmaktadır. Kil içeren agraga varlığında, PCEs' lar aynı çimento yüzeyindeki gibi kil taneciklerinin yüzeyine adsorbe olarak çimento ile etkileşime giremezler.

Bu durum PCEs' ların performansını olumsuz etkiler. Arbuzov reaksiyonu metoduna göre sentezledikleri PCE' leri Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), jel geçirgenlik kromatografisi (GPC), ve zeta potansiyeli ile karakterize ederek aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır.

- 1- Sentezlenen PCEs' ların karakteristik fonksiyonel gruplarının varlığını FTIR ile kanıtladıklarını ve GPC ile ürünün moleküler ağırlığının dar bir dağılıma sahip olduğunu, reaktanların dönüşüm oranının yüksek olduğunu ve ortaya çıkardıkları ürünün ideal bir moleküler yapıya sahip olduğunu,
- 2- Zeta potansiyeli sonuçlarına göre sentezlenen PCE' lerin kil üzerine adsorpsiyonun az olduğunu ve böylelikle betonda daha iyi performans gösterdiğini ifade etmişlerdir (Qian vd., 2017).

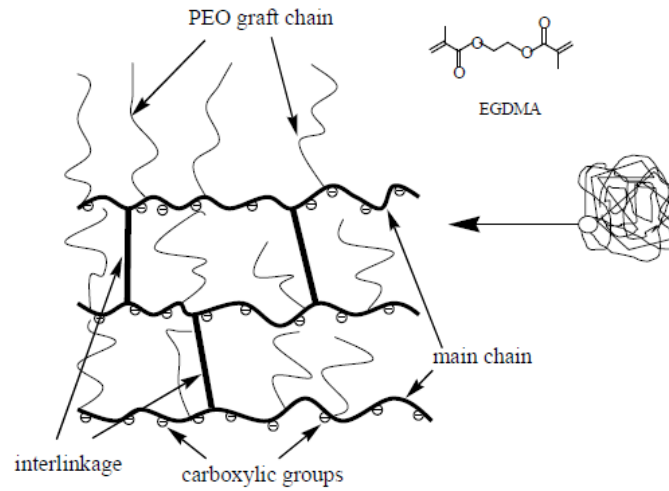
Çizelge 1.3 Çimento macunu akışkanlığı ve PCE'nin GPC sonuçları (Qian vd.,2017).

Örnek	PCE	Besleme Oranı ($n_{(HEA)}:n_{(VBC)}:n_{(TPEG)}$)	Dozaj %	Akıcılık/mm			GPC sonuçları		
				0.5h	1h	2h	M_n g.mol ⁻¹	M_w g.mol ⁻¹	PDI
A	PCE-0	$n_{(HEA)}:n_{(TPEG)} = 6:1$	0.5	105	225	205	25500	34200	1.34
B	PCE-1	4:0.5:1		110	210	190	28000	39500	1.39
C	PCE-2	4:1:1		120	230	210	31000	43800	1.41
D	PCE-3	4:2:1		100	200	180	35200	50100	1.42
E	PCE-4	5:0.5:1		105	210	195	31300	45100	1.43
F	PCE-5	5:1:1		125	235	215	35100	49500	1.40
G	PCE-6	5:2:1		-	190	160	36200	53300	1.47
H	PCE-7	6:0.5:1		110	225	200	35400	52400	1.48
I	PCE-8	6:1:1		130	245	225	35700	53700	1.50
J	PCE-9	6:2:1		105	205	185	36100	56100	1.55
K	PCE-10	7:0.5:1		120	225	185	35900	56000	1.56
L	PCE-11	7:1:1		110	220	200	36400	56100	1.54
M	PCE-12	7:2:1	100	200	170	39200	60100	1.52	

Ran vd. (2016) polikarboksilatların molekül kütlelerinin, yeni ürünlerin geliştirilmesi sırasında temel alınması gereken bir parametre olduğunu kanıtlamak amacıyla çimento hamuru üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Metaakrilik asit ve metil poli (etilen oksit) metaakrilatın kopolimerizasyonu ile sentezledikleri PCEs' ları nükleer manyetik rezonans (1H-NMR) ve GPC ile karakterize etmişlerdir.

PCEs' ların çimento partikülleri arasındaki etkileşim davranışlarını zeta potansiyeli ile araştırmışlardır. Sonuçlara göre, PCEs' ın molekül ağırlığı çimentolu sistemlerin özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu ileri sürmüşlerdir. Farklı molekül ağırlıklarının farklı performans avantajlarına sahip olduğunu söylemişlerdir. Örneğin polikarboksilat süper akışkanlaştırıcının dispersiyon kabiliyetinin iyi olması için ağırlıkça ortalama molekül kütlesinin yaklaşık 24 000 g/mol civarında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Yüksek moleküler kütleye sahip PCEs' ların ise prekast betona uygulanabilir olduğunu ifade etmişlerdir.(Ran vd., 2016)

Lv vd. (2012) yüksek performanslı polikarboksilat süper akışkanlaştırıcı sentezi için akrilik asit (AA), polietilen glikol alil eter (APEG), metil akrilat (MA), metaakrilik asit (MAA), akril amid (AM), etilenglikol dimetaakrilat (EGDMA) kullanmışlardır. Reaksiyon sisteminde moleküler kütle regülatörü olarak amonyum persülfat kullanmışlardır. Çalışmalarında EGDMA-APEG-AA kombinasyonunun mükemmel bir dispersiyon etkisi ve kıvam koruma etkisi gösterdiğini ileri sürmüşlerdir.



Şekil 1.4 EGDMA-APEG-AA polikarboksilatın şematik görüntüsü.

Çizelge 1.4 Farklı monomerlerin çimento akışkanlığına etkisi (Lv vd., 2012).

PCSPs Tipi	Çimento Akışkanlığı (mm)					Aralık (mm)
	0 dak	30 dak	60 dak	90 dak	120 dak	
MA-APEG-AA	195	250	240	225	197	43
MAA-APEG-AA	175	200	217	190	172	45
AM-APEG-AA	196	200	185	170	153	47
APEG-AA	245	238	220	205	190	55

Çizelge 1.5 Farklı EGDMA miktarının çimento akışına etkisi (Lv vd., 2012).

Mol Oranları EGDMA:APEG:AA	Çimento Akışkanlığı (mm)				
	0 dak	30 dak	60 dak	90 dak	120 dak
0.5:1:3.5	160	150	132	0	0
0.7:1:3.5	123	108	86	0	0
0.9:1:3.5	0	0	0	0	0

Çalışmalarında aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır.

- 1- MA-APEG-AA, MAA-APEG-AA ve AM-APEG-AA PCE' lerin APEG-AA'dan daha iyi kıvam koruma özelliğine sahip ancak pratik uygulamalar için uygun olmadığını,
- 2- EGDMA-APEG-AA PCSP' ler kendi başlarına kullanılmadığını ancak, AA-APEG ile birleştirildiğinde mükemmel bir performans gösterdiğini söylemişlerdir.
- 3- Sentezledikleri PCEs' in mükemmel dispersiyon ve kıvam koruma özelliğine sahip etkili bir plastikleştirici olduğu kanıtlanmıştır (Lv vd., 2012).



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Beton ve Özellikleri

Çimento, agrega, katkı ve su ile yapılan kompozit bir malzeme olan beton, insan yapımı malzemelerin en büyüğünü oluşturur. Agregalar beton hacminin dörtte üçünü oluştursa da, betonun aktif bileşeni çimento macunu olup, betonun özellikleri ve performansı büyük ölçüde çimentonun özellikleri tarafından belirlenmektedir. Beton yapımında kullanılan katkı malzemeleri; hızlanma, geciktirme, hava sürüklenmesi, su azaltma, plastisite vb. gibi bazı faydalı etkiler verir ve bu etkiler çimento üzerindeki etkilerinden kaynaklanır (V. S. Ramachandran, 1995).

Beton üretiminde amaç mümkün olduğu kadar boşluksuz ve yüksek mukavemetli bir beton elde etmektir. Bunun yanı sıra fiziksel ve kimyasal dış etkilere dayanıklılığı belirleyici parametreler arasındadır. Betonun mekanik mukavemeti göz önüne alındığında çekme mukavemetinin basınç mukavemetine göre çok küçük kaldığı görülmektedir. Yol, köprü, baraj vb. birçok yapıda kullanılan betonun çekme ve eğilme gerilimlerine de maruz kaldığı bilinmelidir. Bu sebeple yapılarda kullanılan betonların çekme ve eğilme mukavemetleri de olabildiğince yüksek olmalıdır. Bir yapı malzemesi olarak kullanılan betonun göz önünde bulundurululan en önemli fiziksel özellikleri mukavemeti, gözenkliliği, geçirgenliği, yoğunluğu, elastikliği ve termal özellikleridir (Yalçın ve Gürü, 2006).

2.1.1 Yapı malzemesi olarak beton

Çok kolay şekillendirilen ve bir yapı malzemesi olan beton, priz almadan önce (betonun katılaşmaya başlaması durumu) bir kil hamuru kadar yumuşak ve akışkandır. Sertleştikten sonra doğadaki taşlar kadar sert ve sağlam olur. Beton ve çeliğin birbiri ile olan uyumlu davranışı çelikli beton (betonarme) yapıları ön plana çıkarmıştır. Beton ve çelik sertleştikten sonra sanki tek bir malzeme gibi davranırlar. Burada önemli parametre iki malzemenin de termal genişleme katsayısının birbirine yakın olmasıdır. Çelik ve beton bu derece uyumlu olmasalardı betonarme yapıların kullanım alanları önemli ölçüde azalırdı.

Yapı malzemesi olarak betonun bu denli geniş uygulama alanları bulması diğer yapı malzemelerine kıyasla büyük ölçüde ekonomik olmasından kaynaklanır. Betonun oluşturan malzemeler arasında maliyet olarak en büyük payı çimento oluşturur.

Çimento üretimi için belirli bir enerji harcanır. Beton tasarımı içerisinde çimento kütleli olarak %10-15 kadar yer alır (Yalçın ve Gürü, 2006). Betonun özellikleri kullanılan malzemenin cinsine ve karışım miktarlarına göre değişir. Bir betonda olması gereken tipik özellikler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.1 Betonun fiziksel özellikleri (Yalçın ve Gürü, 2006).

Özellikler	Tipik Değerler
Basınç dayanımı	40 MPa
Çekme dayanımı	5 MPa
Elastiklik modülü	30 000 MPa
Termal genişleme katsayısı	10 10 ⁶ /°C
Rötre deformasyonu	%0,1
Yoğunluk;	
Hafif beton	1500 kg/m ³
Normal beton	2300 kg/m ³
Isı iletkenliği	1,3 W/m. °C
Isınma ısısı	1,1 kJ/kg.C

2.1.2 Betonun mukavemeti

Betonun mukavemetini belirleyen temel faktörler; agrega cinsi ve granülometrisi, çimento cinsi ve dozajı, su/çimento oranı ve betonun sıklığını belirleyen kompozitesidir. Mukavemetin maksimum seviyede olması için hedeflenmesi gereken özellik, betonun yoğunluğudur. Mümkün olduğu kadar yüksek yoğunlukta beton elde etmek amaçlanır. Beton yoğunluğunun büyük olması için ince ve kaba agreganın granülometrisi çok önemlidir. Yoğunluğun yüksek olması kaba agreganın standart dağılım ölçüleri içerisinde olabildiğince fazla olması ile sağlanır. Diğer taraftan ince agrega, kaba agrega boşluklarını doldurabilecek miktar ve dağılımda olması gerekmektedir. Beton karışımında teorik olarak tüm koşullar yerine getirilmiş olsa bile, betonun nakli ve yerleştirilmesi sürecinde dengenin bozulmaması için, etkili bir işlenebilirlik özelliğine sahip olması gerekir (Yalçın ve Gürü 2006).

Beton mukavemetine etki eden en önemli özelliklerden biriside çimentonun cinsi ve özellikleridir. Bu etki hidrasyon sürecinin hızlı veya yavaş ilerlemesiyle birebir ilişkilidir. Hidrasyonun hızlı ilerlemesi durumunda betonun mukavemeti kısa zamanda artar.

2.1.3 Betondan beklenen performans

Beton sert ve taze beton olmak üzere ikiye ayrılır. Betonun plastiklik özelliği sergilediği süredeki durumuna taze beton denir ve bu aşamadayken taşınabilir ve işlenebilir haldedir. Daha sonraki aşamada sertleşen/priz alan beton ise sertleşmiş betondur ve plastiklik özelliğini kaybetmiş beton olarak tanımlanır.

Taze betondan beklenen performansın temel ölçütleri:

- Taze beton, kolay bir şekilde karıştırılabilir, taşınabilir, yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir ve yüzeyi düzeltilebilir olmalıdır.
- Betonun homojen yapısının bozulmaması için yerleştirildikten sonra içerisindeki suyun yukarıya çıkmaması (terleme) gerekmektedir.
- Betonun karılmasından itibaren plastiklik süresinin kaybolmasına kadar geçen sürenin uzunluğu (priz süresi) olması gerekenden çok kısa veya çok uzun olmamalıdır.

Sertleşmiş betondan beklenen performansın temel ölçütleri:

- Amaca uygun üretilen tüm betonlarda, sertleşmiş betonun kendisinden beklenen özellikleri gösterebilecek kalitede olmasıdır.
- 7, 28 veya 90 günlük herhangi bir dönemde, hedeflenmiş olan minimum beton dayanımından daha az bir dayanım göstermemelidir.
- Yeterince geçirimsiz olması için, çevresindeki suyun ve diğer sıvıların beton içerisine girerek olumsuz etki yaratmaması gerekir.
- Hizmet gördüğü zaman içerisinde betonu etkileyecek dış faktörlere karşı dayanıklı olması gerekir. Örneğin, donma-çözünme, ıslanma-kuruma, aside, sülfatlara, alkali agrega reaksiyonu gibi kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklılık gösterecek seviyede olmalıdır.
- Çatlamalara yol açmaması için yeterli hacim sabitliğine sahip olması gerekir. Büzülme (rötre) veya genleşme göstermemelidir.

Basınç, eğilme, çekme, yorulma dayanımı, ısıl genleşme katsayısı, yoğunluk ve sabit yükler altında sönme, betonda aranan en önemli özelliklerdendir (Erdoğan, 2013).

2.1.4 Betonun avantajları ve dezavantajları

Betonun popüler bir yapı malzemesi olmasının nedeni, sahip olduğu üstün özelliklerden kaynaklanmaktadır. Betonu diğer yapı malzemelerinden ayrı kılan özellikleri yani avantajları ve dezavantajları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

Betonun avantajları:

- Beton taze haldeyken, plastiklik özelliği nedeniyle istenilen şekil ve boyutlarda üretilir.
- Sertleşmiş beton elemanları kullanılacağı alanda üretilebildiği gibi, daha önce bir fabrikada üretilip prefabrik olarak da kullanılabilirler.
- İyi dizayn edilmiş bir beton sertleştikten sonra yüksek basınç dayanımı sergiler.
- Bakım işleri ve masraf gerektirmeksizin, çevre etkilerine karşı diğer yapı malzemelerine karşı daha dayanıklıdır.
- Beton, çelik donatılarla çok iyi kenetlenme (aderans) etkisi göstererek etkin kapasitesinin çok daha üzerine çıkabilir.
- Ekonomik oluşu, diğer yapı malzemelerinden ayıran en önemli özelliklerindendir.
- Beton, estetik amaçlar için kullanılmaya uygundur. İstenilen renk ve yüzey şekillerinde üretilebilir.

Betonun dezavantajları:

- Beton sertleştiği zaman çekme dayanımı düşük olan bir malzemedir. Bu bakımdan beton elemanlarının çekme veya eğilmeye maruz kalabilecek bölgelerine çelik donatıların yerleştirilmesi gerekmektedir.
- Sertleşmiş beton gevrek bir malzemedir. Diğer bir deyişle bu durum darbe yükleri karşısında yeterince dayanıklı olmamasına yol açar.
- Birçok yapı malzemesi gibi beton, sabit yükler altında zamanla kalıcı deformasyonlara uğrayabilir.
- Beton çok iyi bir geçirimsizliğe sahip değildir. İçerisine zamanla su veya zararlı maddeler içerebilen sıvıları alabilir. Bu durum betonun dayanıklılığını azaltıcı etkilerde bulunabilir.

- Yüksek değerlerdeki yükleri taşınması aşamasında dayanım/ağırlık oranı metallerdeki kadar yüksek değildir (Erdoğan, 2013).

2.1.5 Beton standartları

Beton konut yapımı başta olmak üzere tüm yatırımların vazgeçilmez temel yapı malzemesidir. Betonun kalitesi yalnız ekonomi ve yatırım açısından değil, insan hayatın da ilgilendirmesi bakımından belirli yasalarla zorunlu hale getirilmiş standartları vardır. Bu sebeple beton yapımının kontrolü tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de standardize edilmiştir (Yalçın ve Gürü, 2006).

Türk beton standartı TS 11222 Şubat 1994’ de kabul edilmiştir. Bu standart Türkiye’ de beton konusunu doğrudan doğruya kapsayan ilk standarttır. Daha sonra Avrupa standartları kapsamında yenilenmelere giderek TS EN 206 olarak revize edilmiştir.

Çizelge 2.2 Türk standartlarındaki beton sınıfları ve karakteristik dayanımları (Uğurlu, 2005).

Beton Dayanım Sınıfı				Karakteristik Dayanım f_{ck}							
TS 500 (1)	TS EN 206 (3)	TS 11222 (2)	TS 10465 (4)	Silindir Numune (15 x 30) cm				Küp Numune (15 x 15 x 15) (20 x 20 x 20)			
				TS 500	TS EN 206	TS 11222	TS 10465	TS 500	TS EN 206	TS 11222	TS 10465
	C 8/10				8				10		
	C 12/15				12				15		
	-	C 14	BS 14		-	14	14		-	16	16
C 16	C 16/20	C 16	BS 16	16	16	16	16	20	20	20	20
C 18	-	C 18	-	18	-	18	-	22	-	22	-
C 20	C 20/25	C 20	BS 20	20	20	20	20	25	25	25	25
C 25	C 25/30	C 25	BS 25	25	25	25	25	30	30	30	30
C 30	C 30/37	C 30	BS 30	30	30	30	30	37	37	37	35
C 35	C 35/45	C 35	BS 35	35	35	35	35	45	45	45	40
C 40	C 40/50	C 40	BS 40	40	40	40	40	50	50	50	45
C 45	C 45/55	C 45	BS 45	45	45	45	45	55	55	55	50
C 50	C 50/60	C 50	BS 50	50	50	50	50	60	60	60	55
	C 55/67	C 55			55	55			67	67	
	C 60/75	C 60			60	60			75	75	
	C 70/85	C 70			70	70			85	85	
	C 80/95	C 80			80	80			95	95	
	C 90/105	C 90			90	90			105	105	
	C 100/115	C 100			100	100			115	100	

2.2 Çimento ve Özellikleri

Yontulmuş taş kırıntısı anlamına gelen çimento kelimesi, Latince “caementum” olarak geçer. Sonraları bu kelime, bağlayıcı olarak anlamında kullanılmıştır. 1852 yılında ilk betonarme bina yapılmasına karşın bağlayıcı malzemelerin kullanımı eskilere dayanır.

Çimento su ile reaksiyona girdiğinde sertleşerek etrafındaki maddeleri birbirine yapıştıran hidrolik bir bağlayıcıdır.

Çimento açık hava ve su altında sertleşebilen, sertleştikten sonrada çözülmeyen bir yapıya sahip olması sebebiyle yapı malzemesi olarak kullanılan en yaygın malzemedir. Çimento esasen, silisyum oksit (SiO_2), kalsiyum oksit (CaO), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) içeren maddelerin belirli sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilen klinkerin bir veya birden fazla katkı maddesiyle öğütülerek üretilen bir malzemedir (Erdoğan, 2013; Korkmaz, 2017).

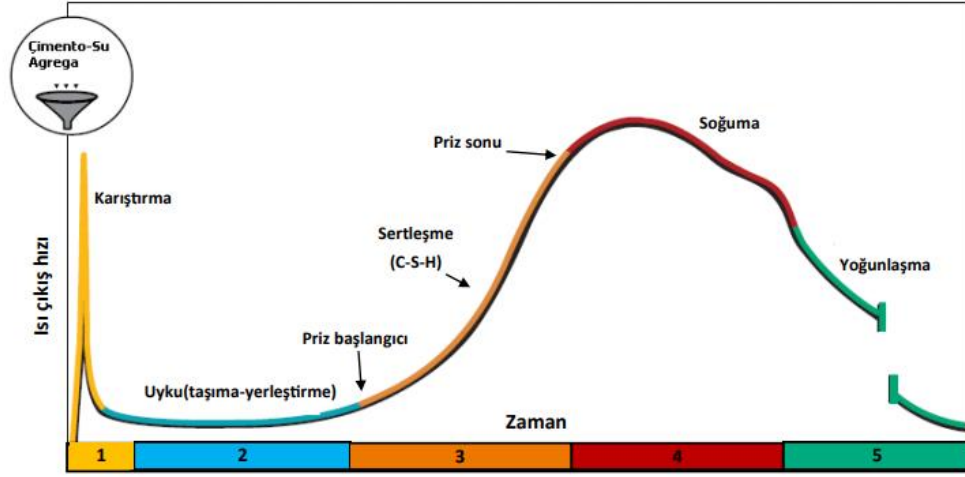
2.2.1 Çimentonun hidratasyonu

Çimento ve suyun birbiriyle karışmasıyla başlayan hidratasyon süreci çimento taneciklerinin suda kısmi olarak çözünmesiyle devam eder. Çözünmüş bileşikler farklı hızlarda ve oranlarda reaksiyona girerler. Reaksiyon sonucunda açığa ısı çıkar ve yeni ürünler oluşur. Oluşan bu yeni ürünler çimento hamurunu sertleştirerek agregaların çimento hamuruna bağlanmasını sağlarlar. Kireç taşı ve kilin yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilen klinker alçıtaşıyla beraber öğütülerek portland çimentosu elde edilir. Pişirmenin ardından klinkerin yapısında iki ana bileşen (alüminatlar-silikatlar) oluşur ve alçı taşının eklenmesiyle (sülfat) oluşan reaksiyon, hidratasyonu önemli şekilde etkiler.

Çimentonun ana bileşenleri;

- 1- Kalsiyum Alüminatlar ($\text{C}_3\text{A}-\text{C}_4\text{AF}$)
- 2- Kalsiyum Silikatlar ($\text{C}_3\text{S}-\text{C}_2\text{S}$)
- 3- Kalsiyum Sülfatlar (CS_2H)

Ana bileşeni oluşturan malzemelerin ortak özelliği üçününde kalsiyum içermesidir. Bu bileşenlerin göstermiş olduğu etkiler birbirinden oldukça farklıdır. (Akçansa, 2012) Hidratasyon reaksiyonunun süreci şematik olarak Şekil 2.1' de gösterildi.



Şekil 2.1 Hidratasyon süreçleri (Akçansa, 2012).

2.2.2 Hidratasyon reaksiyonları

Çimento sisteminde gerçekleşen hidratasyon reaksiyonunu dört ana başlıkta aşağıda incelenmiştir.

Trikalsiyum Silikat: portland çimentosunun %75-80' ini trikalsiyum silikat ve dikalsiyum silikatlar oluşturur. Su ile C_3S ' in reaksiyonu aşağıda verilmiştir.



Trikalsiyum silikat reaksiyonu (yukarıda) çoğu zaman yaklaşık olarak alınmaktadır. Bu durumun ana sebebi C-S-H ($3CaO.2SiO_2.4H_2O$) ve $Ca(OH)_2$ ' in (CH) miktarının tayininin güç olmasıdır.

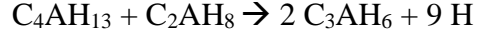
Dikalsiyum Silikat: C_3S hidratasyonuna benzer yürümesine rağmen C_2S hidratasyonu daha yavaş ilerler. Reaksiyon sonucunda üretilen ısı trikalsiyum silikata göre çok daha azdır. Prizi hızlandırıcı kimyasal katkıları C_2S reaksiyonunu hızlandırır.



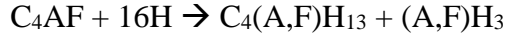
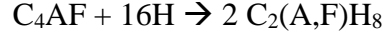
Trikalsiyum Alüminat: C_3A bileşiminin portland çimentosundaki oranı yaklaşık %4-11 civarındadır. Erken reaksiyonlarda etkili bir bileşen olma özelliği taşır. Trikalsiyum alüminat reaksiyonları ile meydana gelen kalsiyum alüminat hidrat, sülfö-alüminatlar ve kalsiyum karbo- bileşenleri çimento hamurunda ani çökme meydana getirerek istenmeyen bir durum oluştururlar.

C_3A oranının fazla olması portland çimentosu ile yapılan betonda durabilite sorunları meydana getirebilir.



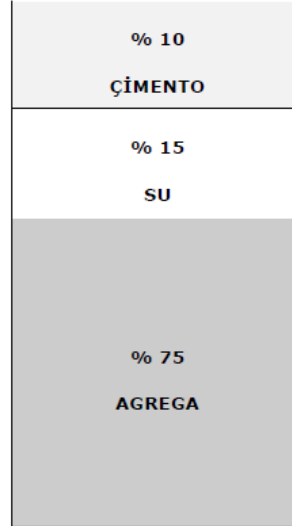


Ferrit Fazı: portland çimentosu içerisinde %8-13 oranında bulunur. Çimento mineralleri içerisinde hidrasyon ve fiziko-mekanik davranış açısı açısından nispeten daha az rol alır (Erzengin, 2010).



2.3 Agregalar ve Özellikleri

Agrega genel olarak, beton veya harç yapımında kullanılan, çimento ve suyla etkileşiminde, oluşan bağlayıcı malzeme ile bir araya gelerek bir yığın oluşturan malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık %70-75' ni agregalar oluşturur.



Şekil 2.2 Beton bileşiminin yüzdesel oranları (Demiryürek, 2007).

Bazı agregalar türleri şunlardır:

- Kum
- Kırmataş
- Çakıl
- Yüksek Fırın Cürufu
- Perlit
- Pişmiş Kil
- Bims
- Uçucu Kül

Tane yapılarına göre ince (kıırma kum veya kum) ve kaba (çakıl, mıcır, kıırmetaş) agregada olarak ikiye ayrılırlar. Betonda kullanılmak için seçilecek agregada aranan bazı önemli özellikler şunlardır:

- Betona zarar verebilecek maddeler içermemeli,
- Dayanımsız taneler içermemeli,
- Yapı itibariyle uzun ve yassı taneler içermemeli,
- Mukavemetli olmalı, aşınmaya ve basınca karşı dayanımlı olmalı,
- Gözeneksiz ve boşluksuz olmalı,
- Çimento ile zararlı reaksiyona girmemeli

Agregalar eğer kirli olursa betondaki aderansı olumsuz etkiler ve ayrıca betonun su ihtiyacını da önemli ölçüde artırır. Kirli bir agregayı içerisindeki kil, milt, silt ve toz oranı belirler. Betonda kullanılacak agregaların özgül ağırlıkları, su emme miktarları, elek analizleri gibi özellikleri sürekli takip edilerek kaliteleri belirlenmelidir. Beton agregası EN 12620' ye uygun olmalıdır.

Beton bileşimini oluşturan malzemeler içerisinde en büyük orana sahip olan agreganın, doğal kaynakları gün geçtikçe azalmaktadır. Standartlara uygun kil içeriği düşük agregalar hazır beton sektöründeki stratejik önemi oldukça fazladır. Beton üreticilerinin çoğu, aradıkları uygun kalitedeki agregayı temin edemedikleri için, şirketler kurup ya da yan birimler oluşturarak taş ocakları işleterek agregayı direk olarak üretme yoluna gitmektedirler (Demiryürek, 2007).

2.4 Karma Suyu ve Özellikleri

Betonu oluşturan maddelerden birisi de beton karma suyudur. Karma işleminde kullanılan suyun betonun priz süresine ve ileri dönemde kimyasal dayanımına zarar vermemesi gerekmektedir. Karma suyu olabildiğinde temiz olmalı ve içerisinde zararlı etki gösterecek oranda sülfat, klorür, asit, organik madde, kil, silt gibi malzemeler içermemelidir. Beton içerisinde kullanılan çimento, hidrasyon reaksiyonunun başlaması için ağırlığının yaklaşık %25' i kadar suya ihtiyaç duyar.

Bu orandan fazla beton içerisine eklenen su betonun sadece işlenebilirliğini arttırmaya yöneliktir. Fazladan eklenen su zamanla buharlaşarak yerini boşluklara bırakır. Bu boşluklar betonun dayanımını olumsuz etkilemekle beraber durabilitesini de olumsuz etkiler (Aydos Yapı Kimyasalları, 2020).

Beton üretiminde kullanılan su, üç farklı amaç için kullanılmaktadır:

- 1- Karma Suyu
- 2- Kür Suyu
- 3- Yıkama Suyu

Karma suyu; betonda hidrasyon reaksiyonunun gerçekleşmesini ve betona karılma aşamasında işlenebilirlik sağlaması amacıyla kullanılır.

Kür suyu; betonun istenilen dayanımı elde edebilmesi için ve buharlaşarak uzaklaşan suyun yerine hidrasyon reaksiyonunu devam ettirebilmesi için kullanılır.

Yıkama suyu; betonda kullanılacak agregaların içerdiği kirlilikleri ve beton özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek maddeleri uzaklaştırmak amacıyla agregaların yıkanmasında kullanılır (Erdoğan, 2013; Yalçın & Gürü, 2006).

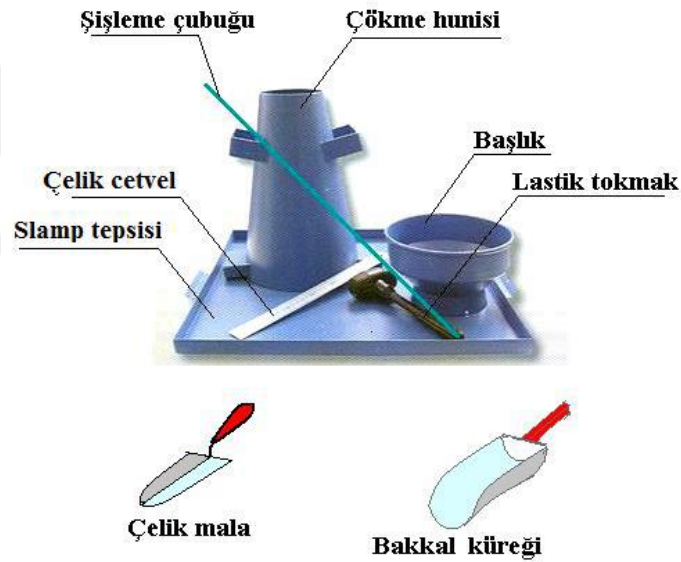
Çizelge 2.3 Karma suyu içerisinde bulunabilecek yabancı maddelerin kabul edilebilir değerleri (Erdoğan, 2013).

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

2.5 Betonda Slump ve Basma Dayanımı Deneyleri

Taze beton üzerinde yapılan slump deneyi betonun kıvamı ve işlenebilirliği hakkında bilgi verirken sertleşmiş haldeki betona yapılan basma dayanımı deneyi betonun mukavemeti hakkında bilgi verir.



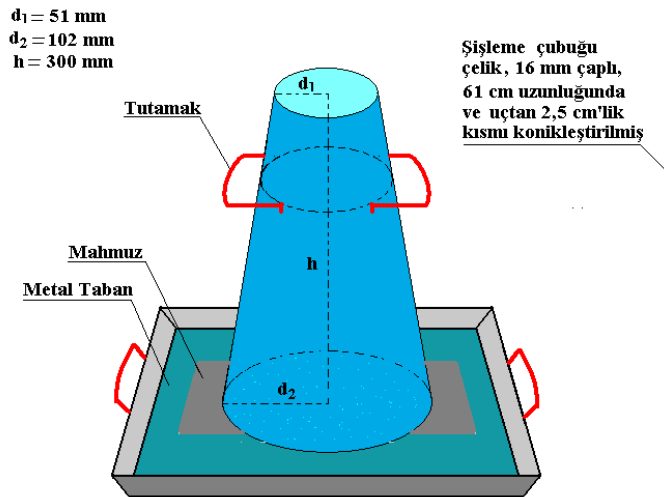
Şekil 2.3 Slump deney seti

Beton karma işlemi tamamlandıktan sonra numune TS EN 12350-1' e göre huniye alınır. Taze haldeki beton çökme hunisi içerisine alınmadan önce, tepsi ve huni yüzeyinde serbest su kalmayacak biçimde nemlendirilir. Ardından teze beton çökme hunisi içerisine üç kademede alınır. Kademe yüksekliği toplam kalıp yüksekliğinin 1/3 olacak şekilde doldurulur ve her kademe beton 25 defa şişlenerek sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra kalıbın üstünden taşan fazla beton, sıkıştırma çubuğu ile yuvarlama hareketi yapılarak alınmalı ve yüzey düzlenmelidir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Betonu numunesini sıkıştırma basamakları

Slump deney setinin teknik özellikleri Şekil 2.5’de gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Slump deney seti teknik özellikleri

Sıkıştırmanın beton dayanımına etkisi aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1- Beton içerisindeki boşluk oranı azalacağından dolayı dayanım artacaktır.
- 2- Sıkıştırma sonunda beton homojen olacağı için her yerinde aynı dayanımı gösterir.
- 3- Donatılı betonlarda aderans sağlanmış olur.

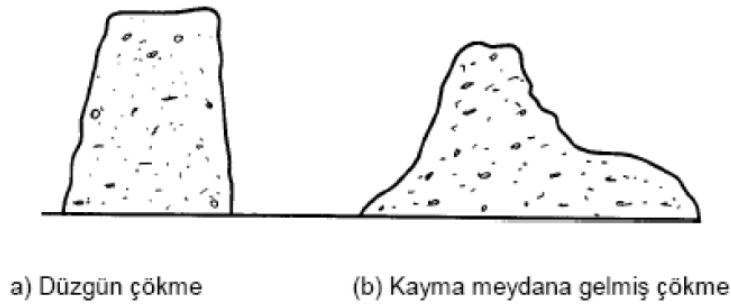
Beton Kıvamı ve Ölçülmesi:

TS-EN 12350-2' ye göre taze haldeki betonun çökme miktarları Çizelge 2.4' de verilmiştir.

Çizelge 2.4 Çökme sınıfı ve değerleri

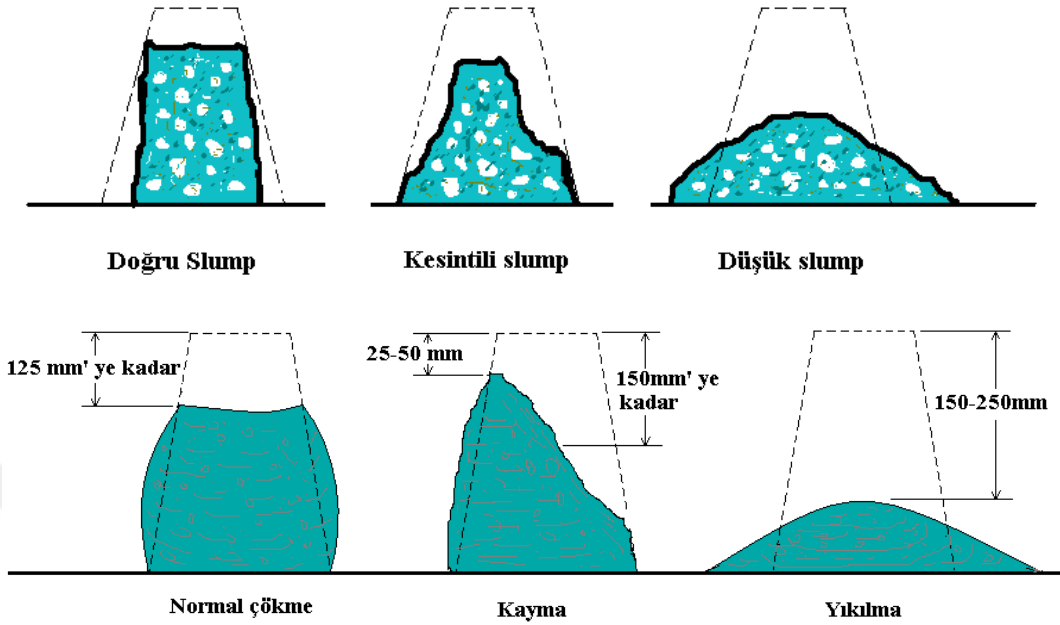
S1	0-5cm
S2	5-10cm
S3	10-16cm
S4	16-22cm
S5	≥22cm

Taze haldeki betonun kıvam ölçme işleminin doğru yapılabilmesi için beton çökmesinin düzgün bir biçimde gerçekleşmesi gerekmektedir. Düzgün bir çökme örneği Şekil 2.6a' de gösterilmiştir. Numunenin Şekil 2.6b' de gösterildiği gibi kayması halinde yeni numune alınarak test tekrarlanmalıdır. İkinci seferde de kayma meydana getiren betonun gerekli plastikiğe sahip olmadığını gösterir (MEB, 2015).

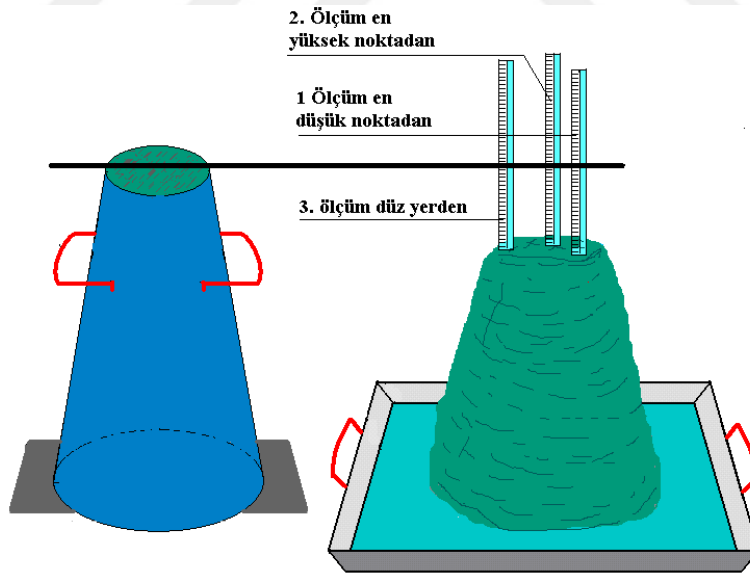


Şekil 2.6 Çökme şekilleri

Slump çeşitleri ve slump hunisinin çekilmesinin ardından çökme değerinin hesaplanmasını sırasıyla Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Slump çeşitleri

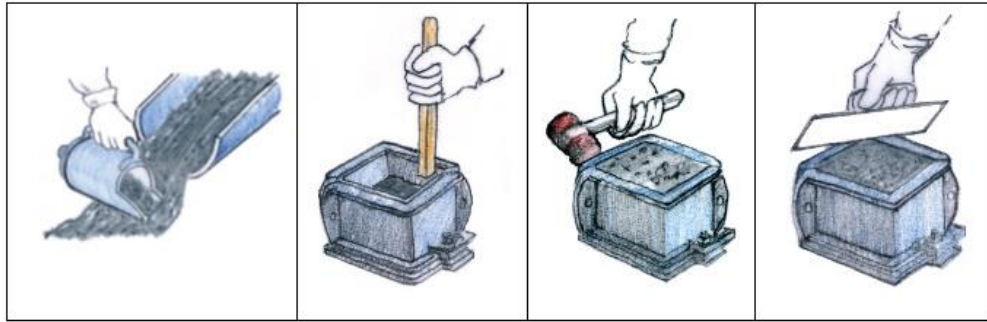


Şekil 2.8 Huninin çekilmesi ve çökme değerinin hesaplanması (MEB, 2015)

Slump ölçümleri tamamlanan betonun basma dayanımı testi yapılabilmesi için kalıba alınması ve dayanım testi yapılacağı güne kadar kür havuzunda beklemesi gerekmektedir.

Şekil 2.9’ da betonun küp kalıba alınması şematik olarak gösterilmektedir. Numune alma işlemleri TS EN 12390-1 ve TS EN 12390-2 standartlarına uygun biçimde gerçekleştirilir. Beton kalıplarına numune alınmadan önce kalıplar temizlenmeli ve iç yüzeyi ince yağ ile yağlanmalıdır.

Yağlanmayan beton kalıplarından numunenin çıkarılması zorlaşır ve numunenin hasar alarak düzgün sonuçlar vermemesine sebep olabilir. Beton numuneleri kalıp içerisinde 16-72 saat arası bir süre boyunca yeterli sertliğe gelene kadar bekletilir. Daha sonra kalıplarından dikkatlice çıkartılarak $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ’deki kür havuzunda basma dayanımı test gününe kadar bekletilir (Vizyon Beton Test Laboratuvarı, 2020).



Şekil 2.9 Küp kalıba numune alınması

2.6 Beton Katkı Malzemeleri

Betonda kullanılması gereken çimento miktarını azaltmadan su/çimento oranını düşürerek kolayca işlenebilir, akıcı ve yüksek dayanıma sahip beton elde edebilmek amacıyla beton katkı malzemeleri kullanılmaktadır.(Erzengin, 2010) Beton katkı malzemeleri taze veya sertleşmiş haldeki betonun özelliklerini değiştirmek amacıyla, karma esnasında betona, çimento dozajının %5’ ni geçmemek üzere eklenen kimyasal maddeler olarak tanımlanmıştır.(TS EN 934-2) Kullanım amacına bağlı olarak farklı özellikte beton katkı malzemeleri bulunur.

- 1- Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı
- 2- Yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkı
- 3- Su tutucu katkı
- 4- Hava sürükleyici katkı
- 5- Priz hızlandırıcı katkı
- 6- Sertleşmeyi hızlandırıcı katkı

- 7- Priz geciktirici katkı
- 8- Su geçirimsizlik katkısı
- 9- Priz geciktirici/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı
- 10- Priz geciktirici/yüksek oranda su azaltıcı/ süper akışkanlaştırıcı katkı
- 11- Priz hızlandırıcı/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı

olarak belirlenmiştir (TS-EN 934-2, 2002).

Çimentolu sistemlerde, taneciklerin dağılma özelliği akışkanlaştırıcı katkıların sebep olduğu elektrostatik ve sterik etki mekanizması ile açıklanır. Karboksilat COO^- ve sülfonat SO_3 bazlı akışkanlaştırıcılar olmak üzere iki grupta toplanmıştır.

Polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcılarda dağılma mekanizması elektrostatik ve sterik itme kuvvetlerine bağlıken, sülfonat bazlı akışkanlaştırıcılarda ise elektrostatik etki söz konusudur (Akar, 2012).

Betonda akışkanlığı arttırmak amacıyla ilk olarak doğal reçineler, ağaç reçineleri ve sülfane sabunlar denenmiştir. Daha sonraları kâğıt üretiminde ortaya çıkan lignin likörünün sülfonasyonu ile kalsiyum veya sodyum lignosülfatlar üretilmiştir. Lignosülfatlar doğal makro moleküllerden oluşan anyonik SO_4^- ucuyla hidrofobik etki göstererek çimento taneciklerine adsorbe olur ve hidratasyon süresince çimento taneciklerinin bir araya gelmesini engelleyerek akışkanlaştırıcı etki yaratır.



Şekil 2.10 Sodyum lignosülfonat

Hammaddenin odun olmasından dolayı bünyesinde glüköz yani şeker barındırır. Şeker, priz geciktirme özelliği gösteren bir malzeme olarak bilinir. Geciktirme ve hava sürüklenme özelliğine sahip olan lignosülfonatlar uzun yıllar tek tip beton katkı malzemesi olarak kullanıldılar (Akman & Akçay, 2005).

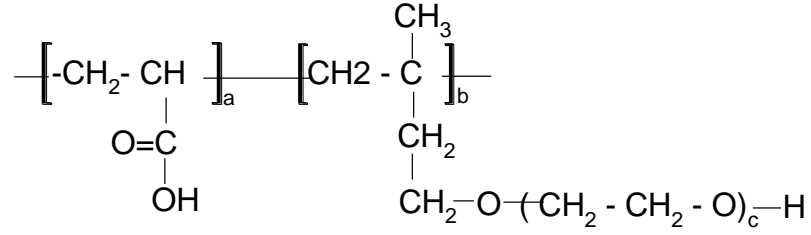
İkinci nesil beton katkı maddesi olarak, Melamin (SMF) ve Naftalin (SNF) Formaldehit Sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcılar bilinir. İlk olarak 1960' lı yıllarda Japonya' da kullanılmaya başlanmıştır.

Bazı lignosülfat türleri modifiye halleri göz önüne alındığında süper akışkanlaştırıcı katkı sınıfına sokulabilir, ancak en çok kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkı türleri SMF ve SNF'dir. Süper akışkanlaştırıcı katkıların su kesme ve kıvam koruma mekanizması lignosülfat esaslı katkılara göre daha iyidir. Ancak, SMF ve SNF içerikli süper akışkanlaştırıcılarda en sık karşılaşılan sorun zaman içerisinde betonda meydana gelen işlenebilirlik kaybıdır. Bu sorun ek katkı ilavesi ile nispeten çözülmüş olmasında ekonomik değildir (Türkel & Felekoğlu, 2004).

SMF ve SNF bazlı süper akışkanlaştırıcılar tüm olumlu özelliklerine rağmen, ilk 30-60 dakikada yaşadığı kıvam kaybı gelişimlerini olumsuz etkilemiştir. 1986 yılında Japonya' da üretilen 3. nesil hiper akışkanlaştırıcılar olarak tanımlanan polikarboksilat (PCEs) esaslı yüksek akışkanlık ve segregasyon direnci sağlayan, işenebilirliği uzun süre devam eden beton katkı malzemesini geliştirmişlerdir.

Polikarboksilat esaslı katkılar, düşük su/çimento oranındaki betonun hazırlanmasını mümkün kılar ve çok akıcı kıvamları sayesinde 22 cm' den yüksek çökmeyi (slump) sağlar (Liu vd., 2012; L. Y. Wang vd., 2013; Yılmaz, 2003).

PCE esaslı katkıların çimento tanecikleriyle eşsiz uyumu, taze ve sertleşmiş haldeki beton üzerinde olumlu etki sağlamaktadır. PCE' lar bir ana karbon zinciri üzerine bağlı çok sayıda yan zincirden meydana gelmektedir. Sahip oldukları yapı sayesinde sınırsız modifikasyon imkanı sunan PCEs' lar toksik olmaması ve çevreye zarar vermemesi nedeniyle en çok tercih edilen beton katkı malzemeleridir (Ran vd., 2016).



Şekil 2.11 PCE' in moleküler yapısı

PCEs' lar genellikle kopolimerizasyon yönemiyle sentezlenirler. Tarak tipi PCEs' lar genellikle negatif yüklü omurgaya aşılmiş polietilen oksit (PEO) yan zincirlerinden oluşurlar. PEO yan zincirleri negatif yüklü çimento tanecikleriyle bir araya gelerek sterik bir engel oluşturarak etkili bir dağılma mekanizması yaratırlar.

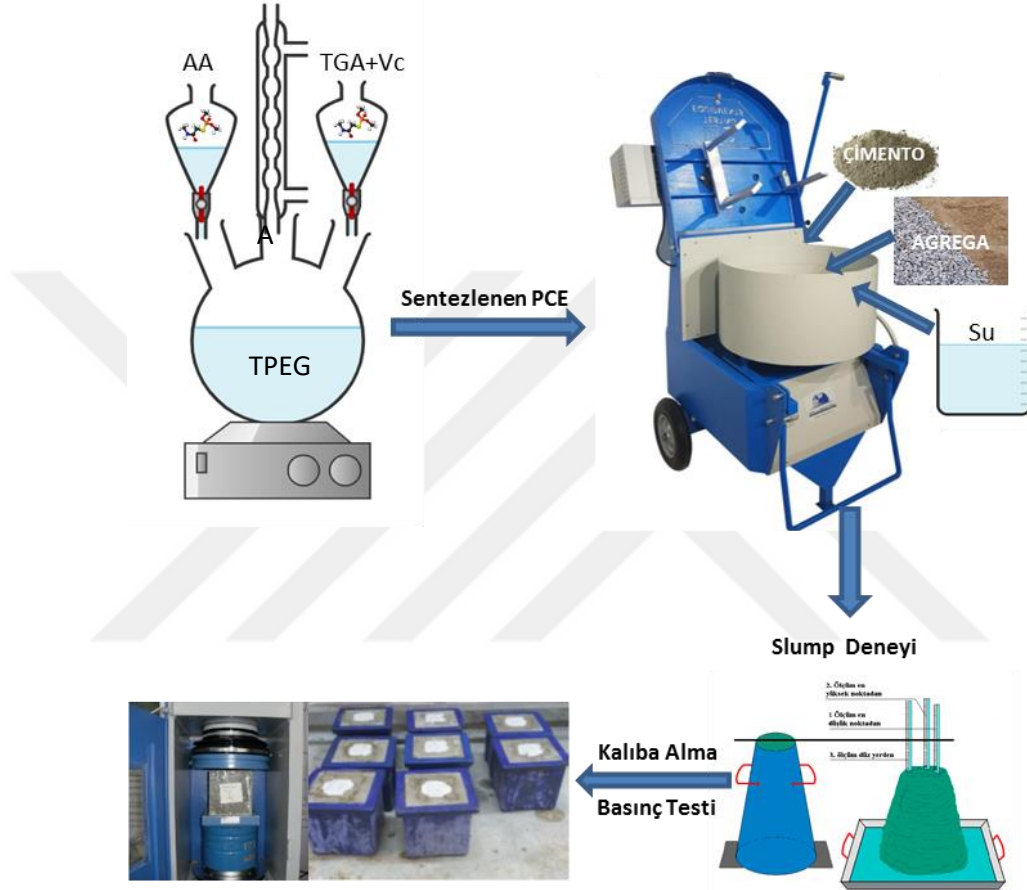
PCE sentezinde kullanılan monomerler, PCE' in etki mekanizmasını belirler. Bilindik bazı moomerler,

- APEG
- MPEG
- VPEG
- TPEG
- HPEG
- XPEG
- PAAM

olarak sıralanabilir. PCEs' larda yaygın olarak kullanılan PEO yan zincirlerinin ana omurga üzerindeki uzunluğu beton üzerindeki performansını etkileyen en önemli parametrelerden biridir (Haste, 2018; V. S. Ramachandran, 1995).

3. MATERYAL ve METOT

Çalışmalar kapsamında kullanılan tüm deneysel sistem aşağıda Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilmiştir. Bu süreç PCE üretimi, betona uygulama aşaması, slump ölçümü ve daha sonra kalıplara alınan beton numunelerinin basma dayanım testini kapsar.



Şekil 3.1 PCEs üretimi ve betona uygulama aşamaları

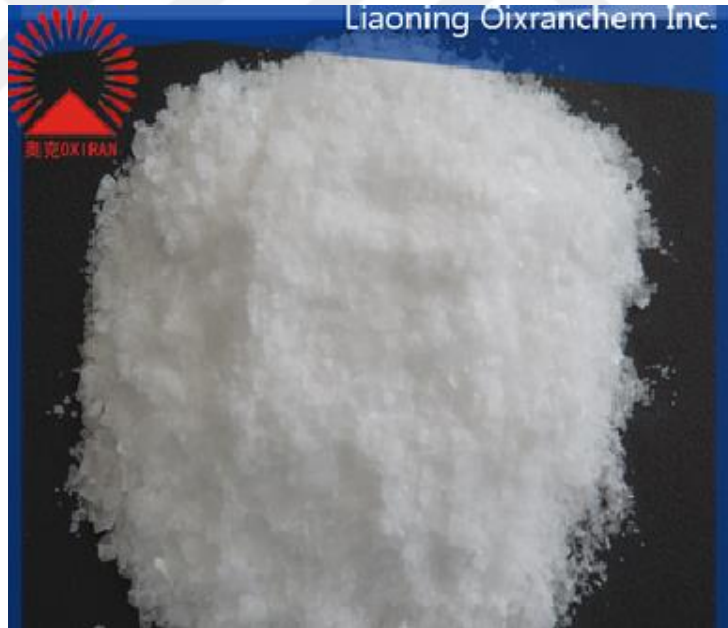
3.1 Materyaller

3.1.1 Monomer

Sentez aşamasında kullanılan kıvam koruyucu özellikteki monomer, tresylated polyethylene glycol (TPEG-2400) Liaoning Oxiranchem Inc. Tarfindan temin edilmiştir. Ürün özellikleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 TPEG-2400 monomerine ait ürün özellikleri

Ürün adı	TPEG-2400
Model adı	OXAB-501
Molekül formülü	$(CH_3)_2C=CHCH_2O(CH_2CH_2O)_nH$
25 °C'de görünüş	Beyaz veya açık sarı pul
Hidroksil değeri (mg KOH/g)	22.0- 25.0
Çift bağ tutma oranı (% \geq)	92.0
Ortalama molekül kütlesi (g/mol)	2400
Doymamışlık (mol/kg)	0.36
pH (%1 sulu çözeltisi)	5.0-7.0



Şekil 3.2 TPEG -2400 monomeri

3.1.2 Çimento

Beton karışımlarının hazırlanmasının tamamında bağlayıcı malzeme olarak TS EN 197-1:2012 standardına uygun olarak üretilmiş olan CEM II/A-LL-425/R tipi Portland Kalkerli Çimento Sivas Votorantim Çimento firmasından 50 kg'lık torbalar halinde temin edilmiş olup, temin edildiği gibi kullanılmıştır.

3.1.3 Kimyasallar

Sentez aşamasında akrilik asit (AA) Fluka' dan, thioglycolic asit (TGA) Merck' den, Hidrojen Peroksit (H₂O₂) Zag' dan, Askorbik Asit (Vc) Zag' dan Maleik Anhidrit (MA) Sigma Aldrich, Hava Sürükleyici Katkı (HSK) Aydos Conair 100' den ve Metilen Mavisi (MM) Zag' dan temin edilmiş olup, ileri saflaştırma işlemi yapılmaksızın kullanıldı. Bu kimyasallara ait özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 PCEs sentezinde kullanılan kimyasalların özellikleri

Kimyasal	Molekül Formülü	Molekül Kütlesi (g/mol)	Saflığı (%)	Yoğunluk (g/cm ³)
AA	C ₃ H ₄ O ₂	72.05	99.0	1.050
TGA	C ₂ H ₄ O ₂ S	92.11	98.0	1.325
H ₂ O ₂	H ₂ O ₂	32.02	50.0	1.197
Vc	C ₆ H ₈ O ₆	176.14	99.9	1.954
MA	C ₄ H ₂ O ₃	98.06	98.0	1.480
HSK	-	-	-	1.01
MM	C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S	319.86	99.4	-

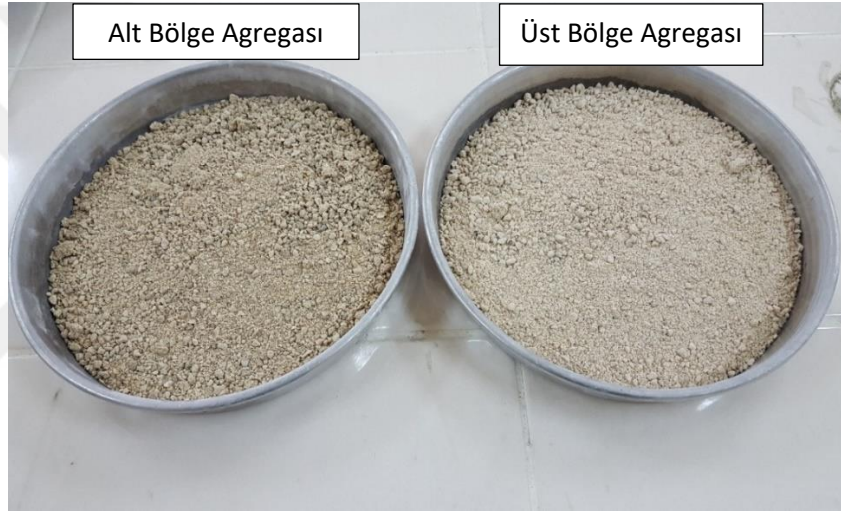
3.1.4 Agregalar

Kullanılan agregalar Teknik Önder Mimarlık Mühendislik Ltd Şti. tarafından işletilen taş ocağından temin edilmiş olup temin edildiği şekliyle kullanılmıştır. Beton karışımında kullanılan agregaların boyutu 0-5mm kırma taş (ince malzeme), 5-13 mm kırma taş (ara malzeme) ve 13-22 mm kırma taş (iri malzeme) boyutlarındadır. Taş ocağının yapısı itibariyle kullanılan agrega "Üst Bölge ve Alt Bölge" olarak ayrılmaktadır.

Üst bölgeden elde edilen agreganın su emme oranı alt bölgeden elde edilen agregaya kıyasla daha azdır ve daha temizdir. Agregaya bileşenlerine ait özellikler Çizelge 3.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 Beton hazırlama aşamasında kullanılan agregaların kimyasal bileşimi

Agrega Tipi	A.Za %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Fe ₂ O ₃ %	MgO %	MnO %	Na ₂ O %	SiO ₂ %	TiO ₂ %
Üst Bölge	43,85	<0,1	55,2	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	0,2	<0,1
Alt Bölge	43,3	0,3	53,5	0,2	1	<0,1	0,1	1,30	<0,1



Şekil 3.3 Beton karışımında kullanılan 0-5 mm kırmataş.

Beton karışımlarında kullanılan agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri TS EN 1097-6 standartına göre yapılmış deney sonucunda, beton hazırlama aşamasında kullanılan agregaların su emme miktarları Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Beton hazırlama aşamasında kullanılan agregaların %Su Emme Miktarı.

	0-5 mm (% Su Emme)	5-13mm (% Su Emme)	13-22 mm (% Su Emme)
Üst Bölge	1.5	0,9	0.5
Alt Bölge	5.6	2,6	3.8

3.2 Metot

3.2.1 Polikarbosilat Sentezi

Bu aşamada betonda, kıvam koruyucu/su kesici amacıyla kullanılmak üzere üretilen polikarboksilatlar (PCEs) radikalik polimerizasyon yöntemine göre sentezlenmiştir. Çalışmada TPEG ve AA gibi iki farklı monomer ile birlikte başlatıcı olarak hidrojen peroksit (H_2O_2) varlığında polimerizasyon gerçekleştirilmiştir. Tüm sentez aşamalarında sıcaklık hassasiyeti ± 1 °C olan ve karıştırma hızı rpm mertebesinde ayarlanabilen manyetik karıştırıcılı sepetli ısıtıcı (M-Tops, MS-DMS633) kullanılmıştır (Şekil 3.4). Deney düzeneğinde sepet içerisine konulan dört boyunlu balon, geri soğutucu ve reaktör içerisine besleme yapabilmek için ayırma hunisine bağlı kademeli dozajlama yapmayı sağlayan donanım kullanılmıştır.

PCEs sentez işlemi, polimerizasyon başlatıcısının (H_2O_2) farklı mol oranlarında, AA ve TGA+Vitamin C (Vc)'nin farklı besleme sürelerinde, farklı sentez sıcaklıklarında ve betonun işlenebilirliğini arttırması için katkı olarak maleik anhidrit (MA) ve hava sürükleyici katkı (HSK) eklemeleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4 PCEs sentezinde kullanılan deney düzeneği

Daha sonra farklı deney şartlarında sentezlenen PCEs' ların beton performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Beton performansı açısından en uygun PCE' ı seçmek için, beton üzerinde slump testi ve basma dayanımı testleri yapılmıştır. Böylelikle sentezlenen PCEs' lar betonun kıvam koruması, işlenebilirliği ve basma dayanımı gibi özelliklerine bakılarak değerlendirilmiştir.

3.2.1.1 PCEs'ın A ve B çözeltilerinin farklı besleme sürelerinde sentezlenmesi ve beton performansı üzerine etkisi

A çözeltisi; TGA, Vc ve 18,75 ml deiyonize suyun karıştırılmasıyla, B çözeltisi; belli miktarda AA ve 7,5 ml deiyonize suyun karıştırılmasıyla elde edildi. Daha sonra ana çözeltiyi oluşturmak için TPEG-2400 monomerinden 88.75 g reaktöre alındı ve 50 ml deiyonize su ilave edilerek istenilen çalışma sıcaklığına getirildi. 400-450 rpm karıştırma hızında, monomerler çözünene kadar yaklaşık 1,5 saat karıştırıldı. Polimerizasyonu başlatmak için H₂O₂ eklendi. Ardından sisteme A çözeltisi ve B çözeltisi sırasıyla 2.30-2.00, 3.30-3.00 ve 4.30-4.00 saat sürelerle damlalar halinde beslendi.

Besleme/damlama işlemi tamamlandıktan sonra karıştırma işlemine 1 saat daha devam edildi. Tamamlanan karışmanın ardından elde edilen 3 farklı PCEs oda sıcaklığına soğutuldu ve deney zamanına kadar cam kavanozlarda muhafaza edildi

İlk çalışmada A ve B çözeltileri için en uygun besleme süresi, kirlilik oranı %1,25 olan agrega ile hazırlanan betonda slump, kıvam koruma ve basma dayanımı özelliklerine bakılarak karar verildi.

3.2.1.2 PCEs'ın farklı sıcaklıklarda sentezlenmesi ve beton performansı üzerine etkisinin incelenmesi

A çözeltisi; TGA, Vc ve 18,75 ml deiyonize suyun karıştırılmasıyla, B çözeltisi; belli miktarda AA ve 7,5 ml deiyonize suyun karıştırılmasıyla elde edildi. Daha sonra ana çözeltiyi oluşturmak için TPEG-2400 monomerinden 88.75 g reaktöre alındı. Ardından 50 ml deiyonize su ilave edilerek 25 °C, 40 °C ve 60 °C sıcaklıklarda, 400-450 rpm karıştırma hızında, monomerler çözünene kadar yaklaşık 1,5 saat karıştırıldı ve polimerizasyonun başlaması için H₂O₂ eklendi. Daha sonra, önceden belirlenen besleme süresinde reaktöre A ve B çözeltileri damlatılarak PCE sentezleme işlemi başlatıldı. Besleme işlemi tamamlandıktan sonra karıştırma işlemine 1 saat daha devam edildi.

Tamamlanan karışmanın ardından 3 farklı sıcaklıkta elde edilen PCEs oda sıcaklığında soğutulularak deney zamanına kadar cam kavanozlarda muhafaza edildi.

PCEs'ın sentezlendiği reaksiyon sıcaklığına, kirlilik oranı %1,25 olan agregaya ile hazırlanan betonda slump, kıvam koruma ve basma dayanımı özelliklerine bakılarak karar verildi.

3.2.1.3 PCEs'ın farklı başlatıcı (H₂O₂) mol oranlarında sentezlenmesi ve beton performansı üzerine etkisinin incelenmesi

A çözeltisi; TGA, Vc ve 18,75 ml deiyonize suyun karıştırılmasıyla, B çözeltisi; belli miktarda AA ve 7,5 ml deiyonize suyun karıştırılmasıyla elde edildi. Daha sonra ana çözeltiyi oluşturmak için TPEG-2400 monomerinden 88.75 g reaktöre alındı ve 50 ml deiyonize su ilave edilerek belirlenen sıcaklık ve besleme süresi ayarlandıktan sonra 400-450 rpm karıştırma hızında, monomerler çözünene kadar yaklaşık 1,5 saat karıştırıldı. Polimerizasyonun başlaması için sırasıyla 0.010, 0.015, 0.030, 0.040 ve 0.050 mol H₂O₂ ile hazırlanan karışım üzerine, daha önce belirlenen sürelerde, A ve B çözeltileri de damlatılarak PCE sentezi tamamlandı.

Besleme işlemi tamamlandıktan sonra karıştırma işlemine 1 saat daha devam edildi. Tamamlanan karışmanın ardından farklı başlatıcı miktarlarına göre sentezlenen PCEs oda sıcaklığında soğutuldu ve deney zamanına kadar cam kavanozlarda muhafaza edildi.

Sentezlenen bu PCEs'ın en iyi başlatıcı mol oranına, kirlilik oranı %1,25 olan agregaya ile hazırlanan betonda slump, kıvam koruma ve basma dayanımı özelliklerine bakılarak karar verildi.

3.2.1.4 Hava sürükleyici eklenerek PCEs'ın sentezi ve beton performansı üzerine etkisinin incelenmesi

A çözeltisi; TGA, Vc ve 18,75 ml deiyonize suyun karıştırılmasıyla, B çözeltisi; belli miktarda AA ve 7,5 ml deiyonize suyun karıştırılmasıyla elde edildi. Daha sonra ana çözeltiyi oluşturmak için TPEG-2400 monomerinden 88.75 g reaktöre alındı. Üzerine 50 ml deiyonize su ilave edilerek daha önce belirlenen en uygun başlatıcı mol oranı, sıcaklık ve besleme süresi kullanılarak 400-450 rpm karıştırma hızında, monomerler çözünene kadar yaklaşık 1,5 saat karıştırıldı. Hazırlanan bu karışımın üzerine polimerizasyonun başlaması için H₂O₂ eklendi.

A ve B çözeltilerinin besleme/damlama işlemi tamamlandıktan sonra karıştırma işlemine 1 saat daha devam edildi.

Sentezlenen PCEs oda sıcaklığında soğutulularak deney zamanına kadar cam kavanozlarda muhafaza edildi. Daha sonra sentezlenen PCEs, kirlilik oranı %1,25 olan agrega ile hazırlanan betonda kullanılan çimento kütlelerinin (2170 g) %0.05 oranında (1,085 g) hava sürükleyici (HSK) katkı maddesi ile birlikte eklenerek; betonda slump, kıvam koruma ve basma dayanımı özellikleri incelendi.

Hava sürükleyici katkıları beton üretiminde sıkça kullanılan malzemelerdir. Beton içerisinde küresel şekillerinden dolayı işlenebilirliği arttırmaya yardımcı olurlar. İşlenebilirliği artmasıyla da daha düşük su/çimento oranında betonlar üretilebilir.

3.2.1.5 MA eklenerek PCEs'in sentezlenmesi ve beton performansı üzerine etkisinin incelenmesi

Daha önceden yapılan bir çalışmada ana çözeltiyi hazırlama aşamasında, TPEG-2400' a ek olarak MA kullanımının betonda işlenebilirliği arttırdığı ve hava sürüklediği rapor edilmiştir.(M. Li vd., 2017) Bu tez kapsamında, daha önceden belirlenen şartlarda sentezlenen PCEs'lara ek olarak MA eklenerek hazırlanan bu PCE'nin beton üzerindeki etkisi incelendi.

Bunun için yukarıda bahsedildiği şekliyle hazırlanan A ve B çözeltileri üzerine ana çözeltiyi oluşturmak için TPEG-2400 monomerinden 96 g ve MA monomerinden 4,68 g eklenerek reaktöre alındı ve 50 ml deiyonize su ilave edildi. Daha önceki deneysel çalışmalarda belirlenen başlatıcı mol oranı, sıcaklık ve besleme süresi kullanılarak, 400-450 rpm karıştırma hızında monomerler çözünene kadar yaklaşık 1,5 saat karıştırıldı ve polimerizasyonun başlaması için H₂O₂ eklendi. A ve B çözeltilerinin besleme/damlama işlemi tamamlandıktan sonra karıştırma işlemine 1 saat daha devam edildi. Sentezlenen PCE oda sıcaklığında soğutulularak deney zamanına kadar cam kavanozda muhafaza edildi. MA kullanılarak sentezlenen PCE'nin, kirlilik oranı %1,25 olan agrega ile hazırlanan betonda slump, kıvam koruma ve basma dayanımı özellikleri incelendi.

3.3 Beton hazırlama

Sentezlenen PCEs' in betona uygulanması aşamasında pan tipi U-Test, UTA-0752 model beton mikseri (Şekil 3.5) kullanılmıştır. Beton hazırlamada tüm agregalar tartıldıktan sonra beton mikserine eklendi ve karışım homojen olana kadar kısa bir süre (10 sn) karıştırıldı. Daha sonra agregaların doygunluğa ulaşması için bir miktar su eklendi. Ardından çimento ve su eklenerek karıştırılmaya başlandı, son olarak PCEs eklenerek beton karışımları hazırlandı. Sistem, toplamda 3 dak karıştırıldı. 8 dm³ beton karışımı için gerekli bileşenler Çizelge 3.5' de gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 8 dm³ hacminde beton karışımı için gerekli malzemelerin miktarları

	0-5 mm (g)	5-13mm (g)	13-22 mm (g)
Üst Bölge (Kırmetaş)	4000	1090	2620
Alt Bölge (Kırmetaş)	4000	1090	2620
	Çimento (g)	Su (g)	Su/Çimento (S/Ç)
	2170	1350	0.62



Şekil 3.5 Beton karıştırmada kullanılan pan tipi beton mikseri

Beton hazırlama işlemleri tamamlandıktan sonra taze haldeki betonun işlenebilirliğini anlamak amacıyla mikser içerisindeyken bir kürek yardımıyla karıştırılarak, betonda ayrışma olup olmadığı ve homojen karışım karışmadığına bakıldı. İşlenebilir kıvamda olan betonlarda slump testleri yapılmıştır. İşlenemeyecek derecede kıvamsız olan betonlar ise teste tabi tutulmamıştır. Beton karıştırılıp hazırlandıktan hemen sonra, slump setine alınarak slump değeri ölçüldü (Şekil 3.6) ve ilk slump olarak adlandırıldı. Daha sonra beton tekrardan mikser içerisine alındı.

Bu arada slump seti temizlendi. 30 dak sonra ise mikser içerisindeki beton 1 dak daha karıştırıldı ve yeniden slump değerine bakıldı. Bu da 30 dak slump olarak adlandırıldı. Bu işlemler sırasında her kademede betonun davranışı incelendi.



Şekil 3.6 Slump seti

Tamamlanan slump testlerinin ardından, işlenebilirliği ve kıvam koruması iyi olan numuneler basma dayanım testi için 15x15x15 cm ölçülerindeki küp kalıplara alındı (Şekil 3.7). 30 dak sonunda işlenebilirliğini tamamen kaybeden, homojen olmayıp ayrışan beton numuneleri kalıba alınmadı. Kalıba alma işlemi sırasında, numunelerin kolay çıkmasını sağlamak amacıyla, kalıplar ince yağ ile yağlandı. Kalıba alınan numuneler priz halini tamamladıklarında, genellikle 24 saat sonra, kalıptan çıkartılarak 20 ± 1 °C’ de kür havuzlarına alınarak (Şekil 3.8) kür havuzunda 7 ve 28 gün bekledikten sonra U-TEST marka UTM-400/S 60 kN, basıncın 0-500 N aralığında değişimi ayarlanıp basınç dayanım testine tabi tutuldu.



Şekil 3.7 Kalıplara alınmış beton numuneleri



Şekil 3.8 Beton kür havuzu

3.4 Agregalar için doyurma suyunun belirlenmesi

Beton bileşimi içerisinde en büyük hacmi oluşturan agregalar, betonun mukavemetini ve durabilitesini (sağlamlığını) önemli ölçüde etkiler. Bu sebepten dolayı agrega seçimi önem arz etmektedir. Kil içeriği, gözenek yapısı, tane boyutu gibi özellikleri betonda kullanılacak agreganın belirlenmesinde göz önüne alınmalıdır (Demiryürek, 2007; Erdoğan, 2013).

Taş ocağından gelen agregaların içindeki su miktarı dönemsel olarak değişmektedir. Yağmurlu ve karlı dönemlerde agrega içerisindeki su miktarı fazlayken yaz dönemlerindeki su miktarı daha azdır. Beton denemesi yaparken her deneyde agrega içerisindeki suyun sabit tutulması, deneylerin tutarlılığı için, önemli bir etkidir.

Bu sebepten dolayı agregaları tam doygun hale getirerek beton denemeleri yapılmıştır. Kullanılan agregaların % su emme oranından yararlanarak betona verilmesi gereken doyurma suları hesaplanmıştır. 5-13 mm agrega beton karışımında az miktarda kullanıldığı için eklenecek su miktarı da çok az olacağından doyurma suyu hesaplamasında yer almamaktadır. Hesaplama için toplamda 500 g nemli agrega örneği etüvde 2 saat süreyle kurutuldu. Örnek bir hesaplama Çizelge 3.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.6 Betona eklenecek doyurma suyunun hesaplanması

	Toplam Agrega Miktarı (g)	Nemli Agrega (g)	Etüv Kurusu Agrega (g)	% Su Emme Miktarı	% Nemlilik Miktarı	Doyurma Suyu(g)
0-5 mm (Üst)	4000	500	495	1,5	1,01	19,6
0-5 mm (Alt)	4000	500	480	5,6	4,17	57,3
13-22 mm (Üst)	2620	500	498,5	0,5	0,30	5,2
13-22 mm (Üst)	2620	500	494	3,8	1,21	67,7
					Toplam Doyurma Suyu (g)	150

3.5 Metilen mavisi çözeltisinin hazırlanması

1000 g saf suyun ilk olarak 750 g' ı cam behere alındı. 10 g metilen mavisi tozu 750 g su içerisine eklendikten sonra 600 rpm hızla 45 dakika boyunca karıştırıldı. Bu karışım ayrı bir behere alındı ve işlem sonunda geriye kalan 250 g saf su ile karıştırıcı ve behere iyice temizlenerek 750 g' lık çözeltinin üzerine ilave edildi. Bu çözelti 24 saat boyunca karanlık ortamda hava almadan bekletildikten sonra kullanıldı (YapıChem, 2014).

3.5.1 Metilen mavisi deneyinin uygulaması ve hesaplaması

Aregalardaki kirlilik oranını belirlemek için kullanılan metilen mavisi deneyi TS EN 933-9 standardına göre Şekil 3.9’ de görülen set ile yapılmaktadır. Göz açıklığı 2 mm olan elekten elenen toplam 200 g agrega, 100 g üst bölge, 100 g alt bölge olacak şekilde, 100 °C’ de sabit tartıma gelene kadar etüvde kurutuldu.

Daha sonra 500 g saf su eklendi. 600 rpm de 5 dakika karıştıktan sonra 5 ml metilen mavisi çözeltisi ekleyerek 400 devirde 1 dakika boyunca karıştırıldı. Karıştırma bittikten sonra cam baget ile filtre kâğıdına damlatıldı ve hale oluşup oluşmadığına bakıldı. Bu işleme 400 rpm de devam edilerek her 1 dak karıştırılmanın ardından 5 ml metilen mavisi çözeltisi filtre kâğıdında hale görüntüsü verinceye dek devam ettirildi (Özçiftçi, 2020; YapıChem, 2014).



Şekil 3.9 Metilen mavisi deney seti



Şekil 3.10 Metilen mavisi deneyi, hale veren aşama (Özçiftçi, 2020).

Metilen mavisi deneyinin çalışma prensibi, agregadaki kil minerali ile metilen mavisi çözeltisi arasında geçen bir iyon değişimidir. Burada metilen mavisi katyon değişimi ile kil mineralleri yüzeyine adsorbe olur. Kil minerallerinin katyon değiştirme kapasitesi aşıldığında, metilen mavisi yüzeye adsorbe olamaz.

Bu tespiti yapmak için aşağıdaki hesaplama kullanılır:

$$\text{MM (Metilen Mavisi)} = V_1/M_1 * 10$$

Burada;

M_1 : Deney numunesi kütlesi, g ($M_1 = 200$ g)

V_1 : İlave edilen metilen mavisi çözeltisinin toplam hacmi, ml ($V_1 = 25$ ml)

Bu durumda betonda kullanılan agreganın MM değeri;

$$\text{MM} = 25/200 * 10$$

MM = 1.25 olarak hesaplandı.

3.6 Karakterizasyon

3.6.1 Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)

Sentez ürünü PCEs'in FTIR spekturumları, Bruker marka Alpha Eco-Atr Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi ile sıvı fazda $450-4500 \text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında dakikada 120 tarama yapılarak elde edildi. PCE örneklerinin başlangıç pH değeri 3.0-4.0 aralığındadır. Sentezlenen PCEs, deiyonize su ile %50 seyreltik hale getirildi ve 1 M NaOH çözeltisiyle pH 6.0- 7.0 olacak şekilde ayarlandıktan sonra analiz edildi.

3.6.2 X-ışını kırınım difraksiyonu (XRD)

Sentezlenen PCEs örnekleri, Rigaku Dmax IIIC marka $\lambda = 0,154 \text{ nm}$, Cu anotlu, $\text{CuK}\alpha$ radyasyonu, gerilim 35 kV, akım 15 mA altında XRD analizleri gerçekleştirildi. PCEs numuneleri formaldehit ile çöktürüldükten sonra etüvde kurularak (60°C) formaldehitin sistemden uzaklaşması sağlandı. Kuruyan PCEs örnekleri kristal bir görüntü aldıktan sonra XRD analizleri yapıldı.

3.6.3 Nükleer manyetik rezonans spektrometresi (NMR)

Sentezlenen PCEs örneklerinin polimerizasyonunun devam etme sürecini takip etmek amacıyla 1, 24, 48, 72 saat ve bir haftalık sürelerde, Jeol (400 MHz) JNM-ECZ 400S/L1 cihazı vasıtasıyla döteryum oksit (D₂O) çözücüsü kullanarak NMR analizleri yapıldı.

3.6.4 Jel geçirgenlik kromatografisi (GPC)

Optimum şartlarda sentezlenen PCEs örneklerinin mol kütlesi tayini için “Breeze 2 HPLC” marka cihaz kullanıldı. Kolon özellikleri, Styragel® HR 5E N/A Steel 7.8 mm 300 mm’ dir. Kolon sıcaklığı 40 °C, akış hızı 0,6 ml/dak ve 50 kat seyreltme ile analiz edildi.



4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Günümüzde betonun taşıma ve uygulama sırasındaki özelliklerini geliştirmek, daha dayanıklı beton elde etmek, zaman ve işçilikten tasarruf etmek için beton katkı malzemeleri kullanımı hızlı bir şekilde yaygınlaşmaya ve önem kazanmaya başlamıştır. Betonun katkı malzemelerinin özellikleri betonun kullanılacağı yere göre değişmektedir. Sıcak havalarda; beton santrallerinde hazırlanan betonun döküleceği yere kadar geçen taşıma süresinde, ilk andaki kıvamına yakın kıvamda olması istenir. Bu durumda priz geciktirici katkıların kullanılması gerekmektedir. Soğuk havalarda; beton santrallerinde hazırlanan betonun ise döküleceği yere kadar prizini koruması ve döküldükten sonrada hızlı bir şekilde priz alması istenir. Soğuk havalarda hızlı priz almayan betonlarda, beton içerisindeki su donar ve daha sonra boşluklardaki sular beton içerisinde kılcal çatlaklara sebep olarak betonun mukavemetini olumsuz etkiler. Bu durumda ise priz hızlandırıcı katkıların kullanılması gerekmektedir. Bununla beraber beton katkı malzemelerinin çoğu betona eklenen su miktarını azaltarak düşük s/ç (su/çimento) oranında yüksek dayanımda beton elde etmeye yardımcı olur (Qian vd., 2017; L. Zhang vd., 2017; Yalçın & Gürü, 2006).

Beton işçiliğinde, betonun taşınması, işlenmesi ve masterlanması (yüzeyinin düzeltilmesi) aşamalarında, sahada çalışan personelin bilinçli davranmaması sebebiyle betona zarar verebilmektedirler. Betonun dökülmesi sırasında betonu daha rahat işleyebilmek sebebiyle betona su ilave edilmesi eğilimi oldukça yüksektir, bu durum betonun anlık olarak işlenebilirliğini kolaylaştırır da betonun basma dayanımını oldukça olumsuz etkiler. Bu sebeple taze betonun yeterince işlenebilir olması, ilave su ekleme ihtiyacını ortadan kaldıracaktır.

Bu tez kapsamında farklı koşullarda üretilen PCEs örneklerinin beton üzerindeki performansı; kıvam koruma kapasitesi, işlenebilirlik ve basma dayanımı gibi parametreler göz önüne alınarak sentezlenen PCEs özellikle bina inşaatı sektöründe kullanılması amacıyla üretildi. Bu sebeple beton üzerindeki performansı değerlendirilirken TSE standartlarına uygun özellikte olmasına özen gösterildi.

Türkiye Hazır Beton Birliği' nin (THBB) üyelerine, şantiye teslimi betonlarda tavsiye ettiği çökme sınıfı S4'dür. Bu tez kapsamında üretilen PCEs örneklerinin beton uygulamalarında çökme sınıfı S3-S4 olarak, beton basma dayanım sınıfı ise C25-C30 olarak hedeflendi (Demiryürek, 2007; Erdoğan, 2013).

Yapılan çalışmalarda, ilk ve 30 dk sonraki slump değeri arasındaki farkın en az olduğu çalışmalar kıvam koruma yönünden betonun iyi olduğunu göstermektedir. Bu nedenle farkın en az olduğu çalışmalar en iyi kıvam koruma etkisi gösteren PCEs olarak kabul edildi (Huang vd., 2016; TSE, 2002c). Basma dayanım sonuçları değerlendirilirken, en yüksek basma dayanım gösteren PCEs en iyi sonuç olarak kabul edildi.

4.1 Farklı Besleme Sürelerinde A ve B Çözeltileri ile Sentezlenen PCEs'in

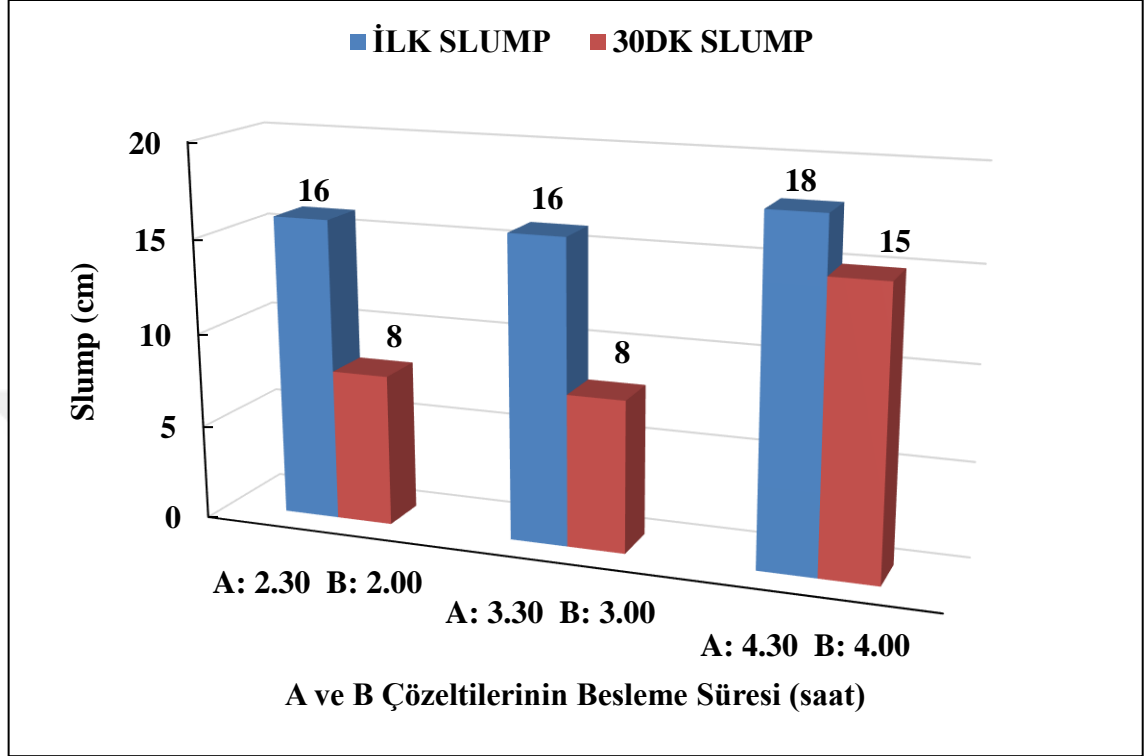
Beton Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi

A ve B çözeltileri, ana çözelti üzerine sırasıyla 2.30 (A)-2.00 (B), 3.30 (A)-3.00 (B) ve 4.30 (A)-4.00 (B) saat olacak şekilde beslendi. A ve B çözeltilerinin besleme sürelerinin artmasıyla PCEs sentez süresinin artacağı dolayısıyla oluşacak polimer zincirinin uzun olabileceği düşünülmekte olup, uzun molekül zincirli PCEs'ların beton üzerindeki kıvam koruma performanslarının arttığı bildirilmiştir (G. Wang vd., 2017; V. S. Ramachandran, 1995).

Bu aşamada farklı besleme sürelerinde A ve B çözeltileri ile sentezlenen PCEs'in betonun, kıvam koruma ve basma dayanımı gibi, performansı üzerine etkileri incelendi. Oda sıcaklığında, A ve B çözeltilerinin farklı besleme sürelerinde sentezlenen 3 farklı PCEs'in kullanıldığı betonun slump değerleri Şekil 4.1' de gösterildi. A: 2.30 ve B: 2.00 saat besleme süresinde sentezlenen PCE'in ilk slump değeri 16 cm iken, 30 dak sonraki slump değeri 8 cm' e düşerek aradaki fark 6 cm olarak ölçüldü. A: 3.30 ve B: 3.00 saat besleme süresinde sentezlenen PCE'in de ilk slump değeri 16 cm iken, 30 dak sonraki slump değeri 8 cm' e düşerek aradaki fark 8 cm olarak ölçüldü. A: 4.30 ve B: 4.00 saat besleme süresinde sentezlenen PCE'in ilk slump değeri 18 cm iken, 30 dak sonraki slump değeri 15 cm'e düşerek aradaki fark 3 cm olarak kaydedildi. Buna göre, kıvam koruma performansının en iyi olduğu besleme süresinin A: 4.30 ve B: 4.00 saat olduğu gözlemlendi.

Buradan hareketle polimerizasyon süresinin artmasıyla uzayan polimer zincirinin, beton üzerindeki kıvam koruma etkisini de arttırdığı düşünülmektedir.

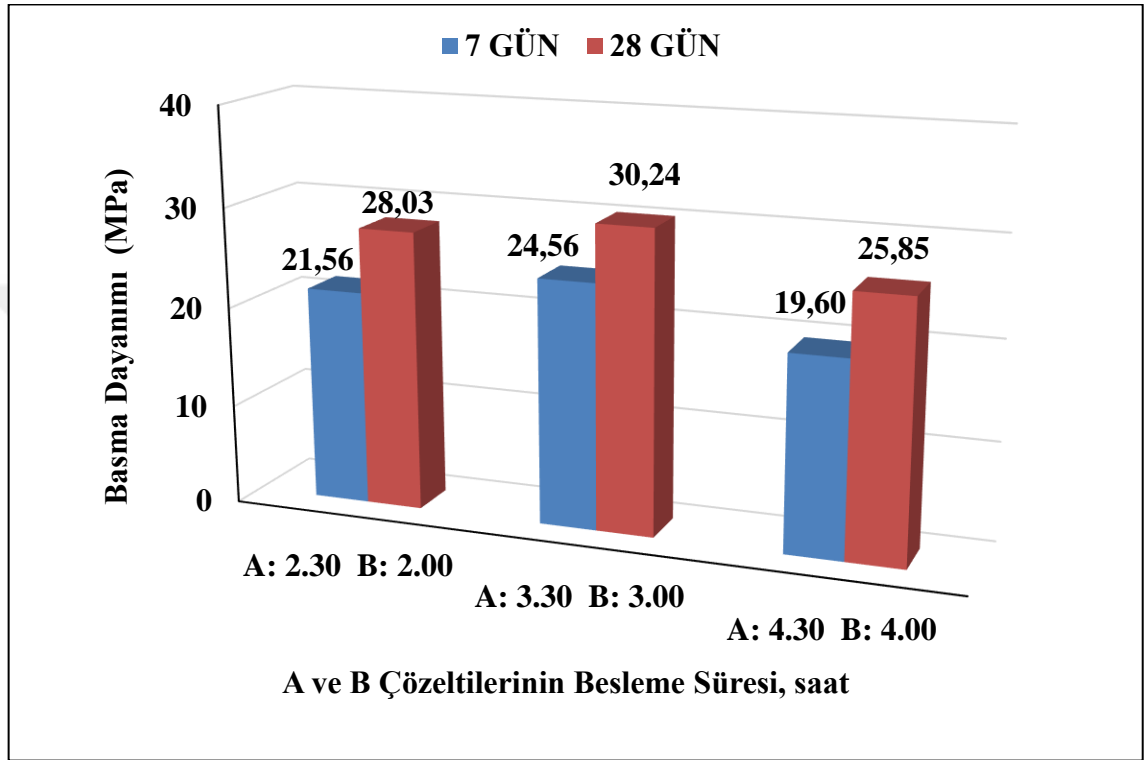
A çözeltili için 4.30 saat ve B çözeltili için 4.00 saat olan besleme süresinde sentezlenen PCEs' in ilk slump ve 30 dak sonraki slump arasındaki fark en az olduğu için en iyi kıvam koruma performansına sahip PCEs olarak seçildi.



Şekil 4.1 A ve B çözeltilerinin farklı besleme sürelerinde sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonun slump değeri (PCE sentez sıcaklığı 25 °C)

A ve B çözeltilerinin farklı besleme sürelerinde (oda sıcaklığında) hazırlanan PCEs' in betonun basma dayanımı üzerindeki etkisi Şekil 4.2' de gösterildi. İlk olarak A: 2.30 ve B: 2.00 saat sürelerinde beslenerek sentezlenen PCE'ın 7 günlük basınç dayanımı 21.56 MPa iken, 28 günlük basınç dayanımı 28.03 MPa'a yükselmiştir. A: 3.30 ve B: 3.00 saat süre ile beslenerek sentezlenen PCE'ın 7 günlük basınç dayanımı 24.56 MPa iken, 28 günlük basınç dayanımı 30.24 MPa'a yükselmiştir. A: 4.30 ve B: 4.00 saat süre ile beslenerek sentezlenen PCE'ın 7 günlük basınç dayanımı 19.60 MPa iken, 28 günlük basınç dayanımı 25.85 MPa'a yükselmiştir.

Besleme süresinin artmasıyla, uzayan polimer zincirlerinin betonun basma dayanımına etkisi üzerine bir görüş belirtilmemiştir. Ancak, uzayan polimer zincirinin, betonun kıvam korumasını iyileştirmesi çimento tanecikleri ile PCE arasındaki sterik etkinin kuvvetli olduğunu böylece zıt yüklerin birbirini iterek kıvam korumayı sağladığı söylenebilir (Erdoğan, 2013; G. Wang vd., 2017).



Şekil 4.2 A ve B çözeltilerinin farklı besleme sürelerinde sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonun basma dayanımı (PCE sentez sıcaklığı 25 °C)

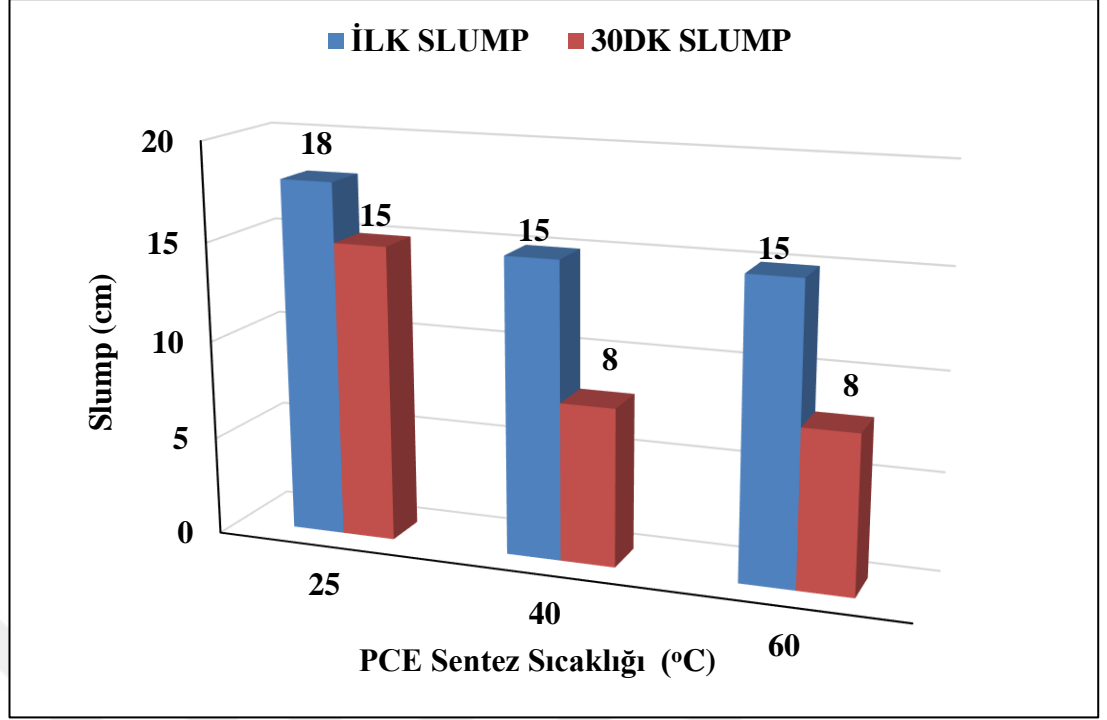
Sonuçlar değerlendirildiğinde oda sıcaklığında 3 farklı besleme süresinde sentezlenen PCEs'in kıvam koruma açısından en iyi besleme süresi, ilk ve 30 dak sonraki slump değerleri arasındaki farkın en az olması sebebiyle, A çözeltisi için 4.30 saat ve B çözeltisi için 4.00 saat olarak belirlendi. Basınç dayanımı açısından, 28 günlük basma dayanım sonucuna göre, 30,24 MPa olarak ölçülen; besleme süresi A çözeltisi için 3.30 saat ve B çözeltisi için 3.00 saat olan PCEs için en yüksek bulunmuştur. 28 günlük basma dayanım sonuçları incelendiğinde (Şekil 4.2) 3 farklı besleme süresinde sentezlenen PCEs' lar arasında büyük farklılıklar olmadığı gözlemlendi.

Tezin asıl amacı en iyi beton kıvamını koruyan PCE üretmek olduğu için, betonun basma dayanımının çimento miktarı veya agrega gradasyonunda yapılacak düzenlemeler ile de iyileştirilebileceği düşünülerek, PCE sentezinde en uygun besleme süreleri A: 4.30 ve B: 4.00 saat olarak alındı.

4.2 Farklı Sıcaklıklarda Sentezlenen PCEs' in Beton Performansı Üzerine Etkisi

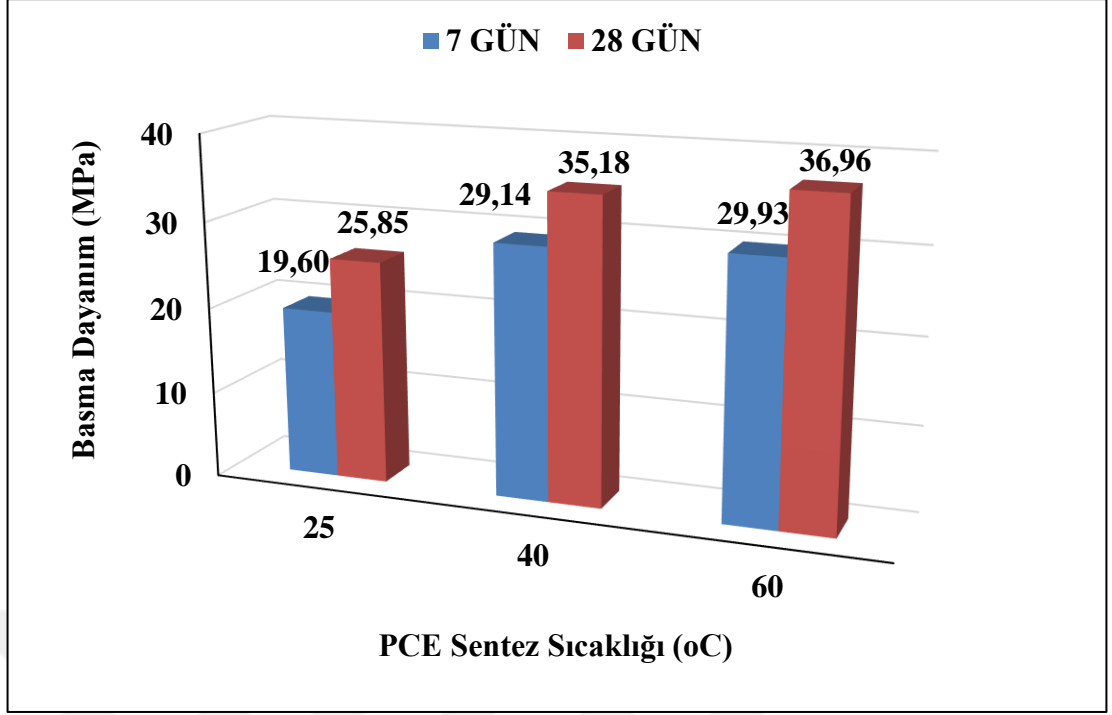
A: 4.30 ve B: 4.00 saat' lik besleme süreleri sabit tutularak, 25, 40 ve 60 °C sıcaklıklarda sentezlenen PCEs'in beton üzerindeki performansları incelendi. Yüksek sıcaklıkta sentezlenen PCEs' ların benzer fonksiyonel gruplara sahip olduğunu ancak farklı molekül kütesine ve yüksek başlangıç dağılımına sebep olduklarını, buna karşın düşük sıcaklıklarda sentezlenen PCEs' in kıvam koruma performansının daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. (Abile vd., 2018; J. Wang vd., 2015) Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda sentezlenen polikarboksilatların, mol kütesinin daha yüksek olduğu (J. Wang vd., 2015) buna bağlı olarak yüksek mol kütesine sahip olan PCEs' ların kıvam koruma performanslarının kötüleştiği bildirilmiştir. (Abile vd., 2018)

Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs' lar kullanılarak hazırlanan betonun slump değerleri Şekil 4.3' de gösterildi. Oda sıcaklığında (25 °C) sentezlenen PCE ile hazırlanan betonun ilk slump değeri 18 cm iken, 30 dak sonraki slump değeri 15 cm'e düşerek aradaki fark 3 cm olarak ölçüldü. 40 °C'de sentezlenen PCE ile hazırlanan betonun ilk slump değeri 15 cm iken, 30 dak sonraki slump değeri 8 cm'e düşerek aradaki fark 7 cm olarak ölçülmüştür. 60 °C'de sentezlenen PCE ile hazırlanan betonun ilk slump değeri 15 cm iken, 30 dak sonraki slump değeri 8 cm'e düşerek aradaki fark 7 cm olarak ölçülmüştür. Buna göre, 25 °C'de sentezlenen PCEs'in kullanıldığı betonun kıvam koruması, 40 ve 60 °C' de sentezlenen PCEs'in kullanıldığı betondan daha iyi olduğu gözlemlendi.



Şekil 4.3 Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonun slump değerleri (A:4.30 ve B:4.00 saat çözelti besleme süreleri sabit)

Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonun basınç dayanımları Şekil 4.4' de gösterildi. Burada oda sıcaklığında (25 °C) sentezlenen PCE'in kullanıldığı betonun 7 günlük basınç dayanımı 19.60 MPa iken, 28 günlük basınç dayanımı 25.85'e yükselmiştir. 40 °C'de sentezlenen PCE'in kullanıldığı betonun 7 günlük basınç dayanımı 29.14 MPa iken, 28 günlük basınç dayanımı 35.18 MPa Bulundu. 60 °C'de sentezlenen PCE ile hazırlanan betonun 7 günlük basınç dayanımı 29.93 MPa iken, 28 günlük basınç dayanımı 36.96 MPa'a yükseldiği gözlemlendi (Şekil 4.4). Yüksek sıcaklıkta sentezlenen PCEs'ların yüksek mol kütlelerinde olması, çimento tanecikleriyle olan bağlanma etkileşiminin artmasına neden olarak betonun mukavemetini arttırdığı bildirilmiştir (Huang vd. 2016). Şekil 4 ile verilen sonuçlar da bunu desteklemektedir.



Şekil 4.4 Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonun basma dayanımı (A:4.30 ve B:4.00 saat çözelti besleme süreleri sabit)

Sonuçlar değerlendirildiğinde, deney sıcaklığının artırılması sentezlenen PCEs'in kıvam koruma performansını olumsuz etkilenirken, betonun basınç dayanımlarının oda sıcaklığında sentezlenen PCE'in kullanıldığı betonunkine göre yaklaşık %30 arttığı gözlemlendi. Bu aşamada, çalışmanın amacı betonun kıvam koruma özelliğini sağlamak olduğu için en iyi kıvam korumayı sağlayan A ve B çözeltilerinin damlatma süreleri ile sıcaklık temel alındı. Basma dayanımının çimento miktarı veya agrega gradasyonunda yapılacak düzenlemeler ile iyileştirilebileceği düşünüldü. (Huang vd., 2016; Erdoğan 2013)

4.3 Farklı Miktarda Başlatıcı (H₂O₂) ile Sentezlenen PCEs'in Beton Performansı Üzerine Etkisi

Çalışmanın bu bölümünde, A: 4.30 ve B: 4.00 saat' lik çözelti besleme süreleri ve 25 °C sentez başlangıç sıcaklığı sabit tutularak farklı başlatıcı (H₂O₂) miktarlarında hazırlanan PCEs'in beton üzerindeki performansları incelendi. Reaksiyon sisteminde H₂O₂' nin görevi; sistem içerisindeki monomerlerin merlerini aktif uç haline getirir ve bu aktif uç daha sonra diğer monomerleri birbirine bağlayarak polimer omurgasını oluşturur.

Ortamda birbirine katılacak monomer kalmadığı zaman polimerizasyon son bulur. Bu bakımdan polimerizasyonun devam edip etmemesi ortamda bulunan başlatıcı miktarıyla doğrudan ilişkilidir (Lin vd., 2017; Saçak, 2014).

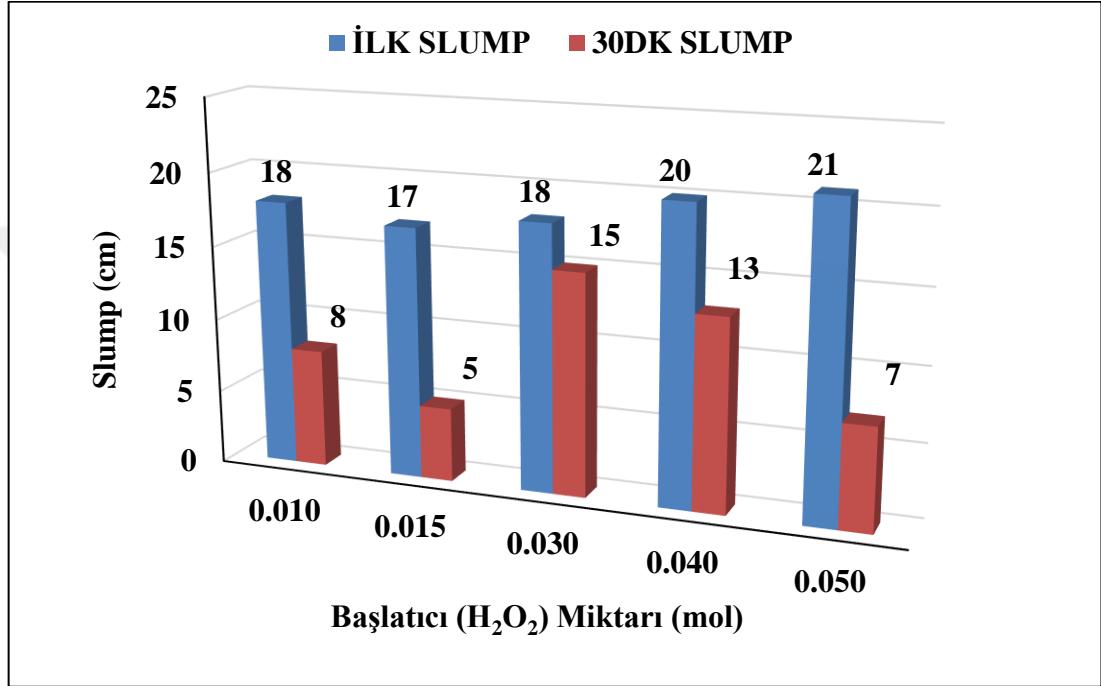
Çalışmanın bu bölümünde, A ve B çözeltilerinin damlatma süresi sırasıyla 4.30 ve 4.00 saatte ve reaksiyon sıcaklığı 25 °C de sabit tutularak farklı başlatıcı mol miktarlarında (0.010, 0.015, 0.030, 0.040 ve 0.050 mol) sentezlenen PCEs'in hazırlanan betonun slump değerleri üzerine etkisi incelendi (Şekil 4.5).

Başlatıcı miktarı 0.010 mol H₂O₂ kullanarak sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonun ilk slump değeri 18 cm ölçülürken, 30 dak sonraki slump değeri 8 cm'e düşerek aradaki fark 10 cm olarak bulundu. 0.015 mol H₂O₂ ile slentezlenen PCE kullanılarak hazırlanan betonun ilk slump değeri 17 cm iken, 30 dak sonraki slump değeri 5 cm'e düşerek aradaki fark 12 cm olarak ölçüldü. 0.030 mol başlatıcı ile sentezlenen PCE'in kullanıldığı betonun ilk slump değeri 18 cm iken, 30 dak sonraki slump değeri 15 cm düşerek aradaki fark 3 cm olarak ölçüldü. 0.040 mol başlatıcı ile sentezlenen PCE kullanılarak hazırlanan betonun ilk slump 20 cm iken, 30 dak sonraki slump değeri 13 cm'e düşerek aradaki fark 7 cm olarak ölçüldü. Son olarak başlatıcı mol miktarının 0.050 olduğu PCE ile hazırlanan betonun ilk slump değeri 21 cm iken, 30 dak sonraki slump değeri 7 cm'e düşerek aradaki fark 8 cm ölçülmüştür (Şekil 4.5).

Farklı başlatıcı mol miktarları kullanılarak sentezlenen PCEs'lar ile hazırlanan betonun kıvam koruma performanslarını slump ölçümü üzerinden değerlendirdiğimizde; 0.010 ve 0.015 mol başlatıcı ile hazırlanan PCEs'in kullanıldığı betonun ilk slump değerleri kabul edilebilir seviyededir ancak 30 dak sonraki slump değeri çok hızlı düşerek kıvam koruma sağlayamamıştır. Bu durumun, eklenen başlatıcı miktarının yeterli gelmemesi sebebiyle polimerizasyonun tam olarak gerçekleşmemesinden dolayı kısa zincirli polimerlerin oluşmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Mohammed vd., 2020; Saçak, 2004).

0.040 mol başlatıcı oranında sentezlenen PCEs' in kullanıldığı betonun ilk slump değeri 20 cm iken 30 dak sonraki slump değerinin 13 cm olması durumunda bile hala işlenebilir bir beton olduğu gözlemlendi.

0.050 mol başlatıcı ile sentezlenen PCEs' in kullanıldığı betonun ilk slump değerinin (21 cm) en iyi ilk slump değeri olmasına karşın 30 dak sonraki slump değeri (7 cm) hızla düşerek işlenmesi zor beton haline geldiği gözlemlendi. Bu sonuçlar PCEs sentezinde, başlatıcı mol miktarının betonun slump değerini önemli ölçüde etkilediğini göstermekte olup, çalışmanın devamında 0.040 mol başlatıcı miktarı ile devam edilmesine karar verildi (Conte vd., 2019, Saçak, 2014).

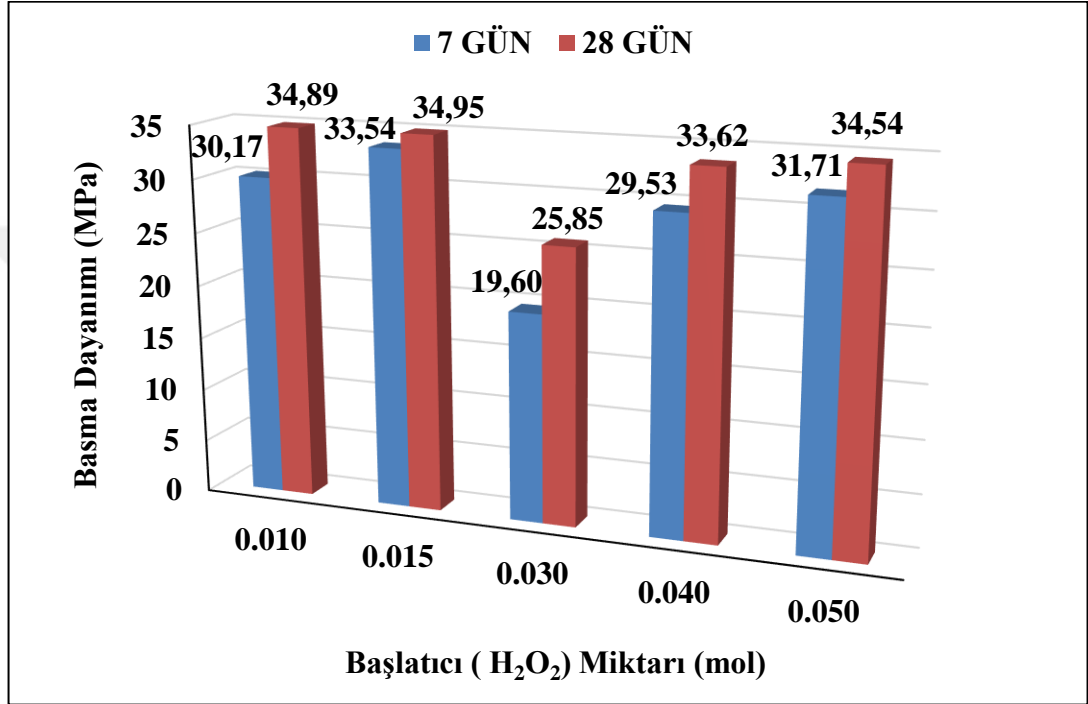


Şekil 4.5 Farklı başlatıcı miktarlarında sentezlenen PCEs'in kullanıldığı betonun slump değeri (A: 4.30 ve B: 4.00 saat besleme süresi, sentez sıcaklığı 25°C)

Farklı başlatıcı mol miktarlarında sentezlenen PCEs ile hazırlanan betonun basma dayanımı üzerine etkisi Şekil 4.6' da gösterildi. Sonuçlar incelendiğinde başlatıcı miktarının 0.030 mol olduğu durumda sentezlenen PCE ile hazırlanan betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanımları diğer mol oranlarında sentezlenen PCEs'in kullanıldığı betondan daha düşük olduğu gözlemlendi.

Bu oranın altındaki ve üstündeki mol oranlarında sentezlenen PCEs'in kullanıldığı betonun 28 günlük basınç dayanımları hemen hemen birbirine yakın olduğu da şekilden görülmektedir (Şekil 4.6).

Bu durumda ortamda, polimerleşmediği düşünölen merler (0.0.10 ve 0.015 başlatıcı mol oranları için) çimento taneciklerinin birbirini itmesi (sterik etki) yerine birbirini çekerek daha güçlü bir bağ kurduğu bu sebeple de basınç dayanımını olumlu etkilediği düşünölmektedir. Aynı etkinin ortamda parçalanmadan bulunduğu düşünölen (0.050 başlatıcı mol oranı için) H₂O₂'inde yarattığı düşünölmektedir (Ma vd., 2020; Saçak, 2014).



Şekil 4.6 Farklı başlatıcı mol oranlarında sentezlenen PCEs'in betonun basma dayanımı üzerine etkisi (A: 4.30 ve B: 4.00 saat besleme süresi, sentez sıcaklığı 25°C)

Sonuçlar incelendiğinde, kıvam koruma ve basınç dayanımı göz önüne alınarak yapılan değerlendirmede, en iyi PCEs'in sentezinde başlatıcı mol oranı 0.040 olarak belirlendi ve bundan sonraki çalışmalara bu oranda devam edildi.

Sentezlenen PCEs' ların beton üzerine performansının incelenmesi sonucunda PCEs' ın sentezi için en uygun deney şartları: A çözeltisinin 4.30 ve B çözeltisinin 4.00 saat besleme süresinde, 25 °C deney sıcaklığında, 0.040 mol H₂O₂ başlatıcı mol oranında olduğu belirlendi.

4.4 Hava Sürükleyici Eklenen PCEs' ın Beton Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Genellikle PCEs negatif yüklü polimerlerdir ve çimento tanecikleri ile elektrostatik bir etkileşime girerler (Y.R. Zhang vd., 2015). Bu sayede çimento tanecikleri arasında bir itme etkileşimi oluşur ve çimento taneciklerinin bir araya gelme eğilimi bir süre engellenir. Hava sürükleyici katkı beton üretiminde sıkça kullanılan malzemelerdir. Hava sürükleyici katkı malzemeleri, küresel şekillerinden dolayı beton içerisinde işlenebilirliği arttırırlar. İşlenebilirliği artmasıyla daha düşük su/çimento oranında betonlar üretilebilir.

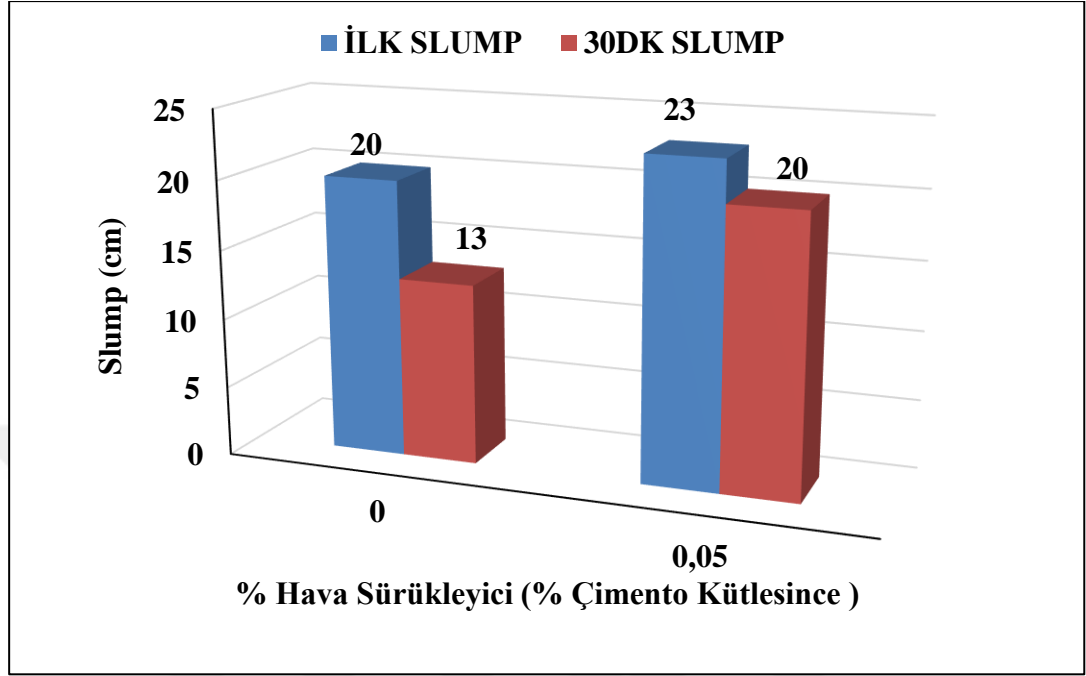
Bu sayede betonda su tüketiminin azaltılmasıyla dayanım artabilir. Su miktarının azaltılmasıyla betondaki ayrışmanın da önüne geçilir. Ancak oluşacak hava boşluklarını dayanım üzerine etkisi olumsuz olacaktır. Genellikle, beton içerisinde %1' lik bir hava artışının karşılığı %5' lik bir dayanım kaybı olduğu söylenebilir. Betona uygulama aşamasında bu kayıp göz önüne alınmalıdır (Özyıldırım, 2007).

PCE'ın beton karışımı içerisinde, çimento tanecikleriyle daha iyi etkileşime girebilmesini sağlamak amacıyla, yukarıda belirtilen en uygun deney şartlarında sentezlenen PCEs'ın ile hazırlanan 8 dm³'lük beton karışımı içerisinde bulunan çimento kütlelerinin %0.05' i oranında hava sürükleyici katkı eklendi. Hava sürükleyici eklenen PCEs'ın slump değerleri Şekil 4.7' de verildi.

İçerisinde hava sürükleyici katkı bulunmayan PCE ile hazırlanan betonun ilk slump değeri 20 cm iken, 30 dak sonraki slump değeri 13 cm' e düşerek aradaki fark 7 cm olarak ölçüldü. Daha sonra aynı PCE içerisine çimento miktarının kütlece %0.05'i oranında hava sürükleyici katkı eklenerek hazırlanan betonun ilk slump değeri 23 cm iken, 30 dak sonraki slump değeri 20 cm'e düşerek aradaki fark 3 cm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.7'den de görüldüğü gibi betonun ilk ve 30 dak sonraki slump değerleri arasındaki fark, hava sürükleyici eklendiğinde, azalarak hava sürükleyicinin etkili bir kıvam koruma performansı sağladığı gözlemlendi.

Bu durumun, sentezlenen PCE'ın, beton karışımı içerisinde homojen olarak dağılmadığından, tüm çimento tanecikleri ile etkileşememesinden dolayı kıvam koruma performansının, hava sürükleyici kullanılan betondan daha düşük olduğu düşünülebilir.

Hava sürükleyici katkı ilavesi ile PCE'in beton karışımı içerisinde homojen dağılarak çimento tanecikleri ile performanslı bir şekilde etkileşime girdiği düşünülmektedir (Wongkornchaowalit vd., 2011; Erdoğan, 2013).

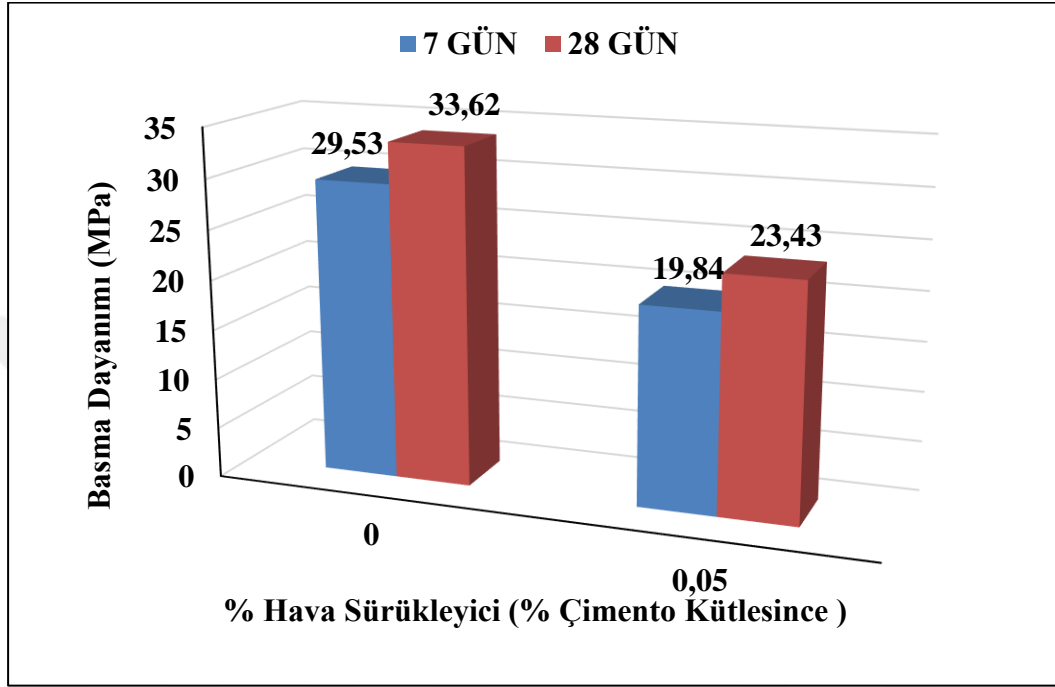


Şekil 4.7 Hava sürükleyici kullanılarak ve kullanılmadan hazırlanan betonun slump değerleri (en uygun deney şartlarında sentezlenen PCE katkılı)

Daha önce, en uygun deney şartlarında, sentezlenen PCE ile birlikte hava sürükleyici eklenerek hazırlanan betonun basma dayanımı Şekil 4.8' de gösterildi. PCE içerisine eklenen hava sürükleyici (beton hazırlamada kullanılan çimento miktarının kütlece %0.05' i oranında) katkı betonun kıvam koruma performansını olumlu etkilese de, beklenildiği üzere, beton içerisinde oluşan hava kabarcıklarının artması nedeniyle, hazırlanan betonun basma dayanım performansını olumsuz etkiledi (Erdoğan, 2013). Yalnızca PCE kullanılarak hazırlanan betonun 7 günlük basma dayanımı 29.53 MPa, 28 günlük basma dayanımı 33.62 MPa olarak ölçülmesine rağmen PCE ile birlikte hava sürükleyici eklenen betonun 7 günlük basma dayanımı 19. 84 MPa, 28 günlük de 23.43 MPa olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlardan hava sürükleyicinin betonun basma dayanımını ciddi oranda etkilediği gözlenmişti (Şekil4.8).

TS standartlarına göre beton içerisindeki hava miktarının %4-7 arasında olması gerektiği bildirilmiştir (TS EN 934-2). Ancak, elimizde hava ölçüm cihazı olmadığından dolayı hazırladığımız beton içerindeki havanın % miktarı ölçülemedi.

Bu sonuçlara göre betonda hava sürükleyici kullanıldığında mukavemetini arttırmak için, beton reçetesinde çimento miktarını arttırmak ya da betonun homojenliğini bozmadan iri agrega miktarını arttırmanın etkili olabileceği düşünülmektedir (Yalçın ve Gürü, 2006).



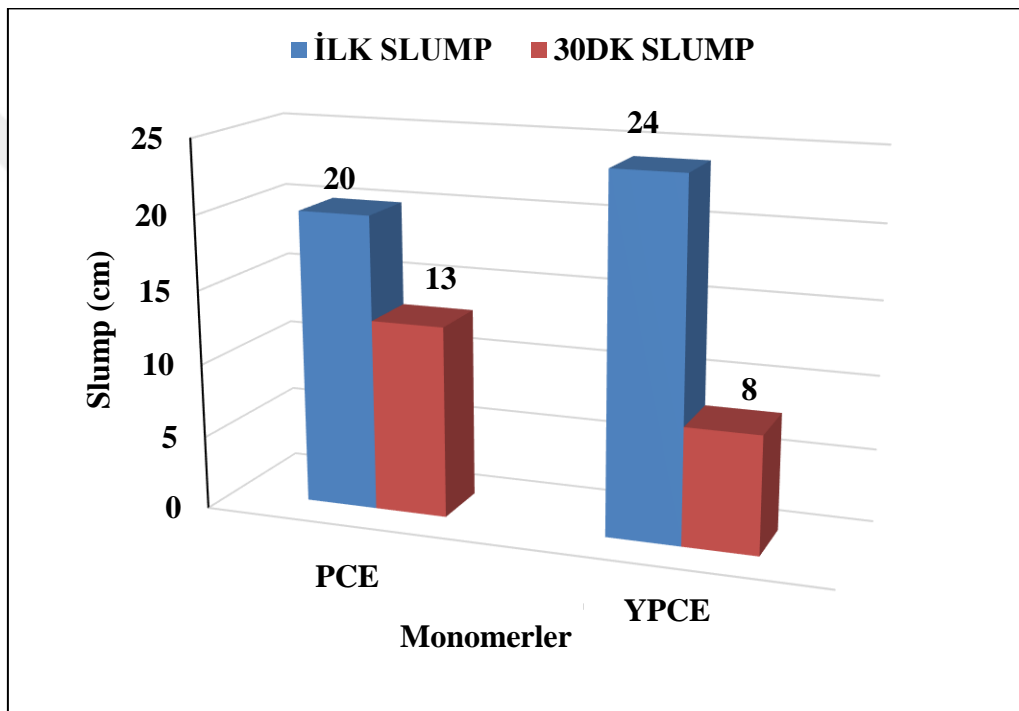
Şekil 4.8 Hava sürükleyici kullanılarak ve kullanılmadan hazırlanan betonun basma dayanımı (en uygun deney şartlarında sentezlenen PCE katkılı)

4.5 MA Eklenerek Sentezlenen PCE's'in Beton Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Yapılan bir çalışmada, makromonomer olarak bilinen, MA'in kullanılması sonucunda elde edilen PCE's'in, beton üzerine uygulamasında, daha fazla hava sürükleyerek betonun kıvam koruma performansını olumlu yönde etkileyeceği bildirilmiştir (M. Li vd., 2017).

Çalışmanın bu aşamasında TPEG monomeri ile birlikte MA kullanarak sentezlenen PCE'in hazırlanan betonun slump değeri üzerine etkisi incelenerek Şekil 4.9' da gösterildi. Daha önce PCE'in sentezinde kullandığımız en uygun deney şartları ile birlikte belli miktarda MA kullanılarak (TPEG/MA mol oranı 0,04/0,04) PCE sentezlendi.

Bu yeni sentezlenen PCE, YPCE olarak kodlandı. PCE ve YPCE kullanılarak hazırlanan betonun slump değerleri incelendiğinde YPCE kullanılarak hazırlanan betonun ilk slumpı 24 cm iken, 30 dak sonraki slump değeri 8 cm'e düşerek aradaki fark 16 cm olarak ölçüldü. PCE kullanılan betonun ilk slump değeri 20 cm ölçülürken 30 dak sonraki değeri 13 cm ölçülerek aradaki farkın 7 cm olduğu gözlemlendi. YPCE ile hazırlanan betonun ilk ve 30 dk sonraki slumpu arasında büyük fark olduğu ayrıca, 30 dak bekleme süresinde betonun çok katı bir hal aldığı için kalıba alınamadığı ve basma dayanımı ölçümleri yapılamadığı gözlenerek sentezlenen PCE'da MA kullanılmaması gerektiğine karar verildi.



Şekil 4.9 Sentezlenen PCE ve YPCE ile hazırlanan betonların betonun slump değerleri

4.6 Sentezlenen PCE ile Piyasada Kullanılan PCEs'in Hazırlanan Beton Üzerine Etkilerinin Karşılaştırılması

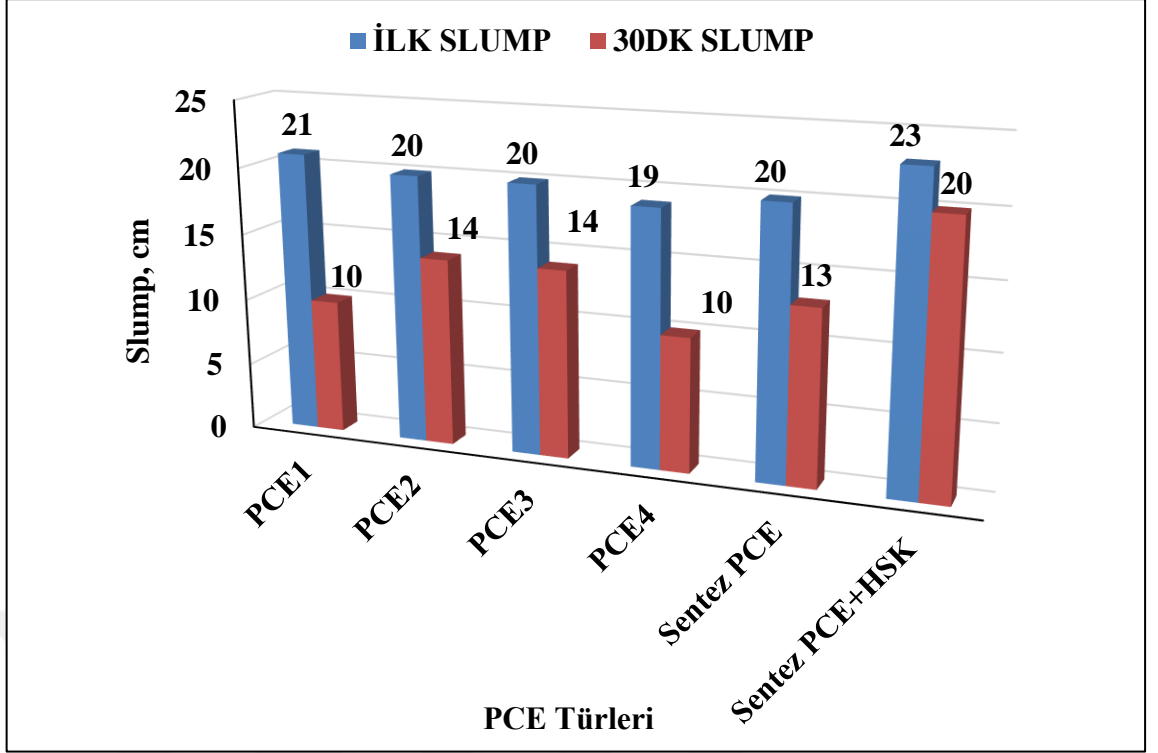
Bu tez kapsamında, en uygun koşullarda, sentezlenen PCE ile piyasada kullanılan polikarboksitlat (PCE) esaslı katkılarının beton üzerinde performanslarının karşılaştırılması yapıldı. Çalışmanın bu bölümünde kullanılan beton karışım oranları Çizelge 4.1'de verildi.

Çizelge 4.1 Sentezlenen PCEs ve piyasa PCEs'in kullanıldığı beton karışımı

	0-5 mm (g)	5-13mm (g)	13-22 mm (g)
Üst Bölge	4000	1090	2620
Kırmataş			
Alt Bölge	4000	1090	2620
Kırmataş			
	Çimento (g)	Su (g)	Su/Çimento (S/Ç)
	2170	1350	0.62

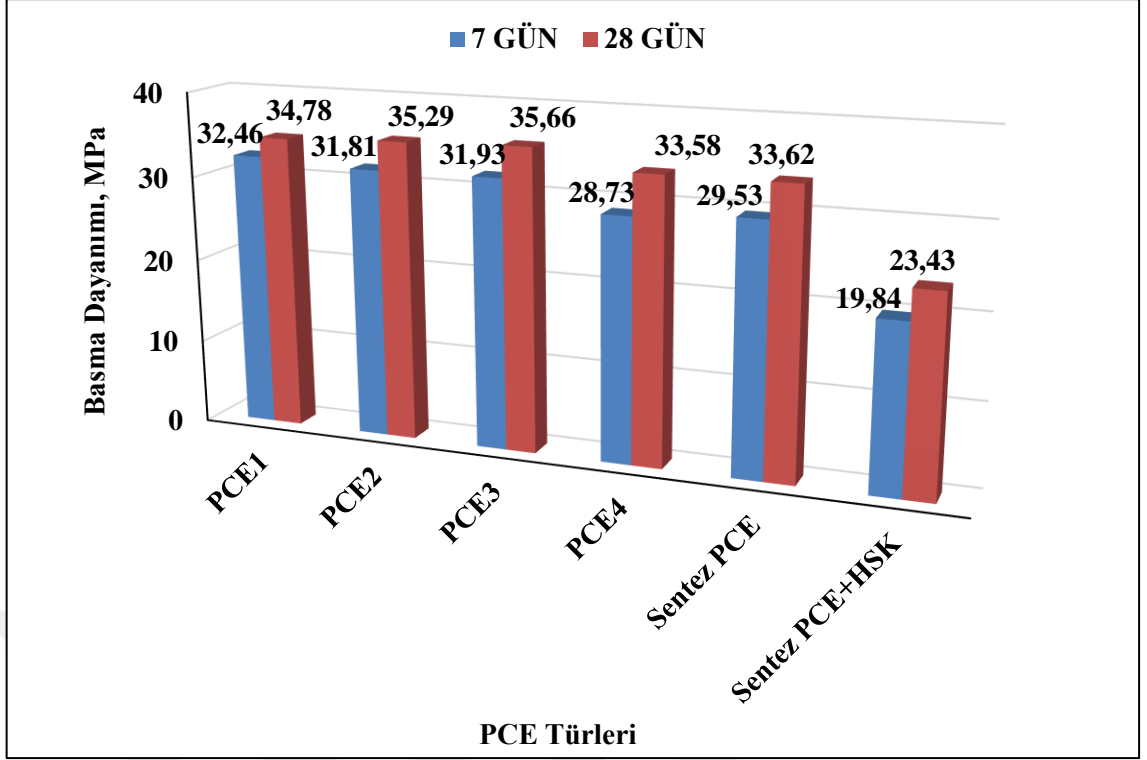
Piyasadan alınan, hali hazırda birçok beton santralinde kullanılan, polikarboksilat esaslı katkılar PCE1, PCE2, PCE3 ve PCE4 olarak kodlandı. Çalışmanın bu bölümünde, adlandırdığımız bu PCEs, tez kapsamında en uygun deney şartlarda sentezlenen PCE ve bunun içine hava sürükleyici katkı eklenerek hazırlanan katkılı PCE+HSK kullanılarak betonlar hazırlandı. Hazırlanan bu beton karışımların slump değerleri üzerine bütün bu katkıların etkileri incelenerek Şekil 4.10' da gösterildi. Sonuçlar incelendiğinde, sentezlenen PCE'in kullanıldığı betonun ilk ve 30 dak sonraki slump değerleri piyasada kullanılan 4 farklı PCEs ile çok yakın olduğu, PCE+HSK katkısının kullanıldığı betonun slump değeri piyasada kullanılan PCEs'a göre çok daha iyi olduğu gözlemlendi.

Betonun ilk ve 30 dak sonraki slump değerleri arasındaki fark küçüldükçe, betonun kıvamını daha uzun süre koruduğu gözlemlendi. Betonda kıvam korumanın performansının bir ölçüsü olarak kullanılan slump ölçümü, betonun ilk karıldığı andaki slump ölçümü ile bir sonraki slump ölçümüne kadar geçen zaman içerisinde slump arasındaki farkın çok fazla değişmemesi istenir. Böylelikle betonun kıvam koruma performansı bu slump değerleri ile belirlenir (Sun vd., 2016; Yalçın ve Gürü, 2006).



Şekil 4.10 Piyasa kullanılan PCEs, sentezlenen PCE ve PCE+HSK katkıları ile hazırlanan betonların slump değerlerinin karşılaştırılması

Piyasada kullanılan PCEs, sentezlenen PCE ve PCE+HSK katkılarının betonun basınç dayanımı üzerine etkileri incelenerek, karşılaştırmalı değerleri Şekil 4.11’de gösterildi. Burada en iyi basınç dayanımı gösteren PCE3’ ün 7 günlük basınç dayanımı 31.93 MPa iken, 28 günlük basınç dayanımı 35.66 MPa’ya yükselmiştir. Sentez PCE’ nin ise 7 günlük basınç dayanımı 29.53 MPa iken, 28 günlük basınç dayanımı 33.62 MPa’ya yükselmiştir. Sentez PCE içerisine HSK eklendiği durumda (PCE+HSK) ise 28 günlük basınç dayanımı 23.43 MPa’ya düştüğü gözlemlendi.



Şekil 4.11 Piyasa kullanılan PCEs, sentezlenen PCE ve PCE+HSK katkılarının betonun basınç dayanımı üzerine etkilerinin karşılaştırılması

Sonuçlar değerlendirildiğinde, Sentez PCE'in kıvam koruma performansı, piyasada kullanılan PCEs ile yakın değerlere sahip olduğu gözlemlendi. Sonrasında sentez PCE içerisine eklenen HSK ile ilk slump değeri %13 artarken kıvam koruma performansı piyasa katkılarına göre daha da iyileştiği görüldü. Ancak, basınç dayanımı açısından HSK eklenen PCE'in betonun basınç dayanımını düşürdüğü gözlemlendi. Bu çalışma kapsamında sentezlenen PCE, Türkiye piyasasında kullanılan polikarboksilat esaslı PCEs ile benzer performans gösterdiği, HSK varlığında ise kıvam koruma performansının daha da iyileştiği ortaya çıktı. HSK eklemesiyle düşen basınç dayanımının beton içerisine eklenen çimento miktarının bir miktar artırılmasıyla daha da performanslı sonuçlar alınabileceği öngörülmesine rağmen bununla, çimentonun artmasından dolayı, beton maliyetini artıracığı için uygun bir yolmadığına karar verildi.

4.7 Sentezlenen PCE'in Betonun Su Kesme Performansı Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Bu tez çalışması kapsamında sentezlenen PCE'in betonun su kesme oranı, hazırlanan şahit beton ile mukayese edilerek belirlendi. Şahit beton hazırlanmasında, tüm beton deneylerinde kullanılan karışım oranları aynı kullanıldı ve içerisine PCE eklemeyen betonun ilk slump değeri 20 cm olacak şekilde beton karışımı içerisine su eklendi. Bu durumda sentezlenen PCE'in beton uygulamasında kullanılan su miktarı 8 dm³ beton karışımı için 1350 g iken, şahit betonda kullanılan su miktarı 1955 g olmuştur. Böylece, betona hiç polikarboksilat esaslı katkı (sentez PCE) eklemeyen, aynı kıvamı elde edene kadar eklenen su miktarı belirlenmiş oldu. Bu durumda sentezlenen PCE'in su kesme (azaltma) oranını %31 olarak belirlendi. TS EN 934-2' e göre betonda kullanılacak katkının yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkı olarak değerlendirilebilmesi için şahit betona kıyasla en az %12 oranında su kesme/azaltma oranına sahip olması gerekmektedir (TS-EN 934-2, 2002). Şahit beton ve deneme betonunun karşılaştırılması Çizelge 4.2' de gösterildi. Böylelikle sentezlenen PCE'in su kesme oranının TS EN 934-2' ye göre uygun olduğu belirlenerek yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkı olarak kullanılabilmesi belirlendi. Çizelge 4.2 incelendiğinde, şahit beton ve deneme betonun ilk ve 30 dak sonraki slump değerleri benzer çıkmıştır. Ancak buna karşın 7 ve 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, şahit betonda 28 günlük basma dayanımı, çok fazla su kullanıldığı için (su/çimento oranı deneme betonuna göre yaklaşık %31 artmıştı), 19.06 MPa iken sentezlenen PCE kullanarak hazırladığımız betonun 28 günlük basma dayanımı 33.62 MPa olarak ölçülmüştür. Beton karışımında su kullanımının fazla olması basınç dayanımını olumsuz etkilediği bu sonuçlardan da görülmektedir. Buradan hareketle beton katkı kimyasalı olmadan mukavemetli bir beton hazırlanmasının ne kadar zor olduğu anlaşılmaktadır (Erdoğan, 2013). PCE esaslı beton katkı maddelerinin, beton karışımı içerisindeki su miktarını önemli ölçüde azaltarak betonun su ihtiyacını azaltması, böylelikle düşük s/ç (su/çimento) oranında hazırlanan betonun mukavemetinin artması PCE esaslı beton katkı malzemelerinin önemini vurgulamaktadır (Zheng vd., 2019; V. S. Ramachandran, 1995).

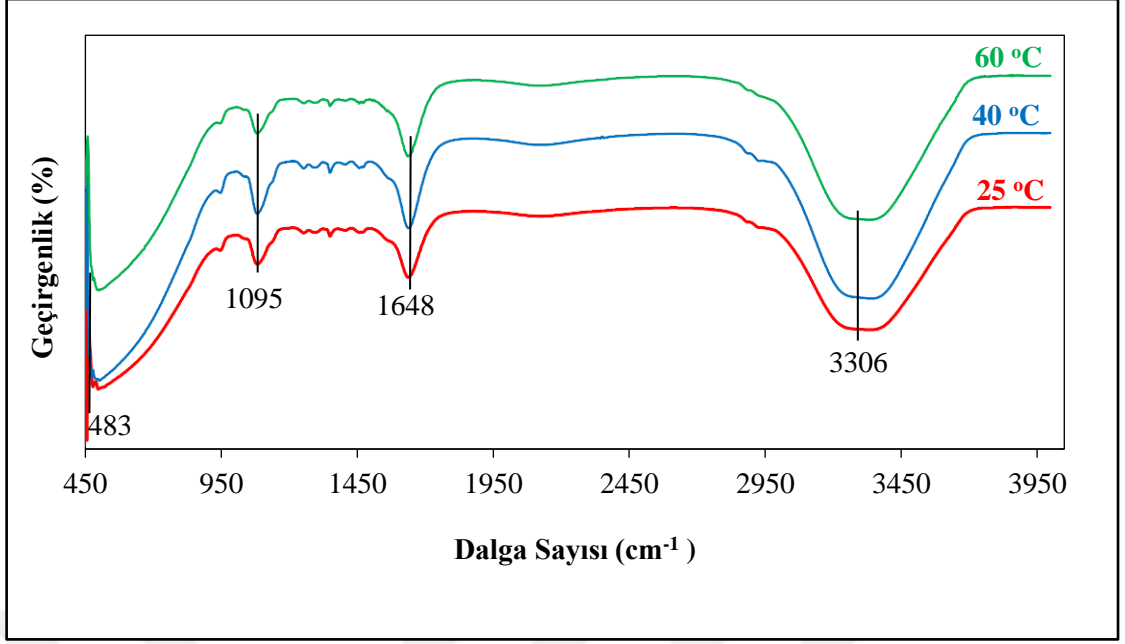
Çizelge 4.2 Şahit beton ile sentezlenen PCE'ın kullanılarak hazırlanan betonun karşılaştırılması.

	Şahit Beton	Deneme Betonu (Sentez PCE ile)
Beton Hacmi (dm ³)	8	8
Su (g)	1955	1350
Çimento (g)	2170	2170
Su/Çimento	0,90	0,62
İlk Slump (cm)	20	20
30 dak Slump (cm)	13	13
7. Gün Basma Dayanım (MPa)	16,14	29,53
28. Gün Basma Dayanım (MPa)	19,06	33,62
%Su Kesme		31

4.8 Sentezlenen PCEs' in Karakterizasyonu

4.8.1 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

FTIR spektrumunun, polimerin fonksiyonel gruplarını etkili bir şekilde karakterize etmek için, yararlı bir teknik olduğu karboksilik asit pikinin PCE'ın karakteristiği için belirleyici bir pik olduğu kanıtlanmıştır (Y. Li vd., 2014). Farklı sıcaklarda sentezlenen PCEs' in FTIR spektrumu Şekil 4.12 'de verildi. 1095 cm⁻¹, C-O-C'nin absorpsiyon pikini ve ayrıca polieter yan zincirinde polioksietilenin eter bağlantısının tepe noktasını göstermektedir. 1648 cm⁻¹ de gözlenen pik C = O gerilme titreşimini ve böylece karboksilik asitin varlığını göstermektedir. 3306 cm⁻¹ civarında gözlenen pik nem kaynaklıdır. Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs örneklerinin FTIR spektrumu sonuçlarından, sentezlenen PCEs'in sıcaklık artışı ile yapılarında herhangi bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir (IRST, 2020; Qian vd., 2017; J. Wang vd., 2015).



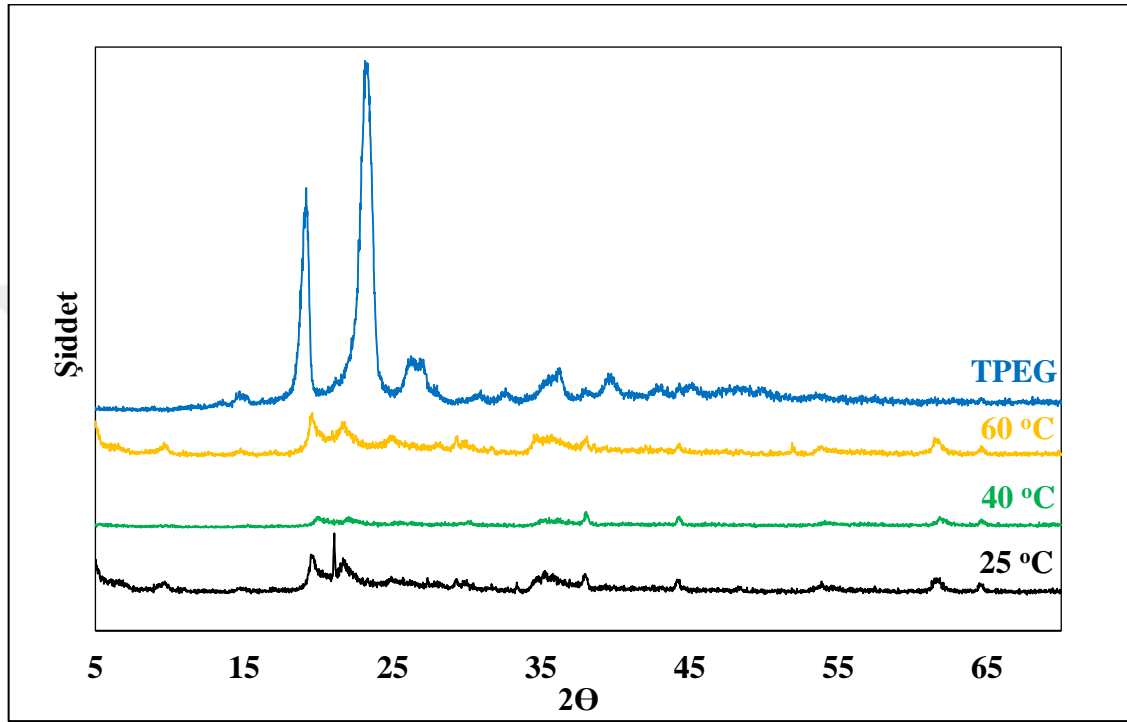
Şekil 4.12 Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs'in FTIR spekturumları (A: 4.30 ve B: 4.00 saat besleme süresi, 0.040 başlatıcı mol oranı).

4.8.2 X-ışınları kırınımı (XRD)

Farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs' in ve TPEG monomerinin XRD sonuçları Şekil 4.13' de gösterildi. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda PCEs'in XRD ile karakterize edilmesinde en sık kullanılan yöntemler, çimento veya betonda kullanılacak PCEs'in ince agregaya emdirilerek (interkalasyonunun araştırılması) tabakalar arasındaki davranışını incelemeye yöneliktir (Mohammed vd., 2020; Haste, 2018; Plank vd., 2018). Kil oranı yüksek agregaların betonda kullanılması durumunda, beton karma suyunun agrega tarafından emilmesi betonun performansını olumsuz etkiler. Bu sebeple killi agregalarda da kullanılabilen PCEs' lar üretilmektedir. Bu PCEs' lar killi agrega arasındaki boşluklara girerek, agreganın su emmesini engeller ve aynı zamanda çimento tanecikleriyle de sorunsuz etkileşebilir. Buna yönelik yapılan bir araştırmada, killi agrega içerisine PCEs emdirilmiş ve tabakalar arasına PCEs' in yerleştiği XRD tekniği ile doğrulanmıştır (Haste, 2018; Qian vd., 2017).

Bu tez kapsamında sentezlenen PCEs kloroform ile çöktürüldükten sonra 60 °C' de etüvde kurutuldu. Daha sonra PCE'ı sentezlemede kullanılan TPEG makromonomeri ile beraber kristal yapısı incelendi. TPEG makromonomerinin $2\theta=19.2^\circ$ ve $2\theta=23.38^\circ$ de karakteristik pikleri gözlemlendi (Şekil 4.13).

Şekil 4.13'den görüldüğü gibi TPEG monomerine ait karakteristik piklerin üç farklı sıcaklıkta sentezlenen PCEs için de yer değiştirerek küçüldüğü gözlemlendi. Buna göre polimerleşmenin gerçekleşerek yapısı farklı olan PCEs elde edildiği söylenebilir. Ayrıca, 25 ve 60 °C'de sentezlenen PCEs'in pikleri birbirine yakın çıkarken, 40 °C'de sentezlenen PCE'in $2\Theta=21,24^\circ$ 'deki pikin kaybolduğu da gözlemlendi.



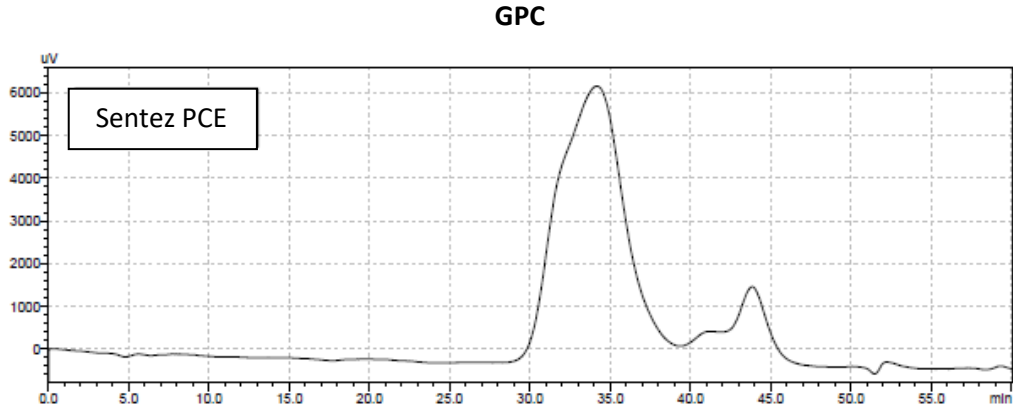
Şekil 4.13 TPEG e ve farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs'in XRD desenleri

(A: 4.30 ve B: 4.00 saat besleme süresi, 0.040 başlatıcı mol oranı).

4.8.3 Jel Geçirgenlik Kromatografisi (GPC)

Kıvam koruyucu olarak kullanılan PCE'nin mol kütlelerinin beton performansı üzerine etkisini gösteren çalışmalar yapılmıştır (Stecher ve Plnak, 2020; Liu vd., 2012). Araştırmalarda PCE'nin en iyi performansı için ideal bir kütlece ortalama mol kütle (\bar{M}_W) olduğu rapor edilmiştir (Stecher ve Plnak, 2020; Liu vd., 2012). Bu, PCE'nin sentezi aşamasında parametreleri belirlemek için önemli bir referans sağlayabilmektedir. PCE'nin en iyi başlangıç dispersiyon/dağılım performansı ve dispersiyon tutma kabiliyeti için ideal ortalama molekül kütle aralığı 21,100 \bar{M}_W ve 36,900 \bar{M}_W arasında olduğu belirtilmiştir (Liu vd., 2012).

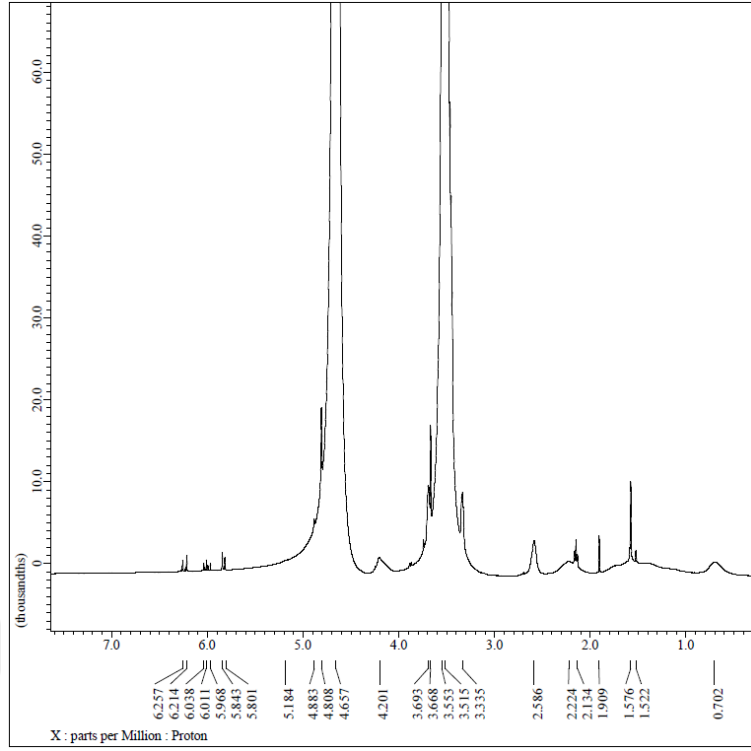
Bu çalışma kapsamında optimum şartlarda (A: 4.30 ve B: 4.00 saat besleme süresi, sentez sıcaklığı 25°C, 0.040 başlatıcı mol oranı) sentezlenen PCEs' in molekül kütlesi tayini, Jel Geçirgenlik Kromatografisi (GPC) ile analiz edildi (Şekil 4.14). Bu analiz sonucunda hazırlanan PCE'in ortalama molekül kütlesi 32,239 g/mol olarak bulundu. Bu ortalama molekül kütlesinin (\bar{M}_w) ideal olarak belirtilen aralıkta olduğu gözlemlendi. (Liu vd., 2012; Qian vd., 2017; Ran vd., 2016)



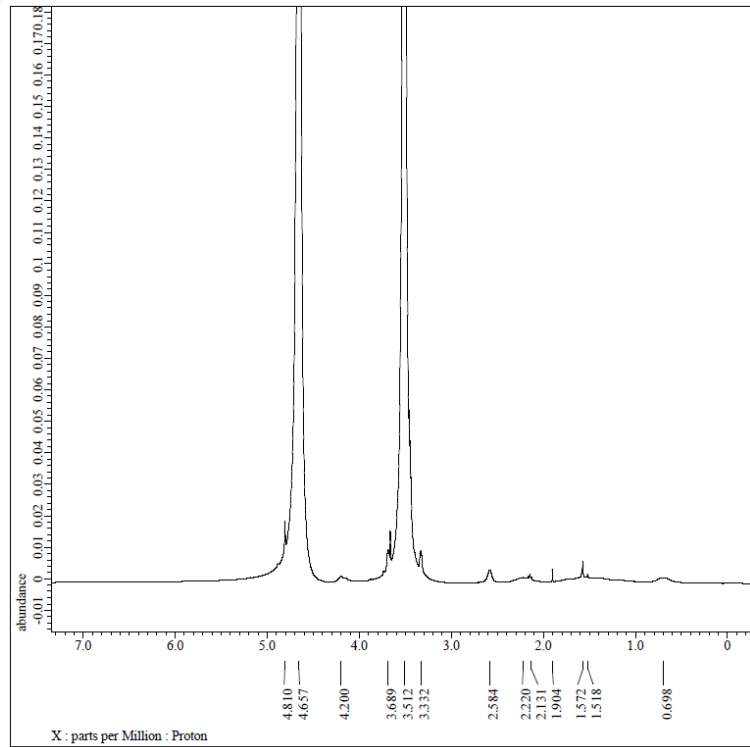
Şekil 4.14 Sentezlenen PCE' nin GPC analizi (A: 4.30 ve B: 4.00 saat besleme süresi, sentez sıcaklığı 25°C, 0.040 başlatıcı mol oranı).

4.8.4 Nükleer manyetik rezonans spektrometresi (NMR)

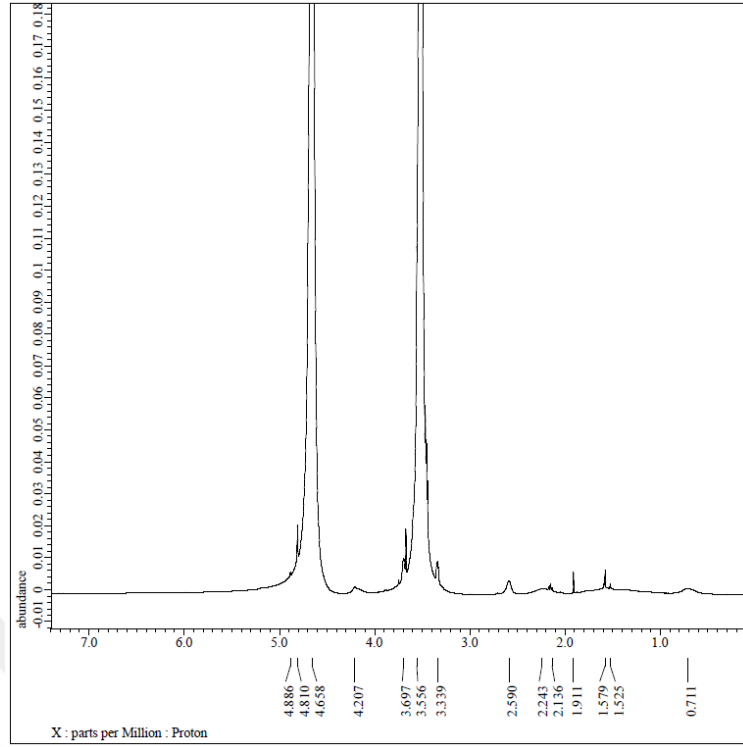
Optimum koşullarda sentezlenen PCE'in sentezlendikten sonra farklı zaman dilimlerindeki ^1H NMR spektrumları Şekil 4.15-4.20' de gösterilmiştir. D_2O çözücüsü ile hazırlanan PCE' in spektrumları incelendiğinde, sentezlendiği andan itibaren 7. güne kadar reaksiyonu takip edildi. $\delta = 5.8\text{-}6.2$ ppm (kimyasal kayma) arasındaki AA (akrilik asit) ait olduğu düşünülen piklerin şiddeti zamanla azalmıştır. PCE sentezlendikten 24 saat sonra çekilen NMR spektrumunda (Şekil 4.16) bu piklerin PCE'in ana zincirine bağlandığı düşünülmektedir. $\delta = 4.6\text{-}4.8$ ppm arasındaki pikler D_2O karakteristik pikidir. $\delta = 0.7 \sim 1.0$ ppm aralığında $-\text{CH}_3$ ve $\delta = 1.0 - 2.2$ ppm aralığında C- CH_2 -C sinyalleri vermiştir. $\delta = 3.30, 3.80$ ppm aralığında ise güçlü tepe etilen oksit ($-\text{CO}-\text{CH}_2$) yan zincirinin tekrar eden birimlerini göstermektedir. Sentezlenen PCE'in karakteristik fonksiyonel gruplara sahip olması ve AA' in zamanla ana zincire bağlanması kopolimerizasyonun tamamlanması olarak düşünülebilir (Haste, 2018; Ran vd., 2016; L. Zhang vd., 2017).



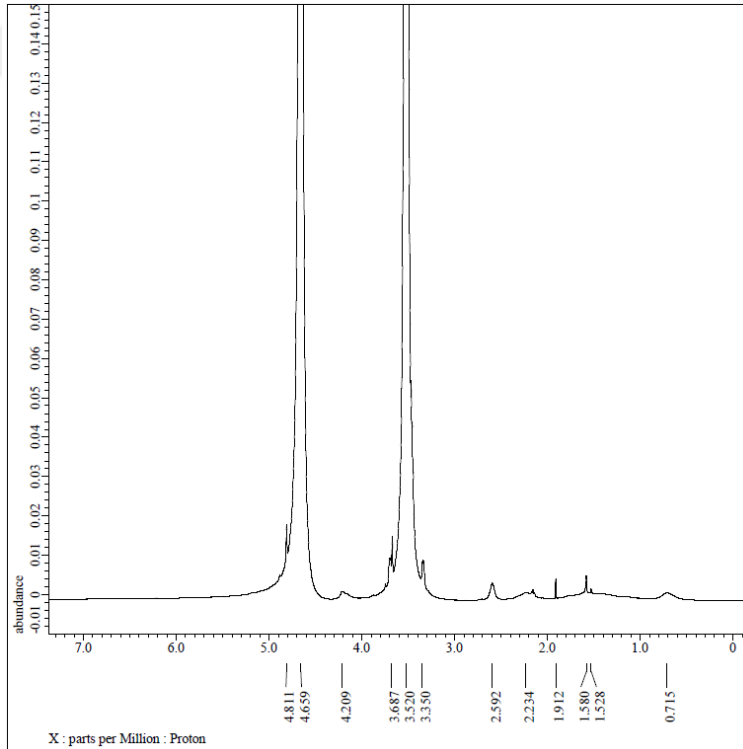
Şekil 4.15 Sentezlenen PCE' in 1. saat bekletmeden sonraki ^1H NMR spekturumu



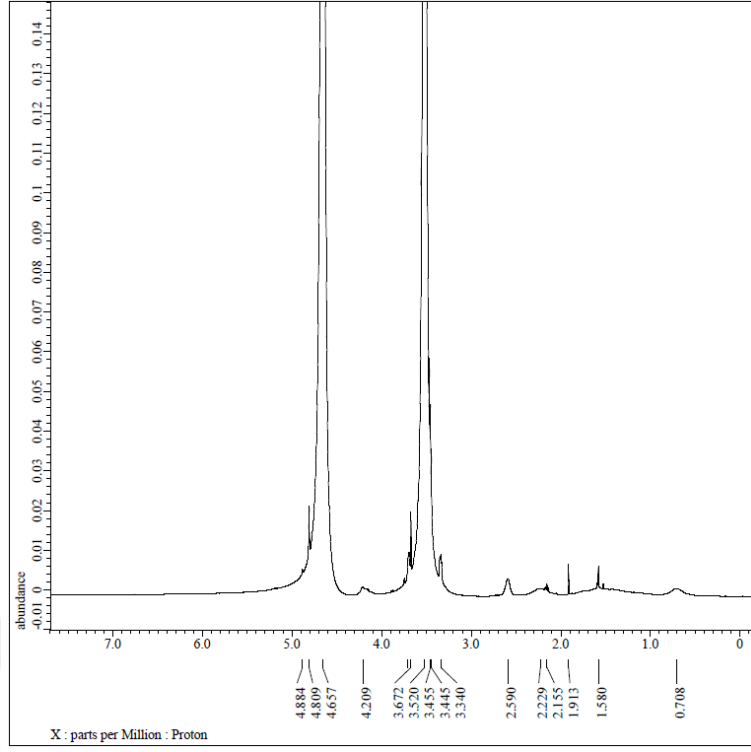
Şekil 4.16 Sentezlenen PCE' nin 24 saat bekletmeden sonraki ^1H NMR spekturumu



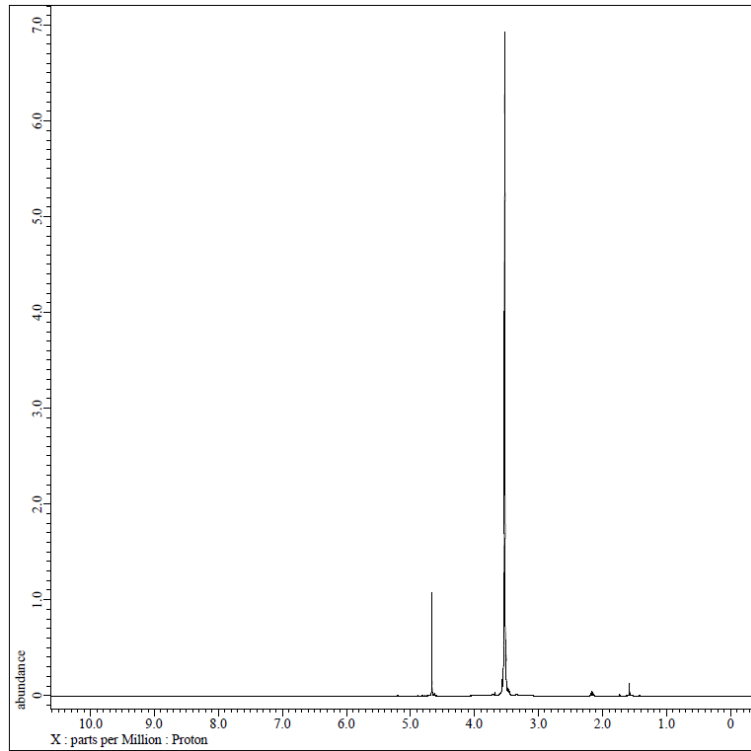
Şekil 4.17 Sentezlenen PCE' nin 48 Saat bekletmeden sonraki ^1H NMR spekturumu



Şekil 4.18 Sentezlenen PCE' nin 72. Saat bekletmeden sonraki ^1H NMR spekturumu



Şekil 4.19 Sentezlenen PCE' nin 7 gün bekletmeden sonraki ^1H NMR spekturumu



Şekil 4.20 TPEG monomerinin ^1H NMR spekturumu

5. SONUÇLAR

Beton katkı maddeleri, inşaat sanayiinde ve beton karışımında vazgeçilmez bir yere sahiptir. Beton ilk karıştırıldığı andan itibaren kullanım aşamasına kadar geçen zaman içerisinde başlangıç özelliklerini koruması istenir. Sıcak havalarda dökülen betonda kıvam koruma kapasitesinin iyi olması istenirken soğuk havalarda dökülen betonlarda priz alma süresinin bir an önce başlaması istenir. Kullanıcı ihtiyacına göre, kullanılacak olan beton katkı malzemelerinin türü ve cinsi değişmektedir. Beton katkı malzemesinin tarihine bakacak olursak ilk nesil olarak lignin esaslı ligno sülfatlar, ikinci nesil olarak ise sülfonatlanmış naftalin formaldehit karışımına çıkar. Bu iki katkı türü uzun süre beton katkı malzemesi olarak kullanıldıktan sonra, yerini üçüncü nesil beton katkı malzemesi olan polikarboksilat esaslı katkılara bırakmıştır.

Polikarboksilat süper plastikleştirici katkıları (PCEs), beton performansını artıran ve beton teknolojisini geliştiren en önemli katkılarıdır. Polietilen oksit yan zincirlere sahip olan bu tip polimerler, çok yüksek bir dağılma kabiliyetine sahiptirler, esas olarak sterik engelleme etkisinden kaynaklanan sülfonatlanmış naftalin formaldehit, sülfonatlanmış melamin formaldehit vb. gibi beton katkı maddeleri ile karşılaştırıldığında çok daha yüksek su azaltma kabiliyeti gösterirler (Zhu vd., 2018).

PCEs'in en önemli özelliği, performanslarını iyileştirmek için moleküler yapılarının modifiye edilme potansiyeline sahip olmasıdır. PCEs'in moleküler yapısı, performans özelliğini belirleyen önemli faktörlerden biridir. Ana zincir ve yan zincirleri arasındaki kimyasal bağ farkına göre iki ana türe ayrılırlar. Biri, yan zincirlerin ana zincire ester bağı ile bağlandığı ester tipi PCEs diğeri ise, omurgaya doğrudan bağlı olan yan zincirin kullanıldığı eter tipidir (Liu vd., 2012).

Agreganın kirlilik oranının artmasıyla betona, karışım aşamasında eklenen PCE' nin büyük bir bölümü agreganın killi yapısı içerisine adsorbe olarak çimento tanecikleriyle istenen seviyede etkileşime giremez. Bu da betonun kıvam koruma ve su kesme performansını olumsuz etkiler (Haste, 2018; Qian vd., 2017). Bu durumda bu tez kapsamında sentezlenen PCEs'in piyasada, kirlilik oranı daha düşük agregalarla kullanılması durumunda göstereceği performansın daha iyi olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada, betonda kıvam koruyucu ve su kesici özelliğe sahip polikarboksilat esaslı beton katkı malzemesi sentezlenmiştir. Bu kapsamda betonda en iyi performansı gösteren PCEs'ın belirlenmesi için polimerizasyon reaksiyonunun süresi, başlama sıcaklığı, polimerleşmeyi başlatmak için kullanılan başlatıcının mol oranı değiştirilerek sentezlenen PCEs'ın beton performansı üzerine, slump ve basma dayanımı gibi etkileri incelenerek PCEs sentezi için en uygun deney şartları belirlendi. Ayrıca, elde edilen en iyi şartlardaki PCE kullanılarak hazırlanan beton karışımı içerisinde, çimento tanecikleriyle daha etkili reaksiyon vermesi için, betonda kullanılan çimentonun kütlece %0.05'i kadar hava sürükleyici katkı eklenerek hazırlanan betonun performansı incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edildi:

- TPEG, AA ve TGA+Vc kullanılarak radikalik polimerizasyon yöntemiyle, belirlenen en uygun şartlarda, PCEs sentezlendi.
- Sentezlenen PCE için en iyi deney şartları: besleme süresi: A çözeltisi için 4.30 ve B çözeltisi için 4.00 saat, başlatıcı miktarı 0.040 mol H₂O₂ ve sentez sıcaklığı, oda sıcaklığı (25 °C) olarak belirlendi.
- PCE için en iyi sentez şartlarının belirlenmesinin ardından, beton içerisinde çimento tanecikleriyle daha iyi etkileşime girmesi için çimento miktarının (kütlece) %0.05 oranında PCE içine hava sürükleyici katkı eklenerek kıvam koruma performansı incelendi. Buna göre, ilk slump değeri 20 cm' den 23 cm'e yükselirken, 30 dak sonraki slump değeri 13 cm'den 20 cm'e yükselerek, hava sürükleyicinin eklenmesinin kıvam koruma performansını olumlu yönde etkilediği gözlemlendi. Ancak, mikronize boyuttaki hava kabarcıkları beton içerisinde, priz aşamasından sonra, hapsoldüğü için basınç dayanımını olumsuz etkilediği basma dayanımı sonuçlarından elde edildi.
- En iyi şartlarda sentezlenen PCE içerisine hava sürükleyici katkı eklenmesi durumunda betonun mukavemeti; 28 günlük basınç dayanımı üzerinden 33.62 MPa' dan 23.43 MPa' a gerileyerek %30 oranında azalmıştır.
- Bu tez kapsamında beton hazırlama çalışmalarında kullanılan su/çimento oranı 0,62'dir. Hava sürükleyici katkı eklenmesiyle azalan basma dayanımının çimento miktarının arttırılmasıyla istenilen seviyelere geleceği düşünülmektedir. Bunu takiben kullanılan agreganın kalitesinin iyileştirilmesinin de aynı etkiyi yaratacağı düşünülmektedir.

- Sentezlenen PCEs'in beton üzerine performanslarına bakılarak karar verilen en uygun deney koşullarında hazırlanan PCE'in özellikleri FT-IR, XRD, NMR ve GPC teknikleri kullanılarak incelendi.
- FTIR analiz sonuçlarından, farklı sıcaklıklarda sentezlenen PCEs'in molekül yapısında, XRD sonuçlarından da kristal yapısında herhangi bir değişiklik olmadığı gözlemlendi.
- En uygun deney şartlarında sentezlenen PCE'in ortalama molekül kütlesi 32239 g/mol olarak GPC ile belirlendi. Belirlenen bu molekül ağırlığının diğer çalışmalarda ideal olarak gösterilen ortalama molekül ağırlığı sınırları içerisinde yer aldığı gözlemlendi.
- Sentezlenen PCE'in NMR analiz sonucuna göre, $\delta = 5.8-6.2$ ppm aralığında AA'e ait olduğu düşünülen piklerin 24 saat içinde ana zincire bağlanması ve $\delta = 3.30, 3.80$ ppm aralığında etilen oksit (-CO-CH₂) yan zincirinin tekrar eden birimlerinin olması, kopolimerizasyonun büyük oranda tamamlanması olarak düşünülebilir.
- Sentezlenen PCEs'in kullanıldığı betonun su kesme oranının şahit betona kıyasla %31 azaldığı belirlendi.
- Bu tez çalışması kapsamında üretilen PCEs'in standartlara uygun yüksek oranda kıvam koruyucu ve su kesici özellikte olduğu, piyasada kullanılan polikarboksilat içerikli kıvam koruyucu/su kesici katkılarla karşılaştırılarak, iyi bir beton performansı gösterdiği deneysel sonuçlardan elde edildi. Bu sonuçlara göre, bu tez kapsamında sentezlenen PCE'in beton hazırlamada kullanılabileceği düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abile, R., Russo, A., Limone, C., & Montagnaro, F.** (2018). Impact of the charge density on the behaviour of polycarboxylate ethers as cement dispersants. *Construction and Building Materials*, 180, 477-490. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.276>
- Akar, C.** (2012). Melasın Beton Katkısı Olarak Kullanılmasının Dayanıklılığa Etkisi. *İnsaat Mühendisliği Anabilim Dalı* (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Akçansa, T. N.** (2012). *Çimentonun Hidratasyonu*. 12.
- Akman, M. S., & Akçay, B.** (2005). *Kimyasal Beton Katkılarının Gelişimi ve Çimentolarla Uyumu*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Aydos Yapı Kimyasalları.** (2020). *Beton Karma Suyu*. <http://www.aydos.com.tr/sayfa/sektorel-cozumler-detay/33/beton-karma-suyu>
- Chen, S., Sun, S., Chen, X., Zhong, K., Shao, Q., Xu, H., & Wei, J.** (2020). Effects of core-shell polycarboxylate superplasticizer on the fluidity and hydration behavior of cement paste. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 590, 124464. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.124464>
- Conte, T., & Plank, J.** (2019). Impact of molecular structure and composition of polycarboxylate comb polymers on the flow properties of alkali-activated slag. *Cement and Concrete Research*, 116, 95-101. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.11.014>
- Demiryürek, E.** (2007). Türkiye’de Hazır Beton Sektörü ve Sektördeki Büyüme. *İnsaat Mühendisliği Anabilim Dalı* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Erdoğan, T. Y.** (2013). Beton (ODTÜ Yayıncılık).
- Erzengin, G.** (2010). Kimyasal Katkıların Çimento Bazlı Malzemelerin Dayanımına, Reolojisine ve Mikro Yapısına Etkileri. *Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı* (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Felekoğlu, B., & Sarıkahya, H.** (2008). Effect of chemical structure of polycarboxylate-based superplasticizers on workability retention of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 22(9), 1972-1980. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.07.005>
- Gürü, M., & Yalçın, H.** (2012). Malzeme Bilgisi (Sözkesen Matbaacılık).
- Haste, Z. Ö.** (2018). Killi Agregalarda Kıvam Koruyucu Olarak Kullanılacak Polikarboksilat İçerikli Beton Katkı Malzemesi Sentezi ve Performansının İncelenmesi. *Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı* (Yüksek Lisans Tezi), Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- IRST.** (2020). *Infrared Spectroscopy Table*. Infrared Spectroscopy Table. <http://www.chem.ucla.edu/~bacher/General/30BL/IR/ir.html>
- Korkmaz, A. V.** (2017). Bor Endüstri Atıkları ve Traverten Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi. *Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı* (Yüksek Lisans Tezi), Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Huang, H., Qian, C., Zhao, F., Qu, J., Guo, J., & Danzinger, M.** (2016). Improvement on microstructure of concrete by polycarboxylate superplasticizer (PCE) and its influence on durability of concrete. *Construction and Building Materials*, 110, 293-299. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.041>

- Lin, X., Liao, B., Zhang, J., Li, S., Huang, J., & Pang, H.** (2019). Synthesis and characterization of high-performance cross-linked polycarboxylate superplasticizers. *Construction and Building Materials*, 210, 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.185>
- Li, M., Wang, Y., Jiang, H., Zheng, C., & Guo, Z.** (2017). Synthesis, characterization and mechanism of polycarboxylate superplasticizer with slump retention capability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 182, 012036. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/182/1/012036>
- Li, Y., Yang, C., Zhang, Y., Zheng, J., Guo, H., & Lu, M.** (2014). Study on dispersion, adsorption and flow retaining behaviors of cement mortars with TPEG-type polyether kind polycarboxylate superplasticizers. *Construction and Building Materials*, 64, 324-332. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.050>
- Liu, M., Lei, J. H., Du, X. D., & Huang, B.** (2012). Influence of Molecular Structure on Properties of Polycarboxylate Superplasticizers. *Advanced Materials Research*, 568, 388-391. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.568.388>
- Lv, X., Yu, C. B., & Qi, W. Y.** (2012). Preparation and Cement Fluidity of Slow-Release Polycarboxylate-Type Superplasticizer. *Advanced Materials Research*, 399-401, 1307-1311. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.399-401.1307>
- Ma, B., Qi, H., Tan, H., Su, Y., Li, X., Liu, X., Li, C., & Zhang, T.** (2020). Effect of aliphatic-based superplasticizer on rheological performance of cement paste plasticized by polycarboxylate superplasticizer. *Construction and Building Materials*, 233, 117181. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117181>
- Mohammed, A., Mahmood, W., & Ghafor, K.** (2020). TGA, rheological properties with maximum shear stress and compressive strength of cement-based grout modified with polycarboxylate polymers. *Construction and Building Materials*, 235, 117534. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117534>
- MEB, İ. T.** (2015). *Beton Kivam ve Yoğunluk Deneyleri* (Milli Eğitim Bakanlığı).
- Plank, J., Schönlein, M., & Kanchanason, V.** (2018). Study on the early crystallization of calcium silicate hydrate (C-S-H) in the presence of polycarboxylate superplasticizers. *Journal of Organometallic Chemistry*, 869, 227-232. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2018.02.005>
- Saçak, M.**, (2004). Polimer Kimyası. *Gazi Kitabevi*, Ankara
- Stecher, J., & Plank, J.** (2020). Adsorbed layer thickness of polycarboxylate and polyphosphate superplasticizers on polystyrene nanoparticles measured via dynamic light scattering. *Journal of Colloid and Interface Science*, 562, 204-212. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.11.108>
- Sun, Z., Yang, H., Shui, L., Liu, Y., Yang, X., Ji, Y., Hu, K., & Luo, Q.** (2016). Preparation of polycarboxylate-based grinding aid and its influence on cement properties under laboratory condition. *Construction and Building Materials*, 127, 363-368. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.007>
- Özçiftçi, Z. M.** (2020) Metilen Mavisı. <https://www.zulfumehmet.com/metilen-mavisı/>
- Özyıldırım, Ç.** (2007) Hava Sürükleyici Katkıların Beton Dayanıklılığındaki Yeri 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, 38-52

- Qian, S., Jiang, H., Ding, B., Wang, Y., Zheng, C., & 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. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/182/1/012033>
- Ran, Q., Liu, J., Yang, Y., Shu, X., Zhang, J., & Mao, Y.** (2016). Effect of Molecular Weight of Polycarboxylate Superplasticizer on Its Dispersion, Adsorption, and Hydration of a Cementitious System. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(5), 04015184. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001460](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001460)
- Tokuy, M.** (2016). *Cement and Concrete Mineral Admixtures*. 2016 by Taylor & Francis Group.
- TS-EN 934-2.** (2002). *Kimyasal katkılar—Beton, harç ve şerbet için—Bölüm 2: Beton katkıları—Tarifler, özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme*. TSE.
- Türkel, S., & Felekoğlu, B.** (2004). Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze Ve Sertleşmiş Betonun Bazı Özellikleri Üzerine Etkileri. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1), 77-89.
- Uğurlu, A.** (2005). *Türk Standartlarında Beton Kabul Kriterleri Arasındaki Çelişkiler*. 7.
- V. S. Ramachandran.** (1995). *CONCRETE ADMIXTURES HANDBOOK Properties, Science, and Technology Second Edition*. Noyes Publications.
- Vizyon Beton Test Laboratuvarı.** (2020). *Betondan Numune Alınması ve Saklanması*. Taze Beton Numune Alma. <http://vizyontest.com/taze-beton-numune-alma/>
- Wang, G., Bai, Y., Ma, X., Wang, W., Yin, Q., & Du, Z.** (2017). Effects of the PEG length of polycarboxylate-based terpolymers on their dispersion properties. *Journal of Molecular Liquids*, 225, 333-338. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.11.068>
- Wongkornchaowalit, N., & Lertchirakarn, V.** (2011). Setting Time and Flowability of Accelerated Portland Cement Mixed with Polycarboxylate Superplasticizer. *Journal of Endodontics*, 37(3), 387-389. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.11.039>
- Wang, J., Zheng, G., Yuan, M., Sun, C., & Bi, Y.** (2015). Effect of the initial temperature on the water-reducing performance of polycarboxylate-based superplasticizers. *Proceedings of the 2015 International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering*. 2015 International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering, Guilin, China. <https://doi.org/10.2991/mebe-15.2015.51>
- Wang, L. Y., Wang, Y. W., Gao, G. B., Chu, Z. P., Liu, Y. S., Wang, K. Y., & Zhou, X. Z.** (2013). Synthesis and Performance of Polycarboxylate Superplasticizers with Hydrophobic Side Chains. *Applied Mechanics and Materials*, 357-360, 1124-1129. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.357-360.1124>
- Yalçın, H., & Gürü, M.** (2006). *Çimento ve Beton* (Palme Yayıncılık).
- YapıChem.** (2014). *Beton Teknisyeni El Kitabı*. YapıChem.
- Yılmaz, A. D.** (2003). YENİ KUŞAK HİPER AKIŞKANLAŞTIRICI BETON KATKILARI. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426, 5.
- Zheng, T., Zheng, D., Qiu, X., Yang, D., Fan, L., & Zheng, J.** (2019). A novel branched claw-shape lignin-based polycarboxylate superplasticizer: Preparation, performance and mechanism. *Cement and Concrete Research*, 119, 89-101. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.03.007>

- Zhu, Q.-H., Zhang, L.-Z., Min, X.-M., Yu, Y.-X., Zhao, X.-F., & Li, J.-H.** (2018). Comb-typed polycarboxylate superplasticizer equipped with hyperbranched polyamide teeth. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 553, 272-277. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.05.067>
- Zhang, L., Kong, X., Xing, F., Dong, B., & Wang, F.** (2017). Working mechanism of post-acting polycarboxylate superplasticizers containing acrylate segments. *Journal of Applied Polymer Science*, 135(5), 45753. <https://doi.org/10.1002/app.45753>
- Zhang, Y.-R., Kong, X.-M., Lu, Z.-B., Lu, Z.-C., & Hou, S.-S.** (2015). Effects of the charge characteristics of polycarboxylate superplasticizers on the adsorption and the retardation in cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 67, 184-196. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.10.004>



7. ÖZGEÇMİŞ

MELİH ÖZDURAN

KİMYA MÜHENDİSİ / C SINIFI İGU

KİŞİSEL BİLGİLER

E-mail: melih-ozduran@hotmail.com

Doğum Tarihi: 13.01.1995

İŞ TECRÜBESİ

➤ **03/09/2018- Devam Ediyor.**

Zorlu Holding Meta Nikel Kobalt A.Ş. Gördes-MANİSA

Ar-Ge Mühendisi / Kimya Mühendisi

➤ **01/05/2018- 17/08/2018**

Murat Su Pazarlama Dağıtım Tic. San. Ltd. Şti / Suşehri-SİVAS

Laboratuvar Sorumlusu / Kimya Mühendisi

➤ **07/ 03/ 2017- 28/ 02 / 2018**

Teknik Önder Mim. Müh. Ltd. Şti. / KOSGEB Ar-Ge İnovasyon Projesi (Proje No:2016/4) “Kil Toleranslı Süperakışkanlaştırıcı Beton Katkı Malzemelerinin Soğuk Proses Üretimi” Merkez-SİVAS

Ar-Ge Personeli/ Kimya Mühendisi

EĞİTİM BİLGİLERİ

2013-2017 : Cumhuriyet Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü (Lisans)

YABANCI DİL BİLGİSİ ve SERTİFİKALAR

İngilizce Seviyesi: B2-Upper Intermediate; Okuma, Konuşma ve Yazma Yetkinliği

C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı Belgesi (ÇSGB/2018)

