



T. C.

ORDU ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KALSİNE MARN KATKILI ÇİMENTOYA UYGUN
KİMYASAL KATKILARIN BELİRLENMESİ**

MURAT USTA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

ORDU 2019

T.C.
ORDU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

**KALSİNE MARN KATKILI ÇİMENTOYA UYGUN KİMYASAL
KATKILARIN BELİRLENMESİ**

MURAT USTA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORDU 2019

TEZ ONAY


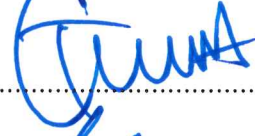

Murat USTA tarafından hazırlanan “**KALSİNE MARN KATKILI ÇİMENTOYA UYGUN KİMYASAL KATKILARIN BELİRLENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 09.08.2019 tarihinde yapılmış ve jüri tarafından oy birliği ile Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Yasemin AKGÜN

Jüri Üyeleri

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Yasemin AKGÜN
İnşaat, Ordu Üniversitesi
Üye
Prof. Dr. Tahsin TONKAZ
Biyosistem Mühendisliği, Ordu Üniversitesi
Üye
Dr. Öğr. Üyesi Fahri BİRİNCİ
İnşaat Mühendisliği, Ondokuzmayıs
Üniversitesi

İmza


.....

.....

.....

26/08/2019 tarihinde enstitüye teslim edilen bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 29/08/2019 tarih ve 2019/535 sayılı kararı ile onaylanmıştır.





Enstitü Müdürü
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Sami GÜLER

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.



Murat USTA

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

KALSİNE MARN KATKILI ÇİMENTOYA UYGUN KİMYASAL KATKILARIN BELİRLENMESİ

MURAT USTA

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 62 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ YASEMİN AKGÜN)

Beton üretimlerinde kimyasal katkı kullanımının kaçınılmaz oluşu nedeniyle katkının etkinlik düzeyi katkı maddesinin kendisine bağlı olmakla beraber çimentonun türüne de bağlıdır. Bu nedenle kimyasal katkı maddesi-çimento uyumu oldukça önemlidir. Kimyasal katkıların yanı sıra mineral katkı yerdeğiştirmeli katkılı çimentoların nihai ürün özellikleri üzerinde etkisi de tanımlı hale getirilmelidir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’deki potansiyel mevcut yerel doğal marnın, alternatif bir puzolan olarak, katkılı çimento endüstrisinde optimum değerlerle aktif kullanımını sağlayabilmek için bilimsel veri oluşturmaktır.

Bu amaç doğrultusunda, öncelikle Sinop/Erfelek’ten elde edilen yerel doğal marnın, termogravimetrik (TGA) analizler sonucunda karar verilen farklı kalsinasyon sıcaklıklarında (600°C ve 800°C) kalsine edilerek, puzolanik aktiviteleri belirlenmiştir. Ardından, kalsine marn, farklı (%10, %30 ve %50) oranlarda Portland çimentosu ile yer değiştirilerek elde edilen katkılı çimento üzerinde fiziksel özellikler, priz, su talebi, genleşme ve bu çimentolarla üretilen harç numuneler üzerinde de fiziksel özellikler, ultrasonik ses geçiş hızı ve basınç dayanımı üç farklı kökenli aynı firma ürünü süper akışkanlaştırıcı %0.8, %1.2 ve %1.5 oranlarında kullanılarak tespit edilmiştir. Deney sonuçları, kendi aralarında ve Portland çimentosu ile karşılaştırılmıştır.

Deneylerden elde edilen sonuçlara göre; kalsine doğal marn katkılı çimentoların puzolanik aktivite ve çimento özelliklerinin, TS 25 ve TS EN 197-1 limit değerleri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan, optimum sıcaklıkla (800°C) kalsine edilen marn katkılı çimento içeren harçların basınç dayanımları, %30 yer değiştirme oranına kadar iyileşmektedir. Çalışmada basınç dayanımı, iç yapı (UPV) ve çökme dikkate alınarak yapılan değerlendirmede ise %1.2 oranında polikarboksilat ester (PCE) katkı ile %30 kalsine marn yer değiştirmenin optimum değerler olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Harç, Kalsine Marn, Katkılı Çimento, Puzolan, Süper Akışkanlaştırıcı.

ABSTRACT

DETERMINATION OF COMPATIBLE CHEMICAL ADMIXTURES TO CALCINED MARL BLENDED CEMENT

MURAT USTA

**ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED
SCIENCES**

RENEWABLE ENERGY

MASTER THESIS, 62 PAGES

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. YASEMIN AKGÜN)

Since the use of chemical additives is inevitable in concrete production, the level of activity of the additive depends on the additive itself, and also on the type of cement. Therefore, chemical additive-cement compatibility is very important. In addition to chemical additives, the effect of chemical additive and also blended cements containing mineral admixture on final product properties should be defined. The aim of this study is to create scientific data for ensure the active using with optimum value in the blended cement industry as an alternative pozzolan of the potential locally available natural marl in Turkey.

For this purpose, firstly local natural marl obtained from Sinop / Erfelek was calcined at different calcination temperatures (600°C and 800°C) determined by thermogravimetric (TGA) analyzes and pozzolanic activities were determined. And then, the setting times, water demand, expansion and physical properties were determined on blended cements containing calcined marl obtained by replacing Portland cement with different (10%, 30% and 50%) ratios. Finally, the physical properties, ultrasonic pulse velocity and compressive strength were determined on mortar samples produced by blended cements, It was used three different type super plasticizer with 0.8%, 1.2% and 1.5%. Experimental results were compared with each other and with Portland cement.

According to the results obtained from the tests, pozzolanic activity and cement properties of blended cements containing calcined natural marl are comply with limit values of TS 25 and TS EN 197-1. On the other hand, compressive strengths of mortars produced by blended cement containing calcined marl with optimum temperature (800°C) were improved up to replacement ratio 30%. In the study, considering the compressive strength, inner structure (UPV) and slump, it was determined that 30% calcined marl replacement with 1.2% ratio polycarboxylate ester (PCE) additive was the optimum values.

Keywords: Blended Cement, Calcined Marl, Mortar, Pozzolan, Super Plasticizer.

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince her tűrlű desteęini esirgemeden bana yardımcı olan, daima sabır ve özveriyle beni yönlendiren, deneyimlerini paylaşan deęerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasemin AKGÜN'e teőekkűr ederim. Aynı zamanda deneylerde kullanılan malzemelerin temini konusunda tezime katkıda bulunan Altaő Hazır Beton A.Ő., Votorantim imento, Ünye imento, MTA Genel Müdürlüęü'ne sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Tűm hayatım boyunca hiębir zaman desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen ve her an yanımda olan aileme sonsuz teőekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ BİLDİRİMİ	I
ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİL LİSTESİ	VII
ÇİZELGE LİSTESİ	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. GENELBİLGİLER	3
2.1 Puzolanlar.....	3
2.2 Puzolanik aktivite.....	4
2.3 Puzolanların gruplandırılması.....	4
2.3.1 Yapay puzolanlar.....	5
2.3.1.1 Yüksek fırın cürufu.....	5
2.3.1.2 Uçucu kül.....	5
2.3.1.3 Silis dumanı.....	5
2.3.1.4 Pirinç kabuğu külü.....	6
2.3.2 Doğal puzolanlar.....	6
2.3.2.1 Volkanik orijinli puzolanlar.....	7
2.3.2.2 Diyatomit.....	8
2.3.2.3 Tras.....	8
2.3.2.4 Pişirilmiş kil ve şeyl.....	8
2.4 Puzolan katkıların etkileri.....	8
2.5 Marn.....	9
2.6 Süper akışkanlaştırıcılar.....	10
2.7 Önceki çalışmalar.....	15
3. MATERYAL ve YÖNTEM	23
3.1 Materyal.....	23
3.1.1 Portland Çimentosu.....	23
3.1.2 Marn.....	24
3.1.3 CEN Standart Kumu.....	25
3.1.4 Karışım Suyu.....	25
3.1.5 Süper Akışkanlaştırıcılar.....	25
3.2 Yöntem.....	27
3.2.1 Puzolanik Aktivite Deneyleri ve Numunelerin Hazırlanışı.....	28
3.2.2 Doğal Marnın Kalsinasyonu.....	29
3.2.3 Kalsine Marn Katkılı Çimento Numunelerin Hazırlanışı ve Deneyleri.....	30
3.2.4 Kalsine Marn Katkılı Çimento İçeren Harçların Hazırlanışı Basınç Dayanımı Deneyleri.....	31
3.2.5 Özgül Ağırlık ve Basınç Dayanımı Deneyi.....	38
3.2.6 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi.....	40
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	41

4.1 Portland Çimentosu, Marn, Katkılı Çimentoların Bazı Özellikleri.....	41
4.2 Kalsine Marnın Puzolanik Aktivitesi	43
4.3 Marnın mineralojik yapısı	44
4.4 Harçların özgül ağırlıkları ve basınç dayanımları	46
4.5 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı	47
4.6 Çökme deneyi.....	48
4.7 Kalsine marn katkılı çimento için enerji değerlendirmesi	48
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	53
6. KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ.....	62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Doğal puzolanların sınıflandırılması	6
Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan kalsine edilmiş marn örnekleri.....	24
Şekil 3.2 CEN standart kumu	25
Şekil 3.3 Çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcılar.....	27
Şekil 3.4 Vikat cihazı.....	30
Şekil 3.5 Le Chatelier deney seti	31
Şekil 3.6 Numune kalıpları (50 x 50 x 50 mm)	31
Şekil 3.7 Numunelerin kuru için kullanılan kür tankı	33
Şekil 3.8 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) cihazı	34
Şekil 3.9 Hassas terazi	36
Şekil 3.10 Çimento harç karıştırıcı	36
Şekil 3.11 Numunelerin yerleştirilmesinde kullanılan sarsma tablası.....	37
Şekil 3.12 Mini çökme deney seti.....	38
Şekil 3.13 Özgül ağırlık sehpası	39
Şekil 3.14 Numunelerin basınç deneyi	39
Şekil 3.15 Ultrases geçiş hızı ölçümü.....	40
Şekil 4.1 Doğal marn için termogravimetrik analiz (TGA) grafiği	43
Şekil 4.2 Doğal marnın Polarizan mikroskop fotoğrafları.....	44
Şekil 4.3 Doğal marnın geniş alan çift ve tek nikolde çekilmiş mikro fotoğrafları... 45	
Şekil 4.4 Doğal marnın SEM fotoğrafı (a) ve element spektrumu (b) (0°C).....	45
Şekil 4.5 Doğal marnın SEM fotoğrafı (a) ve element spektrumu (b) (600°C).....	45
Şekil 4.6 Doğal marnın SEM fotoğrafı (a) ve element spektrumu (b) (800°C).....	45
Şekil 4.7 Harçların ortalama basınç dayanımlarının değişimleri.....	49
Şekil 4.8 Harçların yerdeğiştirme ve katkı oranlarına göre DKY değişimleri	50
Şekil 4.9 Harç numuneler için ultrasonik ses geçiş hızı (UPV).....	51
Şekil 4.10 Harçların yerdeğiştirme ve katkı oranlarına göre çökme değişimleri	51
Şekil 4.11 Bir ton katkılı çimento üretimi için enerjitalibi	52
Şekil 4.12 Harçların performans enerjileri	52

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Portland çimentosu fiziksel ve kimyasal özellikleri	22
Çizelge 3.2 Marnın kimyasal kompozisyonu.....	24
Çizelge 3.3 Puzolanik aktivite deneyleri için malzeme miktarları	29
Çizelge 3.4 Çimento harçlarının isimleri	34
Çizelge 3.5 Harç karışım miktarları.....	35
Çizelge 4.1 Portland çimentosu özellikleri (PÇ).....	42
Çizelge 4.2 Doğal marnın özellikleri	42
Çizelge 4.3 Marn katkılı çimentoların özellikleri	42
Çizelge 4.4 Marn katkılı çimentoların normal kıvam suyu, priz süreleri ve hacim genleşmesi	42
Çizelge 4.5 Doğal marnın puzolanik aktivitesi.....	44
Çizelge 4.6 Harçların özgül ağırlıkları ve basınç dayanımları	47

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: American Society of Testing Materials
CEN	: The European Committee for Standardization
EN	: Avrupa Normları
MPa	: Megapascal
Op	: Opak Mineral
PÇ	: Portland Çimentosu
SiO₂	: Silisyum Dioksit
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı elektron mikroskobu)
TGA	: Termogravimetrik Analiz
TS	: Türk Standartları Enstitüsü
XRD	: X-Işını Kırınım Yöntemi
ρ	: Özgül Ağırlık

1. GİRİŞ

Dünyada, en yaygın kullanılan yapı malzemesi olan çimentonun, gelecekte de inşaat sektörü için önemli bir potansiyeli bulunmaktadır. Ancak çimento, yoğun enerji tüketiminden ve insan kaynaklı CO₂ emisyonlarının yaklaşık %5-8'inden sorumlu olması nedeniyle, yenilikçi ve sürdürülebilir çalışmalara ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaca yönelik olarak, çimento klinkerin yer değiştirme malzemesi olarak belirli oranlarda ilave edilen puzolanların kullanımı, sürdürülebilirlik çalışmalarındaki en kolay çözüm olmaktadır. Bu çözüm, azalan klinker miktarı sayesinde daha az enerji tüketimi ve daha az CO₂ emisyonu anlamına gelmektedir. Aynı zamanda, puzolan katkılı çimento kullanımıyla üretilen harç/betonların performansları da önemli ölçüde iyileşmektedir. Çimentonun sürdürülebilirliğini sağlamak için uygun malzeme arayışları devam etmektedir. Genel olarak, birçok doğal ve sentetik katkı malzemesi (fırın cürupları, uçucu küller gibi), klinker miktarının azaltılması ve performansların iyileştirilmesi için kullanılmaktadır. Ancak, gelecekte, çimentoya olan artan talebe bağlı olarak piyasadaki katkı malzemelerinin talebi karşılayamaması ya da yüksek miktarda katkı malzemesi kullanma ihtiyacı söz konusu olabilecektir. Dolayısıyla, bu talebin karşılanabilmesi için, mevcut malzemelere alternatif olabilecek ve özellikleri tanımlı katkı malzemelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüz inşaat endüstrisinde, kalsine killer üzerindeki çalışmalar, bu alternatif arayışlardan birisidir. Kil, doğada büyük miktarda bulunabilen bir malzemedir. Katkılı çimento üretimi için killer (metakaolinler gibi), kalsinasyon sonrasında etkili bir yer değiştirme malzemesi olabilmektedir (Mikhailenko ve ark., Andrade ve ark., 2018). Üstelik literatürde, uçucu kül-kalker (De Weerdts ve Justnes 2008; 2009; De Weerdts ve ark., 2010; 2011a; 2011b), metakaolin-kalker (Antoni ve ark., 2012) gibi çoklu katkı kullanımı üzerinde yapılmış çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalarda beklenenler, geleneksel çimento reaksiyonları sonucu oluşan bağlayıcıların yanı sıra ilave bağlayıcı bileşikler elde ederek, dayanım ve dayanıklılık yönünden performans iyileştirmesi sağlamaktır. Marn, doğada kil ve kalkerin bir arada bulunduğu bir oluşum olup, %35-85 kil ve %15-65 kalkerden meydana gelmektedir. Marn, aslında karakteri kil olan ancak kalker tarafından kirlenmiş bir malzemedir. Bu özelliği sebebi ile, kilin geleneksel kullanımlarında tercih edilmez. Ancak, kalsine edilen marn, kalsine kil yapısı gereği,

puzolanik özellik gösterebilmektedir (Justnes ve ark., 2011; Danner ve ark., 2012). Uygun sıcaklıkta kalsine edilen kil ve kalker içeren doğal marn, kalsinasyon sonrasında hem kalsine kil hem de kalsine kalker içerdiği için yukarıda açıklanan beklentileri karşılayan bir yapıda olabilmektedir. Diğer taraftan, kalsine marn, klinker miktarı azaltmak amaçlı kullanılan diğer puzolanlardan daha fazla miktarda doğal olarak ve kolay elde edilebilmektedir. Bu nedenle, kalsine edilmiş marn, sürdürülebilir katkılı çimento üretimlerinde kullanılabilir, yüksek potansiyelli ve keşfedilmeye açık, alternatif çimento katkı malzemesi kaynağıdır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki potansiyel mevcut yerel doğal marnın, alternatif bir puzolan olarak, katkılı çimento endüstrisinde optimum değerlerle aktif kullanımını sağlayabilmek için bilimsel veri oluşturmaktır. Beton üretimlerinde kimyasal katkı kullanımının kaçınılmaz oluşu nedeniyle katkının etkinlik düzeyi katkı maddesinin kendisine bağlı olmakla beraber çimentonun türüne de bağlıdır. Bu nedenle kimyasal katkı maddesi-çimento uyumu oldukça önemlidir. Kimyasal katkıların yanı sıra mineral katkı yerdeğiştirmeli katkılı çimentoların nihai ürün özellikleri üzerinde etkisi de tanımlı hale getirilmelidir. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle Sinop/Erfelek'ten elde edilen yerel doğal marnın, termogravimetrik (TGA) analizler sonucunda karar verilen farklı kalsinasyon sıcaklıklarında (600°C ve 800°C) kalsine edilerek, puzolanik aktiviteleri belirlenmiştir. Ardından, kalsine marn, farklı (%10, %30 ve %50) oranlarda Portland çimentosu ile yer değiştirilerek elde edilen katkılı çimentolar üzerinde fiziksel özellikler, priz, su talebi, genleşme ve bu çimentolarla üretilen harç numuneler üzerinde de fiziksel özellikler, ultrasonik ses geçiş hızı ve basınç dayanımı üç farklı kökenli aynı firma ürünü süper akışkanlaştırıcı %0.8, %1.2 ve %1.5 oranlarında kullanılarak tespit edilmiştir. Deney sonuçları, kendi aralarında ve Portland çimentosu ile karşılaştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Puzolanlar

Puzolanlar, “tek başına bağlayıcılığı bulunmayan veya çok az bağlayıcılığı bulunan, fakat ince formdayken, suyun bulunduğu ortamda kalsiyum hidroksitle tepkimesinde, hidrolik bağlayıcılık kazanabilen, silikalı ve alüminalı malzemeler” olarak nitelendirilebilir (Aruntaş ve ark., 1996). “Puzolan”, İtalya’nın Vezüv yanardağının bulunduğu bölgedeki “Puzzuoli” kasabasından esinlenilerek adlandırılmıştır. Puzzuoli kasabasında milattan yaklaşık 100 yıl önce yaşayan Romalılar, buldukları kasabasının etrafında volkanik kül ile söndürülmüş kirecin su ile karıştırılmasıyla elde edilen karışımın hidrolik bağlayıcılığı olduğunu farkına varmışlardır. Bu sebeple, su ile birleşiminde katılaştıran bu malzeme, “puzolan” olarak adlandırılmaya başlamıştır. Volkanik kül, granüle yüksek fırın cürufu, diatomlu toprak, volkanik tuf, pişirilmiş kil, silis dumanı, uçucu kül, pirinç kabuğu külü; betona katkı olarak kullanılan başlıca puzolanlardır. Puzolanların bağlayıcılık sağlayabilmesi için bazı şartlar bulunmaktadır bunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz

- Alümina ve silika miktarı yeterli düzeyde olmalıdır. (Beton ve çimento yapımında kullanılan puzolanların “ $Al_2 O_3SiO_2+Fe_2O_3$ ” oranının en az %70 olması gerekmektedir)
- Amorf yapıda olmalıdırlar.
- Doğal şekilde ince taneli formda, ve/veya gerekli işlemler yapıldıktan sonra çimentonun sahip olduğu forma getirilmelidir.

Puzolanların haricindeki katkıların beton karışımında kullanılan oranları az olmasına rağmen, puzolanik katkı maddeleri; çimento miktarının %10-%50’si kadar çimento karışımında kullanılabilir (Erdoğan, 2013).

Puzolanik katkı maddesi kullanılan betonda, puzolanik katkı kullanmadan yapılan betona kıyasla, çimento miktarı azaltılarak, azaltılan çimento oranı kadar puzolanik katkı maddesi ilave edilmektedir. Bu şekilde betonda bağlayıcı malzeme; Puzolanik katkı + Portland çimentosu olarak elde edilir (Mineral katkıları bazı durumlarda betonun içindeki ince agreganın bir kısmını sağlamak için kullanılabilir).

2.2 Puzolanik aktivite

Puzolanik aktivite; bazı maddelerde bulunan kalsiyum hidroksitle (Ca(OH)_2) suyun olduğu ortamda “reaksiyona girme oluşumu” ve “sertleşme” kapasitesidir. Puzolanik aktivite oluştu demek için bu ikisi aynı anda gerçekleşmelidir (Mazsazza, 1993).

Puzolanik aktivesi yüksek olan puzolanların aşağıdaki özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir

- Vitrik faz miktarı,
- SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve alkali miktarı,
- İncelik

Katkının puzolan olduğunu belirlemek için puzolanik aktivite deneylerinde pozitif sonuç vermelidir. Yapılacak deneyler doğal ve yapay puzolanlarda kimyasal ve mekanik deneylerdir. Mekanik deneylerde; kireç-puzolan, çimento-puzolan harçları üzerinde gerçekleştirilen eğilme ve basınç dayanımı deneyleridir. Kimyasal deneyler de ise puzolan katkılı çimentonun su ile yaptığı hidrasyon sonucunda çözültide meydana gelen Ca(OH)_2 'i belirlemektir. Puzolanik aktivite kalorimetrik ve spektrofotometrik yöntemlerle de belirlenebilir. Puzolanik aktiviteyi ölçmenin diğeri bir kriteri, puzolan bulunan çimento karışımındaki özgül yüzeyin artış hızını tesbit ederek elde edilir. Farklı kalsiyum hidroksit - emme hızlarına, özgül yüzey artış hızları denk gelmektedir (Mazsazza, 1989).

2.3 Puzolanların gruplandırılması

Puzolanlar, oluşum şekline göre yapay ve doğal olmak üzere ikiye ayrılır. Yapay olsun doğal olsun her puzolan, reaksiyon kapasitesi bakımından üç bileşenden oluşmaktadır (Leckebush, 1984). Aktif tertip maddeleri: Az ya da çok değışmiş cam fazları, opal, silisli toprak, zeolitler. Atıl bileşenler: Zeolitlerden farklılık gösteren kristal fazları (augit, piroksen ve saf çini). Zararlı (istenmeyen) bileşenler: Organik maddeler, kalay ve karbon maddeleri.

2.3.1 Yapay puzolanlar

Sanayi üretimi atığından elde edilen puzolanlardır. İçeriğinde doğal puzolanlarda karşımıza çıkan oksit bileşenler (Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO ,) içerdikleri için puzolan ve üretimdeki reaksiyonlar sonunda oluştukları için de yapay sıfatı verilmiştir. Puzolanın aktifliğini; atıktaki silisin aktifliği belirlemektedir. Yapay puzolanlar; yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı ve pirinç kabuğu külüdür (Okucu, 1998).

2.3.1.1 Yüksek fırın cürufu

Yüksek fırın cürufu, ham demirin üretimi sırasında açığa çıkan atık bir madde olup daha hafif olması nedeniyle yüksek fırınlarda ham demirin üzerinde bulunmaktadır. Kireç taşı, kok ve demir filizi gangının yanması ile birlikte açığa çıkan atıklar yüksek fırın cürufunu oluştururlar. Fırın cürufunu, yavaş yavaş soğuttuğumuzda kristal bir yapı kazanır. Bu haliyle bazalta benzer mekanik özellikler gösterir ve beton agregası olarak kullanılabilir. Bunun yanında, hızlı soğutma yapıldığında ise camsı yapıda bir katı eriyik elde edilir. Bu yarı kararlı camsı malzeme, sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit gibi aktivatörler ilave edilerek, ince öğütülerek ve PÇ'nin hidrasyonu ile meydana gelen $Ca(OH)_2$ 'yi kullanarak hidrolik özellik elde eder (Tokyay, 1997).

2.3.1.2 Uçucu kül

Yakıt olarak toz haline getirilmiş taş kömürünü kullanarak elektrik üreten termik santrallerde elde edilen atık madde ya da bir yan üründür. Termik santral fırınlarında yakılan kömürlerin oluşturduğu kül, fırının bacasından dışarı atılır. Mekanik ya da elektrosatik toplayıcılar ile havaya salınan küller toplanır. Bu sayede çevrenin kirlenmeside engellenmiş olur. Bu küllere “uçucu kül” denir (Mehta, 1986).

2.3.1.3 Silis dumanı

Ferrosilikon ve metalik silisyum elektrikli ark fırınlarında üretilirken kömürle kuvars indirgenerek yan ürün olarak elde edilir (Yeğınobalı, 2001). Bazı ülkeler silis dumanını katkılı çimento üretiminde kullanmakta olup Avrupa ve Türk standartlarında; Portland silis dumanlı çimento şeklinde bir tür yer almaktadır. Silis

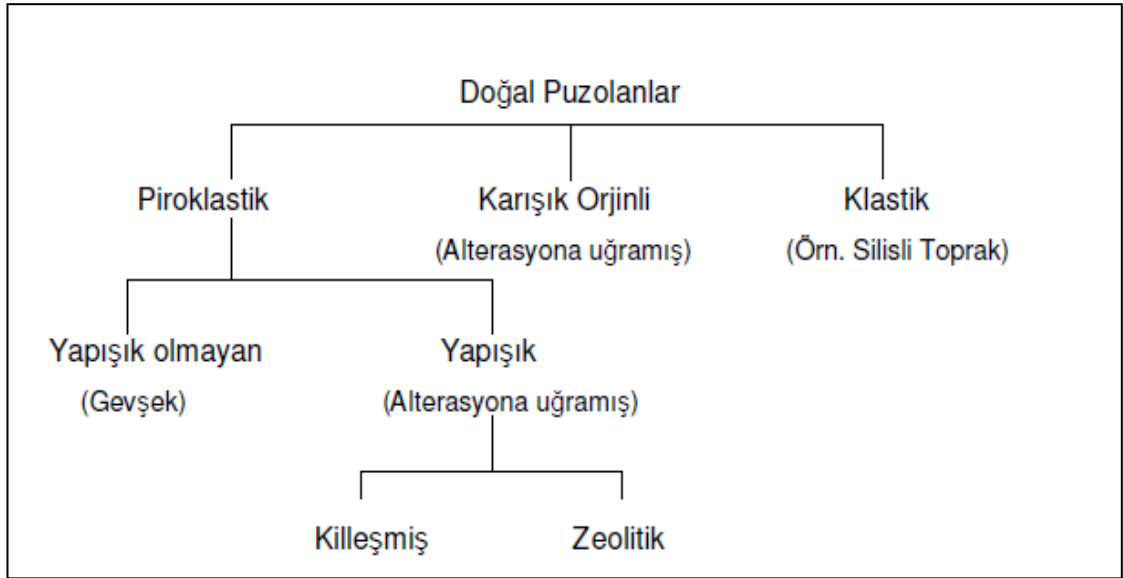
dumanını ögüterek ve kimyasal katkı ilave ederek yüksek performans ve dayanımlı çimentolar elde edilebilir (Mazsazza, 1989).

2.3.1.4 Pirinç kabuğu külü

Çeltik üretildikten sonra meydana gelen atık kabuk yakıldığında ortaya çıkan kül hızlı şekilde soğutularak elde edilen küle denir (Okucu, 1988).

2.3.2 Doğal puzolanlar

Doğal puzolanlar, doğada volkanik kütlelerin bulunduğu yerlerde görebiliriz. Her puzolanın aktivitesi, kimyasal yapısı, bulunduğu yere göre değişiklik gösterir. Doğal puzolanlara tras, volkanik tüfler, pomza taşı diyatomit veya diyatome toprağı örnek verebiliriz. Doğal puzolanlar genellikle genç volkanizma ürünüdür (Leckeubush, 1984). Şekil 2.1' de doğal puzolanların çeşitlerini görebiliriz.



Şekil 2.1 Doğal puzolanların sınıflandırılması (Leckeubush, 1984)

Doğal puzolanlar genellikle piroklastik kayalardır. Piroklastik kayalar volkanik patlamada volkan bacasından havaya fırlarlar. Havaya fırlayan volkanik parçacıklar sürüklenerek zamanla yatak oluşumuna sebep olurlar. Piroklastik kayalar meydana gelirken şartların bir sonucu olarak iki önemli özelliğe sahiptir: Maddelerin hızlı soğumasının sonucu olarak volkanik bacadan fişkıran sıvı kristalleşmez ve volkanik cam olarak katı forma girer. Yeryüzüne yaklaştığında basınç azalır ve gazların

(genellikle H₂O) serbest kalmasına sebep olur. Kabarcıklı ve boşluklu bir yapı oluşur. Bu form ya olduğu gibi kalır veyahut serbest formdaki gazların patlayıcılığıyla az veya çok bozularak iğnemsî ve kavisli bir yapı oluşur. Her iki halde de özgül yüzey büyüktür. Fıskıran madde katılaştırken camsı bir yapı kazanmaya başlar. Fakat, sadece camsı fazdan oluşan Piroklastik kaya yoktur (Leckeubush, 1984).

Bunun sebepleri aşağıda verilmiştir:

- Fıskıran parçacıklar az veya çok oranda (%1-61) fenokristaller şeklinde kristalize madde içerirler. Piroklastik kayalarda kuvars, feldspat, magnetit, hornblend, biotit ve ojit en çok bulunan fenokristallerdir.

- Volkanik camsı fazın kimyasal kararsızlığı sebebiyle, bulunan mineraller değişime uğrar ve yeni mineraller meydana getirir. Bu etkileşimle beraber feldspat ve kristobalit mineralleri ortaya çıkar. Feldspat ve tridimit önceden meydana gelen camsı formun yüzeyindeki gazların etkisiyle büyüyebilir. Hava şartlarının fiziksel ve kimyasal farklılıklarında etkisiyle, zeolitlerin ve kil minerallerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu minerallerin en çok karşımıza çıkanları: Devitrifikasyonla ve/veya buhar fazında meydana çıkan mineraller; kristobalit, feldspat, tridimitdir. Diajenez ve bozunmayla ortaya çıkan mineraller; kil ve zeolit (Leckeubush, 1984).

2.3.2.1 Volkanik orijinli puzolanlar

Bu puzolanların büyük bir çoğunluğu, volkanik orijinli malzemelerdir. Volkanik püskürme esnasında alüminli ve silisli malzemelerden meydana gelen eriyik formdaki magma alev alarak yüzeye çıkmasıyla çok hızlı soğuma gösterdiğinde, camsı (amorfe) yapıya geçmektedir. Püskürme esnasında gazların da etkisiyle, malzemenin gözenekli yapıya ve geniş yüzey alanına sahip olmasına neden olmaktadır. Yüzey alanının geniş olması ve düzensiz yerleşim göstermeleri sebebiyle, alüminli silisler, sulu ortamlarda kalsiyum iyonlarıyla kolayca reaksiyon gerçekleştirmektedir. Volkanik püskürmenin hızlı gerçekleşmesi, malzemenin daha amorf yapıya ve daha aktif puzolanik aktiviteye sahip olmasını sağlar. Volkanik

tüfler, volkanik camlar, volkanik küller ve traslar en yaygın kullanılan volkanik orijinli puzolanlardır (Leckebush, 1984).

2.3.2.2 Diyatomit

Diyatomitler, su yosunları sınıfından tek hücreli mikroskobik alglerin fosilleşmiş silisli kabuklarından ortaya çıkan bir çökeldir. Diyatomit, hem öğütülmeden hem de öğütüldükten sonra puzolanik özellik gösterirler. Diyatomit toprağı veya kizelgur olarak da adlandırılan bu malzeme, volkanik bölge yakınlarında, tatlı ve tuzlu göl veya deniz sularında yaşayan mikroskobik, tek hücreli, çift karapaslı, silis yapılı esmer bir yosun çeşidi olan diyatomelerin ölmesi ve silisli kabukların bir araya gelmesi sonucunda meydana gelen bir mineral olarak da tanımlanmaktadır (Leckebush, 1984; Aruntaş, 1996).

2.3.2.3 Tras

Tras, silisli ve alümino silisli volkanik bir tuf olup tek başına bulunduğu zaman hidrolik özellik göstermediğı halde çok ince öğütüldüğünde sulu ortamda ve kalsiyum hidroksitle birlikte normal sıcaklıkta kimyasal reaksiyona girerek hidrolik özellik gösteren doğal puzolanik bir katkıdır (TS25, 2008).

2.3.2.4 Pişirilmiş kil ve şeyl

Pişirilmiş kil ve şeyl yüksek oranda silis ve alüminden oluşup kristal yapıdadırlar. 700-900 °C civarında bir-iki saat sıcaklığa tabi tutulduklarında, malzemelerin düzenli kristal yapısı bozulmakta ve yarı amorf veya düzensiz alümino silisli bir yapı meydana gelir. Böylece puzolanik malzeme haline gelmektedirler. Önceki senelerde tuğlanın veya kiremitlerin öğütülmesiyle elde edilen ince taneli malzeme, puzolanik malzeme olarak yaygın kullanım alanıdır. ABD’de, Brezilya’da ve Hindistan’da birçok baraj inşaatında killi malzemelerin pişirilmesiyle elde edilen puzolanlar, kullanılmışlardır. Daha sonraki senelerde bu tür puzolanlar, yerlerini, daha kolay ve ekonomik olarak elde edilen uçucu küllere bırakmışlardır (Erdoğan, 2013).

2.4 Puzolan katkıların etkileri

Puzolanlar beton yapımında çimento ağırlığının farklı oranlarında ilave edilirler. Bu oran %15-%40'a kadar tavsiye edilir (Şimşek, 2004).

Kaliteli puzolanlar gerekli ölçülerde ilave edildiklerinde betonda;

- İşlenebilirliğe katkı sağlarlar.
- Sülfat etkisine karşı dayanım kazandırır (1 kg CaO, 1,07 kg SiO₂ bağlar (CaSiO₂))
- Hidratasyon ısısını azaltırlar.
- Alkali-agrega reaksiyonunun zararlı etkisini azaltırlar.
- Isıl büzülme azaltırlar.
- Düşük maliyet sağlar.

Puzolanlar fazla kullanıldıkları zaman dezavantajlı da olabilirler;

- Su ihtiyacında artış gözlenir.
- Çözülme ve donmaya karşı direnci düşürürler.
- Dayanım kazanma ve sertleşme hızını düşürürler.
- Kuruma büzülmesini arttırırlar (Şimşek, 2004).

2.5 Marn

Marn Bileşiminde kil ile kalsiyum karbonattan içerir. Bileşimindeki CaCO₂ oranı % 30-50 aralığında ise "Kil Marn", % 50 - 70 aralığında ise "Kireç marn" olarak adlandırılır. Eğer kil marnına, kil içine az miktarda ince kum ve toz karıştırılır ise, buna "Balçık Marn" denir. Toprakta karbonat içeriği % 35 -70 arasında ise buna "Marn Topraklar" denmektedir (Daştan, 2005). Bu toprakların reaksiyonu genellikle alkalendir; ince tekstürlü topraklardır. Bu topraklar için özellikle fosfor, azot ve organik madde çok önemlidir.

Çimento klinkeri yaklaşık %30 kil ve %70 kalker içeren hammadde karışımının öğütüldükten sonra yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ile elde edilmektedir. Marn kendi yapısı gereği bu bileşimi barındırdığından veya bu bileşime çok yakın özelliklere sahip olduğundan uygun çimento hammaddesidir. Ek olarak kalkere göre daha yumuşak olması nedeniyle kolay işlenebilmekte, öğütme-kırma esnasında enerji ihtiyacı az olmaktadır. Marn, çimento sektörü için önemli bir hammaddedir. Kilin ve kalkerin homojen şekilde içinde barındıran doğadaki bulunan tek malzemedir.

Marnın puzolanik aktivitesinin yüksek olduğu yapılan literatür çalışmalarıyla ortaya çıkmıştır (Justnes ve ark. 2011a; 2011b). Çimento tüketiminde marnın belirli oranlarda çimento ile yer değiştirmesi (ikame) yapılarak önemli faydalar sağlayabilmektedir. Marn kullanılarak üretilen betonun fiziksel ve mekanik performansının arttığı, betonda marn kullanımının elde edilen avantajların ortaya konduğu az sayıda ve yeni birkaç çalışma literatürde yerini almıştır. Marn malzemesi doğada kalker ve kil ham maddesinin aynı anda bir arada bulunduran doğal bir malzeme olması sebebiyle ve de kil ve kalkere göre daha kolay öğütülebilir oluşu nedeniyle çimento üretimlerinde hammadde olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır.

Marn sahip olduğu nadir özellikleriyle beton ve çimento endüstrisinde kullanım alanı yakalasa da bu çalışmaların giderek daha da artarak sürdürülmesini sağlamak, henüz keşfedilmemiş ancak var olan önemli potansiyelini keşfedebilmek için kimyasal, fiziksel, mekanik pek çok çalışmanın yapılması ihtiyacının olduğu görülmektedir (Şimşek, 2011).

2.6 Süper akışkanlaştırıcılar

Kimyasal katkı maddelerinin; priz geciktirici veya hızlandırıcı, hava sürükleyici ve su indirgeyici, işlenebilirliği artırıcı gibi pek çok özelliği olduğu bilinmektedir. Kimyasal katkı denildiğinde akla süper akışkanlaştırıcı (SA) katkıları gelmektedir. SA katkıları, kimyasal bileşimlerine göre;

- Melamin formaldehid sülfonatlar (SMF),
- Naftalin formaldehid sülfonatlar (SNF),
- Modifiye edilmiş lignosülfonatlar (MLS),
- Polikarboksilat esterler (PCE)

şeklinde sınıflandırılabilirler.

Akışkanlaştırıcılar su kesme kabiliyetine göre normal (%10–15 arası su kesebilenler), süper (%15–30 arası su kesebilenler) ve hiper (%30'un üstünde su kesme özelliği olanlar) olarak sınıflandırılabilirler (Ramachandran ve Malhotra 1984). Bu sınıflandırma performansa odaklı bir sınıflandırma olduğundan katkının

kimyasal özelliklerini açıklamaz. Ama genellikle lignosülfonat bazlı katkılardan normal, melamin ve naftalin sülfona formaldehit bazlılardan süper ve polikarboksilat bazlılardan hiper akışkanlaştırıcılar elde edilmektedir (Çil, 2000). Bir lignosülfonat bazlı katkıdan tek başına hiper akışkanlaştırıcı performansı sergilemesini beklemek mümkün değildir. Fakat bu katkılarda yapılacak çeşitli modifikasyonlarla priz ayarlama ve su kesme gibi özellikleri ayarlanabilir. Bu nedenle pratikte, performansa odaklı bir sınıflandırma yapılması, kimyasal yapıya odaklı bir sınıflandırmadan daha uygundur. Tarihsel süreçte kimyasal katkıların gelişimine baktığımızda, uygulamada karşımıza çıkan problemlerin ve bu problemlere aranan çözüm yollarının katkıların gelişmesi için önem arz ettiği görülmektedir. Örnek vermek gerekirse ilk akışkanlaştırıcılardan biri olan lignosülfonat bazlı katkılar yüksek oranda şeker içerdikleri için priz gecikmesine sebep olmuştur. Diğer taraftan, özellikle lignosülfonatların sürüklediği hava kabarcıklarının çapı donma çözülme direnci için etkili çaptan (0.2 mm) çok daha büyüktür. Bu nedenle lignosülfonatlar betonun bünyesinde sürüklenmiş hava boşluğu oluşturarak dayanım ve dayanıklılık kaybına sebep olurlar (Parlak ve Akman, 2002). İlk olarak 1930'lerde karşımıza çıkan akışkanlaştırıcı katkıların temelini lignosülfonatlar oluşturmaktaydı. 1960'lara gelindiğinde sülfonatlı naftalin polimer esaslı süper akışkanlaştırıcı katkılar ortaya çıkmıştır. 1990'lerden sonra ise önce vinil kopolimerler ve en son olarak da modifiye polikarboksilatların ortaya çıkmasıyla beton teknolojisinde oldukça yeni bir kapı aralanmıştır (Sağlık, 2005). İkinci nesil olarak isimlendirilen katkılar Melamin (SMF) ve Naftalin (SNF) Formaldehit Sülfonat esaslı Süper Akışkanlaştırıcılardır. Baktığımızda ilk olarak 60'lı yılların sonunda Japonya'da 70'lerin başında Almanya'da ve 1974' de Kuzey Amerika'da karşımıza çıkmaktadır (Ramachandran ve Malhotra, 1984). Bazı modifiye lignosülfonat çeşitlerini de süper akışkanlaştırıcı sınıfına koyabiliriz, fakat en çok karşımıza çıkanlar SNF ve SMF bazlı katkılardır. Bunlardan farklı olarak poliakrilatlar, polistiren sülfonatlar da kullanılabilir. Süper Akışkanlaştırıcılar gerek su kesme özelliği gerekse akışkanlık sağlama özelliği bakımından lignosülfonatlardan çok daha etkilidir. SNF ve SMF esaslı katkılar birbiriyle karşılaştırıldığında akışkanlaştırıcı etkisi bakımından, naftalin bazlı süper akışkanlaştırıcılardan daha etkili olduğu görülmüştür (Ramachandran ve Malhotra,

1984). Betonda uygulama yaparken melamin ve naftalin sülfonat esaslı katkılardan dolayı meydana gelen işlenebilirlik kaybı sorununu çözmek için üçüncü nesil olarak karşımıza çıkan polikarboksilat bazlı katkıları geliştirilmiştir (Çil, 2000).

Kimyasal katkıların su kesme kapasitesi yüksektir ayrıca yüksek işlenebilirlik de sağlarlar. Kimyasal katkı maddeleri, çimentonun hidratasyon hızını ve oranını çimento ile elektriksel, fiziksel ya da fizikokimyasal reaksiyona girerek değiştirebilirler. Fakat temel etkileri fizikseldir. Kimyasal katkıları, çimento hamurunun hidratasyonun da hızlandırıcı veya yavaşlatıcı etkiyi çimento hamuru ile kimyasal bir tepkimeye girmeden ancak dolaylı şekilde bu etkiyi sağlarlar. Araştırmacılar tarafından bu etkiler çeşitli mekanizmalarla (ayırıştırma veya kümeleştirme, iyon konsantrasyonu değişimi, yüzey alanını kaplayarak hidratasyonu engelleme, çökeltme vs.) açıklanmaktadır (Ramachandran ve Malhotra, 1984). Çimento taneciklerinden topaklaşmaya meyillileri kimyasal katkıların ayırıcı etkisiyle (bu etki elektrostatik itki şeklinde tanımlanır) dağılırarak su ile temas eden yüzeyleri artırır. Bunun neticesinde hidratasyon daha kolay hale gelir. Polimer esaslı katkılarda daha farklı ayırıcı etkiler elektrostatik itkinin yerine kullanılabilir (Bürge, 1999). Özellikle polimer bazlı katkılarda elektrostatik itkiye ek olarak polimer zincirlerinin çimento tanesinin üzerine yapışarak oluşturduğu fiziksel etki (stearik itki) daha etkilidir (Çil, 2000). Stearik itkinin seviyesi polimer molekül ağırlığına, yan zincir yapısına, ortam koşullarına ve zincirinin uzunluğuna (nem, sıcaklık, iyon konsantrasyonu, pH) bağlıdır (Bürge, 1999). Özellikle polikarboksilat bazlı katkılarda çimento dağılımını sağlayan temel faktör stearik itkidir. Ortama fazla miktarda katkı katılması durumunda çimento taneciklerinin yüzeyi tamamen kaplanacağından bir miktar katkı artı kalır. Fazla katkıların olumlu bir faydası olmayacağından gerekli miktar kullanılmalıdır. Bahsettiğimiz bu önemli noktaya doyum noktası denir (Sağlam ve Akman, 2002). Kimyasal katkıları doyum noktasında kullanırsak ekonomik avantaj elde ederiz. Kimyasal katkıları doyum noktasını aşacak dozajda kullandığımızda çimento hamurunun viskozitesinin aşırı düşmesine sebep olur, hamur katkı parçacıklarının süspansiyonu bozulur ve beton stabilitesini kaybeder. Bu sebeplerden dolayı kimyasal katkı kullanırken üretici firmanın önerisi olan üst sınırı geçmemekte yarar vardır.

Su geçirimsizlik katkısı olarak genellikle modifiye lignosülfonat bazlı katkıları kullanılmaktadır. Modifiye lignosülfonat bazlı katkıların betonda su geçirimsizliği etkileme mekanizması dolaylı yollarladır. Su azaltma kapasiteleri ile beton içerisinde oluşacak kapiler boşlukların sayı ve boyutunu düşürerek sağlamaktadırlar (Erdoğan, 1997).

Kimyasal katkıları, önerilen şekilde kullanılmadıkları zaman beton özelliklerine olumsuz etki yapabilirler. Ek olarak değişik iki kimyasal katkıının aynı anda kullanılmasının yan etkileri olabilir. Bu sebeple laboratuvar deneyleri yapılarak kimyasal katkıların betondaki etkileri iyi araştırılarak uygun katkı ve oran hakkında fikir sahibi olunmalıdır.

Uygulamada s/ç oranını azaltarak aynı işlenebilirliği sağlamak, daha yüksek dayanım elde etmek, çimento miktarını azaltarak hidrasyon ısısını düşürmek gibi amaçlar için akışkanlaştırıcıları kullanılabilir (Akman, 1987).

Taze beton dökülürken su ilave ederek işlenebilirlik ve akışkanlığı arttırmaya çalışmak betonun özelliklerine olumsuz etkileri vardır (Yıldırım ve ark., 1996). Bu sebeple çimento miktarını azaltmadan veya basınç dayanımını azaltmadan üretilen betonun, akışkan ve kolayca yerleşebilir olmasını sağlamamız gerekmektedir. Taze betonda bu akıcılığı elde etmek için akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmaktadır (Aydın ve ark., 1996).

Kimyasal katkıları beton karışımında s/ç oranını sabitleyerek, su ve çimento miktarını azaltıp ekonomik katkı da sağlamaktadır (Akman, 1996). Kimyasal katkılı betonlarda optimum katkı oranı seçilmediğinde işlenebilirlik ve ayrışma sorunları meydana gelmektedir (İnan ve ark., 2004).

Süper akışkanlaştırıcı katkıların, geçirimsizlik sağlayan katkılara göre daha etkili olduğu yapılan araştırmalarda görülmüştür (Yıldırım ve ark., 2003). Betonun donma-çözülme dayanımını arttırmak amacıyla kullanılan hava sürükleyici katkıların etkisi, donma-çözülme tekrar sayısı arttıkça artmaktadır. Eğilme dayanımı deneyleri, betonun donma çözülme dayanıklılığını daha iyi analiz etmemizi sağlamaktadır (Şahin ve ark., 2003). Betonarmede donatı korozyonunu engellemek için betona ilave

edilen katkıların, donatı ömrünü uzatmada etkili olduğu yapılan araştırmalarda gözlemlenmiştir (Monticelli ve ark., 2000). Priz geciktirici ve hızlandırıcı katkılar, taze betonun priz alma sürelerini etkileyerek, sıcak ve soğuk havalarda beton dökümünü kolaylaştırır (Heikal, 2004; Altun ve ark., 2004).

Priz hızlandırıcı kimyasal katkılar, özellikle soğuk hava şartlarında yapılan beton döküm ve püskürtme beton uygulamalarında, geri tepme kaybını minimuma indirebilmek için tercih edilir (Prudencio, 1998). Renklendirici katkılar ise, prizi geciktirmekte, işlenebilmeyi az da olsa arttırmakta, rötreyi azaltmakta ve eğilme dayanımlarını artırırken basınç dayanımlarını düşürmektedir (Karagüler ve ark., 2004).

Her geçen gün kimyasal katkılar ve özellikle de süperakışkanlaştırıcı (SA), beton üretimlerinin vazgeçilmezi durumundadır. Kökenleri farklı olan bu katkıların çimento ile uyumu ile ilgili çokça araştırmalar yapılmış olmasına rağmen konu belirsizliğini korumaktadır. Günümüzde ülkemizin değışik bölgelerinde, ayrı ayrı ilgili standarda uygun olmalarına rağmen, ham madde farklılıkları, elde edilebilirlik imkanları ve ekonomik sebeplerle, benzer tipte olsa bile kimyasal ve fiziksel özellikleri birbirinden farklı çimentolar üretilmektedir. Bunun sonucu olarak, bu farklılıklara kimyasal katkı üreticilerinin de ayak uydurması, çimentonun özelliğine göre çözümler üretmesi gerekliliğı açıktır. Dünyadaki durum incelendiğinde çimentodaki C_3A , C_3A+C_4AF ve alkali (Na_2O ve K_2O) miktarlarının; C_3S/C_2S , C_3A/C_3S ve $C_3A/CaSO_4$ oranlarının, C_3A 'nın kristal yapısının (kübik ya da ortorombik olması), çimento tanelerinin küreselliğinin ve tane boyutu dağılımının, klinkerin sülfürizasyon derecesinin, çimentonun inceliğinin, katılaşmanın yönetimini sağlamak amacıyla kullanılan alçı taşının yapısının, öğütme katkıların, akışkanlaştırıcı katkıdaki moleküllerin birbirine bağlanma durumunun, nötralizasyon evresinde kullanılan baz tipinin (magnezyum, kalsiyum, sodyum gibi hidroksitler), çimento ve katkıya ait moleküllerin elektrostatik potansiyel miktarlarının ve kimyasal katkının yaklaşık moleküler ağırlığının uyumu etkileyen parametreler oldukları görülmektedir. Üstelik çimentoda eser miktarda bulunan Cr_2O_3 'ün bile,

sülfatın çözünebilirliği üzerinde etkili olması nedeniyle reolojik özellikleri de etkilediği şeklinde araştırmalar bulunmaktadır.

Sektörde mevcut süperakışkanlaştırıcıların katı madde miktarı, birim ağırlık, pH, sülfat ve klorür değerleri gibi özellikleri kullanıcıya bildirilir. Fakat tüm bunlar, katkıının davranışı ile ilgili bilgi vermemektedir (Aİtcin, 2011). Süperakışkanlaştırıcıların etkinliğini belirleyen en önemli özellikler; katkı kökeni, moleküler ağırlık, sülfonasyon ve polimerizasyon derecesi, polimer zincir uzunluğu ile polimerlerin çapraz bağlanışları, sülfonat grubunun durumu, atık sülfat oranı ve nötralizasyon işleminde kullanılan counter-ion (karşıt iyon) kökeni, süperakışkanlaştırıcının çimento bileşenleri üzerinde tutunma miktarı, sıcaklık, süperakışkanlaştırıcının eklenme zamanı, katkı üretiminin nötrleştirme aşamasında kullanılan baz, katkıının performansını değiştirebilmektedir.

2.7 Önceki Çalışmalar

Sağlam ve ark., (2007) çalışmalarında farklı kimyasal yapı ve özelliklerdeki polikarboksilat esaslı katkıları, betona kazandırdıkları işlenebilirlik ömrü ve erken dayanım özellikleri temel alınarak beton sektöründe kullanımları açısından ele alınmıştır. Bu nedenle, polikarboksilat esaslı 6 farklı süperakışkanlaştırıcı katkı ve 3 farklı fabrikanın ürünü olan CEM I 42.5 ve bir adet CEM II 42.5 çimentoları (4 farklı çimento) kullanılarak üretilen çimento hamuru ve betonların taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri belirlenmiş ve bu karışımlarda çimento-katkı uyumu incelenmiştir. Çalışmada denenen bazı çimento ve süperakışkanlaştırıcı katkıları arasında çimento-katkı uyumsuzluğu belirlenmiştir. Taze betonda bu uyumsuzluk genel olarak hızlı kıvam kaybı şeklinde kendini göstermiştir. Sertleşmiş betondaki çimento-katkı uyumsuzluğu 1 ve 7 günlük dayanımlarda düşük değerler elde edilmiştir.

Gödek ve ark., (2015) çalışmalarında 3 farklı süper akışkanlaştırıcı katkı (GA, SV, ve BA) kullanılarak farklı S/Ç oranlarında çimento hamurları hazırlanmış ve akış özellikleri bilyalı bir reometre yardımıyla kapsamlı şekilde incelenmiştir. t=0 ve t=1 saatte çimento hamurları için ölçülen eşik kayma gerilmesi, 1 sn-1 ve 15sn-1 kayma hızlarındaki viskozite değerleri ele alındığında, hazır beton sektörü için incelenen katkıları arasında en uygun katkı türü SV katkısı olduğu sonucuna varmışlardır.

Yaprak ve ark., (2004) endüstriyel bir atık olan Çayırhan ve Çatalağzı termik santrali uçucu külleri (UK) ile Kardemir yüksek fırın cürufunun (YFC) süper akışkanlaştırıcı (SA) katkılı beton özelliklerine etkisini incelemiştir. UK ve YFC, ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında Portland çimentosu (PÇ 42.5) ile ikame edilerek SA katkılı betonlar elde etmişlerdir. Karışımlarda s/b ve SA oranı sabit olarak alınmıştır. Üretilen betonlar ile 15 cm boyutlu küp numuneler hazırlanmıştır. Numuneler, 7, 28 ve 90 gün kür edildikten sonra basınç ve yarmada çekme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. UK ve YFC ikameli betonlar, hem birbirleri ile hem de PÇ 42,5 ile üretilmiş olan kontrol betonu ile karşılaştırılmıştır. En yüksek basınç dayanımı, %10 UK ve %20 YFC betonlarda tespit etmişlerdir.

Çelik ve ark., (2004) Soma termik santralinden elde edilen uçucu kül, iki farklı tras (Yenişehir, Bilecik) ve silis dumanı, çimento klinkerinin bir kısmı yerine katılmış ve elde edilen harçların basınç dayanım değerleri araştırmışlardır. Ağırlıkça %5 silis dumanı içeren çimentoya %10 uçucu kül katılmıştır ve tras oranları ise %30, %35 ve %40 olarak ikame edilmiştir. Bu karışımların her birinin kimyasal analizleri yapılarak Blaine özgül yüzey alanı değerleri belirlenmiştir. Bu bulgular ile basınç dayanım sonuçları irdelenmiştir. Yapılan denemelerde en yüksek dayanım değerlerinin Bilecik trası ile hazırlanan ve yüksek inceliğe sahip olan puzolan içeren harçlarda belirlemişlerdir.

Şimşek ve ark., (2007) Silis dumanı (SD) ve süper akışkanlaştırıcı (SA) katkıların betonda kullanımı son yıllarda artmıştır. Bu çalışmada %10 SD ikame edilen betona üç farklı SA üç farklı oranlarda kullanılmıştır. Bu karışımların, taze beton özelliklerinden çökme, Ve-Be ve hava miktarları incelenmiştir. Sertleşmiş betonda 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı ile donma-çözülme dayanıklılığına etkisi araştırılmıştır. Nihai olarak, en yüksek basınç dayanımı ve donma-çözülme dayanıklılığı, sırasıyla %1 modifiye linyosülfonat SA katkılı beton ile %2 modifiye linyosülfonat SA katkılı betonda tespit etmişlerdir.

Tohumcu ve ark., (2013) çalışmalarında mineral katkı maddesi olarak çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında silis dumanı ve %25, %40 ve %55 oranlarında uçucu kül kullanılarak KYB imal edilmiş ve taze beton özellikleri ile

sertleşmiş betonların 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. silis dumanı ilavesi basınç dayanımlarında artışa yol açarken uçucu kül katkılı betonlarda dayanım azalmaları tespit edilmiştir. En yüksek basınç dayanımı değeri 88 MPa değeri ile %15 silis dumanı kullanılarak üretilen betonlardan elde edilmiştir.

Coşkun ve ark., (2006) çalışmalarında mineral katkılı beton ve nervürlü betonarme demiri arasındaki aderans dayanımına yüksek sıcaklığın (800°C) etkisi araştırılmıştır. Mineral katkı olarak çimento ağırlığının %10'u oranında silis dumanı ve %15'i oranında da uçucu kül seçmiştir. Agreganın maksimum tane çapı (d_{max}) 16 mm'dir. Aderans deneyleri için 100×200 mm ölçülerinde silindir numuneler, basınç deneyleri için 150×150×150 mm ölçülerinde küp numuneler hazırlanmıştır. 20±2 0 C de 28 gün su kürü uygulanan numuneler, 270 gün hava küründe bekletildikten sonra 800 0 C'de yakılmış, aderans ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre yakılan betonlarda, silis dumanı katkılı numunelerin basınç ve aderans dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür.

Okucu, (2004) çalışmasında, Balıkesir İli Bigadiç İlçesinden zeolit minerali içeren 2 farklı tüf örnekleri üzerinde çalışılmıştır. Tüflerin birim hacim ağırlıkları, öğütülebilirlikleri, Blaineleri, puzolanik aktiviteleri ve kimyasal özellikleri tespit edilmiştir. Yerdeğiştirme malzemeleri %24, %26, %28 katkı oranlarında katkılı çimentolar hazırlanmıştır. Bu çimentolarla 44×16 cm'lik prizmatik harç numuneleri üzerinde çalışılmıştır. Ardından basınç dayanımları belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçların göre, zeolitik tüflerin düşük özgül ağırlık, yüksek puzolanik aktivite, yüksek özgül yüzey, kolay öğütülebilirlik ve yüksek basınç dayanımlarıyla katkılı çimento üretiminde kullanılabilmesi belirlenmiştir.

Korkmaz, (2018) Bu çalışmada Karakaya andezitik tüflerinin çimento üretiminde puzolan olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Numunelerin mekanik, fiziksel ve kimyasal deneyleri, malzemenin ana oksitlerin ($SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3=%82.25$) toplam içeriği ve puzolanik aktivitesi malzemenin çimento katkı malzemesi olarak çimento sanayiinde yüksek miktarlarda kullanılabilmesini göstermiştir. Karakaya andezitik tüflerinin düşük nem içermesi nedeniyle kış aylarında büyük kullanım kolaylığı

sağlamakta ve Portland çimentosu klinkerine %30-35 katılarak maliyetler önemli ölçüde düşürmekte olduğunu bildirmişlerdir.

Felekoğlu ve ark., (2006) Yapılan bu çalışmada, aynı çimento dozajında farklı viskozite arttırıcı mineral katkıları ve farklı agrega granülometrileri ile kendiliğinden yerleşen betonlar üretilmiştir. Bu betonların dayanım sınıfına eşdeğer geleneksel sıkıştırma işlemi görmüş betonların yüzeysel aşınma performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir

Doğan ve ark., (2009) Betonda dayanıklılığın (dürabilite) en az dayanım kadar önemli olduğu son yıllarda öne çıktığını, dayanıklı beton üretmek için düşük su/çimento oranının yanında puzolan kullanımının da gerekli olduğunu bildirmişlerdir. Bu deneysel çalışmada farklı oranlarda uçucu kül veya silis dumanı mineral katkıları içeren iki seri beton üretilmiştir. ‘Merkezi Kompozit Tasarım’ adındaki deneysel tasarım ve analiz yapan istatistiksel yöntem kullanılarak her seride tasarım parametrelerinden toplam bağlayıcı miktarı, su/bağlayıcı oranı ve puzolan/bağlayıcı oranı bağımsız değişken olarak seçilmiştir. Değişken sınırları puzolan özelliklerine ve betonları belirli bir kıvamda bulunması koşuluna göre belirlenmiştir. Her seride, kullanılan istatistiksel programın belirlediği 20 adet karışım hazırlanmıştır. Betonların basınç dayanımı ve klorür geçirimsizliğini ölçmek üzere alınan numunelerin yarısı laboratuvar ortamında havada diğer yarısı da kirece doygun su içerisinde 90 gün boyunca saklanmıştır. Basınç dayanımının yanında ASTM C1202 standardına uygun olarak hızlı klorür geçirimsizliği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm deney sonuçları varyans analizi ile değerlendirilmiş ve her iki kür koşulu için ölçülen beton özelliklerinin karışım parametreleri cinsinde ayrı ayrı modelleri belirlenmiştir. Betonun seçilen bileşim parametrelerinin (toplam bağlayıcı miktarı, su/bağlayıcı oranı ve puzolan/bağlayıcı oranı) basınç dayanımı ve klorür geçirimsizliği üzerine etkisi elde edilen istatistiksel modellere dayanılarak değerlendirilmiştir. Hızlı klorür geçirimsizliği deneyinin havada saklanan betonların karşılaştırılmasında kullanılabileceği ancak su kürü uygulamasında mineral katkılı betonlarla katkısız betonların karşılaştırılmasında hatalı sonuçlara neden olabileceği belirlenmiştir.

Koçak, (2011) Sürdürülebilir yapılar için dayanımın yanında dayanıklılık da çok önemlidir. Bu nedenle çimento ve beton teknolojisinde puzolanik malzemeler kullanılmaktadır. Bunlardan biri de uçucu küldür. Bu çalışmada, Seyitömer termik santrali uçucu külünün, çimentoda (PÇ 42,5 R) basınç dayanımı, priz süresi ve su ihtiyacına etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla uçucu kül, ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında Portland çimentosu yerine ikame edilmiştir. Uçucu külün, çimentonun basınç dayanımı, priz süresi ve su ihtiyacına olan etkileri standart çimento deneyleriyle tespit edilmiştir. Sonuç olarak, uçucu kül ikameli çimentoların su ihtiyacı ve priz süresinde, Portland çimentosuna göre doğrusal bir artış belirlenmiştir. Bunun yanı sıra 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında, Portland çimentosu harçlarına göre bir azalma olmuştur. Ancak bu azalmaya rağmen %10 ve %20 oranlarındaki uçucu kül ikameli çimento harçlarının basınç dayanımlarının standart değerler arasında olduğu belirlenmiştir.

Demir, (2009) Bu çalışmada çimento yerine aynı oranlarda Silis dumanı (SD ve uçucu kül (UK) ikameli betonun basınç ve yarmada – çekme dayanımlarına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla çalışmada Ankara Hasanoğlandan elde edilen kırmataş agrega ve CEM I 42,5 sınıfı çimento kullanılmıştır. Puzolonik katkı olarak %5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında SD ve UK çimento ile ağırlıkça yer değiştirilmiştir. Hazırlanan 7, 28 ve 90 günlük beton örneklerine basınç ve yarmada çekme deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre SD katkılı betonların her yaşta referans ve UK ikameli betonlara göre daha iyi basınç ve yarmada çekme dayanıma sahip oldukları görülmüştür. En iyi basınç ve yarmada çekme dayanımı ise her yaşta %20 SD ikameli betonlardan elde edilmiştir.

Yazan ve ark., (2005) Yaş karışım metodu kullanarak hazır beton üretmek, ekonomik ve teknik nedenlerle üretici tarafından tercih edilen bir yoldur. Belirli süre karıştırmadan sonra, hidrasyon ve buharlaşmaya bağlı taze betondaki kıvam kaybı bu metotta karşımıza çıkan en önemli sorunlardan biridir. Hazır betonda değişik mineral katkıların farklı oranlarda kullanılmasıyla, kıvam kaybına bağlı farklı sonuçlar elde edilmektedir. Yüksek sıcaklıkta yapılan bu çalışmada, hava sürüklenmiş betonun yapımında, Portland çimentosu ile çimentonun %25'i oranında

uçucu kül ve yüksek fırın cürufu, aynı miktardaki çimento ile yer değiştirilerek kullanılmış ve gerektiğinde farklı karıştırma sürelerinde süper akışkan-laştırıcıyla kıvam düzeltmesi işlemi yapılmıştır. Üretilen betonlar taze ve sertleşmiş haldeyken hava miktarı, basınç dayanımı gibi değişik özellikleri tespit edilmiştir. Sonuçta sıcak hava, koşullarında süper akışkanlaştırıcı kullanarak yapılan kıvam düzeltmesi işlemi dayanımlarda oldukça olumlu sonuçlar vermiştir. Bu metodun mineral katkılarla üretilen hazır betonun kıvam düzeltmesi işlemlerinde kullanılabilecek bir metot olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada elde edilen deneysel bulguların ve daha önce yapılmış çalışmaların ışığında mineral katkı olarak yüksek fırın cürufu ve uçucu külün kullanıldığı hava sürüklenmiş betonların sadece Portland çimentosu içeren hava sürüklenmiş betona göre, yüksek sıcaklıkta uzun süreli karıştırma işleminden daha az etkilendiği ve özellikle uçucu küllü betonun kıvam koruma konusunda daha verimli olduğu gözlenmiştir. Süper akışkanlaştırıcı ile kıvam düzeltme işleminin kıvam düzeltme açısından olduğu kadar, beton içerisindeki hava miktarını kontrol altına alma açısından da etkili bir yol olduğu ve ciddi dayanım kazanımlarına sebep olduğu çalışma sonunda ifade etmişlerdir.

Zingg ve ark., (2009) yürüttükleri parametrik çalışmada farklı C3A içerikli çimento hamurlarında iki tip karboksilat süperakışkanlaştırıcının performansını incelemişlerdir. Bu çalışma, PCE moleküllerinin azalan yan zincir yoğunluğu ile daha kuvvetli adsorbe ettiğini ve böylece bir çimento pastasının verim stresini sterik stabilizasyonla azalttığını göstermektedir. Ayrıca, uzun yan zincirli PCE moleküllerinin, çimento pastasının daha kısa yan zincirli PCE moleküllerine göre daha az uzamasını geciktirdiği de gösterilmiştir. Sonuç olarak, moleküler mimarinin optimizasyonu açısından, uzun yan zincirlere yüksek oranda yüklü PCE eklenerek iyi işlenebilirlik elde edilebilir. İkincisi, istenmeyen geciktirme fenomenini en aza indirdiğini bildirmişlerdir.

Ghezal ve ark., (2002) çalışmalarında, geleneksel betonda kullanılan Normal Portland Çimentoları KYB üretiminde de kullanılabilir olduğunu ancak bazı çimentolarla KYB üretimi daha başarılı olabildiğini vurgulamışlardır. TÇ 32,5 ve PÇ 32,5 çimentolarının kendiliğinden yerleşen beton katkılarının ilk kuşak türleri ile

uyumsuzluk gösterdiğini belirlemişlerdir. Ancak bu katkıları üzerinde çok hızlı gelişmeler gerçekleşmekte ve bu uyum sorununun giderilebileceğini süperakışkanlaştırıcı olarak yüksek oranda su kesici özelliğe sahip ve molekül ağırlığı optimize edilmiş bir kimyasal katkı ile kullanılabilir olduğunu ve bu amaçla polikarboksilat veya naftalin esaslı polimerler yaygın kullanılan katkıları olduğunu tespit etmişlerdir.

Chandra ve ark., (2002) yaptıkları çalışmada sonrasında deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların irdelenmesinde karşılaşılan sorunun, SA' ların kimyasal formları ve moleküler ağırlıkları hakkında yeterince bilginin bulunmayışını vurgulamışlardır.

Aitcin, (2011) deneysel çalışmalarında katkı akıcılığının (viskozitesinin) en genel anlamda, moleküler ağırlık hakkında fikir verebileceğini belirtmişlerdir. Dahası, katkının moleküler ağırlığının, katkının davranışını yönlendiren önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir.

Rixom ve ark., (1981) deneysel çalışmalarında lignosülfonat kökenli suni süperakışkanlaştırıcıların, betonun çökme miktarı ve su talebine olan etkisini araştırmışlardır. Lignosülfonatin moleküler ağırlığındaki artışın betonun işlenebilirliğini arttırdığını, başlangıç prizini geciktirdiğini ve 1 günlük basınç dayanımını az miktarda azalttığını tespit etmişlerdir.

Flatt ve ark., (2001) yaptıkları çalışmada, polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcıların imalatında sodyum ya da magnezyum kullanılmasının katkı davranışında değişiklik oluşturmadığını ürettikleri numunelerin deney sonuçları ile belirlemişlerdir. Ca ilaveli katkı kullanılan numunelerde ise yüksek viskozite ve yüksek çökme kaybı tespit etmişlerdir.

Perche, (2004) yaptığı çalışmada katkı ana zincirinin ve yan zincirlerinin uzun olmasının tutunmayı ve dolayısıyla akışkanlığı arttırdığını vurgulamıştır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, çimento katkı uyumuyla ilgili akışkanlaştırıcının kendisinden kaynaklanan faktörlerin sayısının çimentodan kaynaklanan faktörler yanında az olmadığı görülebilmektedir. Bu nedenle, katkı endüstrisi üreticilerinin, çimento ve katkı uyumu anlamında mümkün olduğunca çok deneysel çalışma

üzerinde yoğunlaşmaları ve uyumda etkili olan tüm faktörleri tek tek ele alarak ürün oluşturmaları gerektiği açıkça anlaşılmaktadır.

3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Portland Çimentosu

Çimento doğada bulunan kalker taşı ve killerin ısıtılmak sureti ile öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bir bağlayıcıdır. Beton karışımı içinde su ile reaksiyona girdiğinde sertleşerek beraberindeki agregaların dayanım özelliğinden de faydalanarak beton için bir bağlayıcı görevi görmektedir.

Bu çalışmada, Ünye Çimento Fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fabrikadan temin edilen fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Portland çimentosu fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal kompozisyon	(Ağırlıkça %)	Fiziksel ve mekanik özellikler			
SiO ₂	19.53	Özgül ağırlık, (g/cm ³)	3.12		
Al ₂ O ₃	5.33	Priz başlangıcı, (saat)	2.50		
Fe ₂ O ₃	3.56	Priz sonu, (saat)	4.15		
CaO	62.26	Hacim genişmesi, mm	2.00		
MgO	0.99	Özgül yüzey (Blaine) (cm ² /g)	3210		
SO ₃	3.02	Basınç dayanımları (MPa)	2 gün	7 gün	28 gün
Kızdırma kaybı	3.06	Elek üstü (%)	32.30	44.60	53.00
			45µm	90 µm	200 µm
			32.89	12.15	2.73

4.1.2 Marn

Çalışmada kullanılan marn malzemesi Sinop/Erfelek bölgesinden temin edilmiştir (Şekil 3.1). Kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.2’de verilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan kalsine edilmiş marn örnekleri

Çizelge 3.2 Marnın kimyasal kompozisyonu

Kimyasal kompozisyon	(Ağırlıkça %)	Fiziksel özellikler
SiO ₂	56.63	Özgül ağırlık, (g/cm ³) 2.70
Al ₂ O ₃	12.34	Blaine (cm ² /g) 4630
Fe ₂ O ₃	7.46	Elek üstü (%)
CaO	12.91	45 µm 21.36
MgO	2.83	90 µm 7.80
Kızdırma kaybı	7.03	200 µm 1.57

3.1.3 CEN Standart Kumu

Deney çalışmalarında harç yapımında kullanılan CEN standart kumu çimento ve/veya bağlayıcı malzemenin dayanımını ölçmek amacıyla kullanılır. Homojen, tercihen yuvarlak tanecikli ve silisyum dioksit miktarı en az %98 olan doğal silis kumu özelliğinde olmalıdır (Şekil 3.2). Limak Batı Çimento San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilen CEN Standart kumu TS EN 196-1 standartlarına uygundur. CEN kumunun tane büyüklüğü dağılım değerleri (granülometri) elek göz açıklığına göre (mm) 2.00, 1.60, 1.61, 1.62, 1.63, 1.64 için kümülatif elekte kalan (%)' si sırasıyla 0, 7±5, 33±5, 67±5, 87±5, 99±5 şeklindedir.



Şekil 3.2 CEN standart kumu

3.1.4 Karışım Suyu

Betonda kullanılacak su içilebilir nitelikte olmalıdır. TS 500'e göre karışım suyu asit özellikte olmamalı ($pH > 7$), sülfat etkisi oluşturmamalıdır. İçeriğindeki tuz miktarı harç, beton ve donatıyazarar vermeyecek miktarda olmalıdır. Su, çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak yağlayıcı etki oluşturmak ve bunun sonucunda betonun işlenebilir olma imkanı sağlar.

3.1.5 Süper Akışkanlaştırıcılar

Akışkanlaştırıcılar kağıt sektörünün yan ürünü olan lignosülfanatlardan imal edilirler. Süper akışkanlaştırıcıların imalinde sülfone naftalin formaldehit (SNF), sülfone melamin formaldehit (SMF) veya modifiye lignosülfonatlar (MLS) kullanılmaktadır. Yeni nesil süper akışkanlaştırıcı olarak da polikarboksilat esterler (PCE) kullanılmaktadır.

Deneysel çalışmalarda öğütülmüş doğal marn yer değişimi ile hazırlanan harç karışımlarında etkinliğini test etmek amacıyla TS EN 934-2 standardına uygun aynı firmanın polikarboksilat ester (PCE) tipinde (LEXP1172), naftalin formaldehid sülfonat (NS) tipinde (LEXP 1173) ve fonksiyonel karıştırılmış sentetik polimer,

modifiye polimer (MP) tipinde (LEXP 1174) olarak anılan farklı süper akışkanlaştırıcılar karışım suyuna %0.8 (düşük), %1.2 (orta) ve %1.5 (yüksek) oranlarında ilave edilerek kullanılmıştır (Şekil 3.3). Katkıların sırasıyla özgül ağırlıkları 1.05 gr/cm³, 1.12 gr/cm³ ve 1.14 gr/cm³ dür.

- LEXP1172

Polikarboksilat esaslı, yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı tipte bir beton kimyasal katkısıdır. Aynı kıvamdaki şahit betona göre daha az karışım suyu kullanılarak daha yüksek dayanımda beton üretimine imkân sağlar. Şahit betonuna kıyasla eşit su/çimento oranında optimum dozajda kullanımı daha yüksek işlenebilirlik elde edilmesini olanak verir. Yapısında bulunan polimer zincirlerinin çimento tanecikleri üzerine yapışarak oluşturduğu fiziksel etki (sterik itki) sayesinde çimento taneciklerinin daha homojen dağılımına neden olur. Çimento tasarrufu amaçlı beton tasarımlarına uygundur. Kimyasal katkısız şahit betonla aynı dayanım, işlenebilirlik ve durabilite seviyesinde fakat daha az çimento içeren daha ekonomik karışımlar tasarlanabilir. Bu şekilde tasarlanmış betonların daha düşük büzülme ve hidrasyon ısısı avantajlarından yararlanılabilir. Çimento taneciklerinin beton karışımında topaklanmasını azaltır ve işlenebilirliği artırır. Belirlenen hedef kıvam sınıfının daha düşük su/çimento oranıyla elde edilmesini sağlayarak dayanım ve durabiliteyi geliştirir.

- LEXP 1173

Belirli bir beton bileşiminde kıvamı değiştirmeden su miktarının yüksek oranda azalmasını sağlayan veya su miktarı değişmeden çökmeyi/yayılmayı arttıran veya her iki etkiyi birlikte yapan türde bir katkıdır. Yüksek işlenebilirlik ile yüksek erken ve nihai dayanımın birlikte gerektiği beton uygulamaları için geliştirilmiştir. Yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı/sertleşmeyi hızlandırıcı özellikte, naftalin sülfonat esaslı bir beton kimyasal katkısıdır. Bu katkı elektrostatik itki mekanizması ile çimento taneciklerinin daha homojen dağılımını sağlar.

- LEXP 1174

Betonun işlenebilirliğini iyileştirmek ve yerine koymayı kolaylaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Kullanım dozajına göre hem normal hem de süper akışkanlaştırıcılara benzer performans gösterebilen orta akışkanlaştırıcı grupta, modifiye polimer esaslı bir kimyasal beton katkısıdır.



Şekil 3.3 Çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcılar

3.2 Yöntem

Bu çalışmada; Sinop/Erfelek rezervinden temin edilen doğal marn kullanılarak kalsinasyon sıcaklıkları (600 °C ve 800°C) ve farklı oranlarda (%0, %10, %30 ve %50) yer değiştirmeli katkıli çimentolar ve harç numunelerden oluşan deney serileri oluşturulmuştur. Bu deney serilerinin numuneleri üzerinde çimentolar için fiziksel özellikler, priz, su talebi ve genleşme ile harçlar için dayanıma yönelik bir takım standart deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, deney serileri içinde öncelikle kendi aralarında daha sonra birbirleriyle olmak üzere karşılaştırılmıştır. Deneyler Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Yapı ve Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Puzolan olarak kullanılan malzemelerin özgül yüzeyleri (Blaine), özgül ağırlıkları, kimyasal bileşimleri ve mineralojik yapıları, puzolanik aktivite üzerinde önemli bir

etkiye sahiptir. Çalışmada kullanılan doğal marnın puzolanik aktivitesine etki eden bu parametrelerin belirlenmesinde, aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır. Öncelikle doğal marnın özgül ağırlığı TS EN 197-1'e göre, özgül yüzeyi (Blaine) ise TS EN 196-6 (TSE, 2010)'ya göre belirlenmiştir. Doğal marnın kimyasal bileşimini belirlemek için X-Rays Fluorescence Spectrometer (XRF) analizi yapılmıştır. Doğal marnın mineralojik analizi polarizan mikroskop ile belirlenmiştir.

3.2.1 Puzolanik Aktivite Deneyleri ve Numunelerin Hazırlanışı

Çimentoya belirli oranlarda yer değiştirme malzemesi olarak ilave edilen puzolanların kullanımı sürdürülebilirlik çalışmalarındaki en kolay çözüm olmaktadır. Bu çözüm, azalan Portland çimentosu miktarı sayesinde daha az enerji tüketimi ve daha az CO₂ emisyonları anlamına gelmektedir. Böylece daha çevreci, enerji tasarruflu, ekonomik ve sürdürülebilir çimento üretimleri mümkün olabilmektedir. Aynı zamanda aktivitesi yüksek puzolanlar optimum oranlarla çimento üretimlerine dahil edildiklerinde çimentonun mekanik dayanımları, priz süreleri, hidrasyon ısısı gibi özellikler üzerinde olumlu yönde değişiklikler yapabilmektedir. Puzolan katkılı çimento kullanımıyla üretilen nihai ürün olan ve amaca uygun tasarlanan harç ve betonların performansları da iyileşmektedir. Böylelikle geleneksel Portland çimentosu katkı özellikleri sayesinde “akıllı çimento” etiketine de sahip olabilmektedir.

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya bağlayıcılık değeri çok az olan, fakat ince taneli durumdayken sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık gösterebilme özelliği kazanan silisli veya silikalı ve alüminalı malzemeler olarak tanımlanırlar. Puzolanik aktivite ise, puzolanın içindeki aktif silisin Ca(OH)₂ ve su ile reaksiyona girebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bu reaksiyon ile puzolan sayesinde yeni CSH jellerinin oluşmasına bağlı dayanım artışı meydana gelmektedir. (Erdoğan, 2013). Diğer bir deyişle, bu reaksiyon sonunda portlandit (Ca(OH)₂) miktarı azalır, kalsiyum hidrat (CSH) miktarı artar (Massazza 1993). Puzolanik aktiviteyi belirlemek için kimyasal ve mekanik çeşitli deneyler standartlarda ASTM C311, (2005), TS 25, (2008) yer almaktadır. Kimyasal deneylerle, silis ve Ca(OH)₂ kalitatif ve kantitatif olarak

belirlenir. Mekanik deneylerde ise, kireç veya çimento ile karıştırılan puzolanlarla üretilen harçların eğilme ve basınç dayanımları saptanarak puzolanların aktif silise sahip olup olmadığı saptanır (Kılınçkale, 1996).

Doğal marnın puzolanik aktivitelerini belirleme yöntemi, TS 25'e göre, kireç-puzolan harçların basınç dayanımları ile belirlenen mekanik deney yöntemidir. Puzolanik aktivite üzerine gerçekleştirilen deneylerde, üç adet numune hazırlamak için gereken malzeme miktarı Çizelge 3.3' de verilmektedir. Hazırlanan numunelere ait kalıpların üstü, buharlaşmayı önleyecek şekilde cam plaka ile kapatılmıştır. Numuneler 24 saat $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 'lik oda sıcaklığında bekletildikten sonra kalıplar sökülmeden $(55 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki bir etüv içinde 6 gün daha bekletilmiştir. Numuneler etüvden çıkartılarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmış ve TS EN 196-1 (TSE, 2016)'ya göre basınç dayanımı tayini deneyine tabi tutulmuştur.

Çizelge 3.3 Puzolanik aktivite deneyleri için malzeme miktarları

Malzemeler	TS 25	Miktarlar
Sönmüş kireç (CaOH_2)	150g	150g
Puzolan	$2 \times 150 \times (\text{puzolanın öz. ağı.} / \text{CaOH}_2)'\text{in öz. ağı.}$ (g)	$2 \times 150 \times (2.7/2.15) = 376.74\text{g}$
Standard kum	1350g	1350g
Su	$0.5 \times (150 + \text{puzolan})$ (g)	$0.5 \times (150 + 376.74) =$ 263.372g

3.2.2 Doğal Marnın Kalsinasyonu

Puzolanik aktiviteye sahip olmayan killer, 500°C den 800°C 'ye değişen sıcaklıklarda yandıktan sonra aktif hale gelirler. Bu amaçla kil, saf ise; 600°C - 700°C 'ye kadar, marn ihtiva ediyorsa; 800°C 'ye kadar ısıtılır. Malzemelerde orijinal kristal yapının tamamen bozulması istendiği zaman, yanma sıcaklığı, kullanılan maddeye göre dikkatle seçilmelidir. Aynı zamanda, silisin ve alüminyum oksitlerinin birbirleriyle reaksiyona girip termodinamik olarak daha kararlı bileşikler (tridimit-müllit) oluşturmaları ve dolayısıyla kirece karşı çok az ya da hiç reaksiyon gösteremez hale gelmeleri engellenmelidir (Daştan, 2005). Bu gibi bilgiler ışığında, kalsinasyon sıcaklığının belirlenebilmesi için marnın TGA'sı yapılmıştır.

3.2.3 Kalsine Marn Katkılı Çimento Numunelerin Hazırlanışı ve DeneYleri

Farklı sıcaklıklarda (600°C ve 800°C) kalsine edilen marn ve farklı (%0, %10, %30 ve %50) oranlarda portland çimentosu ile yer değiştirilerek elde edilen katkı çimento numuneleri üzerinde, normal kıvam suyu ihtiyacı, priz süreleri vikat cihazı (Şekil 3.4) ile ve hacim sabitliği deneyleri ise Le Chatelier deney seti (Şekil 3.5), TS EN 196-3 (TSE, 2017) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri PÇ, M610, M630, M650, M810, M830 ve M850 etiket isimleriyle toplam 7 seri olmak üzere üretilmişlerdir.



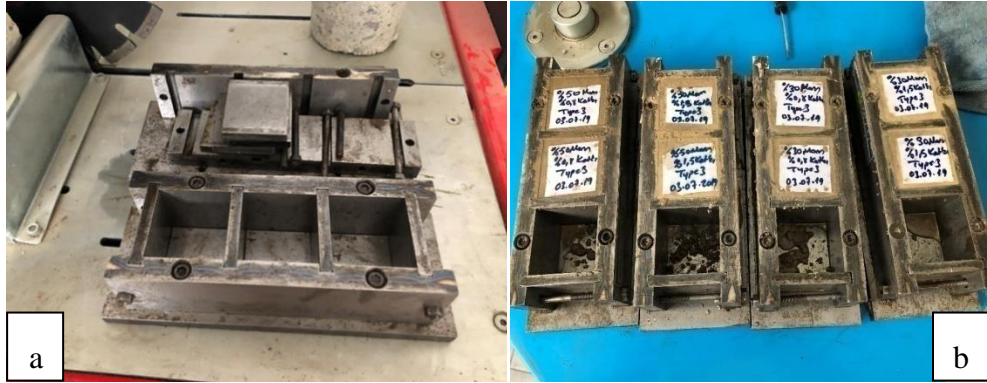
Şekil 3.4. Vikat cihazı



Şekil 3.5 Le Chatelier deney seti

3.2.4 Kalsine Marn Katkılı Çimento İçeren Harçların Hazırlanışı Basınç Dayanımı Deneyleri

Harç numuneler, sıcaklığı $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve rölatif nemi $\%60\pm 5$ olan laboratuvar şartlarında $50\times 50\times 50\text{mm}$ küp numuneler ile 40 deney serisi olarak üretilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Numune kalıpları (50 x 50 x 50 mm)(a,b)

Çimento harç numunelerin su emme oranları, özgül ağırlıkları, basınç dayanımları, ultrases geçiş hızları belirlenmesi amaçlanmaktadır. Marnın kalsinasyon sıcaklıkları, 600°C ve 800°C 'dir. Marnın Portland çimentosu ile yer değiştirme oranları ise $\%0$, $\%10$, $\%30$ ve $\%50$ 'dir. Harç karışımlarının su/bağlayıcı oranı 0.5, kum/bağlayıcı oranı 3.0 ve Süper akışkanlaştırıcı oranları ise $\%0.8$, $\%1.2$ ve $\%1.5$ ' tur.

Numunelerin üst yüzeyi mala ile düzeltilerek numunelerin karıştırılmaması için isimlendirmeleri yapılmıştır. Üretimlerinden 24 saat sonra kalıplarından çıkartılan numuneler, sıcaklığı $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ olan kür tankında 28 gün bekletilmişlerdir (Şekil 3.7). Numuneler kırılmadan önce ultrasonik ses geçiş hızı (m/sn) Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) ölçülmüştür (Şekil 3.8). Ardından, numunelerin basınç dayanımı deneyleri, TS EN 196-1'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

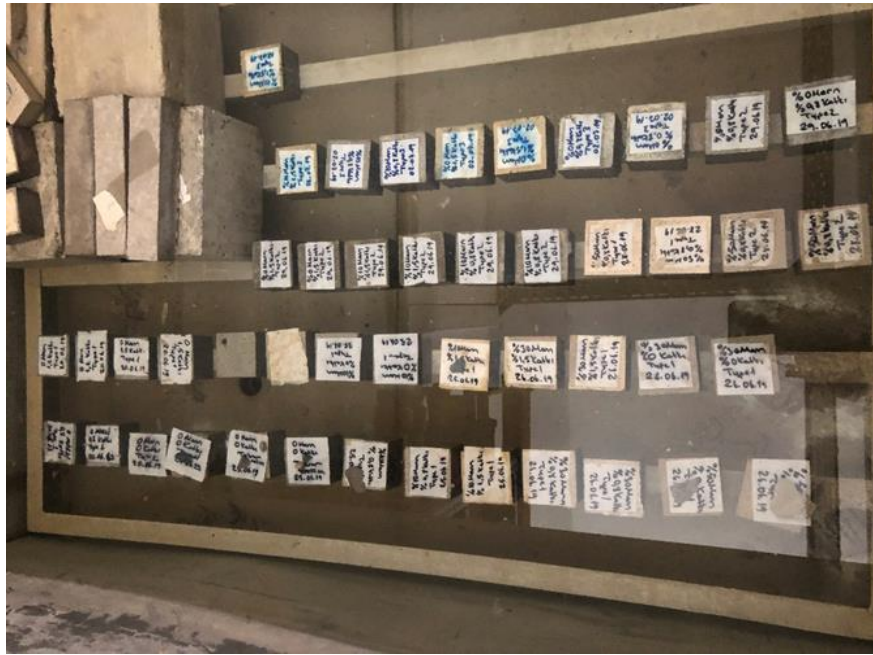
Burada kısaca UPV yöntemi hakkında bilgi verilecektir. Betonarme elemanların dayanımları tarihsel olarak daima silindirik ve kübik beton numunelerin laboratuvarda kırılması yolu ile tayin edilmeye çalışılmıştır. Halbuki, ultrases dalga yayılma hızını tahribat yapmaksızın ölçerek, betonun karakteristik basınç dayanımını güvenilir bir hassasiyetle tayin etmek mümkündür. Tahribatsız deneyler için standartlar, ilk olarak 1920' lerde U.S. Army ve Navy tarafından yapılmıştır. ASTM Tahribatsız Deney Komisyonu 1938'de kurulmuş ve 1975 yılına kadar kırk yedi tahribatsız deney standardı oluşturulmuştur. 1930'lu yılların başlarında laboratuvar test örneklerini kullanarak titreşim yöntemlerini önermişlerdir.

Bu cihaz tahribatsız deney yöntemi olup doğal afetlere karşı ya da depremde hasar gören yapıların onarım ve güçlendirmesinde, yapıdaki gerçek malzeme niteliğinin belirlenmesinde, yapının taşıyıcı sistemine zarar vermeden (Tahribatsız Deney) yapıda kullanılan betonun dayanımını ve benzer özelliklerini belirlemek için kullanılır. Bu yöntemle amacımız hem zamandan kazanmak hem de deneyi ekonomik hale getirmektir. Ultrasonik yöntem ile yapılan deney yerleri ve amaçları, İnşaatın yerinde kalite ve kontrolü, Malzemenin kabul edilebilirliği hakkında belirsizlikleri ortadan kaldırmak, Beton imalatında çalışan işçilerin yaptıkları işlere yönelik kuşku ortadan kaldırılması, Çatlakların derinliklerini ve yerlerinin belirlenmesi, Malzeme yaşının belirlenmesi, Malzemenin gözenek ve kılcal çatlakların belirlenmesi, Beton homojenliğinin belirlenmesi, Güçlendirmenin konumu, niteliği ya da koşullarının belirlenmesi, Aşırı yükleme, kırık, dış ya da içsel kimyasal saldırı ya da değişimi, çevresel etkilerin neden olduğu betonun bozulmasının test edilmesi ve konumunun belirlenmesi, Betonun potansiyel durabilitesinin (dayanıklılığının) belirlenmesi, İnşaatın sigortası ya da sahibinin

değişmesi durumunda yapının kullanımı hakkında bilgi sağlanması şeklinde sınıflandırılabilir. Bu cihazın bilimsel temeli aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Malzeme içine gönderilen yüksek frekanslı ses dalgaları ses yolu üzerinde bir engele çarparsa yansır. Çarpma açısına bağlı olarak yansıyan sinyal alıcı problara gelebilir veya gelmeyebilir. Alıcı problara ulaşan yansıyan sinyal ultrasonik muayene cihazının ekranında bir yankı belirtisi oluşturur. Yankının konumuna göre yansıtıcının muayene parçası içerisindeki koordinatları hesaplanır. Ayrıca yankının yüksekliği de yansıtıcının büyüklüğü hakkında fikir verir.

Muayene parçasında ses hızı ve ses zayıflatması özelliklerinin bölgesel olarak güçlü değişimler göstermesi durumunda doğru değerlendirme yapmak güçleşir. İri tane yapısı veya soğurma (ışınların madde üzerine tutularak ısıya dönüşme işlemi) nedeniyle ses zayıflatmasının çok fazla olduğu malzemelerde muayene bazen imkansız olabilir. Sıcak muayene yüzeyleri için özel olarak tasarlanmış problar kullanılmalıdır. Muayene için ulaşılabilir durumda yeterince geniş bir yüzey hazırlanmalıdır.



Şekil 3.7 Numunelerin kürü için kullanılan kür tankı



Şekil 3.8 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) cihazı

Belirli oranlarda kalsine marn yer değiştirmeli harç numunelerinin deney serilerinin üretim planı Çizelge 3.4’de verildiği şekilde yapılmıştır.

Çizelge 3.4 Çimento harç numunelerinin deney serileri üretim planlaması

Harç Numunesi	Açıklama ve İçerik
M0 M0PCE 0.8, 1.2, 1.5 M0NS 0.8, 1.2, 1.5 M0MP 0.8, 1.2, 1.5	%0 marn, %0.8-1.2-1.5 süper akışkanlaştırıcılar PCE; Polikarboksilat ester NS; Naftalin sülfonat MP; Modifiye polimer
M10 M10PCE 0.8, 1.2, 1.5 M10NS 0.8, 1.2, 1.5 M10MP 0.8, 1.2, 1.5	%10 marn, %0.8-1.2-1.5 süper akışkanlaştırıcılar PCE; Polikarboksilat ester NS; Naftalin sülfonat MP; Modifiye polimer
M30 M30PCE 0.8, 1.2, 1.5 M30NS 0.8, 1.2, 1.5 M30MP 0.8, 1.2, 1.5	%30 marn, %0.8-1.2-1.5 süper akışkanlaştırıcılar PCE; Polikarboksilat ester NS; Naftalin sülfonat MP; Modifiye polimer
M50 M50PCE 0.8, 1.2, 1.5 M50NS 0.8, 1.2, 1.5 M50MP 0.8, 1.2, 1.5	%50 marn, %0.8-1.2-1.5 süper akışkanlaştırıcılar PCE; Polikarboksilat ester NS; Naftalin sülfonat MP; Modifiye polimer

Çimento harç numunelerinin üretimleri için karışım hesabı sonrasındaki karışım miktarları Çizelge 3.5’ te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Harç karışım miktarları

Harç Karışımları	M0	M10	M30	M50
Portland Çimentosu, kg/m ³	350	315	245	175
Öğütülmüş Zeolit, kg/m ³	-	35	105	175
Su, kg/m ³	175	175	175	175
Su / Çimento Oranı	0.5	0.5	0.5	0.5
Standart Kum, kg/m ³	1350	1350	1350	1350
Akışkanlaştırıcı, kg/m ³	-	-	-	-
	2.8	2.8	2.8	2.8
	4.2	4.2	4.2	4.2
	5.25	5.25	5.25	5.25

TS EN 196-1 standardında belirtilen deneylerde kullanılmak üzere Çizelge 3.5’da yer alan malzemeler belirtilen oranlarda tartılarak (Şekil 3.9) toplam 350 g bağlayıcı malzeme (PÇ+öğütülmüş doğal zeolit), 1350 g CEN standart kumu, 175 ml su ve harcın işlenebilirliğinin sağlanması amacıyla değişken oranlarda kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılarak oluşturulan karışım karıştırıcı (Şekil 3.10) ile hamur kıvamına getirilmek sureti ile karıştırılmıştır.

TS EN 196-1 standardında belirtildiği üzere su ve çimento karıştırma kabına çimento ve su kaybından kaçınılarak konur. 30 saniyelik karıştırmanın ardından kumun tamamı kesintisiz olarak 30 saniye içinde kaba ilave edilir. Karıştırıcı yüksek hıza getirilir ve karıştırmaya bu hızla 30 saniye daha devam edilir. Ardından karıştırıcı durdurulur ve 90 saniye beklenir. Bu sürenin ilk 30 saniyelik kısmında, kabın çeperlerine ve tabanına yapışan harç lastik veya plastik sıyrıcı ile sıyrılıp kabın ortasında toplanır. Karıştırmaya 60 saniye daha yüksek hızda devam edilir.



Şekil 3.9 Hassas terazi



Şekil 3.10 Çimento harç karıştırıcı

homojen olarak üretilen harç numunesi Şekil 3.6'de gösterilen daha önce yağlanan kalıplara yerleştirildi. Numuneler sarsma tablası yardımıyla yerleştirildiler (Şekil 3.11). Harcın kalıplara yerleştirilmesi esnasında kalıp harç doldurma başlığı sarma tablasına sıkıca tutturulur. Har, her bir kalıp bölümüne iki tabaka (her tabaka yaklaşık 300 g.) halinde doldurulur. Birinci tabaka harç, karıştırma kabından, uygun bir kepçe kullanılarak bir veya daha fazla kademe kalıbın her bölümüne aktararak oluşturulur.



Şekil 3.11 Numunelerin yerleştirilmesinde kullanılan sarsma tablası

Taze harç üzerinde gerçekleştirilen mini çökme deneyi ile işlenebilirliğinin saptanması amaçlanmıştır (Şekil 3.12). Hazırlanan karışımların mini çökme deneyi TS EN12350-2 standartlarına uygun gerçekleştirilmiştir. Deneyde üst çapı 7 cm, alt çapı 10 cm ve yüksekliği 6 cm olan kesik koni kullanılmıştır.



Şekil 3.12 Mini çökme deney seti

Koni içine eşit yükseklikte 3 tabaka halinde harç doldurulmuştur. Her tabaka doldurulduktan sonra 25 defa çelik çubuk ile şişlenmiştir. Bu işlemle malzemenin yerleşmesi sağlanmaktadır. Koni tamamen doldurulduktan sonra mala ile tesviyesi yapılır ve doldurulan harç sarsılmadan kesik koni düşey şekilde dik olarak yukarı çekilir. Çökme miktarının fazla olması harcın kendi ağırlığı altındaki hareket etme özelliğinin büyük olduğunu göstermektedir. Bu bakımdan çökme miktarı ne kadar fazlaysa işlenebilme özelliği derecesi o kadar fazladır.

3.2.5 Özgül Ağırlık ve Basınç Dayanımı Deneyi

Kalıplarından çıkarılan harç numuneleri 28 gün suda kürlendikten sonra suya doymun kuru yüzeyli özgül ağırlıkları tespit etmek için Şekil 3.13’de gösterilen özgül ağırlık sehpası kullanılmıştır. Ardından tek eksenli basınç deneyi Şekil 3.14 deki gibi kırılmıştır.



Şekil 3.13 Özgül ağırlık sehpası



Şekil 3.14 Numunelerin basınç deneyi

3.2.6 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan ultrases deneyinde, küp numunelerin iki yüzeyi arasına konulan problar aracılığıyla ultrases akımı verilerek geçiş süresinin mikro saniye olarak ultrases ölçüm cihazı ile ölçümü esas alınır. Şekil 3.15 de gösterilen bu ölçüm ASTM C 597 standardı doğrultusunda yapılır.



Şekil 3.15 Ultrases geçiş hızı ölçümü

4.1 BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Portland Çimentosu, Marn, Katkılı Çimentoların Bazı Özellikleri

Portland çimentosu, marn ve katkılı çimentoların bazı özellikleri Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te verilmektedir. Marnın özgül ağırlığı, Portland çimentosundan %13.46 daha düşüktür. Marnın özgül yüzeyi, Portland çimentosundan %44.24 daha yüksektir. Bu durum, marnın mineral yapısı, boşluk durumu ve kırılabilirliğine bağlıdır. Portland çimentosu ve marnın 45 µm elekten kümülatif geçen yüzdesi, sırasıyla %67.11 ve %78.64'dir. Katkılı çimentoların özgül ağırlığı, marn oranının artmasıyla azalmaktadır. Marn içeren katkılı çimentoların inceliği ise marn oranının artmasıyla yükselmektedir.

Çalışmada dikkate alınan kalsine marn katkılı çimentoların normal kıvam suyu ihtiyaçları, içeriklerindeki katkı miktarıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Kalsine marn içeren katkılı çimentolarda, Portland çimento hidratlarının daha fazla yüzey alanı bulması ve karışım suyunun bir kısmının zamanla kalsine marn tarafından emilmesi sebebiyle, priz süreleri Portland çimentosuna oranla bir miktar daha kısalmıştır. Katkı oranı arttıkça hacim genişmesi değerleri artmıştır. İncelenen kalsine marn katkılı çimentoların priz süreleri ve hacim sabitliği değerlerindeki değişim sonuçları, beklenen bir durum olmakla beraber TS EN 197-1'deki limit değerler ile uyumludur.

Doğal marnın TGA grafiği Şekil 4.1'de verilmektedir. Şekil 4.1'den görüldüğü gibi, marn malzemesinde bozulmamış kalsiyum karbonatların büyük bir bölümünde, ayrışmanın olduğu eğrinin oldukça düzgün dağılımlı sonuçlandığı görülmektedir. Bu durum, doğal marn içindeki kalsiyum karbonatın 800°C' de CO₂'in kısmi basıncının bir fonksiyonu olarak meydana gelmiştir. Bunun da; puzolanik aktiviteye ve dolayısıyla da harç numunelerin dayanım değerlerine olumlu etki yapacağı kanaati oluşmaktadır. Kalsinasyon işlemlerinde, karbon elementinin ağırlıkça yüzdesi doğal marn element spektrumunda %8.64 iken 600°C için %8.02 ve 800°C için ise %0 olarak belirlenmiştir. Bunun anlamı kalsinasyon sonrasında CO₂ tamamen karbonatdan uzaklaştırılmıştır.

Çizelge 4.1 Portland çimentosu özellikleri (PÇ)

Kimyasal kompozisyon	(Ağırlıkça %)	Fiziksel ve mekanik özellikler		
SiO ₂	19.53	Özgül ağırlık, (g/cm ³)	3.12	
Al ₂ O ₃	5.33	Priz başlangıcı, (saat)	2.50	
Fe ₂ O ₃	3.56	Priz sonu, (saat)	4.15	
CaO	62.26	Hacim genişmesi, mm	2.00	
MgO	0.99	Özgül yüzey (Blaine)	3210	
SO ₃	3.02	(cm ² /g)	3210	
Kızdırma kaybı	3.06	Basınç dayanımları	2 gün	7 gün
		(MPa)	32.30	44.60
		Elek üstü	45µm	90 µm
		(%)	32.89	12.15
				28 gün
				53.00
				200 µm
				2.73

Çizelge 4.2 Doğal marnın özellikleri

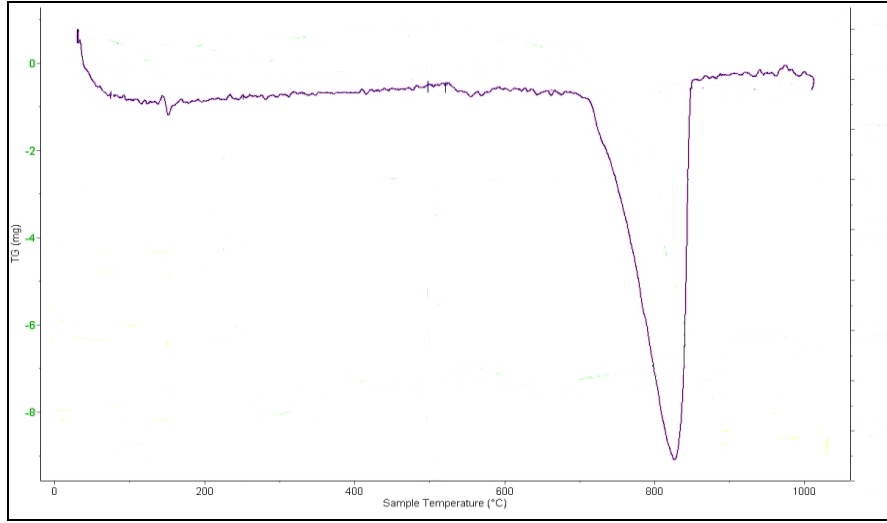
Kimyasal kompozisyon	(Ağırlıkça .%)	Fiziksel özellikler	
SiO ₂	56.63	Özgül ağırlık, (g/cm ³)	2.70
Al ₂ O ₃	12.34	Blaine (cm ² /g)	4630
Fe ₂ O ₃	7.46	Elek üstü (%)	
CaO	12.91	45µm	21.36
MgO	2.83	90 µm	7.80
Kızdırma kaybı	7.03	200 µm	1.57

Çizelge 4.3 Marn katkılı çimentoların özellikleri

Fiziksel özellikler	PC	M10	M30	M50
Özgül yüzey (cm ² /g) (Blaine inceliği)	3210	3305	3610	3990
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.12	2.95	2.82	2.76

Çizelge 4.4 Marn katkılı çimentoların normal kıvam suyu, priz süreleri ve hacim genişmesi

Çimento	Su/bağlayıcı oranı	İlk Priz (dk)	Son Priz (dk)	Hacim Genleşmesi (mm)
Standard limitleri	-	>45	>75	≤10
PC	0.30	170	255	2.00
M610	0.36	150	243	3.00
M630	0.39	160	251	4.50
M650	0.43	162	254	5.00
M810	0.38	153	238	3.50
M830	0.41	155	245	4.00
M850	0.45	165	252	5.50



Şekil 4.1. Doğal marn için termogravimetrik analiz (TGA) grafiği

4.2 Kalsine Marnın Puzolanik Aktivitesi

Kalsine marnın puzolanik aktivite değerleri, Çizelge 4.5'te verilmektedir. Çizelgeye göre, TS 25'de, puzolanlar için uygunluk kriterlerinden biri, kireç-doğal puzolan karışımı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük basınç dayanımının en az 4 MPa olmasıdır (Akgün, 2017). Farklı sıcaklıklarda kalsine edilen marn için gerçekleştirilen deneylerde, ortalama basınç dayanımı değerleri 0°C için 0 MPa (kalsine edilmeyen marn numunesi, neredeyse hiç yük almadan kırılmıştır), 600°C için 3.80 MPa ve 800°C için 8.10 MPa'dır. TS 25'te diğer bir uygunluk kriteri, puzolanın $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplam içerikleri en az %70 olmalıdır. Bu toplam değer, doğal marn için %76.43'tür. Aynı zamanda, puzolanın özgül yüzeyi, $3000\text{cm}^2/\text{g}$ 'den daha fazla olmalıdır (Akgün ve ark., 2017). Bu çalışmadaki marn için Blaine özgül yüzeyi, $4630\text{ cm}^2/\text{g}$ olarak tespit edilmiştir. Doğal marnın özgül yüzeyinin Portland çimentosundan daha ince olmasının puzolanik aktivite değerini yükselttiği düşünülmektedir. Kalsinasyon sıcaklığı, özgül yüzey ve $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ içeriğinin bir etkisi olarak 800°C'de kalsine edilen marnın puzolanik aktivitesi, TS 25'te istenilen değer iki katından daha fazladır. Bu artış, 800°C'de karbonatların ayrışması ile açıklanabilmektedir. Ayrışma, yaklaşık

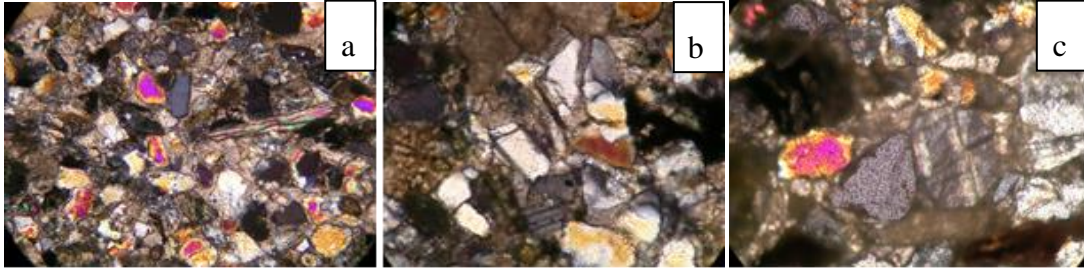
600°C’de başlar ve 800°C’de optimum değerini alır. Bunlar, çalışmada kullanılan marnın, puzolan olarak kullanılabilirlik potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.5 Doğal marnın puzolanik aktivitesi

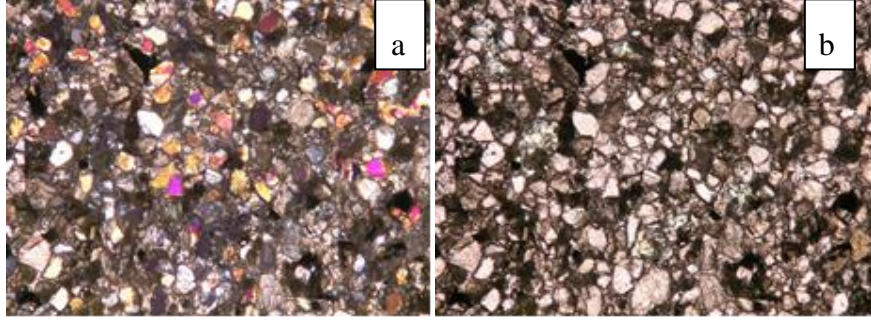
TS 25 limit değerleri	Doğal marn
Kireç-puzolan karışımı, 7 günlük basınç dayanımı > 4MPa	8.10MPa
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ ağırlıkça içerik >%70	%76.43
Özgül yüzey alanı > 3000cm ² /g	4630 cm ² /g

4.3 Marnın mineralojik yapısı

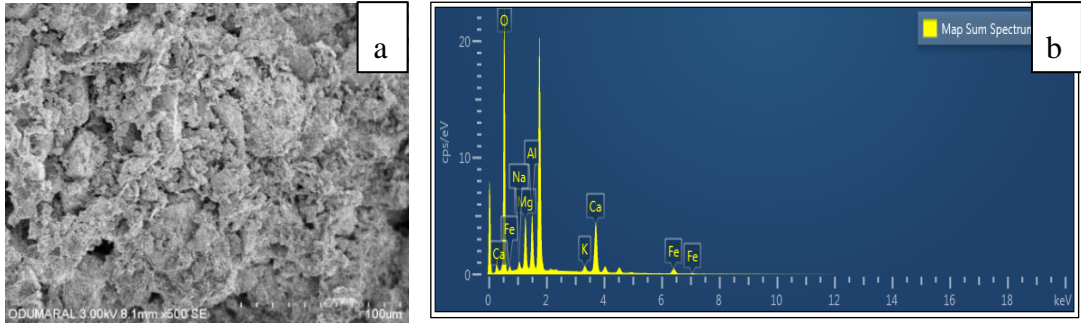
Marn numunesi üzerinde gerçekleştirilen mineralojik analizlerden elde edilen sonuçlara göre, kayacın doğal çimentosu kalsittir. Kuvars (SiO₂): %12. Feldspat (K, Na) (AlSi₃O₈): %4. Plajiyoklas: Na (AlSi₃O₈)-Ca (Al₂Si₂O₈): %46 kayaçta en çok bulunan mineraldir. Piroksen (Mg, Fe, Al) (Ca, Na) Si₂O₆: %12. Biyotit (Mg, Fe, Al, Ti)₂ (Si₆ Al₃O)₂₀(OH)₄: %2. Manyetit (Fe₃O₄): %3. Kalsit (CaCO₃): %17. Yabancı kayaç kırıntıları (kireçtaşı, kuvarsit ve bazalt): %4. Marn kayaç numunesinin Polarizan mikroskoptan alınan görüntüleri ve SEM fotoları ile element grafikleri Şekil 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6’te verilmektedir.



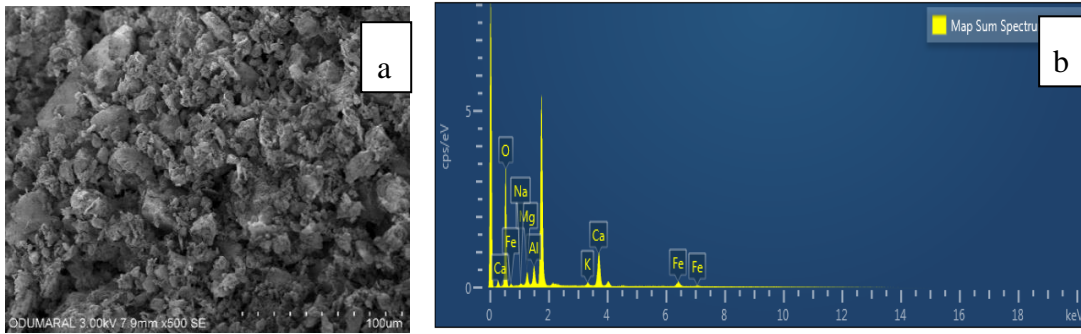
Şekil 4.2 Doğal marnın Polarizan mikroskop fotoğrafları (a) (1cm=100µ), (b and c) (1cm=300µ)



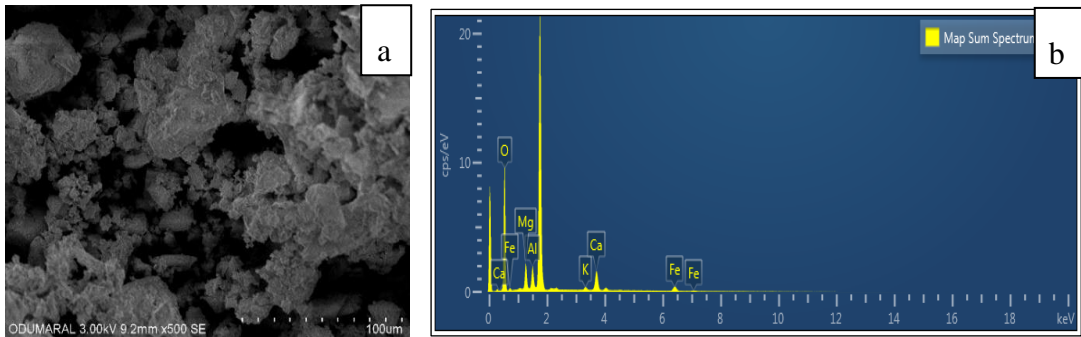
Şekil 4.3 Doğal marnın geniş alan çift ve tek nikolde çekilmiş mikro fotoğrafları (1cm=80µ) (a,b)



Şekil 4.4 Doğal marnın SEM fotoğrafı (a) ve element spektrumu (b) (0°C)



Şekil 4.5 Kalsine marnın SEM fotoğrafı (a) ve element spektrumu (b) (600°C)



Şekil 4.6 Kalsine marnın SEM fotoğrafı (a) ve element spektrumu (b) (800°C)

4.4 Harçların özgül ağırlıkları ve basınç dayanımları

Kalsine marn katkılı çimento içeren harçların doygun kuru yüzeyli (DKY) 28 günlük ortalama özgül ağırlıkları, Çizelge 4.6' da verilmektedir. Harçların yerdeğiştirme, katkı tipi ve oranlarına göre ortalama basınç dayanımlarının değişimleri ise Şekil 4.7'da verilmektedir. Harçların yerdeğiştirme, katkı tipi ve oranlarına göre ortalama doygun kuru yüzeyli (DKY) değişimleri ise Şekil 4.8'de verilmektedir. Değişim grafikleri incelendiğinde, kalsine marn katkılı çimento içeren harçların basınç dayanımları, puzolanik aktivitenin artmasıyla %30 yer değiştirme oranına kadar mineral katkısız harçlara göre iyileşmektedir. DKY değişimleri ise basınç dayanımlarını destekler niteliktedir. Şekil 4.7'dan görüldüğü gibi hem marn içermeyen harca göre hem de NS ve MP katkılı harçlara göre daha yüksek basınç dayanımı sağlaması açısından en uygun süper akışkanlaştırıcının PCE katkısı olduğu görülmektedir. Aynı şekilde, tüm katkı oranlarındaki PCE katkısının kullanıldığı harçların dayanımı da marn içermeyen harç numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır. Dayanımdaki bu artış %0.8 ve %1.2 oranları için daha belirgindir. PCE nin %1.5 oranında bir miktar düşüş görülmektedir. PCE katkı tüm marn katkı oranlarında aynı eğilimi göstermiştir. Bunun nedeni, üretimlerde gözlenen %1.5 PCE katkılı marn ilaveli harçların su kasma ve ayrışma meydana getirmiş olması şeklinde açıklanabilir. Nihai olarak, kalsine marnın CEM I 42.5R tip çimento ile yer değiştirilerek kullanıldığı harç numunelerin çökme, özgül ağırlık, ultrasonik ses geçiş hızı ve dayanım özellikleri, çimento-kalsine marn-akışkanlaştırıcı uyumu açısından kullanılan süper akışkanlaştırıcının menşesine göre değişkenlik göstermektedir. Buna göre, polikarboksilat esaslı (PCE) süper akışkanlaştırıcı katkının NS ve MP süper akışkanlaştırıcılara göre bu çalışma şartlarındaki marn içeren katkılı çimento için daha etkin olduğunu söylemek mümkündür.

Çizelge 4.6 Harç karışımlarının bileşen miktarları ve özgül ağırlıkları

Üretim No	Katkı Tipi	Katkı (%)	Marn (%)	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Kum (kg/m ³)	DKY (kg/m ³)
1	-	0	0	350	175	1350	2200
2	PCE	0.8					2220
3		1.2					2270
4		1.5					2280
5	NS	0.8					2255
6		1.2					2272
7		1.5					2240
8	MP	0.8					2242
9		1.2					2250
10		1.5					2260
11	-	0	10	315	175	1350	2225
12	PCE	0.8					2250
13		1.2					2290
14		1.5					2245
15	NS	0.8					2269
16		1.2					2280
17		1.5					2285
18	MP	0.8					2268
19		1.2					2264
20		1.5					2282
21	-	0	30	245	175	1350	2240
22	PCE	0.8					2260
23		1.2					2300
24		1.5					2275
25	NS	0.8					2280
26		1.2					2290
27		1.5					2290
28	MP	0.8					2280
29		1.2					2270
30		1.5					2290
31	-	0	50	175	175	1350	2150
32	PCE	0.8					2140
33		1.2					2130
34		1.5					2120
35	NS	0.8					2150
36		1.2					2130
37		1.5					2120
38	MP	0.8					2160
39		1.2					2150
40		1.5					2140

4.5 Ultrasonik Ses Geçiş Hızı

Harç numunelere ait yerdeğiştirme, katkı tipi ve oranlarına göre ultrasonik ses geçiş hızı deney sonuçları Şekil 4.9 da verilmektedir. Deney sonuçları incelendiğinde harç numunelerin içyapı değişimlerinin basınç dayanımı deney sonuçlarını destekler niteliktedir. Literatür çalışmalarıyla karşılaştırıldığında, beklenen bu durumun deney

programının başarılı bir şekilde yürütüldüğünün de bir göstergesi olarak yorumlanabilir. Diğer taraftan, betonun kalitesinin tespitinde tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan ultrasonik beton test cihazı ile tespit yönteminin tahribatlı muayene yöntemlerinden olan tek eksenli basınç dayanımı tespit yöntemine veri sağlamada kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

4.6 Çökme deneyi

Harç numunelerin yerdeğiştirme, katkı tipi ve oranlarına göre çökme deneyi değişim grafiği Şekil 4.10' da verilmektedir. Çökme değeri deney sonuçlarına göre, NS ve MP katkıları, katkı oranından bağımsız olarak, PCE katkısı işlenebilirlik açısından çimento-marn ikilisi ile üretilen katkılı çimentolar ile en uyumlu olan katkıdır. Marn yerdeğiştirme artışı ile tüm katkı içeren harç karışımlarının çökmelerinde azalmalar görülmüştür.

4.7 Kalsine marn katkılı çimento için enerji değerlendirmesi

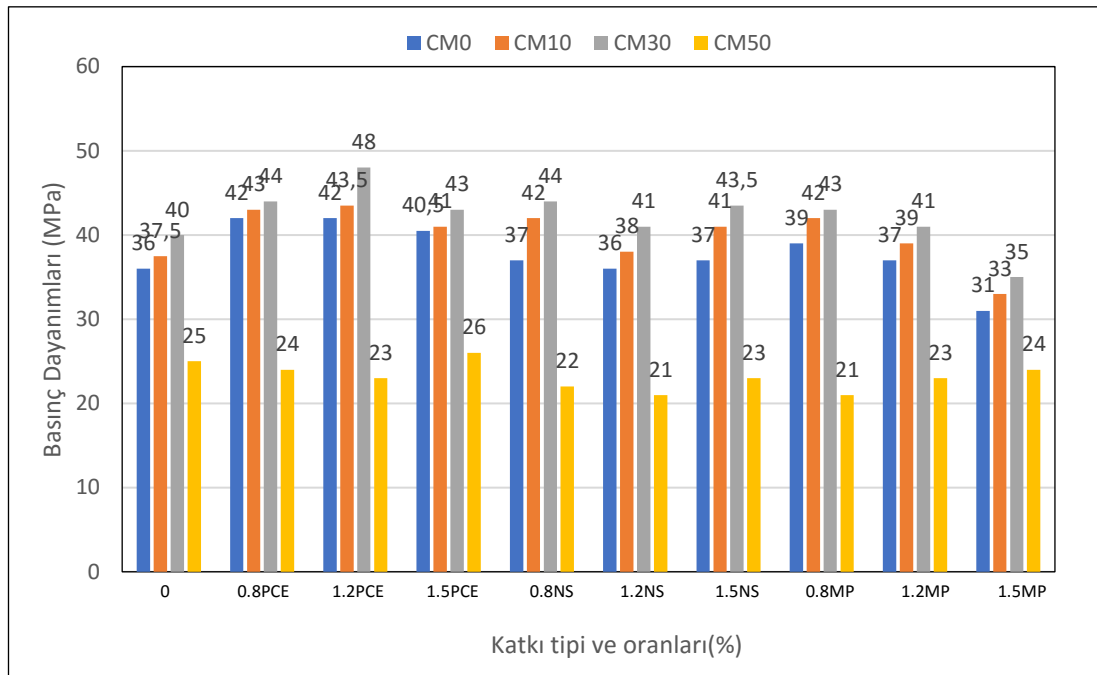
Literatürde katkılı çimento üretiminde ve kullanımlarında yaklaşık olarak gereken enerji talebi değerlendirmeleri yapılmıştır (Madloul et al. 2011; Labbaci et al. 2017; Hamidi et al., 2013). Bir ton katkılı çimento üretimi için enerji talebi aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır. Bağlıdaki E (kWh): bir ton katkılı çimento üretimi için gerekli enerji talebi, C_c ve C_p sırasıyla katkılı çimentodaki çimentonun ve kalsine marn (puzolan) oranları, $E_{\text{çimento üretim işlemi}}$ ve $E_{\text{çimento öğütme işlemi}}$: sırasıyla çimento üretim işleminin enerji tüketimi (950 kWh/t) ve klinkerin öğütme işleminin enerji tüketimi (50 kWh/t), $E_{\text{marnın kalsinasyonu}}$ ve $E_{\text{marnın öğütülmesi}}$: sırasıyla marnın 800 °C de kalsinasyonu için gerekli enerji tüketimi (500 kWh/t) ve klinkere göre daha düşük sertlikte olan marnın yaklaşık öğütme enerjisi (45 kWh/t), $E_{\text{performans}}$: $C_c + C_p$ karışımı harcın basınç dayanımına göre belirlenen performansa dayalı enerji tüketim değeri, dayanım; katkılı çimento içeren harcın dayanımı

$$- E(\text{kW h/t})=C_c(E_{\text{çimento üretim işlemi}}+E_{\text{çimento öğütme işlemi}})+C_p(E_{\text{marn kalsinasyonu}}+E_{\text{marn öğütülmesi}})$$

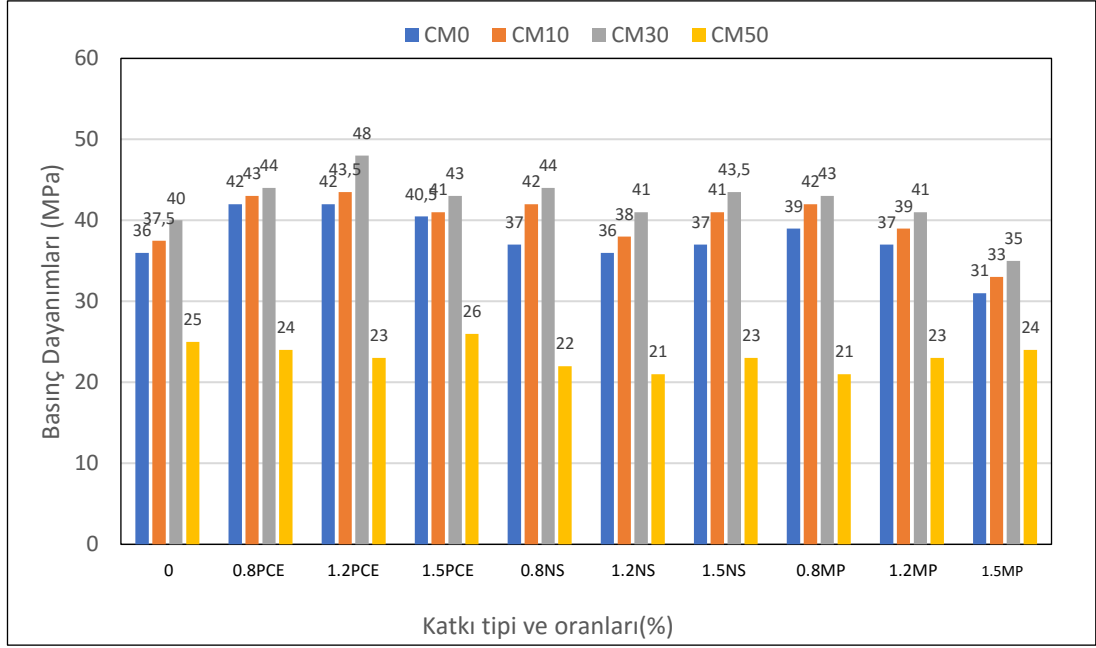
$$- E_{\text{performans}} (\text{kW h/t} \cdot \text{MPa}^{-1}) = E/\text{dayanım}$$

Aşağıda sırasıyla bir ton katkılı çimento üretimi için enerji talebi ve harcın performansa dayalı enerji talebine ilişkin hesaplama sonuçları Şekil 4.11 ve Şekil 4.12' de verilmektedir. Görüldüğü gibi; tüm yer değiştirme oranlarında kalsine marn için gerekli olan kalsinasyon sıcaklığının ve öğütme enerjisinin düşüklüğü nedeniyle

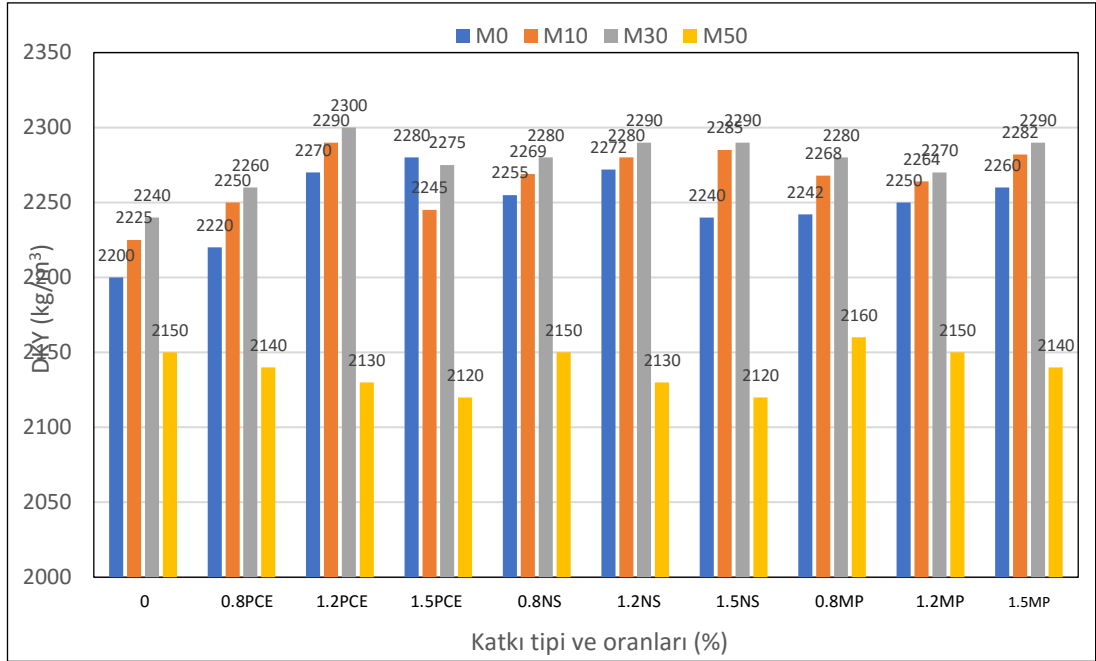
bir ton katkılı çimento üretimi için gerekli enerji talebi Portland çimentosu üretimi için gerekli enerji talebine göre yer değiştirme oranlarına (%10, %30 ve %50) göre sırasıyla %4.55, %13.65 ve %22.75 daha düşüktür. Her iki harcın performans enerjileri karşılaştırıldığında da, %30 yerdeğiştirme oranına kadar tüm yer değiştirme oranlarında kalsine edilmiş doğal marn içeren harçların performans enerjilerinin azaldığı görülmektedir. Daha yüksek yerdeğiştirme oranlarında dayanımın düşmesine bağlı olarak performans enerji artmıştır. Bu sonuçlara göre; katkılı çimento kullanımı ile üretilen harçların birim maliyeti çevresel ve ekonomik olarak iyileştirilebileceğini söylemek mümkündür.



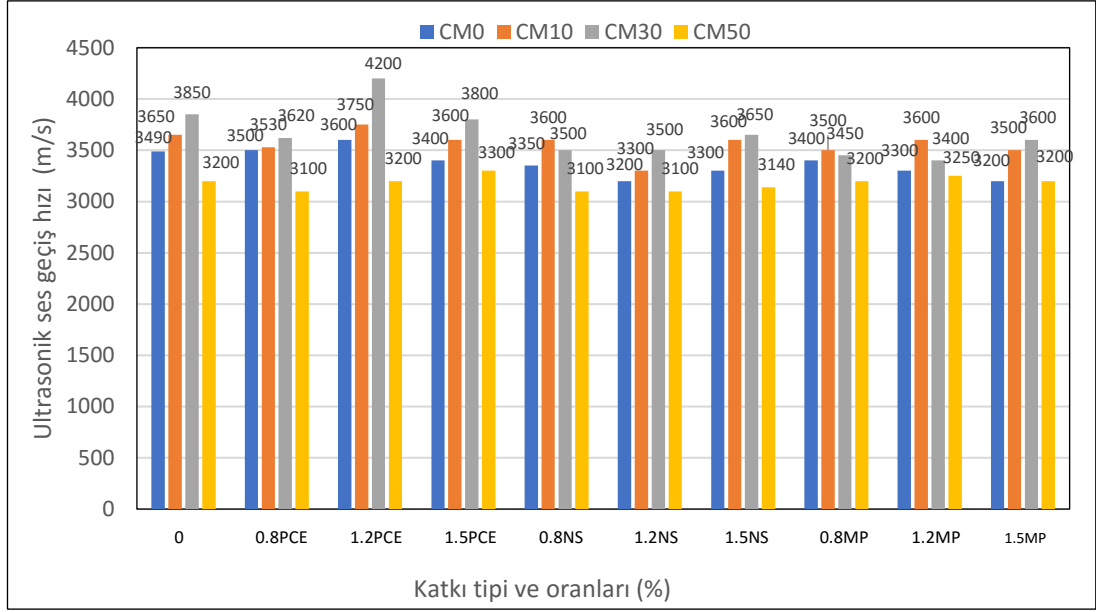
Şekil 4.7 Harçların ortalama basınç dayanımlarının değişimleri



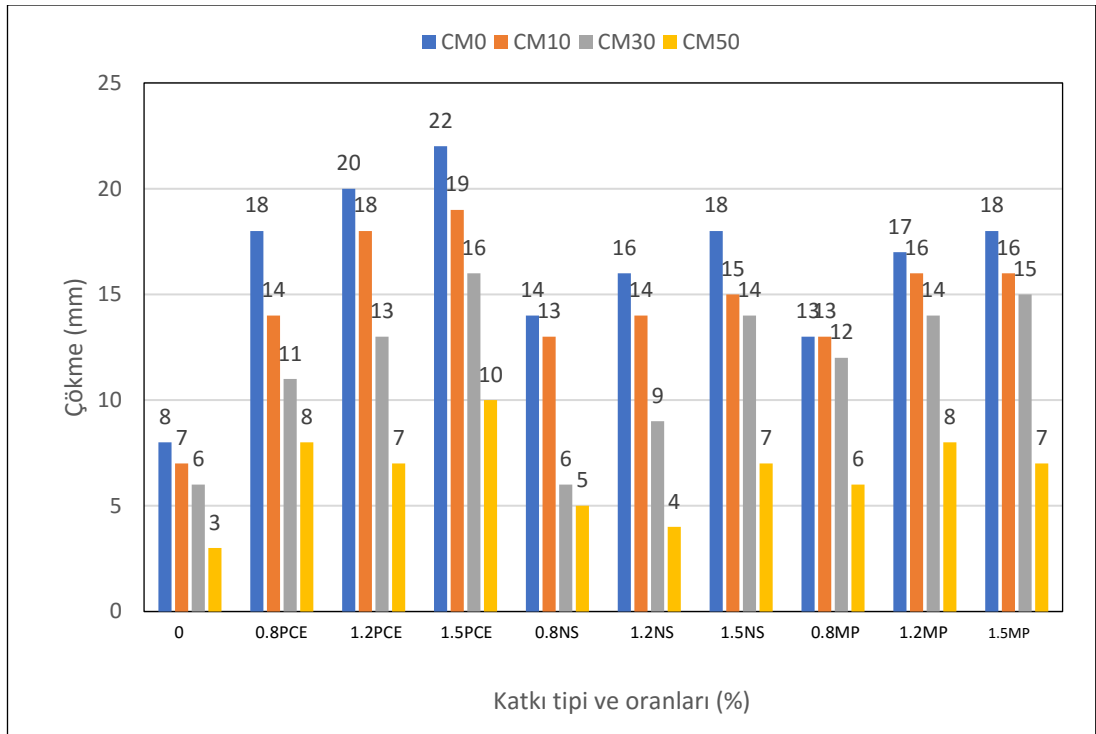
Şekil 4.7 Harçların ortalama basınç dayanımlarının değişimleri



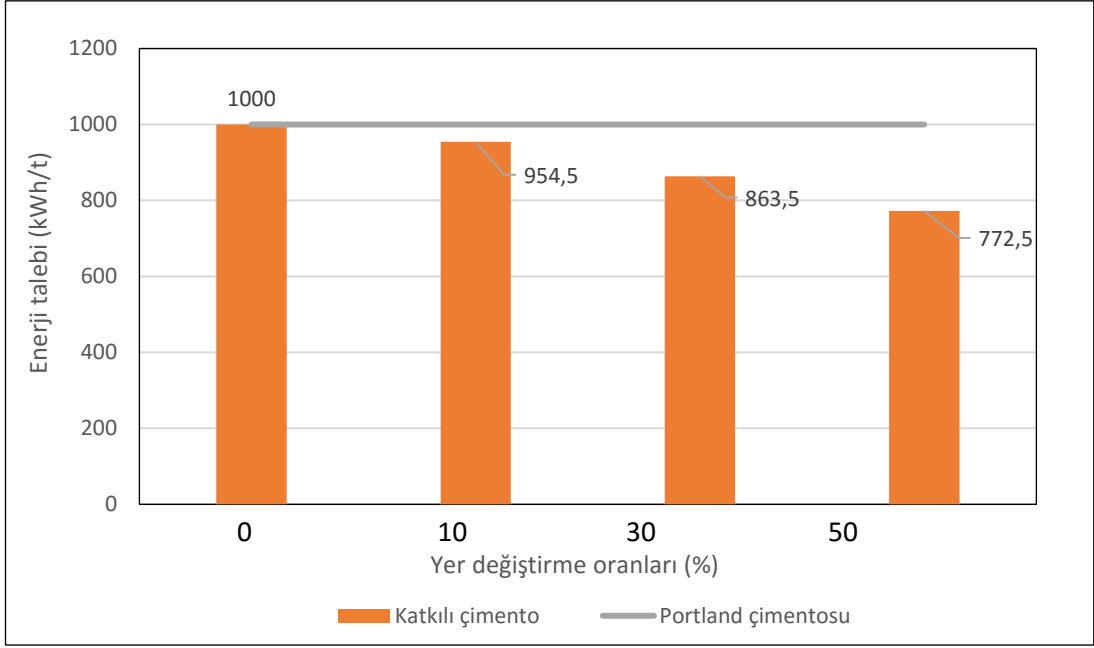
Şekil 4.8 Harçların yerdeğiştirme ve katkı oranlarına göre ortalama DKY değişimleri



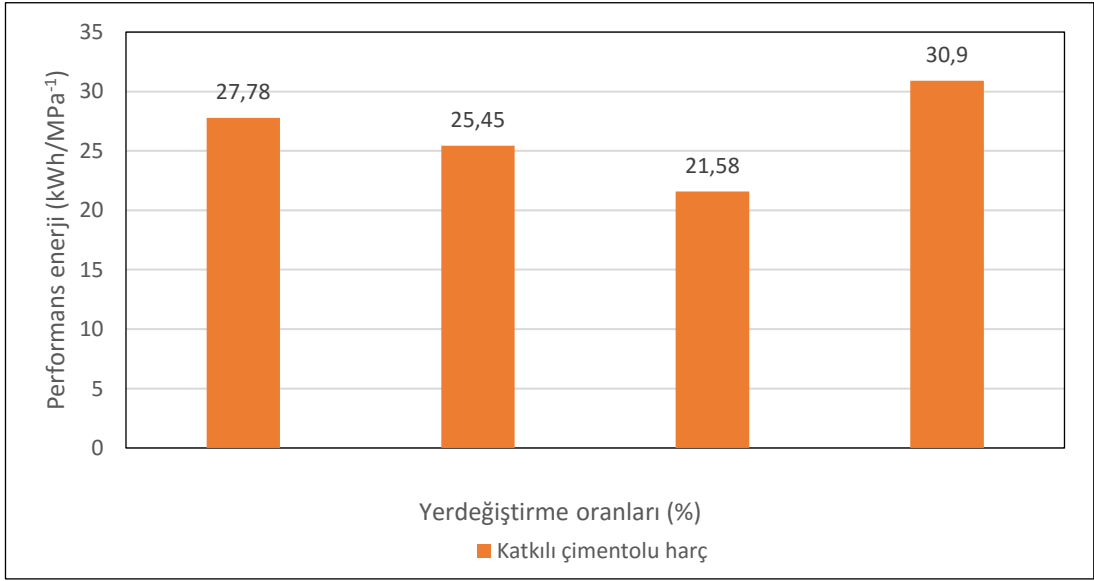
Şekil 4.9 Harç numuneler için ortalama ultrasonik ses geçiş hızı (UPV)



Şekil 4.10 Harçların yerdeğiştirme ve katkı oranlarına göre çökme değişimleri



Şekil 4.11 Bir ton katkılı çimento üretimi için enerji talebi



Şekil 4.12 Harçların performans enerjileri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bilindiği gibi, harç ve beton üretimlerinde işlenebilirlik ve basınç dayanımı öncelikli beklenen performanslardandır. Bu iki parametreye yönelik gerçekleştirilen deneysel çalışmadan elde edilen bulgular sayesinde aşağıdaki bazı sonuçlar ve öneriler belirlenmiştir.

- Marnın özgül ağırlığı, Portland çimentosundan %13.46 daha düşüktür. Marnın özgül yüzeyi, Portland çimentosundan %44.24 daha yüksektir. Bu durum, marnın mineral yapısı, boşluk durumu ve kırılgenliğine bağlıdır. Portland çimentosu ve marnın 45 µm elekten kümülatif geçen yüzdesi, sırasıyla %67.11 ve %78.64'dir. Katkılı çimentoların özgül ağırlığı, marn oranının artmasıyla azalmaktadır. Marn içeren katkı çimentoların inceliği ise marn oranının artmasıyla yükselmektedir.

- Çalışmada dikkate alınan kalsine marn katkı çimentoların normal kıvam suyu ihtiyaçları, içeriklerindeki katkı miktarıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Kalsine marn içeren katkı çimentolarda, Portland çimento hidratlarının daha fazla yüzey alanı bulması ve karışım suyunun bir kısmının zamanla kalsine marn tarafından emilmesi sebebiyle, priz süreleri Portland çimentosuna oranla bir miktar daha kısalmıştır. Katkı oranı arttıkça hacim genişmesi değerleri artmıştır. İncelenen kalsine marn katkı çimentoların priz süreleri ve hacim sabitliği değerlerindeki değişim sonuçları, beklenen bir durum olmakla beraber TS EN 197-1'deki limit değerler ile uyumludur.

- Çalışmada kullanılan marnın optimum kalsinasyon sıcaklığı Thermo Gravimetrik Analiz (TGA) yöntemiyle 800°C olarak tespit edilmiştir.

- Puzolanik aktivite değerlendirmesine göre yapılan değerlendirmede farklı sıcaklıklarda kalsine edilen doğal marnın puzolanik aktivite değerleri 600°C için 3.80 MPa ve 800°C için 8.10 MPa olarak belirlenmiştir. TS 25' e göre 4 MPa' nın üzerinde olduğu dikkate alındığında bu değerlendirmeye göre de 800°C' nin doğal marnın kalsinasyonunda optimum değer olduğu belirlenmiştir.

- Doğal marnın kimyasal analiz sonuçlarından $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ toplam içeriği %76.43' olarak tespit edilmiştir. Blaine özgül yüzeyi, 4630 cm^2/g olarak belirlenmiştir. Bu değerlerde TS 25 puzolan uygunluk kriterlerini sağlamaktadır.

Dolayısıyla çalışmada kullanılan marnın, alternatif bir puzolan olarak kullanılabilirlik potansiyelinin ilk şartlarına sahip olduğu söylenebilmektedir.

- Çökme değeri deney sonuçları değerlendirmesine göre, işlenebilirlik açısından çimento-marn ikilisi ile üretilen katkılı çimentolar ile en uyumlu olan katkı, katkı oranından bağımsız olarak, NS ve MP katkılarına kıyasla PCE katkısıdır. Kalsine marn yer değiştirme artışı ile tüm katkı içeren harç karışımlarının çökmelerinde azalmalar görülmüştür.

- Optimum sıcaklıkla (800°C) kalsine edilen marn katkılı çimento içeren harçların basınç dayanımları puzolanik aktivitenin artmasıyla %30 yer değiştirme oranına kadar mineral katkısız harçlara göre tüm katkı çeşitlerinde iyileşmektedir.

- Ultrases geçiş hızına dayalı harç numunelerin içyapı değişimleri, basınç dayanımları ile uyumlu ve beklenen eğilimler göstermektedir. Bu da betonun kalitesinin tespitinde tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan ultrasonik beton test cihazı ile tespit yönteminin tahribatlı muayene yöntemlerinden olan tek eksenli basınç dayanımı tespit yöntemine veri sağlamada kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

- Diğer taraftan, hem marn içermeyen harca göre (şahit harç numuneleri) hem de NS ve MP katkılı harçlara göre daha yüksek basınç dayanımı sağlaması açısından en uygun süper akışkanlaştırıcının PCE katkısı olduğu görülmektedir. Dayanımdaki bu artış %0.8 ve %1.2 oranları için daha belirgindir. PCE nin %1.5 oranında bir miktar düşüş görülmektedir. PCE katkı tüm marn katkı oranlarında aynı eğilimi göstermiştir.

- Kalsine marnın CEM I 42.5R tip çimento ile yer değiştirilerek kullanıldığı harç numunelerin çökme, özgül ağırlık, ultrasonik ses geçiş hızı ve dayanım özellikleri, çimento-kalsine marn-akışkanlaştırıcı uyumu açısından kullanılan süper akışkanlaştırıcının menşesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Buna göre, çalışmanın seçilen parametrelerindeki değişimler dikkate alındığında, polikarboksilat esaslı (PCE) süper akışkanlaştırıcı katkının NS ve MP süper akışkanlaştırıcılara göre bu çalışma şartlarındaki kalsine marn içeren katkılı çimento için daha etkin olduğunu söylemek mümkündür.

- Kalsine marn katkılı bir ton çimento üretimi için gerekli enerji talebi Portland çimentosu üretimine göre, kalsinasyon sıcaklığının düşüklüğüne bağlı olarak, yer değiştirme oranları (%10, %30 ve %50) dikkate alınarak sırasıyla %4.55, %13.65 ve %22.75 daha düşüktür. Aynı şekilde, kalsine marnın %30 yer değiştirme oranına kadar performans enerjisi de azalmaktadır.
- Nihai olarak çalışmada basınç dayanım, iç yapı (UPV) ve çökme dikkate alınarak yapılan değerlendirmelerde %1.2 oranında polikarboksilat ester (PCE) katkı ile %30 oranında kalsine marn yer değiştirmenin çimento-kalsine marn-akışkanlaştırıcı uyumu açısından optimum değerler olduğu belirlenmiştir.
- Çimento üretimlerinde yer değiştirme malzemesi kullanarak klinker miktarını azaltmak, enerji kaynaklarını etkin kullanarak, ürün performansından ödün vermeden, enerji tasarruflu, ekonomik ve çevre dostu çözümler sağlar.
- Çalışmada incelenen kalsine marn, yüksek silis-alümin içeriği, mineralojik yapısı, priz süreleri, hacim sabitliği, düşük özgül ağırlığı, yüksek özgül yüzeye bağlı filler etkisi, puzolanik aktivitesi, harç dayanımları ve diğer puzolanlara göre daha bol miktarda doğada bulunuşu gibi olumlu özellikleri nedeniyle sürdürülebilir katkı çimento üretimlerinde alternatif puzolan olarak kullanılabilir bir potansiyele sahiptir.
- Yukarıda belirlenen sonuçların çalışmada kullanılan doğal marn ve bu deneysel çalışma şartlarında geçerli olduğunu belirtmekte fayda vardır. Farklı bölgelerden elde edilecek olan marn türleri üzerinde daha çok çalışmanın özellikle de dayanıklılık özelliklerine yönelik incelemelerin sonraki çalışmalarda yapılması gerektiği ise açıktır.

6. KAYNAKLAR

- Aitcin, P. C. (2011). High performance concrete. CRC press. 624p.
- Akgün, Y., & Yazıcıoğlu, Ö. F. (2017). Analsim'in puzolanik aktivitesi ve priz sürelerinin belirlenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 135-147.
- Akman, M. S. (1987). Beton Katkı Maddelerinin Ana İşlevleri ve Yan Etkileri. *İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Malzeme Seminerleri*, İstanbul, 28s.
- Akman, M. S. (1996). Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Taze Beton İşlenebilmesindeki Sorunları. 4. Ulusal Beton Kongresi, 30-31 Ekim 1996, İstanbul.
- Altun, İ. A., & Sert, Y. (2004). Utilization of weathered phosphogypsum as set retarder in Portland cement. *Cement and Concrete Research*, 34(4), 677-680.
- Da Silva Andrade, D., da Silva Rêgo, J. H., Morais, P. C., & Rojas, M. F. (2018). Chemical and mechanical characterization of ternary cement pastes containing metakaolin and nanosilica. *Construction and Building Materials*, 159, 18-26.
- Antoni, M., Rossen, J., Martirena, F., & Scrivener, K. (2012). Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. *Cement and Concrete Research*, 42(12), 1579-1589.
- Aruntaş, H. Y., & Tokyay, M. (1996). Katkılı Çimento Üretiminde Diatomitin Puzolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği. *Çimento ve Beton Dünyası*, 1(4), 33-41.
- ASTM, C311. (2005). "Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete". In *American Society for Testing and Materials*, 11s.
- ASTM, C618 94. (1994). Specification for coal fly ash and raw calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete. In *American Society for Testing and Materials*, 15s.
- ASTM, C 597. (2009). Standard test method for pulse velocity through concrete. In *American Society for Testing and Materials*, 4s.
- Aydın, K. K., Uyan, M., & Baş, S. Betonda Kıvam Kaybının Süperakışkanlaştırıcı Katkılarla İyileştirilmesi. 4. Ulusal Beton Kongresi, 30-31 Ekim 1996, İstanbul.
- Bürge, T. A. (1999). Multi component polymer concrete admixtures. In First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 13-14 September, Stockholm, Sweden.
- Çelik, Ö., Yurter, G., Sabiha, K. A. N., & Yeprem, H. A. (2011). Farklı puzolanik katkıların çimento harçlarının mekanik özellikleri üzerine etkisi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 5(2), 147-154.

- Chandra, S., & Björnström, J. (2002). Influence of cement and superplasticizers type and dosage on the fluidity of cement mortars—Part I. *Cement and Concrete Research*, 32(10), 1605-1611.
- Çil, İ. (2000). Yeni Kuşak Hiperakışkanlaştırıcı Beton Katkıları. *YKS Vizyon Dergisi, SKW-MBT*, 2, 32-35.
- Coşkun, A., Tanyıldızı, H., & Yazıcıoğlu, S. (2011). Mineral Katkılı Betonun Aderans Dayanımına 800 °C'nin Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(3), 347-351.
- Daştan, A. (2005). Pişmiş Killerin Pozzolanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık, İstanbul, 68s.
- De Weerd, K., & Justnes, H. (2008). Microstructure of binder from the pozzolanic reaction between lime and siliceous fly ash, and the effect of limestone addition 1st Int. Conf. On Microstructure Related Durability of Cementitious Composites, 7-8 October Switzerland.
- De Weerd, K., & Justnes, H. (2009). Synergic reactions in triple blended cements. In 11th NCB international seminar on cement and building materials, 9-10 November, New Delhi.
- De Weerd, K., Justnes, H., Kjellsen, K. O., & Sellevold, E. (2010). Fly ash-limestone ternary composite cements: synergetic effect at 28 days. *Nordic Concrete Research*, 42(2), 51-70.
- De Weerd, K., Kjellsen, K. O., Sellevold, E., & Justnes, H. (2011). Synergy between fly ash and limestone powder in ternary cements. *Cement and concrete composites*, 33(1), 30-38.
- De Weerd, K., Haha, M. B., Le Saout, G., Kjellsen, K. O., Justnes, H., & Lothenbach, B. (2011). Hydration mechanisms of ternary Portland cements containing limestone powder and fly ash. *Cement and Concrete Research*, 41(3), 279-291.
- Demir, İ. (2009). Aynı Oranlarda İkame Edilen Silis Dumanı ve Uçucu Külün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 1(2), 1-7.
- Doğan, Ü. A., & Özkul, M. H. (2011). Mineral katkıli betonlarda bileşimin basınç dayanımı ve geçirimsizliğe etkisi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi/d*, 8(6), 121-132.
- Erdoğan, T. Y. (1997). Admixtures for concrete. Middle East Technical University Press. Ankara, 188s.
- Erdoğan, T. Y. (2013). Beton (Concrete). Middle East Technical University Press, Ankara, 757s.
- Felekoğlu, B., & Yardımcı, M. Y. (2006). Uçucu Külün ve Taş Tozunun Kendiliğinden Yerleşen Betonda Aşınma Direncine Etkileri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(1), 11-22

- Flatt, R. J., & Houst, Y. F. (2001). A simplified view on chemical effects perturbing the action of superplasticizers. *Cement and concrete research*, 31(8), 1169-1176.
- Ghezal, A., & Khayat, K. H. (2002). Optimizing self-consolidating concrete with limestone filler by using statistical factorial design methods. *Materials Journal*, 99(3), 264-272.
- Gödek, E., Felekoğlu, B., & Felekoğlu, K. T. (2015). Hazır Beton Sektörüne Uygun Polikarboksilat Esaslı Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Seçimi ve Kendiliğinden Yerleşen Beton Üretimindeki Performansı. *Afyon Kocatepe University Journal of Science & Engineering*, 15(2), 8-18.
- Hamidi, M., Kacimi, L., Cyr, M., & Clastres, P. (2013). Evaluation and improvement of pozzolanic activity of andesite for its use in eco-efficient cement. *Construction and Building Materials*, 47, 1268-1277.
- Heikal, M. (2004). Effect of calcium formate as an accelerator on the physicochemical and mechanical properties of pozzolanic cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 34(6), 1051-1056.
- İnan, G., Köseoğlu, O. E., & Ramyar, K. (2004). Süper akışkanlaştırıcı katkının betonun su ihtiyacına ve basınç dayanımına etkisi. Beton 2004 Kongresi, 10-12 Haziran 2004, İstanbul, Türkiye.
- Justnes H., Østnor T., & Danner T. (2011). Calcined marl as pozzolan. International RILEM conference on advances in construction materials through science and engineering. 5-7 September, Hong Kong.
- Justnes, H., Østnor, T., De Weerd, K., & Vikan, H. (2011). Calcined marl and clay as mineral addition for more sustainable concrete structures. In Proceedings of the 36th International Conference on Our World in Concrete & Structures.
- Karagüler, M., Terzi, M., & Kuloğlu, Ş. (2004). Renklendirici Katkıların Mimari Beton Özelliklerine Etkisi. *Hazır Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği*, 12, 68-74.
- Kılınçkale, F. M. (1996). Çeşitli Puzolanların Puzolanik Aktivitesi ve Bu Puzolanlarla Üretilen Harçların Dayanımı. *Teknik Dergi*, 7(33), 1217-1229.
- Koçak, Y. (2011). Termik Santral Atığı Uçucu Külün Portland Çimentosu Özelliklerine Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 14(2), 135-140.
- Korkmaz, A. V. (2018). Karakaya (Yıldızeli) Andezitik Tüflerinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, 3(1), 1-10.
- Labbaci, Y., Abdelaziz, Y., Mekkaoui, A., Alouani, A., & Labbaci, B. (2017). The use of the volcanic powders as supplementary cementitious materials for environmental-friendly durable concrete. *Construction and Building Materials*, 133, 468-481.
- Leckebush, R. (1984). Türkiye’de doğal puzolanların çimento katkı maddesi olarak kullanımı üzerine incelemeler. *Çimento Araştırma ve Geliştirme Merkezi, Ankara*, 220s.

- Madloul, N. A., Saidur, R., Hossain, M. S., & Rahim, N. A. (2011). A critical review on energy use and savings in the cement industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 2042-2060.
- Massazza, F. (1993). Pozzolanic cements. *Cement and Concrete composites*, 15(4), 185-214.
- Mazsazza, F. (1989). Puzolanlar, Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları, Seminer, TCMB, Ankara, 41-79.
- Mehta, P.K. (1986). Concrete Structure Properties and Materials, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 35-94.
- Mikhailenko, P., Cassagnabère, F., Emam, A., & Lachemi, M. (2018). Influence of physico-chemical characteristics on the carbonation of cement paste at high replacement rates of metakaolin. *Construction and building materials*, 158, 164-172.
- Monticelli, C., Frignani, A., & Trabanelli, G. (2000). A study on corrosion inhibitors for concrete application. *Cement and concrete research*, 30(4), 635-642.
- Okucu, A. (1998). Bigadiç ve Turnatepe (Balıkesir) yörelerindeki zeolitik ve perlitik tüflerin puzolanik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Okucu, A. (2004). Volkanik tüflerle birlikte çürüfün çimento katkı maddesi olarak kullanılabilirliği, 6. Ulusal Beton Kongresi, 16-18 Kasım, İstanbul.
- Parlak, N., Akman, M. S. (2002). Lignosulfonatların Üretimi, Özellikleri ve Süper Akışkanlaştırıcı Olarak Geliştirilmesi. *Sika Teknik Bülteni*, 1, 3-13.
- Perche, F. (2004). Adsorption de polycarboxylates et de lignosulfonates sur poudre modèle et ciments, Université de Rouen, Institut des matériaux, France.
- Akgün, Y., (2017). Determination of pozzolanic activity for using natural zeolite analcime in sustainability additive cement products. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 5(2), 187-193.
- Prudencio L. R. (1998). Accelerating admixtures for shotcrete. *Cement and Concrete Composites*, 20(2-3), 213-219.
- Ramachandran, V. S., & Malhotra, M. (1984). Concrete Admixtures Handbook-Part 7: Superplasticizers. *Noyes Publications*, 462-463.
- Rixom, M. R., & Waddicor, J. (1981). Role of lignosulfonates as superplasticizers. *Special Publication*, 68, 359-380.
- Sağlam, A. R., Parlak, N., & Özkul, M. H. (2007). Polikarboksilat Esaslı Kimyasal Katkıların Beton Üretiminde Kullanımı. 2. Yapılarda Kimyasal Katkıları Sempozyumu, 12-13 Nisan, Ankara, Türkiye.
- Sağlık, A. (2005). Beton ve Kimyasal Katkı Teknolojisinde Yeni Gelişmeler ve Standartlar. TMMOB, KMO ve İMO, Yapılarda Kimyasal Katkıları Sempozyumu, 24 Mart, Ankara, Türkiye.

- Şahin, R., Taşdemir M.A., Gül R., Çelik C. (2003). Betonun Don Hasarlarının Mekanik Deneylerle Analizi, TMMOB, İMO, 5. Ulusal Beton Kongresi, 1-3 Ekim, İstanbul, Türkiye.
- Şimşek, O. (2004). Beton Teknolojisi. Ankara: *Seçkin Yayınevi*, 359s.
- Şimşek, O. (2011). Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri, 4. baskı. *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 383s.
- Şimşek, O., Aruntaş, H., & Demir, İ. (2007). Beton Üretiminde Süper Akışkanlaştırıcı Çeşiti ve Oranının Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4) , 829-835.
- Tohumcu, İ., & Bingöl, A. F. (2013). Silis Dumanı Ve Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Beton Özellikleri Ve Basınç Dayanımları. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 15(43), 31-44.
- Tokyay, M., Erdogdu, K. (1997). Cürufklar ve cürufllu çimentolar, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, T.Ç.M.B./AR-GE/Y97.2, Ankara, 48s.
- TS 25. (2008). Doğal puzolan (tras)-Çimento ve betonda kullanılan-Tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, 14s.
- TS EN 196-1. (2009). Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 35s.
- TS EN 196-3. (2017). Çimento deney yöntemleri - Bölüm 3: Priz süreleri ve genişleme tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 15s.
- TS 500. (2014). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, 79s.
- TS EN 196-6. (2010). Çimento deney yöntemleri - Bölüm 6: İncelik tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 18s.
- TS EN 197-1. (2012). Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, 29s.
- TS EN 12350-2. (2010). Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, 9s.
- TS EN 934-2+A1. (2013). Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme. Türk Standartları Enstitüsü, 27s.
- Vitruvius, A., (1960). The Ten Boks of Architecture, Leonard N. Stern Publication, New York, 48-87.
- Yaprak, H., Şimşek, O., & Aruntaş, H. Y. (2004). Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun süper akışkanlaştırıcı katkılı beton özelliklerine etkisi. Beton 2004 Kongresi, 10-12 Haziran, İstanbul, Türkiye.
- Yazan, K., Turanlı, L. (2005). Sıcak havada, mineral katkili betonlarda kıvam kaybının süper akışkanlaştırıcı katkı kullanarak düzeltilmesinin beton özelliklerine etkisi, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 22-23 Eylül, Antalya, Türkiye.

- Yeğinoğlu, A. (2001). Silis dumanı ve çimento ile betonda kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, T.Ç.M.B./AR-GE/01.01, Ankara, 62s.
- Yıldırım, H., Gülseren, H., Uyan, M., Kemerli, M. K. (2003). Geçirimsizlik Sağlayan Katkı Türlerinin Beton Geçirimlilik Özelliklerine Etkisi. TMMOB, İMO, 5. Ulusal Beton Kongresi, 1-3 Ekim, İstanbul, Türkiye.
- Yıldırım, H., Yorulmaz, V., Ardaç, E. (1996). Süper ve Normal Akışkanlaştırıcı Katkıların Çimento ile Uyuşumu, İnşaat Mühendisleri Odası, 4. Ulusal Beton Kongresi, 30-31Ekim, İstanbul, Türkiye.
- Zingg, A., Winnefeld, F., Holzer, L., Pakusch, J., Becker, S., Figi, R., & Gauckler, L. (2009). Interaction of polycarboxylate-based superplasticizers with cements containing different C3A amounts. *Cement and Concrete Composites*, 31(3), 153-162.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Murat USTA
Doğum Yeri	Giresun
Doğum Tarihi	30.05.1989
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	506 924 99 66
E-Posta Adresi	usta.murat@gmail.com
Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Dokuz Eylül Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2013
Yüksek Lisans	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	2019