

**AVRASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MİKRONİZE FİLTRE PERLİTİN BETONDA MİNERAL KATKI
MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Mustafa Gürkan ASLAN

**MART 2015
TRABZON**

AVRASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MİKRONİZE FİLTRE PERLİTİN BETONDA MİNERAL KATKI
MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI

İnş. Müh. Mustafa Gürkan ASLAN

Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.04.2015
Tezin Savunma Tarihi : 21.05.2015

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Atakan AKSOY

Trabzon 2015

Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Mustafa Gürkan ASLAN tarafından hazırlanan

MİKRONİZE FİLTRE PERLİTİN BETONDA MİNERAL KATKI
MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 04/05/2015 gün ve 22 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Basri ERTAŞ

.....

Üye : Doç. Dr. Atakan AKSOY

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Çağla ÇOLAK

.....

Yrd. Doç. Dr. Çağla ÇOLAK

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tez programının yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön vererek yardım ve bilgi konusunda bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Atakan AKSOY'a, Tez tamamlamada sürecinde bana destek veren Sayın Yrd. Doç. Dr. Çağla ÇOLAK 'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Deney aşamasında laboratuvarlarını açıp deneylere destek veren Termoplast İnşaat A.Ş yetkilileri Sn. Hüseyin TUNCER ve Sn.Alper VATANER'e, deneylerde yardımcı olan Sn.Fahri BAŞGÖL ve Sn.Çetin AYDIN'a çok teşekkür ederim.

Mikronize filtre perlit tedariki konusunda yardımcı olan Persan A.Ş. yetkililerine ve Sn.Ulaş AKAR'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca tez bitirme süresince yanımda olan bana destek veren hayat arkadaşım eşim Sn.Tuğba ASLAN'a sabrından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa Gürkan ASLAN
Trabzon, 2015

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Mikronize Filtre Perlitin Betonda Mineral Katkı Malzemesi Olarak Kullanımı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Atakan AKSOY’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 08/04/2015

Mustafa Gürkan ASLAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Bağlayıcılar.....	3
2.2. Puzolanlar	4
2.2.1. Puzolanların Sınıflandırılması	5
2.2.1.1. Doğal Puzolanlar	6
2.2.1.1.1. Volkanik Orijinli Puzolanlar	7
2.2.1.1.2. Diatomlu Topraklar	7
2.2.1.1.3. Pişirilmiş Kil ve Şeyl.....	7
2.2.1.2. Yapay Puzolanlar.....	8
2.2.1.2.1. Uçucu Küller.....	8
2.2.1.2.2. Yüksek Fırın Cürufu	8
2.2.1.2.3. Silis Dumanı	9
2.2.1.2.4. Pirinç Kabuğu Külü	9
2.2.2. Puzolanik Reaksiyon ve Puzolanik Malzemelerin Aktivitesi.....	10
2.2.3. Puzolan Malzemelerin Betonda Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi.....	11
2.2.4. Perlit.....	14
2.2.4.1. Perlit Tanımı	14
2.2.4.1.1. Perlitin Fiziksel Özellikleri.....	15
2.2.4.1.2. Perlitin Kimyasal Özellikleri	17
2.2.4.2. Perlit Kullanım Alanları	19

2.2.4.3.	Perlit Üretimi ve Dünya Rezervleri	22
2.2.4.4.	Perlit Hakkında Literatür Çalışmaları.....	26
2.3.	Çimentolar	27
2.3.1.	Çimentonun Tanımı.....	27
2.3.2.	Çimento Tarihi.....	28
2.3.3.	Çimento Oluşturan Ana Hammaddeleri	29
2.3.4.	Portland Çimentolar.....	31
2.3.5.	Portland Puzolanlı Çimento.....	34
2.3.6.	Çimento Hidratasyonu.....	34
3.	MATERYAL VE METOT	36
3.1.	Materyal.....	36
3.1.1.	Çimentolar	36
3.1.2.	Mikronize Filtre Perlit (MFP).....	39
3.1.3.	Agrega ve Su	43
3.1.4.	Beton Kimyasalı (Akışkanlaştırıcı)	43
3.2.	Metot.....	43
3.2.1.	Kimyasal Akışkanlaştırıcılar	43
3.2.2.1.	Dayanım Sonuçlarının Genetik Algoritma Yöntemi ile Optimizasyonu.....	64
3.2.2.1.1.	Sezgisel k-nn Algoritması ve Uygulaması	64
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	70
5.	KAYNAKLAR.....	72
	ÖZGEÇMİŞ.....	76

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

MİKRONİZE FİLTRE PERLİTİN BETONDA MİNERAL KATKI
MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI

Mustafa Gürkan ASLAN

Avrasya Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Atakan AKSOY
2015, 75 Sayfa

Ülkemizde son yıllarda gelişen ekonomiye paralel olarak inşaat sektöründeki artış beraberinde yapı malzemelerinin tüketimini de arttırmıştır. Yapı malzemeleri arasında genel değerlendirme yapıldığında tüketimi ve proje maliyeti en büyük kalemlerinden biride çimentodur. Beton maliyetlerini de etkileyen bu husus, araştırmacıları çimentonun betondaki miktarını azaltacak alternatif malzeme arayışlarına yönlendirmiştir. Çimentonun azaltılabilmesi için “Mineral (Puzolan) ve Kimyasal Katkı” malzemelerinin kullanımı araştırmalara konu olmaktadır.

Bu çalışmada, Puzolanik Mikronize Filtre Perlitin mineral katkı olarak betondaki performansı incelenmiştir. Deneylede “CEM I 42,5R” ile “CEM II A-LL 42,5R” olarak iki farklı çimento tipi kullanılmıştır. C25/30 beton sınıfı ön görülmüştür. Çimento tiplerine göre 1m³ beton için kullanılacak çimento miktarları tespit edilmiştir. Beton karışımlarında tespit edilen toplam bağlayıcı miktarı sabit kalmak şartıyla azalan her çimento miktarına karşılık mineral katkı ilavesi yapılmıştır. Her çimento tipi için biri şahit karışım olmak üzere toplamda 14 ayrı beton karışımı yapılmış ve bu karışımlardan 168 adet 15cmX15cmX15cm’lik beton küp numuneler alınmıştır. Alınan küp numuneler 3, 7, 28, 45, 60 ve 90. gün sürelerle beton kür havuzunda bekletilmiştir.

Deney sonuçları MFP’nin beton karışımında her iki tip çimento ile birlikte alternatif bir bağlayıcı malzeme olarak kullanılabileceğini göstermiştir. MFP karışimli betonların basınç dayanım sonuçları şahit betonların basınç dayanım sonuçlarına göre düşük kalmıştır. Dayanım sonuçları incelendiğinde MFP’in toplam bağlayıcının ortalama %13 oranında daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca, Genetik Algoritma optimizasyon yöntemi ile dayanım sonuçları incelenmiş ve aynı ortam koşulları sağlanması ve benzer özellikli malzemeler kullanılması şartıyla karışım yapmadan Genetik Algoritma yaklaşımı kullanılarak ön bir dayanım tahmininin yapılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Mikronize Filtre Perlit, Puzolan, Çimento, Genetik Algoritma.

Master Thesis

SUMMARY

USING MICRONIZED FILTER PEARLITE AS ADMIXTURE MATERIAL IN
CONCRETE

Mustafa Gürkan ASLAN

Avrasya University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Atakan AKSOY
2015, 75 Pages

Increase in Construction sector is paralel to economy which has developed recently in our country and brings about the growth in consumption of building materials. When a general assessment is made among the building materials, concrete has the highest cost.

This matter, influences the concrete costs and it embarks researchers on a quest which will reduce the amount of cement in concrete. Using Mineral (Puzolan) and Chemical Additives in order to reduce the amount of cement, is mentioned in researches.

This study analyzes the performance of Puzolanic Micronized Filter Pearlite in concrete. Two types of cement, “CEM I 42, 5R” and “CEM II A-LL 42,5R” have been used in experiments. C25/30 concrete class is used as a base. Considering the types of cement, amount of cement to be used for 1 m³ concrete, has been determined. Provided that total binding material amount, which is detected in concrete mixtures remains stable, mineral additives are added according to volume of cement. Totally 14 different concrete mixtures including one reference concrete mixture, have been prepared for every type of cement. 15x15x15 centimeters 168 concrete cubes have been taken as sample from these mixtures. The cube samples have been kept in curing pool for 3,7,28,45,60 and 90 days.

Experiment results shows that MFP can be used as an alternate binding material together with both types of cement. MFP mixtured concretes has exhibited less resistance to pressure than Reference concretes, according to the results. After analyzing resistance results, it has been detected that total binding material of MFP is 13 percent more efficient.

Moreover, the resistance results was analyzed by Genetic algorithm optimization method. Providing that we enable the same environmental conditions and use the same materials, without making a mixture and using Genetic Algorithm Approach will enable a pre-resistance prediction.

Key Words: Micronized Filter Pearlite, Puzolan, Cement, Genetic algorithm.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Perlitin toz halde görünümü 15
Şekil 2.	Perlitin 5-12mm halde görünümü 15
Şekil 3.	Perlitin SEM (Scanning Electron Microscope) görüntüsü 17
Şekil 4.	MTA Genel Müdürlüğü Türkiye maden yatakları haritaları Perlit ve Pomza 24
Şekil 5.	Portland çimentosu üretimi şematik gösterimi 32
Şekil 6.	CEM I 42,5 R tip çimento için analiz raporu 37
Şekil 7.	CEM II A-LL 42,5 R tip çimento için analiz raporu 38
Şekil 8.	Erzincan ili maden haritası, MTA 39
Şekil 9.	Mikronize filtre perlitin EDS sonuçları 41
Şekil 10.	Mikronize Filtre Perlit'in SEM görüntüsü, (X5000) 42
Şekil 11.	Mikronize Filtre Perlit'in SEM görüntüsü, (X10000) 42
Şekil 12.	Kimyasal katkıların çimento taneciklerinin üzerindeki etkisi 44
Şekil 13.	Agrega gradasyon eğrisi 47
Şekil 14.	Çalışmalardan bir görüntü 47
Şekil 15.	Çalışmadan örnek bir beton karışım tablosu 48
Şekil 16.	MFP karışıma katılması esnasında bir görüntü 49
Şekil 17.	Karışım numunelerinden bir görüntü 49
Şekil 18.	Kür Havuzunda bekletilen numuneler 49
Şekil 19.	3 günlük dayanım grafiği, (1) 50
Şekil 20.	7 günlük dayanım grafiği, (1) 51
Şekil 21.	28 günlük dayanım grafiği, (1) 52
Şekil 22.	45 günlük dayanım grafiği, (1) 53
Şekil 23.	60 günlük dayanım grafiği, (1) 54
Şekil 24.	90 günlük dayanım grafiği, (1) 55
Şekil 25.	3 günlük dayanım grafiği, (2) 56
Şekil 26.	7 günlük dayanım grafiği, (2) 57
Şekil 27.	28 günlük dayanım grafiği, (2) 58
Şekil 28.	45 günlük dayanım grafiği, (2) 59
Şekil 29.	60 günlük dayanım grafiği, (2) 60
Şekil 30.	90 günlük dayanım grafiği, (2) 61

Şekil 31.	Dayanım gelişim grafiği, (1)	62
Şekil 32.	Dayanım gelişim grafiği, (2)	63
Şekil 33.	Sezgisel k-nn algoritmasının uygulandığı programa ait kullanıcı arayüzü, [46-47]	65
Şekil 34.	3 gün sonundaki reel ve algoritmik beton basınç dayanımları.....	66
Şekil 35.	7 gün sonundaki reel ve algoritmik beton basınç dayanımları.....	66
Şekil 36.	28 gün sonundaki reel ve algoritmik beton basınç dayanımları.....	67
Şekil 37.	45 gün sonundaki reel ve algoritmik beton basınç dayanımları.....	67
Şekil 38.	60 gün sonundaki reel ve algoritmik beton basınç dayanımları.....	68
Şekil 39.	90 gün sonundaki reel ve algoritmik beton basınç dayanımları.....	68
Şekil 40.	Genetik Algoritma hesap methodu uygulaması	69

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Perlitin bazı ÷lkelere göre kimyasal analizi	18
Tablo 2. Agreaga fiziksel özellikleri, (TSE EN 1097-6 Standartına uygun olarak yapılmıştır.)	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.	Toz halindeki bazı bağlayıcı maddelerin sınıflandırılması	3
Çizelge 2.	Puzolanlarda TS25 e göre aranması gereken kimyasal özellikler	11
Çizelge 3.	Puzolanik katkı maddelerin beton özelliklerine etkisi	12
Çizelge 4.	Ham perlitin fiziksel özellikleri.....	16
Çizelge 5.	Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri.....	16
Çizelge 6.	Tipik bir perlitin kimyasal analizi	18
Çizelge 7.	Ülkemizde, perlit için gerekli olan TSE standartları	23
Çizelge 8.	Perlit için dünya rezervleri (milyon/ton).....	24
Çizelge 9.	Türkiye perlit rezervleri	25
Çizelge 10.	Ülkelerin perlit üretim raporu, [26].....	25
Çizelge 11.	Kil içeriklerine göre çimento hammaddelerinin adlandırılması, [16]	31
Çizelge 12.	Çimento sanayinde kullanılan ve KUHL tarafından CaCO ₃ oranına göre yapılan sınıflandırma.....	31
Çizelge 13.	Portland çimentoların ana bileşenleri	32
Çizelge 14.	Çimentonun dört karma bileşenine ait karakteristik özellikleri	33
Çizelge 15.	Karma bileşenlerin hidrasyon karakteristik özellikleri	33
Çizelge 16.	Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve miktarları	33
Çizelge 17.	Perlit tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri, (Persan A.Ş.).....	40
Çizelge 18.	CEM I 42,5 R tip çimento ile MFP'li karışımları	44
Çizelge 19.	CEM II/A-LL 42,5 R tip çimento ile MFP'li karışımları.....	45
Çizelge 20.	3 günlük ortalama dayanım sonuçları, (1).....	50
Çizelge 21.	7 günlük ortalama dayanım sonuçları, (1).....	51
Çizelge 22.	28 günlük ortalama dayanım sonuçları, (1).....	52
Çizelge 23.	45 günlük ortalama dayanım sonuçları, (1).....	53
Çizelge 24.	60 günlük ortalama dayanım sonuçları, (1).....	54
Çizelge 25.	90 günlük ortalama dayanım sonuçları, (1).....	55
Çizelge 26.	3 günlük ortalama dayanım sonuçları, (2).....	56
Çizelge 27.	7 günlük ortalama dayanım sonuçları, (2).....	57
Çizelge 28.	28 günlük ortalama dayanım sonuçları, (2).....	58
Çizelge 29.	45 günlük ortalama dayanım sonuçları, (2).....	59
Çizelge 30.	60 günlük ortalama dayanım sonuçları, (2).....	60

Çizelge 31. 90 günlük ortalama dayanım sonuçları, (2).....	61
Çizelge 32. CEM I 42,5 R + MFP ortalama dayanım sonuçları.....	62
Çizelge 33. CEM II A-LL 42,5R + MFP ortalama dayanım sonuçları	63

SEMBOLLER DİZİNİ

MFP	: Mikronize Filtre Perlit
ASTM	: American Society of Testing and Materials Devlet Planlama Teşkilatı
MTA	: Maden Tetkik Arama Müdürlüğü Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TS	: Türk Standartları
ACI	: Amerika Beton Enstitüsü
ASR	: Alkali Silika Reaksiyonu
PÇ	: Portland Çimentosu

1. GENEL BİLGİLER

Gelişmekte olan ekonomilerde kalkınmanın sürdürülebilir olması önemlidir. Sürdürülebilir kalkınmada ülkelerin ekonomik ve çevre politikaları bir bütün halinde değerlendirilmesi gerekmektedir. Son yıllarda ülkemizde ekonomik gelişmeye paralel olarak ilerleyen inşaat ve yapı malzemeleri sektörü beraberinde çok ciddi tüketim ve üretimi de getirmiştir. Sürdürülebilir kalkınma için inşaat sektöründe; çevreye duyarlı, maliyeti düşük ve ana kaynakların kullanıldığı yapı malzemeleri üretilmesi önem arz etmektedir.

Yapı malzemeleri arasında çimento, sektörün maliyet ve tüketimi en fazla olan yapı malzemesidir. Sürdürülebilir kalkınmayı da etkileyen bu durum için araştırmacılar betonda ve çimentoda kullanılmak üzere çeşitli puzolanik malzemeleri denemişlerdir.

Çimento üreticileri açısından, üretimin minimum maliyette yapılması ve talebin karşılanması, yapımcı ve kontrollük açısından ise daha ucuz, güvenli ve dayanımı yüksek malzemelerin kullanılması istenmektedir [1]. Bu nedenle puzolanik malzemelerin talebe en yakın davranışı göstermesi, araştırmalarda ön plana çıkmasına neden olmuştur.

Mineral katkı maddeleri, beton yapımında kullanılan çimentonun, suyun, agreganın ve fiber donatının dışında, beton karışımının içerisine karılma işleminden hemen önce veya karılma işlemi esnasında katılan ince taneli mineral katı parçacıklardır [2].

Volkanik kül, volkanik tüf, diatomlu toprak, pişirilmiş kil, uçucu kül, granüle yüksek fırın curufu, silis dumanı, pirinç kabuğu külü ve taşunu, beton yapımında kullanılan başlıca mineral katkılardır. Bunlardan taşunu dışındakilerin hepsi puzolanik özelliklidir [3].

Bu çalışmada, MFP'in betonda puzolanik bir katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Perlit genişlemiş olarak kullanıldığı gibi ham olarak da geniş kullanım alanlarına sahiptir. Ham perlit kimyasal bileşimi itibarıyla silisli ve alüminyumlu bileşikler içerdiğinden kalsiyum esaslı bağlayıcılar ile kimyasal reaksiyona girerek hidrolik aktivite gösterir. Bu özelliği nedeniyle inşaat sektöründe geniş çapta kullanılmaktadır. Perlit çimentoya dayanıklılık kazandırmaktadır. Bunun için ham perlit kayası kırılıp öğütülüp elendiği gibi doğal olarak agrega halinde bulunan perlit kaynakları da kullanılmaktadır. Bu şekilde doğal agrega olarak bulunan perlitin ülkemizde geniş rezervleri vardır. (Erzincan, Nevşehir, Ankara civarındaki yataklarda) [4]. Bu çalışmada, Erzincan-Molla tepe yöresindeki Perlit yataklarından elde edilen MFP'in beton

karışımlarında mineral katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Karışımlarda İki farklı çimento tipi ile farklı oranlarda kullanılan MFP'in beton dayanım sonuçları incelenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, tezimize konu olan puzolan malzemeler (perlit vb.) ile çimentolar hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. Bağlayıcılar

İnce toz halinde olan ve su eklenmesi ile hamur haline geldikten sonra zamanla plastikliğini kaybedip sertleşen, bağlayıcı özelliği olan malzemelere bağlayıcı maddeler denir [5].

Bağlayıcı maddeler fiziksel durumlarına göre iki şekilde ayırabiliriz.

- Toz Bağlayıcı Maddeler (Çimento, Kireç, Alçı vb.)
- Sıvı Bağlayıcı Maddeler (Yol yapımında kullanılan Asfaltik bağlayıcılar-Bitüm gibi.)

Toz halindeki bağlayıcılar ise aşağıdaki şekilde üç grupta sınıflandırabiliriz.

Doğal Bağlayıcılar	Zeolit
	Tras
	Volkanik Tüfler
	Diatomit
	Doğal Toprak
Yapay Bağlayıcılar	Pişmiş Kil
	Su Kireci
	Kireç
	Çimento
	Alçı
Endüstriyel ve Farklı Atık Türü Bağlayıcılar	Silika Tozu
	Uçucu Kül
	Yapay Alçı
	Pirinç Kabuğu Külü
	Yüksek Fırın Curufu

Çizelge 1. Toz halindeki bazı bağlayıcı maddelerin sınıflandırılması

İlk çağlarda inşaat teknolojisinin en büyük sorunu bağlayıcı madde olmuştur. Bağlayıcı olarak nitelendirilmesi doğru olmasa da, doğal taş, kerpiç ve tuğla duvarların ilk bağlayıcı harcı çamurdur. Prehistorik devirde alçı, bitüm ve bir oranda kireç denenmiş ancak, bu maddelerin elde edilmesi için hammaddenin pişirilmesi işlemine gerekli yüksek sıcaklık sağlanamaması engel oluşturmuştur. Alçı elde etmek için alçı taşının 190 °C'de pişirilmesi nispeten kolay olduğundan alçı bağlayıcı kullanımı öncelik kazanmıştır [5].

İlk bağlayıcı kullanımına M.Ö 17000 yıllarına rastlandığı İsrail'de bulunan Natufian binalarında, duvarların killi-çamur ve öğütülmüş kireç taşı ile sıvandığı görülmüştür. Çatal Höyük kalıntıları içinde bulunan 8000 yıl öncesine ait harçlar ve Yunanistan'ın Rodos adasında bulunan Kameiros sarnıcının puzolanik malzemeden yapılan duvarları, kireç-doğal puzolan karışımlarının binlerce yıl öncesinden bilindiğini vurgulamaktadır [6].

18. yüzyıla kadar bağlayıcı malzeme olarak birçok denemeler yapıldığını ve uygulandığını görmekteyiz. Osmanlı zamanında tuğla tozu, kireç ve tuğla kırığı karışımı kullanılarak yapılan "horasan harcı" bunlardan biridir.

1824 yılında ise İngiltere'de duvar ustası olan Joseph Aspdin hazırladığı ince taneli kalker ve kil karışımını pişirmiş, pişirilen bu karışım malzemesini öğüterek ürün elde etmiş ve daha sonra elde eden bu ürüne su kattığında ise sertleşme yaşandığını görmüştür. Aslında, J.Aspdin tarafından üretilen çimento, üretim esnasında malzemelerin yeterince yüksek sıcaklıklarda pişirilemediği ve öğütme işleminin çok iyi yapılmadığı için, bugün kullanılan portland çimentosunun özelliklerine tamamen sahip olamamıştır. Kil ve kalker karışımlı hammaddelerin yüksek sıcaklıklara kadar yeterince pişirilip öğütülmesi sonucu çimento elde edilmesi, ilk olarak 1845 yılında, Isaac Johnson isimli bir İngiliz tarafından gerçekleştirilmiştir [7].

Gelişen üretim teknolojileri ile birlikte bağlayıcı madde olarak kullanılan çimento da kendini geliştirmiş, kullanılan hammadde miktarları ve minör ilavelere göre de tip ve çeşitlere ayrılmıştır.

2.2. Puzolanlar

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık gösterebilen, fakat ince taneli durumda olduklarında ve sulu ortamda kalsiyum hidroksit ile birleştiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip olan silisli ve alüminli malzemeler

olarak tanımlanmaktadır [7]. Silis dumanı, pişirilmiş kil, uçucu kül, volkanik tuf ve kül puzolonik özellik gösteren mineral malzemelerdir.

Görüldüğü gibi volkanik kökenli olan bu malzemelerin, yapay olarak üretilenleri olduğu gibi endüstriyel atık olarak üretilenleri de bulunmaktadır.

Puzolanik malzemelerin bağlayıcılık potansiyelinin Romalılar tarafından keşfedilmesi ve bu tür malzemelerin pozzolana (puzolan) olarak anılmaya başlanması, Romalı ünlü mimar Marcus Vitruvius Pollio'nun MÖ 30-MÖ 20 yılları arasında tamamladığı De Architectura Libri Decem - Mimarlık Üzerine On Kitap isimli eserinin ikinci kitabında bahsedilmektedir. Vitruvius'a göre, Romalılar, pişirilmiş kilin veya öğütülmüş tuğla veya kiremitin de puzolanik özellik gösterdiğinin bilincinde olmuşlardır. Romalılar volkanik külü, volkanik küllü toprağı veya pişirilmiş kili, söndürülmüş kireçle ve suyla birleştirerek, su altında da sertleşebilen bağlayıcı hamur elde etmişlerdir. Bu tür bağlayıcıların içerisine taş parçaları gömerek, bugünkü betona benzer betonlar yapmışlardır. Osmanlılar zamanında yaygın olarak kullanılan "Horasan harcı" da kilden yapılan ve pişirilen tuğla, kiremit, çömlek gibi malzemelerin öğütülmüş durumdayken söndürülmüş kireçle birleştirilmesi sonucunda elde edilmiştir [3].

Puzolan terimi, genel bir ifade olmakla beraber puzolanlar, buldukları ülkelere göre özel adlar almıştır. Mesela, Almanya'da, "Tras" adı ile anılmış, Yunanistan'da ise "Santorin toprağı" olarak anılmıştır. Ülkemizde bu tip volkanik tuf karakterli puzolanlara tras denilmektedir. Fakat son yıllarda traslı ve katkılı çimentolara verilen önemin artmasıyla puzolan ismi de gerçek anlamına kavuşmuştur. Ülkemizde iç Anadolu, İç Ege, Marmara, Karadeniz, Akdeniz Bölgelerinde bol miktarda tras kaynakları bulunmaktadır. Türkiye jeoloji haritasında 155000 km² alanı kaplayan volkanik kayaç oluşumlarının varlığı görülmektedir ki bu alan, Türkiye yüz ölçümünün hemen hemen 1/5'i kadardır. Bu değerlere göre ülkemiz, tras hammaddesi bakımından oldukça zengindir. Diğer taraftan, 1985-1990 yılları arasında üretilen çimentoların %14,6'lık kısmı traslı çimento iken, bu oran 1992-1994 yılları için %36,31'e çıkmıştır [1].

2.2.1. Puzolanların Sınıflandırılması

Puzolanları iki sınıfta ele alabiliriz.

1. Doğal Puzolanlar
2. Yapay Puzolanlar

Doğal ya da yapay bütün puzolanlar, reaksiyon kapasiteleri açısından üç bileşenden meydana gelirler [8]:

- Aktif tertip maddeleri: az veya çok değişmiş 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 maddeleridir.

2.2.1.1. Doğal Puzolanlar

Volkanik camlar, volkanik tüfler, traslar, diatomlu topraklar ve bazı killer doğal puzolanlardır. Doğal puzolanların yapısını oluşturan ana “ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ” dur. TS25 ve ACI 618 no.lu standartlar beton için kullanılacak doğal puzolanların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirtmiştir. Doğal puzolanlar çok eski yıllardan bu yana söndürülmüş kireç ve su ile birleştirilerek beton yapımında kullanılmıştır. Günümüzde çeşitli çimentoların klinkerleri ile birlikte öğütülmekle ayrıca betonlar için mineral katkı malzemesi olarak da kullanılabilir.

Doğal puzolanlar ince öğütülme yetenekleri sayesinde çimento hamurundaki mikro boşluklara kolayca girmekte ve çimento hamurunun iskelet yapısını değiştirerek dayanıklılığını artırmaktadırlar [9]. Doğal puzolanlar, ince taneli olmaları sayesinde çimento harcı ve beton üzerinde kayganlaştırıcı bir etki de ortaya koymaktadırlar. Bu etki taze betonun kıvamını ve dolayısıyla işlenebilirliğini iyileştirmektedir [10]. Bu özelliklere ilave olarak betonda ekonomiklik, hidrasyon ısısının düşmesi ve ASR sonucu hasarların azaltılması hususlarında önemli etkileri bulunmaktadır.

Doğal puzolanlara ülkemizde Alman inşaat kültürünün etkisiyle “tras” adı verilir; doğal puzolan içeren çimentolara da “traslı çimento” denilmektedir. Tras oranı %20-%40 arasında olunca üretilen “traslı çimento”; en fazla %19 olunca “katkılı çimento” olarak adlandırılmaktadır [11].

2.2.1.1.1. Volkanik Orijinli Puzolanlar

Doğal puzolanların büyük bir bölümünü volkanik orijinli puzolanlar oluşturur. Volkanik püskürme sırasında silis ve alüminli malzemelerden oluşan eriyik durumdaki magma, yüzeye lav olarak çıkarak çok çabuk soğuma gösterdiği takdirde, camsı (amorfl) yapıya sahip olmaktadır. Püskürtme sırasında gazların da bulunması gözenekli yapının oluşmasına ve çok büyük yüzey alanına sahip olmasını sağlar. Yüzey alanının büyük olması ve düzensiz şekilde yerleşim göstermesinden ötürü, alüminli silisler, sulu ortamda kalsiyum iyonlarıyla kolayca reaksiyona girebilmektedir. Volkanik püskürmenin çok hızlı olması, malzemenin daha amorf yapıya ve daha yüksek puzolanik aktiviteye sahip olmasını sağlamaktadır [12].

2.2.1.1.2. Diatomlu Topraklar

Diatomlar, silisli hücrelere sahip olan mikroskobik büyüklükteki tek hücreli su bitkileridir. Diatomlu topraklarda, bu organik kalıntılardan kaynaklanan ve amorf yapıda olan büyük miktarda silis bulunabilmektedir. Bazı diatomlu topraklar öğütülmeden veya öğütüldükten sonra puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu tür toprakların 760-1000 °C sıcaklığa kadar pişirildikten sonra ince taneli duruma getirilmeleri, puzolanik aktivitelerini artırmaktadır [12].

2.2.1.1.3. Pişirilmiş Kil ve Şeyl

Yüksek oranda silis ve alümininden oluşan pişirilmiş kil ve şeyl mineralleri kristal yapıya sahiptirler. Doğal yapılarıyla puzolanik özellik göstermezler. Ancak bir- iki saat 700-900 °C sıcaklığa tabii tutulduklarında, bu malzemelerin kristal yapıları bozulmakta ve yarı amorf veya düzensiz alümino silisli bir yapıya sahip olmakta ve böylece puzolanik özellik kazanabilmektedirler. Bu tür malzemelerin ABD'de, Brezilya'da ve Hindistan'da birçok baraj inşaatında kullanıldığı bilinmektedir [12].

2.2.1.2. Yapay Puzolanlar

Yapay puzolanlar, endüstriyel bir üretim esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan ve puzolanik özellik gösteren malzemelerdir [3]. Uçucu küller, yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve pirinç kabuğu külü bilinen yapay puzolanlardandır.

2.2.1.1.1. Uçucu Küller

Uçucu Küller Termik santrallerde elektrik enerji üretimi için kullanılan ince taneli kömürün yakılması sonucunda oluşan yan bir ürün olarak söyleyebiliriz.

Uçucu küllerin en çok kullanıldığı alanların başında inşaat sektörü gelmektedir. Bu alanda yapılan çalışmaların çoğu uçucu küllerin çimento, beton, tuğla, hafif agrega üretiminde ve zemin stabilizasyonu ile dolgu işlerinde kullanılmasına yöneliktir. Bunların yanı sıra uçucu kül absorban olarak atık suların arıtılmasında, asidik karakterli toprak ıslahında, döküm ve metal sanayisinde, sondaj işlerinde ve karlanma ile buzlanmanın önlenmesinde de kullanılmaktadır[13].

Uçucu küllerin puzolonik özellikleri, kimyasal kompozisyonlarından çok minerolojik yapılarına bağlıdır. Düşük kireçli uçucu küllerdeki ana aktif bileşen, silis ve alümina açısından zengin, alüminasilikat bileşiminde amorf veya camsı fazdır. Düşük kireçli uçucu küllerin camsı faz miktarı, yüksek kireçlere oranla daha yüksektir. Ancak, yüksek kireçli uçucu küller daha reaktiftir. Düşük kireçli uçucu küldeki yüksek silisli camsı faz, genellikle kalsiyum, alkali ve hidroksit ilavesi halinde yavaş olarak reaksiyona girer[14].

Pulverize kömür küllerinin yeterli ölçüde puzolanik özellik gösterebilmeleri için kömürün yanma sıcaklığının yüksek olması ve küllerin nispeten hızlı olarak soğutulması gerektiği yapılan çalışmalarda anlaşılmıştır [3].

2.2.1.2.2. Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufu, demir üretimi için demir cevherinin (demir oksit) yüksek fırın olarak adlandırılan fırınlarda eritilerek indirgenmesi sırasında ortaya çıkan bir atık malzemedir. Fırındaki yüksek sıcaklık nedeniyle eriyik haline gelen ve CaO , SiO_2 , Al_2O_3

gibi oksitleri içeren cüruf, ani olarak suda soğutulduğunda iri kum parçacıkları boyutunda amorf yapıya sahip granüle bir durum kazanmaktadır [11].

Yüksek fırın cürufu, yavaş soğutulduğu takdirde kristal bir yapıya sahip olur. Bu haliyle bazalta benzer mekanik özelliklere sahiptir ve beton agregası olarak kullanılabilir. Öte yandan, hızlı soğutma uygulanması sonucunda ise camsı yapıda bir katı eriyik elde edilmesini sağlar. Bu yarı kararlı camsı malzeme, sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit gibi aktivatörler kullanılarak, ince öğütülerek ve PÇ'nin hidratasyonu ile ortaya çıkan Ca(OH)_2 'yi kullanmak suretiyle hidrolik özelliğe sahip olur [15].

2.2.1.2.3. Silis Dumanı

Silis dumanı silikon metali veya silikonlu metal alaşımı üreten fabrikalarının bir yan ürünü olup, günümüzde beton ve çimento katkısı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [7].

Çok büyük miktarda silika içeren, amorf yapıya sahip olan ve çimento tanelerinin inceliğinin yaklaşık yüzde biri kadar ince taneli olan silis dumanı, aktivitesi çok yüksek olan mükemmel bir puzolandır. Bu malzeme çimento üretiminde de kullanılmakla beraber, daha çok, beton katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Beton yapımı için kullanılacak çimento miktarı yaklaşık %10 kadar azaltılmakta ve yerine silis dumanı eklenmektedir. Silis dumanının puzolanik aktivitesi çok yüksek olduğundan, bu malzemeyle yüksek dayanımlı betonlar elde edilebilmektedir[3].

2.2.1.2.4. Pirinç Kabuğu Külü

Çeltik üretimi sonunda elde edilen zirai ürün atığı kabukların yakılmasıyla elde edilen külün hızlı bir şekilde soğutulmasıyla elde edilir [1]. Pirinç kabuğunun yakılması ile elde edilen küldeki amorf silisin, puzolonik özellik göstermektedir.

Pirinç kabuğu yapısındaki SiO_2 , kabuklar yandıktan sonra elde edilen kül hızlı bir şekilde soğursa amorf SiO_2 , yavaş soğursa kristal SiO_2 şeklinde oluşur [14].

Yapı malzemesi olarak çimento veya kirece katılarak harç üretmek mümkündür. Çimento üretiminde, mineral katkı olarak kullanılır. Ancak pirinç kabuğu külü çimentoya katılırken, uygun bir şekilde öğütülmelidir. Bu şekilde çimentoyla birlikte öğütüldüğünde mekanik özelliklerin daha iyi olduğu belirlenmiştir [14].

2.2.2. Puzolanik Reaksiyon ve Puzolanik Malzemelerin Aktivitesi

Puzolanların kompozisyonu büyük ölçüde silis ve alüminen oluşmaktadır. İnce daneli durumdaki puzolanlar, söndürülmüş kireç ve suyla birleştirildiğinde, bu malzemeler arasında birtakım kimyasal reaksiyonlar yer almaktadır. Kalsiyum hidroksit, silis ve su arasındaki reaksiyonlar, aynen portland çimentosunun hidrasyonunda olduğu gibi hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jellerinin oluşmasına yol açmaktadır [7].

Yüksek aktiviteye sahip puzolanların;

- Yüksek SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve alkali miktarı.
- Yüksek camsı faz miktarı,
- Büyük özgül yüzey

özelliklere sahip olduğu ampirik olarak belirlenmiştir [16].

Puzolan malzemeler yapılarına göre camsı, amorf ve kristal yapıda olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Özellikle puzolan malzemelerdeki silisin yapısal durumu puzolanik etkinliğe tesir eden önemli faktördür. Silisin yapısal fazlalığından ziyade aktif halde bulunan silis miktarı puzolanik aktiviteyi önemli olarak etkilemektedir. Puzolan malzemelere (Volkanik orijinli killer, şistler ve tortul kayalar) tabi tutulan ısıl işlemler ve Puzolan malzemelerinin inceliklerinin arttırılması yine puzolanik aktiviteyi arttıran etkiler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bir malzemenin puzolanlığının kanıtlanabilmesi için puzolanik aktivite deneyinde olumlu sonuç vermesi gerekmektedir. Bu deneyler doğal ve yapay puzolanlarda mekanik ve kimyasal deneyler şeklindedir. Mekanik deneyler; puzolan – çimento harçları üzerinde yapılan eğilme ve basınç dayanımı deneyleridir. Kimyasal deneyler ise puzolanlı çimentonun su ile yaptığı hidrasyon sonunda çözeltide oluşan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'i saptamaya dayanır. Ayrıca puzolanların reaktivitesi spektrofotometrik ve kalorimetrik yöntemlerle de saptanabilir [16].

Puzolanik maddeleri değerlendirmenin bir başka kriteri, puzolan içeren çimento pastalarındaki özgül yüzeyin artış hızını ölçmekle gerçekleştirilir. Değişik kalsiyum hidroksit-emme hızlarına, benzer özgül yüzey artış hızları karşılık gelir [17].

Puzolanik aktivitenin değerlendirilmesinde;

TS 25'e göre puzolan-kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) tepkimesi sonunda;

egilme dayanımı: 10 kg/cm² (=1 N/mm²)

basınç dayanımı: 40 kg/ cm² (=4 N/mm²)’den az olmamalıdır.

SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	en az % 70,0
MgO	en çok % 5,0
SO ₃	en çok % 3,0
Rutubet	en çok %10

Çizelge 2. Puzolanlarda TS25 e göre aranması gereken kimyasal özellikler

Puzolonik aktiviteyi aşağıda belirtilen genel eğilimler yardımıyla özetle açıklamak mümkündür. Bunlar [14];

1. Diğer özellikler aynı kalmak üzere, bir puzolan tarafından bağlanan kireç (Ca(OH)₂) miktarının fazla olması, o puzolanın aktif madde miktarının fazla olduğu göstermektedir.
2. Bir puzolanın kısa dönemdeki aktivitesi özgül yüzey alanına, uzun dönemdeki aktivitesi ise kimyasal ve minerolojik yapısına bağlıdır.
3. Bir puzolan tarafından bağlanan kireç miktarı, puzolanın aktif fazlarının içindeki SiO₂ miktarı ile ilişkilidir.
4. Belli sınırlar içinde, kireç-puzolan karışımlarında, kireç/puzolan oranının artması, kirecin bağlanmasını artırır.
5. Genel olarak zeolatik puzolanlar, camsı puzolanlara göre daha aktiftir.(Zeolitlenme, tras’ın camsı yapısının dış etkilerle zeolit grubu minerallere dönüşmesidir).
6. Değişik tip puzolanlarda bulunan camsı fazların, farklı kireç bağlayabilme yetenekleri vardır.
7. Nemli ortamda yeterli kür, puzolan-kireç karışımlarında bağlanan kireç miktarını artırır.

2.2.3. Puzolan Malzemelerin Betonda Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi

Puzolanların bağlayıcılık özelliklerinin ortaya çıkması için belirli koşulları sağlaması gerekmektedir. Silika ve Alümina miktarı yüksek olmalıdır (Çimento ve beton endüstrisinde kullanılacak puzolanlardaki “SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃” miktarının en az %70

olması istenmektedir). Amorf yapıya sahip olmalı ve doğal haliyle çok inceli taneli durumda veya öğütülerek en az çimento inceliği kadar ince taneli duruma getirilmiş olmalıdır [3].

Beton karışımında kullanılan puzolanik katkı maddeleri miktarca diğer kullanılan katkı maddelerine göre fazladır. Çimento miktarının %10-%50'si kadardır [18,19]. Beton karışımlarında kullanılan puzolanik katkı maddeleri çimento miktarını azaltarak maliyet avantajlarının olduğunu göstermeye çalışmıştır.

Puzolanik katkı maddelerin betonun özelliklerine olumlu etkileri ile birlikte dikkat edilmesi gereken bir takım hususları da vardır.

Betona Sağladığı Olumlu Etkileri	
<input type="checkbox"/>	Maliyet avantajları sağlamaktadır.
<input type="checkbox"/>	Betondaki hidrasyon ısısının hızının yavaşlatır.
<input type="checkbox"/>	Betonun homojenliğini artırır.
<input type="checkbox"/>	Betona yüksek işlenebilirliğini sağlar.
<input type="checkbox"/>	Sülfat ve Alkali-Silika reaksiyonu ortaya çıkan hasar oluşumunu azaltır.
<input type="checkbox"/>	Son dayanımlara pozitif etki yaratarak yükselmesini sağlar.
Betona Sağladığı Olumsuz Etkileri	
<input type="checkbox"/>	Erken dayanımın düşük olduğu ve soğuk havalarda priz süresinin geciktiği hususlarda dikkat edilmesi gereken önemli hususlardandır.

Çizelge 3. Puzolanik katkı maddelerin beton özelliklerine etkisi

İnce taneli durumdaki doğal puzolan katkıların beton özelliklerini aşağıda ayrıntılı olarak açıklayabiliriz[7];

Beton karışım su ihtiyacı: İnce taneli mineral katkılar, sabit bir çökme değeri için betonun ihtiyacı olan su miktarını genellikle birazcık arttırmaktadırlar. Su azaltıcı kimyasal katkılar kullanılarak bu durum telafi edilebilir.

İşlenebilme: İnce taneli mineral katkı maddeleri betonda kullanılırken, genellikle çimento ağırlığının belli bir yüzdesini azaltmakta ve azaltılan ağırlık kadar ince taneli mineral katkı maddeleri eklenmelidir.

Puzolanik malzemelerin özgül ağırlığı çimento hamurununkinden daha azdır. O nedenle, betonda kullanılan bağlayıcı maddelerin toplam hacmi, (Çimento+Puzolan) artmaktadır. Bu durum, betondaki bağlayıcı hamurun hacmini arttırmaktadır. Böylece daha akıcı, işlenebilmesi daha iyi olan bir beton elde edilmektedir.

Priz Süresi: İnce taneli mineral katkı maddelerinin kullanımlarının durumunda, genellikle, betondaki portland çimentosunun bir bölümü azalttığından, betonun priz süresi katkısız betondakine göre birazcık daha uzun olabilmektedir.

Terleme: Beton karışımında ince taneli malzemelerin yer alması durumunda, taze betonun içerisindeki katı malzemelerin yüzey alanları artmakta ve beton karışımının içerisindeki suyun katı taneler tarafından daha iyi tutulmasına yol açılmaktadır.

Hidratasyon Isısı: Puzolanik betonlarda, genellikle, beton karışımındaki çimento miktarı azaltılmakta ve onun yerine ince taneli puzolanik malzeme kullanılmaktadır. Daha az miktarda portland çimentosu kullanılması, hidratasyon ısısının daha az olmasına yol açmaktadır.

Sürüklenmiş Hava Miktarı: Donmaya karşı dayanıklılık sağlamak için kullanılan hava sürüklenmiş betonlarda, belirli miktarda sürüklenmiş hava oluşumunu elde edebilmek için kullanılan hava sürükleyici katkı maddesinin miktarı puzolanik betonlarda daha fazla olmaktadır.

Dayanım: İnce taneli puzolanik katkıların çimento hamuru içerisinde dayanım kazanmaları, bu maddelerin çimentodaki kalsiyum silikatlı ana bileşenlerin hidratasyonu sonucunda ortaya çıkan kalsiyum hidroksitle reaksiyona girmeleriyle mümkün olabilmektedir. Puzolanik malzemelerle kalsiyum hidroksit ve su arasındaki reaksiyon, yeni C-S-H jellerinin oluşmasına ve dayanımın artmasına neden olmaktadır.

Betonun Su Geçirimsizliği: Yapılan araştırmalarda beton yapımında kullanılan ince taneli malzeme miktarının artması, büyük boşlukların daha az miktarda oluşmasına yol açmaktadır.

Betonun Sülfata Dayanıklılığı: Puzolanik beton üretiminde, puzolansız betona kıyasla daha az miktarda portland çimentosu kullanıldığından, betonda yer alan C_3A oranı da daha az olmaktadır. O nedenle ince taneli puzolanların kullanıldığı ve daha az C_3A 'nın yer aldığı betonların sülfatlara karşı dayanıklılığı daha iyi olmaktadır.

Betonda Yer Alan Alkali Agregası Reaksiyonu: Reaktif silis içeren agregalarla çimentonun alkalileri arasında yer alan reaksiyonlar sonucunda, sertleşmiş betonun içerisinde oluşan alkali-silika jelleri çok büyük genleşmelere yol açmaktadır. Daha az çimento ve dolayısıyla daha az miktarda alkali içeren puzolanik betonlarda, alkali-silika reaksiyonları daha az yer almaktadır.

Beton Ekonomikliği: Daha az miktarda portland çimentosunun kullanılmasıyla elde edilen puzolanik betonlar, tamamen portland çimentosuyla yapılmış olanlara göre daha ekonomiktir.

Doğal puzolanların fiziksel ve kimyasal özelliklerin belirlenmesi için gerekli deneysel yöntemler TS25 ve ASTM C 618 no.lu standartlarda belirtilmiştir.

2.2.4. Perlit

2.2.4.1. Perlit Tanımı

Bu tez çalışmasında puzolanik bir yapı malzemesi olarak düşünülen MFP'nin betonda kullanılabilirlik durumu araştırılmıştır.

Perlit, doğal olarak oluşan volkanik bir kayadır. "Perlit" kelimesi, Almanca "perstein" kelimesinden türeyerek dilimize girmiştir.

Perl (inci) + stein (taş) = inci taş anlamına gelmektedir [20].

Başta perlit olmak üzere muayyen bazı volkanik cam tiplerinin süratli ısıtma ile genleştikleri 1928'den beri bilinmektedir. Ayrıca perlitik obsidyenin 1925'den önce Almanya da geliştirilerek abrazif tuğla yapımında kullanılmış olduğu da söylenmektedir. Perlit 1940'da Las Vegas'da ki bir fırında tecrübe suretiyle geliştirilmiş ve yapı sıvası elde etmek için, alçı ile birlikte kullanılmıştı. Tahminen 1941'de de Superior (Arizona) yakınlarında bulunan Picket Post dağından çıkarılmış olan ham perlit, gaz fırınına aniden atılmak suretiyle pişirilmişti. Bu deneme geliştirilmiş perlitin kullanılması ve işlenmesi ile ilgili bir dizi deney yapan tesisin kurulmasına önderlik etmiştir. 1949 yılından önce perlitin ticari amaçla kullanım alanı çok azdı. 1952 yılında hafif beton agregalarında önemli ölçüde kullanılmaya başlanmış ve endüstrileşmenin gelişmesine bağlı olarak kullanım alanları artmıştır [20].



Şekil 1. Perlitin toz halde görünümü



Şekil 2. Perlitin 5-12mm halde görünümü

2.2.4.1.1. Perlitin Fiziksel Özellikleri

Doğa'da Perlit kayaçlarının fiziksel özellikleri birbirinden farklı olabilir. Renkleri saydamdan griye hatta siyaha kadar değişebilir. Isıtılarak genişletilmiş perlitte renk beyazdır. Bünyesinde %2 ile %6 arasında değişen su miktarı bulunmaktadır. Bu da perlitin önemli bir özelliği olarak karşımıza çıkmaktadır.

Perlitin yapısı, genellikle konsantrik çatlaklar içeren, soğan kabuğu şekilli ufak parçalara ayrılmış cam halindedir. Kayaç olarak görünümü, kompakt, ince taneli, gözenekli gevşek, kolay kırılabilir, kum ve kum taşı yapısında el ile ufalanabilir nitelikler taşır. Petrografik doku ile görünümüne göre perlit, şu şekilde sınıflandırılabilir.[20]

1. Taneli perlit,
2. Ponzalı perlit,
3. Konsantrik yapılu perlit,
4. Lifli perlit (devitrifiye perlit),
5. Feno kristalli perlit,

6. Kum halinde perlit. Bezelye iriliğinden, portakal büyüklüğüne kadar değişen perlit modülleri mevcuttur.

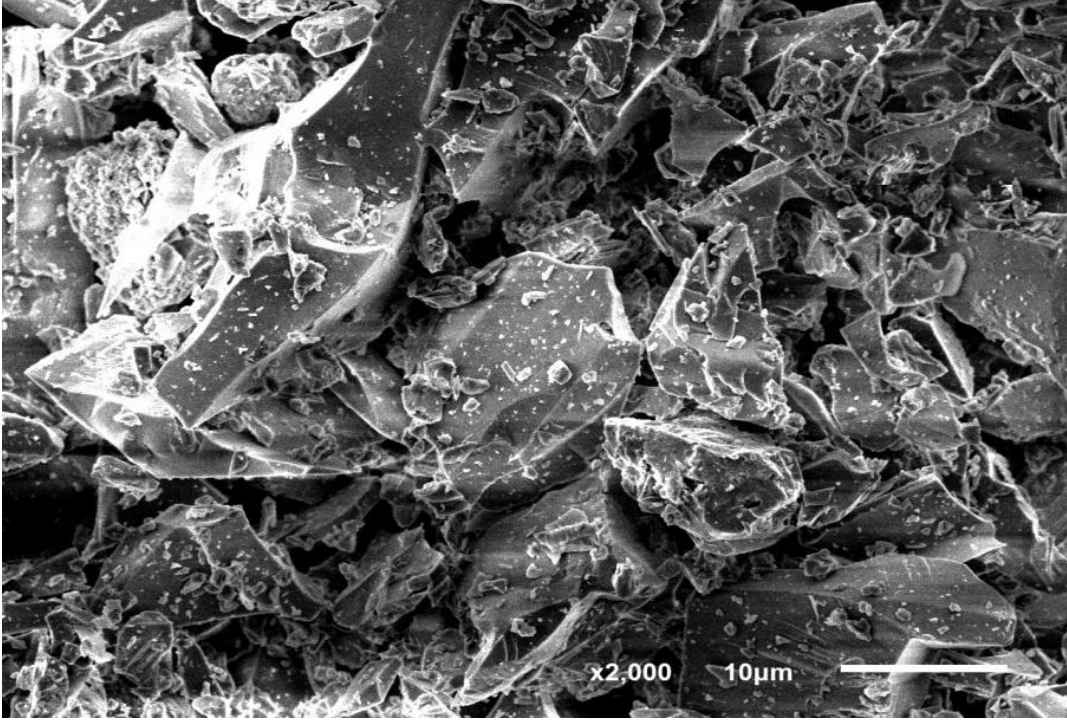
Ham perlit ve genişletilmiş perlitin fiziksel özellikleri aşağı çizelgelerde gösterilmiştir.

Renk	Gri, siyah ve grinin tonları
Yumuşama noktası	800 °C – 1100 °C
Erime noktası	1315 °C – 1390 °C
pH	6,6 – 8,0
Spesifik ısı	0,20 kcal / kg °C
Özgül ağırlık	2.2 – 2,4 gr / cm ³
Serbest nem (%), maks.	0,5
Ağırlık kaybı(%)	0,5
Erime özelliği	Sıcak konsantre alkali ve HF asit (%2) konsantre mineral asitlerde az, (% 0,1) seyreltik mineral veya konsantre zayıf asitlerde çok az erir.

Çizelge 4. Ham perlitin fiziksel özellikleri

Renk	Beyaz, gri ve tonları, genişince tümüyle beyaz
Sertlik	5–6 mohs
Yumuşama noktası	871–1093 °C
Erime noktası	1260–1343 °C
Özgül ısı	0,2 cal/g °C
Isı iletkenliği	0,04 W/Mk
Refraktif indeks	1,5
Asitte çözülme özelliği	Konsantre sıcak alkali ve hidrolik asitte çözünür. Konsantre mineral asitlerinde az erir (%2). Seyreltik mineral veya konsantre zayıf asitlerde çok az erir (%0,1)

Çizelge 5. Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri



Şekil 3. Perlitin SEM (Scanning Electron Microscope) görüntüsü

2.2.4.1.2. Perlitin Kimyasal Özellikleri

Perlit, özel dokulu, içyapısında belli oranda su içeren, asit bileşimli esas itibariyle volkanik camdır. Nitrat sülfat, fosfor, ağır metal, radyoaktif element ve organik madde içermez. Dolayısıyla kimyasal olarak oldukça saftır [4].

Tipik bir perlitin kimyasal analizi aşağıda gösterilmiştir.

SiO ₂	71.0 - 75.0
AlO ₃	12.5 - 18.0
Na ₂ O ₃	2.9 - 4.0
K ₂ O	0.5 - 5.0
CaO	0.5 - 0.2
Fe ₂ O ₃	0.1 - 1.5
MgO	0.02 - 0.5
TiO ₂	0.03 - 0.2
MnO ₂	0.0 - 0.1
SO ₃	0.0 - 0.2
FeO	0.0 - 0.1
Cr	0.0 - 0.1
Ba	0.0 - 0.05
PbO	0.0 - 0.03 / 0.3
NiO	Eser
Cu	Eser
B	Eser
Be	Eser
Serbest silis	0.0 - 0.2
Toplam klorürler	Eser - 0.2
Toplam sülfatlar	Hiç Yok

Çizelge 6. Tipik bir perlitin kimyasal analizi

Tablo 1. Perlitin bazı ülkelere göre kimyasal analizi

Kimyasal Bileşim (%)	Tipik Perlitik Obsidyen (20 anlz. ort.)	ABD Arizona	ABD New Mexico	Yunanistan Milos	İtalya Sardunya
SiO ₂	71.88	73.6	74.1	73.74	72.8
Al ₂ O ₃	12.73	12.7	13.3	12.15	13.8
Fe ₂ O ₃	1.65	0.7	1.8	0.7-1.2	2.1
CaO	1.26	0.6	1.5	0.7	0.9
MgO	0.35	0.2	0.4	0.3	0.4
K ₂ O	4.35	5.0	3.8	3.0-4,8	5.6
Na ₂ O	2.93	3.2	3.5	3.4-4,1	3.3
TiO ₂	-	0.1	0.05	0.06	0.3
H ₂ O	3.84	3.8	3.0	2.5	-

Dünyanın çeşitli bölgelerinden 20 adet perlitik obsidyen ortalaması ile bazı perlitlerin kimyasal analiz değerleri görülmektedir [21,22].

2.2.4.2. Perlit Kullanım Alanları ve Dünya Rezervleri

Perlit yaklaşık olarak;

- % 35'i sıva uygulamalarında
- % 25'i beton agregası olarak,
- % 23'ü filtre sanayinde,
- % 4'ü tarımda,
- %5'i diğer alanlarda

kullanılmaktadır.

İnşaat Sektörü:

Perlit günümüzde daha çok inşaat sektöründe tüketilmekte, bu nedenle de perlit hakkındaki araştırmalar inşaat malzemelerinin üretimi ve bu malzemelerin özelliklerinin incelenmesi konularında yoğunlaşmıştır. Ülkemizde üretilen perlitin %80'i inşaat sektöründe ısı ve ses yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Isı iletkenlik değerinin çok düşük olması, hafifliği, kullanılabilme ve işlenebilme kolaylığı, ısıya dayanımı, asit ve bazlara dayanıklılığı, bakteri barındırmayışı[23] özellikle ham perlitin yapısındaki silis ve alüminyumlu bileşikler olması ve bunların kalsiyum esaslı bağlayıcılar ile kimyasal tepkimeye girerek hidrolik aktivite göstermesi[11] gibi birçok avantajları, perlitin inşaat sektöründe ideal bir yapı malzemesi durumuna getirmektedir [23].

Perlitin inşaat sektöründe kullanım alanları dört ana grupta toplanabilir. Genleştirilmiş perlit ısı ve ses yalıtımı sağlamak amacıyla serbest olarak duvar ve döşemelerde kullanılabilir. Genleştirilmiş perlit, çift cidarlı bir duvarın iki cidarı arasına serbest olarak doldurulabilir. İnorganik bir malzeme olan perlitin pH'ı 6-7 dolaylarındadır. Genleştirilmiş perlitin inşaat sektöründe en yaygın kullanım şekli, yalıtım özelliğine sahip ısı yalıtım betonu yapımıdır. Perlit betonlarının kullanım amacına göre yoğunlukları 300-600 kg/m³, ısı iletkenliği 0,090-0,15 kcal/mh⁰C arasında değişir. Çoğunlukla açık ve kapalı çatılarda, zemine oturan döşemelerde, ara kat döşemelerde ve alt yüzü dış etkilere açık döşemelerde uygulanmaktadır [23].

Genleştirilmiş perlitin diğer bir kullanım alanı ısı ve ses yalıtım amaçlı sıva yapımıdır. Perlitli yalıtım sıvası genleştirilmiş perlitin, alçı veya portland çimentosu ve katkı maddeleri ile uygun oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir. Klasik inşaat işlemlerine ilave bir işlem gerektirmeksizin, normal kaba sıva yerine kullanılmaktadır. Yoğunluğu 400 kg/m³ olan perlitli sıvanın ısı iletkenlik değeri 0.12 Kcal/mh⁰C dir. Hafifliği, yangına karşı

koruyuculuğu, nefes alan bir malzeme olması nedeniyle sağlıklı ortamlar oluşturur. Yukarıda açıklanan üç uygulamaya ilave olarak genleştirilmiş perlit inşaatlarda şu şekillerde de kullanılmaktadır [24];

- Şekillendirilmiş yalıtım malzemeleri (çatı ve zemin yalıtımlarında)
- Perlitli hafif yapı elemanları, tavan kiremitleri, boru yalıtımları vs.
- Yüzey döşemelerinde (ısı ve ses yalıtıcı olarak)

Tarım Sektörü:

Perlit, gözenekliliği nedeniyle yüksek su tutma kapasitesine sahiptir. Toprağa perlit karıştırılarak bitkilere gerekli olan hava ve nem sağlanır. Bu özellikleri nedeniyle aşağıdaki uygulama alanlarında kullanılır.

- Tarla tarımında
- Bahçe tarımı ve seracılıkta (fide yetiştiricilik, kültür tarımı gibi)
- Çimli spor alanlarında

Gıda Sanayi:

- Bira, şarap ve likörleri süzmede
- Bitkisel yemeklik yağları süzmede
- Meyve suyu süzmede
- Şeker şerbeti süzmede
- Mısır şerbeti (glikoz/dekstroz üretiminde) süzmede

İlaç ve Kimya Sanayi:

- Antibiyotiklerin süzülmesinde
- Pektin süzmede
- Soda külü eriyiklerinin filtrasyonu
- Sitrik tuz süzme
- Sodyum silikat (su camı) filtrasyonu
- Sülfürik asit filtrasyonu
- Uranyum şerbeti filtrasyonu
- Kağıt sanayinde (beyaz su) filtrasyonu
- Flok süzmede (alüminyum hidroksit ve flokülasyon işlemlerinde)
- Boyaların süzülmesinde
- Fosforik asit süzme
- Haşere ilaçlarında

- Temizleyici tozlarda
- Dinamit üretiminde

Diğer süzme işlemlerinde:

- İçme suyu süzmede
- Yüzme havuzlarının suyunu süzmede
- Atık suları temizleme ve süzme işlemlerinde
- Makina yağı süzmede (kullanılmış makina yağlarının rejerasyonu)

Sanayide ısı yalıtımında perlit kullanımı:

- Sıvılaştırılmış gaz tanklarının ısı yalıtımında
- Soğuk depoların yalıtımında
- 1000 °C kadar sıcaklıktaki reaktörlerin yalıtımında

Metalürjide perlit kullanımı:

- Dökümcülükte metalurjik flaks olarak
- Döküm kumuna katkı maddesi olarak
- Potadaki ergimiş metalin korunmasında
- Haddeye giden sıcak metal ingotların ısı kayıplarını önlemede
- Demir-çelik sanayiinde ergimiş metalin curuf kontrolunda
- Perlitli yalıtıcı refrakterlerin üretiminde
 - Seramik bağlayıcılı perlit refrakter tuğlalar
 - Alüminyum fosfat bağlayıcılı perlit refrakter tuğla veya betonlar
 - Perlitli refrakter harç

Diğer Alanlardaki Uygulamalar:

- Petrol, su ve jeotermal sondajlarda (çimentolama işlemini kolaylaştırıcı katkı maddesi olarak)
- Gemi diplerini kaplama ve yalıtımında (kalafat macunları)
- Petrol artıklarından veya diğer yağlı atıklarından kaynaklanan su kirliliğini gidermede(Bilhassa denizlerdeki)
- Baraj göllerinde, kentlerde, açık su rezervuarlarda buharlaşmayla su kaybını önleyici olarak
- Ambalajlamada dolgu malzemesi olarak
- Plastik köpük ve plakalara dolgu ve katkı malzemesi olarak

- Ucuz ve hafif plastik mobilya yapımında dolgu maddesi olarak (Bahçe sandalye ve masası)
- Yangına karşı özellikle çelik konstrüksiyonlarda yalıtım katı olarak

2.2.4.3. Perlit Üretimi ve Dünya Rezervleri

Perlit Üretimi:

Perlit, genellikle taş ocağı şeklinde bir işletme ile ocaktan çıkarılır. Ocak işletmeciliğinde, öncelikle üzerindeki örtü alınır ve patlatma yapılarak çıkarılan malzeme kırıcılara ve değirmene gönderilir. Bir perlit işleme tesisinde yapılan işlemler, sırasıyla; ön öğütme, kurutma, öğütme, ince öğütme, eleme, sınıflandırma, boyutlandırma ve depolamadır. Daha sonraki işlemler ısıtmaya hazırlık ve ısıtmadır. Kırma-öğütme-eleme işleminde ortalama tane boyutlarına dikkat edilir [25].

Perlitin geliştirilmesinde ise başlıca dört faktörün rol oynadığı söylenebilir.

- Kullanılan perlitin cinsi
- Gerekli ısıtma süresi
- Tane iriliği
- Genleşme sıcaklığı

Perlit geliştirme tesisleri, hammadde depolama, geliştirme, ayırma ve paketleme olarak üç üniteden oluşmaktadır [4].

Perlitin cinsine ve istenen ürüne göre geliştirme tesisinde kullanılacak fırının tipi değişmekle birlikte son yıllarda sabit, dikey fırınlara doğru bir temayül bulunmaktadır. Bu fırınlar mazot ya da gazla çalışmaktadır [4].

Ürün Standartları

Ülkemizde, perlit için gerekli olan TSE standartları aşağıda çizelge halinde verilmiştir.

TSE 415	Isı iletkenliği ve geçirgenliği direncinin yapıda kullanılması için hesap değerinin bulunması
TSE 1114	Hafif agregalar (Beton için)
TSE 2511	Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları
TSE 2381	Konutlarda ses yalıtımının değerlendirilmesi
TSE 1476	Ses absorsiyonu katsayıların ölçülmesi
TSE 1474	Alçı bölme duvar bileşenleri
TSE 1475	Alçı bölme duvar bileşenlerinin yerlerine konulması kuralları
TSE 1262	Sıva yapım kuralları (Bina iç yüzeylerinde kullanılan)
TSE 1263	Yapı elemanlarının yanmaya dayanıklılık deney metotları
TSE 825	Binalarda ısı etkilerinden korunma kuralları
TSE 305	Odun talaşı levhaları
TSE 705	Fabrika tuđları
TSE 639	Uçucu küller
TSE 640	Uçucu küllü imento
TSE 20	Yüksek fırın cürufu imentoları
TSE 901	Lifli ısı ve ses yalıtma malzemesi
TSE 2823	Betondan mamul yapı elemanları
TSE 453	Gaz beton yapı malzemeleri ve elemanları
TSE 3681	Genleştirilmiş perlit agregası
TSE 3649	Perlitli ısı yalıtımı betonu yapım- uygulama kuralları deney ve metotları
TSE 3682	Alçılı perlit bölme duvarı elemanları

Çizelge 7. Ülkemizde, perlit için gerekli olan TSE standartları

Dünya Rezervleri:

Dünya Perlit rezervleri volkanik kuşak içindeki bölgelerde bulunmaktadır. Ülkeler ve bölgeler için perlit rezervleri izelge 8.'de verilmiştir. A.B.D., B.D.T., Türkiye ve Yunanistan perlit kaynakları bakımından zengin ülkelerdir [4].

ÜLKELER	Rezervler	Rezerv Toplamı
Kuzey Amerika		
ABD	45.4	182.0
Diğer	4.5	18.0
TOPLAM	49.9	200.0
Avrupa		
Yunanistan	45.5	273.0
Diğer	453.6	909.0
TOPLAM	500.0	1.182.0
Asya		
Japonya	9.1	45.5
Filipinler	9.1	36.4
Türkiye	27.3	273.0
TOPLAM	45.5	354.9
Afrika ve Okyanusya	22.7	90.1
Dünya Toplamı (Yuvarlatılmış)	635.0	1.820.0

Çizelge 8. Perlit için dünya rezervleri (milyon/ton)

Türkiye’de yapılan araştırmalarda toplam mümkün perlit rezervinin 4,5 milyar ton belirtilmektedir. (İst. Maden İh. Birliği 1999 çalışma raporu)

Bölgesel olarak üç bölge başlığı altında değerlendirilmiştir. Bunlar:

1. Batı Anadolu Bölgesi oluşumları, İzmir-Cumaovası perlit yatakları
2. Orta Anadolu Bölgesi oluşumları, Eskişehir-Kütahya-Ankara ve Niğde
3. Doğu Anadolu Bölgesi oluşumları, Erzincan-Bitlis-Van-Kars

Türkiye Rezervleri:



Şekil 4. MTA Genel Müdürlüğü Türkiye maden yatakları haritaları Perlit ve Pomza

Bölgeler	Miktar (Bin)	Ton, Mümkün)
Ankara-Kızılıcıhamam	34.200	
Ankara-Çubuk	32.000	
Ankara-Çamlıdere	8.000	
Balıkesir-İvrindi	25.000	
Çanakkale-Biga	3.400	
Çanakkaler-Orta	30.000	
Eskişehir-Seyitgazi-Türkmentepe	20.000	
Erzurum-Pasinler	100.000	
İzmir-Cumaoası	60.000	
İzmir-Foça	16.500	
İzmir-Bergama	16.500	
İzmir-Dikili-Deliktaş	8.000	
Kars-Sarıkamış	1.500.000	
Manisa-Sarıkamış	18.000	
Manisa-Zeytindağ	18.600	
Nevşehir-Acıgöl	862.000	(Gör-Muh)
Nevşehir-Derinkuyu	350.000	
Van-Erciş-Adilcevaz	1.400.000	
TOPLAM	4.502.200	

Çizelge 9. Türkiye perlit rezervleri

Amerikan Jeolojik Yüzey Ve Hammadde Araştırmaları Kurumu olan “U.S. Geological Survey”’in Şubat 2014 tarihinde hazırladığı Dünya Perlit Üretimi raporuna göre; Türkiye perlit üretimi konusunda Yunanistan yakaladığı A.B.D geçtiği görülmektedir. U.S.G.S.’in (Milyon Ton bazında) hazırladığı söz konusu rapor aşağıdaki gibidir:

U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, February 2014			
	Production		Reserves³
	2012	2013e	
United States	396	376	50,000
Greece	800	800	50,000
Hungary	70	70	NA
Iran	500	500	NA
Italy	60	60	NA
Japan	200	200	NA
Turkey	800	800	NA
Other countries	150	150	NA
World total (rounded)	2,980	3,000	NA

Çizelge 10. Ülkelerin perlit üretim raporu, [26]

2.2.4.4. Perlit Hakkında Literatür Çalışmaları

Literatür taramasında Puzolanlarla yapılan çalışmaların çokluğundan bahsedebiliriz. Tezimize konu olan Perlit ile ilgili yapılan çalışmaların günden güne arttığı görülmektedir.

Konumuzla paralel karşımıza çıkan bazı araştırmalar sırasıyla incelenmiştir.

Zeolitik (Bigadiç), Perlitik(Turnatepe) volkanik tüflerinin çimento katkı maddesi olarak değerlendirilebilmesi için saha etüdüleri yapılmış, puzolanik karakterleri incelenmiş, çimento hammaddesi olabilme özellikleri araştırılmış ve bunlarla üretilen çimentoların beton özellikleri dayanıklılık açısından portland çimentosu ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir [1].

Silis dumanı ve uçucu külün pomza ve perlit agregaları ile çeşitli karışımlar yapılarak üretilen hafif betonların özellikleri araştırılmıştır. Silis dumanı ve uçucu külün, hafif betonların rötre ile donma-çözülme özelliklerini iyileştirdiği ve ısı iletkenlik değerleri ile birim ağırlıklarını azalttığı tespit edilmiştir [27].

Perlit agregası içeriğinin değişik dozlarda silis dumanı içeren betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Perlit betonun özellikleri kompozit malzeme kuralları içerisinde incelenerek değişik kompozit malzeme kuralları uygulanmıştır. Sonuç itibarı ile artan perlit miktarı ile basınç mukavemetindeki artışta azalma olduğu ve yüksek perlit oranlarında ise neredeyse hiçbir iyileşme olmadığı tespit edilmiştir [28].

Perlitin akustik plakların nemli ortamdaki davranışları incelenmiştir. Üretilen plakların, kuru halde pratik nemlilikte %50-98 nemlilikte, suya yan doymuş ve tam doymuş halde ses yutma katsayıları ölçülmüştür. Perlit taneciğinin silikatlanarak kullanımının, neme dayanımı arttırdığı, karışıma mineral lifin eklenmesinin, rijitliği sağladığı ve ses yutma katsayısını arttırdığı görüldü [29].

Bir diğer araştırmada perlitin çimento üretiminde kullanıldığını görmekteyiz.

Manisa Yundağı yöresine ait İzmir Cumaovası Etibank perlit işletmelerinden elde edilen ham perlitin çimentoda puzolanik katkı olarak kullanılabilirliğinin araştırılmıştır.

Araştırma sonunda;

Manisa Yundağı ham perlitinin çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilceği belirlenmiştir. Perlitli kompoze çimentolarda standart kıvam suyu ihtiyacı, perlit oranı artışı ile artmaktadır. Perlitin özgül ağırlığının (2,37 g/cm³) düşük olması nedeni ile perlit oranı arttıkça üretilen çimentoların özgül ağırlık değerleri de

düşmüştür. Perlit, eğilme dayanımlarında 7 ve 28 günlerde sırasıyla % 5 ve % 10 oranlarında, 90 günlük dayanımlarda ise sadece % 5 oranında Portland kompoze çimento B 32,5 çimentosuna göre olumlu sonuç vermiştir. Perlit, basınç dayanımlarında 7 günlük dayanımlarda % 5 ve % 10 oranında, 28 günlük dayanımlarda % 5, % 10 ve % 15 oranında, 90 günlük dayanımlarda ise % 25 ve %30 oranları hariç PKÇ B 32,5 çimentosuna göre daha yüksek dayanım vermiştir. Çimento üretiminde, perlitin klinker ile birlikte değil de ayrı olarak katkı şeklinde kullanılması işçilik, zaman ve ekonomik olması açısından daha uygun olabilirliği tespit edilmiştir [30].

Bir diğer çalışmada Datça toprağı ve perlitin puzolanik aktiviteleri incelenmiş, çalışma sonunda her iki malzemenin TS25 de Puzolan malzemeler için tanımlanan ölçütleri sağladığını bulmuşlardır. Her iki malzemedden TS 25 de belirtilen harç yapılmıştır. Her iki numune 7 günlük kürlenme sonunda yeterli dayanım kazanmadığı, perlit için su/çimento oranının önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır [31].

Ve son araştırmada tezimiz deney çalışmalarına paralel, Perlit tozunun beton karışımdaki davranışı incelenmiştir. Değişik perlit karışım oranlarının kullanıldığı bu çalışmada numunelerin 3,28 ve 90. gün sürelerde basınç dayanımları tespit edilmiştir. 28 gün basınç dayanımının en iyi %15 perlit katkılı karışımda olduğu görülmüştür [32].

2.3. Çimentolar

2.3.1. Çimentonun Tanımı

Çimento, esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır. Hidrolik bağlayıcı maddeler, su ile reaksiyonu sonucu sert bir kütle oluşturduktan sonra su içerisinde dağılmayan, sertliğini ve mukavemetini muhafaza eden veya artıran bağlayıcı maddelerdir [33].

Çimento inşaat teknolojisine göre yapı malzemeleri grubuna giren hidrolik bağlayıcı bir inşaat malzemesidir. Çimentoya özelliklerini kazandıran iki öğeden biri hammadde bileşimi, diğeri ise klinkerin ısısal işlemleridir. Klinker bileşimi, esas olarak hammadde karışımının kompozisyonuna sıkı sıkıya bağlıdır. Ayrıca kullanılan yakıt cinsi ve yakıt içerisinde kül meydana getiren maddelerde klinker bileşimini etkileyen faktörlerdir [34].

Çimento üretimi kompleks bir işlemdir ve büyük tesislere ihtiyaç duyulmaktadır. Çimentonun temel ham maddeleri, kireç taşı ve kildir. Silis, alümin ve demir oksitle birleşme özelliği vardır. Kil, saf olmayan alüminyum, kalsiyum ve demir silikattır. Çimento üretiminde amaç, bu maddeleri belirli oranlarda karıştırmak ve yüksek sıcaklıkta (1350-1500⁰C) pişirmektir. Yüksek sıcaklıkta temel maddeler değişikliğe uğrar. Kireç taşından CaO, kilden SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ meydana gelir. Bu maddeler yine yüksek sıcaklıkta aralarında birleşerek çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran silikat ve alüminatları meydana getirirler. Çimento üretiminde hammadde olarak, klinkere %3 – 6 oranında alçı taşı (CaSO₄.2H₂O) katılır. Klinker ve alçı taşı birlikte öğütülür. Alçı taşının görevi, çimentoda priz süresini ayarlamaktır. Klinkere öğütme sırasında katkı maddesi olarak %2 - 3 gibi az bir oranda, kireç taşı da katılmaktadır. Kireç taşı klinkerden daha kolay öğütülebilen bir malzemedir. Böylece klinker daha iri, kireç taşı taneleri daha küçük olur ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak çimentonun mukavemetini ve islenebilirliğini artırır, kolay yayılmasını sağlar[34].

2.3.2. Çimento Tarihçesi

Çimento kelimesi, yontulmuş taş kırıntısı anlamındaki Latince ‘caementum’ kelimesinden türemiş, sonraları ‘bağlayıcı’ anlamında kullanılmaya başlamıştır. İlk betonarme yapının tarihi 1852 olmakla birlikte, yapıların inşasında bağlayıcı malzemelerin kullanımı çok eskilere dayanır; bağlayıcı madde olarak kullanılan ilk madde kireçtir. Bu konuda kesin bulgular olmamakla birlikte, kirecin bağlayıcı özelliğinin insanlık tarihinin erken dönemlerinde milattan önce 2000’li yıllarda keşfedildiği söylenebilir. Eski Mısır, Kıbrıs, Girit ve Mezopotamya’nın değişik yörelerinde kirecin bir yapı malzemesi olarak kullanılmasına ait örneklerle rastlanılmıştır. Eski Yunanlılar ve Romalılar kireci hidrolik bağlayıcı olarak kullanmışlardır [35].

Eski Mısırlılar, Keops piramidinin yapımında alçı harcı kullanmışlardır (M.Ö.~300). Bu, alçı taşının pişirilmesi sonucu mümkün olmuştur. Eski Yunanlılar ve Romalılar killi kalkerleri pişirerek su kireci elde ettiler. Aynı zamanda da bazı volkanik formasyonların ince öğütülüp kireç ve kum ile karıştırıldıklarında kireç harcından daha kuvvetli olmakla kalmayıp suya karşı da daha dayanıklı olan bir malzeme elde edileceğinin bilincine varmışlardı. Bu bağlayıcı malzemelerin karakterleri ancak 18. Yüzyılda anlaşılmaya başlandı [36].

1824 yılında İngiltere'nin Leeds kentinde, Joseph Aspdin isimli bir duvarcı ustası hazırladığı ince taneli kil ve kalker karışımını önce pişirerek ve sonra öğüterek bağlayıcı bir ürün elde etmiştir. Bu ürüne su ve kum katıldığında ve zamanla sertleşme tamamlandığında, ortaya çıkan malzemenin İngiltere'nin Portland Adası'ndan üretilen yapı taşlarını andırdığını gören Aspdin, elde ettiği bu bağlayıcı için 21.10.1824 tarihinde 'Portland Çimentosu' adı altında patent almıştır. Bu bağlayıcı sonraki yıllarda büyük gelişmeler göstereceği 'Portland' ismi aynen korunmuştur [16].

Birkaç öncü çalışmanın ardından, Leeds şehrinde bir yapı ustası olan Joseph Aspdin, 1824 yılında Portland çimentosunun patentini aldı. Sonraları hidrolik çimento kullanımı Avrupa ve Kuzey Amerika'da hızla yayıldı. Çimento üretiminde kullanılan ekipmanın geliştirilmesine başlandı [36].

Döner fırınların geliştirilmesine İngiltere'de 1877 yıllarında başlandı ve ilk başarılı uygulamacı olduğu kabul edilen Fredrick Ransome 1885 yılında döner fırını için patent aldı. Bu o zamanlar için çimento endüstrisinde önemli bir gelişmeydi ancak gerçekten başarılı işlev gören bir döner fırın yıllar sonra gerçekleşti. Ransome'ın fırınlarından sonra bazı Amerika'lı mühendisler bu buluşu geliştirmeye devam ettiler. Amerika'da ekonomik olarak çalışan döner fırın Atlas Çimento Şirketi'nden Hurry ve Seaman tarafından geliştirilerek 1895 yılında üretime başladı [36].

Portland çimentosunun üretimi arttıkça hammadde ve çimentolarla ilgili deney yöntemleri ve karakterizasyonlar üzerine çalışmalar başladı. Çok sayıda laboratuvar çalışmasından sonra 1900'lerin başlarında baslıca çimento deneyleri büyük ölçüde standartlaşmış oldu. O zamandan beri bunların bir bölümü gözden geçirilip değiştirildi ve bütün dünyada çimento standartlarıyla yeni deneyler eklendi [36].

2.3.3. Çimento Oluşturan Ana Hammaddeleri

Kireçtaşı: Kimyasal bileşiminde en az % 90 CaCO₃ (kalsiyum karbonat) içeren kayalara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde en az % 90 kalsit minerali bulunan kayalara da kalker adı verilmektedir.

Kalker saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşur. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup, teorik olarak % 56 CaO ve % 44 CO₂ içerir. Ancak doğada hiçbir zaman saf olarak bulunmaz. İkincil derecede değişik

madde ve bileşiklerin içinde yer alması nedeniyle orijinal halde sarı, kahverengi ve siyah renklerde de görülebilmektedir.

Kalkerin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı 2.5-2.7 gr/cm³ arasındadır.

Kil: Killer, içlerindeki ana maddeler alkali de içeren alüminyum silikat hidratlardır. Killer içinde feldispat, kuvars, mika ve turmolin gibi maddeler bulunabilir. Kilin rengini içerisinde bulunan maddeler oluşturur. Kırmızı killerde demir oksit miktarı yüksektir. Mavimsi ve sarımsı killerde organik maddeler, sarı killerde alüminyum oksitleri bulunur. Kil mineralleri başlıca; kaolen grubu, montmorillonit grubu, alkali ihtiva eden kil grubu gibi gruplara ayrılır [37].

Kil minerallerinin kesin bir sınıflandırılması yapılmamakla beraber aşağıda yapılan sınıflama, uygulamalarda geçerli olan bir sınıflamadır:

I- Amorf

Allofan grubu

II- Kristalin

A- İki tabakalı

A.1- Kaolinit grubu (Kaolinit, nakrit, dikit)

A.2- Halloysit grubu

B- Üç Tabakalı

B.1.a- Montmorillonit grubu

Montmorillonit, sausonit ve vermikülit

B.1.b- Nontronit, saponit, hektorit

B.2- İllit grubu

C- Düzenli karışık tabakalı

Klorit grubu

D- Zincir yapılı

Atapuljit

Sepiyolit

Paligorskit

Marn: Kalker ve kilin doğada, %50–70 oranında kalker ve %30–50 oranında kil karışımından oluşmuş kayaca marn denilmektedir. Oluşum bakımından tamamı ile sedimanter olup, diyajenez geçirmiş genellikle düzenli tabakalı olarak bulunur. Marn oluşumu için, daha çok tektonik ve orojenik hareketlerin durulduğu, sakin ortamlar daha uygundur. Çimento klinkeri ortalama %70 kalker ve %30 kil içeren hammadde karışımının

öğütüldükten sonra yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ile elde edilmektedir. Marn doğal olarak bu bileşimi taşıdığından veya bu bileşime çok yakın özellikte bulunduğundan ideal çimento hammaddesidir. Ayrıca kalkere göre daha yumuşak olması nedeniyle kolay öğütülebilmekte, kırma-öğütme işlemleri sırasında enerji tüketimi düşük olmaktadır [38].

Kil (%)	Hammadde
0 – 4	Kalker
4 – 10	Marnlı kalker
10 – 25	Kalkerli marn
25 – 60	Marn
60 – 90	Killi marn
90 – 96	Marnlı kil
96 – 100	Kil

Çizelge 11. Kil içeriklerine göre çimento hammaddelerinin adlandırılması, [16]

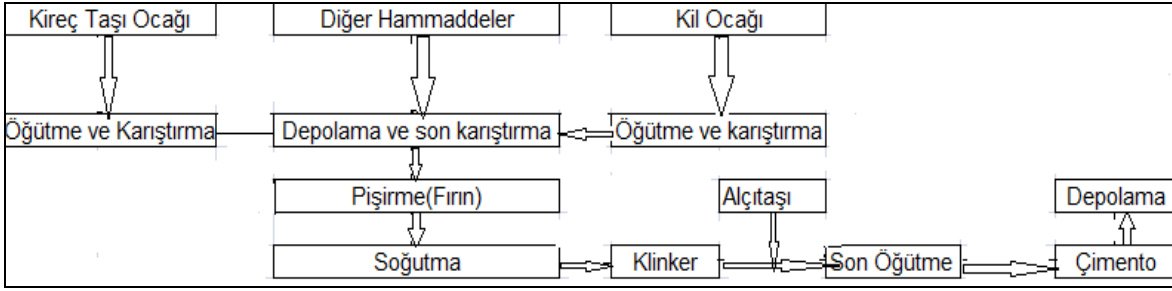
Çimento sanayinde kullanılan ve KUHL tarafından CaCO_3 oranına göre yapılan sınıflandırma aşağıda verilmektedir.

% CaCO_3 Oranı	Hammadde Adı
99-100	Mermer
90-98	Kalker
75-90	Kalkerli Marn
40-75	Marn
10-40	Killi Marn
2-10	Marnlı Kil
0-2	Kil

Çizelge 12. Çimento sanayinde kullanılan ve KUHL tarafından CaCO_3 oranına göre yapılan sınıflandırma

2.3.4. Portland Çimentolar

Portland çimentosu, Kalker ve kil karışımı hammaddelerin pişirilmeleriyle ortaya çıkan klinkerin alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilen üründür. Beton üretiminde kullanılan en yaygın çimento tipidir.



Şekil 5. Portland çimentosu üretimi şematik gösterimi

PÇ, kalkerli ve killi hammaddelerin döner fırında pişirilmesi sonucunda elde edilen klinkere, az miktar alçı ilave edilerek 0.5 - 80 µm boyutlarında öğütülmesi suretiyle elde edilir. Kimyasal açıdan ana bileşenlerini, kristal yapıdaki kalsiyum silikatlar ve alüminatlar oluşturur.

Döner fırına verilen hammadde karışımı, esas olarak kireç, silika, alümina ve demir oksitten meydana gelir. Bu oksitler, yüksek sıcaklıkta birbirleriyle reaksiyona girerek daha kompleks bileşenler oluştururlar [39].

PÇ'de dört ana bileşen mevcuttur:

Bileşen İsmi	Kimyasal Bileşimi	Kısa İsim	% Ağırlık
Trikalsiyum silikat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	50—55
Dikalsiyum silikat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	20—25
Trikalsiyum alüminat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	10—12
Tetrakalsiyum alüminoferrit	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	8—10

Çizelge 13. Portland çimentoların ana bileşenleri

Bu katı eriyikler dışında çimento bileşiminde bir miktar alçıtaşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), serbest kireç (CaO), çözünmeyen kalıntı ve kızdırma kaybı unsurları bulunur.

Bu bileşenler kireçtaşı ve kilden farklı yapıya sahiptirler. Su ile karıştırıldıklarında hemen su molekülleri ile birleşerek hidrate olmaya ve kristal yapıya dönüşmeye başlarlar.

Termodinamik bakımdan çimentodaki karma oksitler fırında aldıkları yüksek ısı nedeniyle yüksek entropiye sahiptirler. Su ile karıştırıldıklarında bu gizli enerji açığa çıkar ve hidratlaşmaları ekzotermik olarak meydana gelir. Bu ekzotermik davranış, teknolojik uygulama açısından sakıncalar doğurur; betonda çatlamalara neden olur.

Aşağıdaki çizelgede çimento dört karma bileşenine ait karakteristik özellikler verilmiştir [40].

<i>Karma bileşen</i>	<i>C₃S</i>	<i>C₂S</i>	<i>C₃A</i>	<i>C₄AF</i>
Hidratasyon hızı	Hızlı	Yavaş	Çok hızlı	Hızlı
Dayanım gelişim hızı	Hızlı	Yavaş	Hızlı	Orta
Nihai dayanım	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük
Hidratasyon ısısı	Orta	Düşük	Çok Yüksek	Orta

Çizelge 14. Çimentonun dört karma bileşenine ait karakteristik özellikleri

Bileşen	Reaksiyon Hızı	Açığa çıkan ısı miktarı	Dayanım		Hidratasyon ısısı (cal/g)
			Erken	Nihai	
<i>C₃S</i>	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek	120
<i>C₂S</i>	Yavaş	Düşük	Düşük	Yüksek	62
<i>C₃A</i>	Hızlı	Çok yüksek	Düşük ⁰	Düşük	207
<i>C₄AF</i>	Orta	Orta	Düşük	Düşük	100

⁰Dayanım katkısı sadece ilk birkaç saat ile sınırlı olduğu için *C₃A*'nın erken dayanım katkısı "düşük" olarak nitelendirilmiştir.

Çizelge 15. Karma bileşenlerin hidratasyon karakteristik özellikleri

Çimentonun hemen hemen %90 bu dört karma bileşenden oluşmaktadır. Silikatlar çimentonun iskeletini teşkil ederler; çimentoya bağlayıcılık ve dayanım sağlayan bileşenler olarak bilinirler [40].

Bu ana bileşenlerin özelliklerine göre çimento bileşimi çeşitli amaçlar doğrultusunda ayarlanabilir. Özel betonlarda ve ortam koşullarına göre istenen haller için çimento bileşimi ayarlamak suretiyle gerçekleştirilebilir.

Çimento bileşenleri, basit oksitler halinde bulunmamakla birlikte, kimyasal analiz sonuçları oksit miktarları olarak verilir. Bu oksit analizinden elde edilen değerler, bir çimentodaki ana bileşenlerin miktarlarını, "Bogue Denklemleri" adı verilen formüller vasıtasıyla hesaplamakta kullanılır. Tipik bir PÇ'nin kimyasal analizi ve Bogue denklemleri ile hesaplanan ana bileşen miktarları Çizelge 2.14'de verilmiştir[41].

Genel İsim	Oksit	Çimento Kimyasına Göre Sembolu	Miktarı %
Kireç	CaO	C	60—67
Silis	SiO ₂	S	17—25
Alümin	Al ₂ O ₃	A	3—8
Demir	Fe ₂ O ₃	F	0,5—6
Magnezi	MgO	M	0,1—4
Alkaliler	Na ₂ O + K ₂ O	N+K	0,2—1,3
Kükürt Anhidriti	SO ₃	S ⁻	1—3

Çizelge 16. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve miktarları

SO₃ dışındaki bütün oksitler çimento klinkerini oluşturan oksitlerdir. Klinkerde bulunmayan bu oksit çimento üretiminde kullanılan alçıdan (CaSO₄=CaO.SO₃) gelmektedir.

TS 197-1'e göre ülkemizde üretilen Portland çimentoları, en son şekliyle aşağıda görüldüğü gibi üç tiptir [14].

CEM I 32,5 (Normal Portland Çimentosu)

CEM I 42,5 (Yüksek Dayanımlı Çimento)

CEM I 52,5 (Yüksek Dayanımlı Çimento)

2.3.5. Portland Puzolanlı Çimento

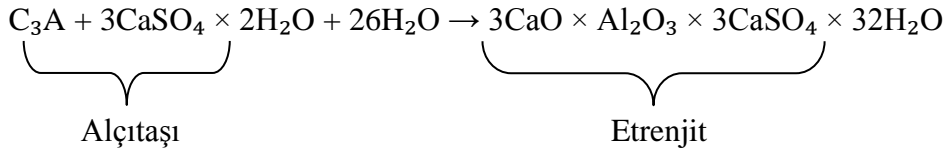
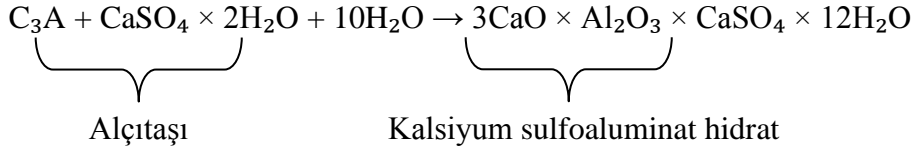
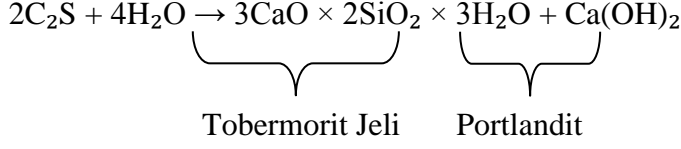
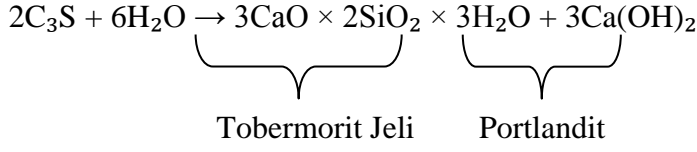
Ülkemiz açısından en önemli çimento türü, doğal puzolan kullanılarak üretilen Portland puzolanlı çimentolardır. Bu tip çimentolar daha önce traslı (TS 26) ve katkılı (TS 10156) çimentolar olarak tanımlanmaktaydı. Portland puzolanlı çimentolarda TS EN 197-1'e göre, doğal ve doğal kalsine edilmiş puzolan miktarı %6-35 arasındadır. Portland puzolanlı çimento üretimi, klinker, puzolanik madde ve bir miktar alçı taşı karışımının birlikte öğütülmeleriyle yapılmaktadır [14].

Bunun haricinde Cürüflü çimentolar, Uçucu kül çimentoları, Özel çimentolar, Düşük ısılı Portland çimentosu, Ultra erken yüksek dayanımlı çimento, Alüminli çimentolar, Beyaz çimento, Harç çimentosu, Sülfata dayanıklı çimento, Süpersülfat çimentosu, Hidrofob çimentolar, Petrol kuyusu çimentosu, Antibakteriyel çimento vb. çimentolar da özel projelere göre üretilen çimento çeşitleridir.

2.3.6. Çimento Hidratasyonu

Çimentonun su ile karıştırıldığı zaman karışımda bir takım kimyasal reaksiyon gerçekleşir. Gerçekleşen bu reaksiyona Hidratasyon adı verilir. Hidratasyon sonucunda çimento hamuru sertleşerek dayanım kazanır. Çimento hamurunun plastikliğini kaybederek dayanım kazanmasına Priz denir.

Hidratasyon sırasında dışarıya ısı verilir. Yani reaksiyonlar ekzotermiktir. Hidratasyon sırasında birbirinden farklı özellikte ürünler oluşur.



Hidratasyon olayının başlamasından birkaç dakika sonra iğne biçiminde kristaller halinde etrenjit (Kalsiyum sulfoaluminat hidrat) meydana gelir. Bir kaç saat sonra büyük prizmatik kristaller halinde portlandit ve çok telimsi yapıda kristaller halinde tobermorit jeli (kalsiyum silikat hidrat) oluşur. C-S-H (kalsiyum silikat hidrat) çimento hamurunun hacim olarak %50-60'ını teşkil eder ve hamurun karakteristiklerini belirleyen en önemli bileşendir. Çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran temel üründür. Portlandit, Ca(OH)₂, hidrate olmuş çimento hamurunun dayanım gelişmesine katkısı oldukça düşüktür. Diğer taraftan çimento hamurunda yüksek oranda Ca(OH)₂ bulunması, sudaki yüksek çözünürlüğü nedeniyle, asidik ortamlara maruz betonların kimyasal dayanıklılığı olumsuz etkilemektedir. Etrenjit(Kalsiyum sulfoaluminat hidrat) hacim olarak çimento hamurunun %15-20'ini teşkil eder. Dolayısıyla yapı özellikleri ilişkisine sağladığı katkı önemsizdir. Etrenjit, monosülfat hidrata dönüşmesi halinde betonun sülfat içeren sulara karşı hassasiyetini artırır. C₄AF'ye oranla düşük C₃A içeren çimentolar sülfatlı ortamlara maruz beton üretimi için daha uygundur [40].

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölüm Materyal ve Metot bölümünden oluşmaktadır. Materyal bölümünde deneysel çalışmamızda kullanılan malzemeler ile özellikleri hakkında bilgilerden, Metot kısmında ise yapılan deneyler ile çalışmada elde edilen sonuçların değerlendirilmesi hususlarından bahsedilmiştir.

3.1. Materyal

Çalışmalarımızda ana kalem malzemeler olarak MFP, kimyasal akışkanlaştırıcı, dere agregası ve kumu, CEM I 42,R ve CEM II A-LL 42,5R tip çimentolar ile şebeke suyu kullanılmıştır. Çimentolar, Aşkale Çimento Erzincan Öğütme tesisinden alınmıştır. MFP ise Erzincan Mollo tepe yöresindeki perlit ocaklarında faaliyet gösteren Persan A.Ş. den, Agregalar ise yine Erzincan'da faaliyet gösteren Erzincan Beton firmasından tedarik edilmiştir. Kimyasal akışkanlaştırıcı ise Sika Yapı Kimyasalları firmasından temin edilmiştir. Deney çalışmaları, Erzincan Termoplast İnşaat beton laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.1.1. Çimentolar

Deneylerde, CEM I 42,R ve CEM II A-LL 42,5R olmak üzere iki tip çimento kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan çimentoların kimyasal analizleri, TS EN 196-2 “Çimento Deney Metotları-Bölüm 2: Çimentonun kimyasal analizi” standardına göre, fiziksel özellikleri ise TS EN 196-1 “Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini” TS EN 196-3 “Çimento Deney Metotları-Bölüm 3: Priz süresi ve genleşme tayini”, TS EN 196-6 “Çimento Deney Metotları-Bölüm 6: İncelik tayini” standartlarına göre yapılmış ve deney sonuçları aşağıdaki verilmiştir.

Aş kale Çimento Sanayii T.A.Ş. Erzincan Çimento Fabrikası

ANALİZ RAPORU

Numune Adı: CEM I 42,5 R

Alınış Tarihi: 24.07.2014

Alındığı Yer: PAKETLEME

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO ₂	19,09	Özgül Ağırlık(gr/cm ³)	3,02
Al ₂ O ₃	4,23	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3558
Fe ₂ O ₃	4,06	Priz Başlangıcı (saat-dk)	200
CaO	61,71	Priz Sonu (saat-dk)	260
MgO	2,95	Hacim Genleşmesi (mm)	1
SO ₃	2,82	2.Gün	23,7
Kızdırma Kaybı	3,79	Basınç Dayanımı 7.Gün	41,3
Na ₂ O	0,21	(N/mm2) 28.Gün	51,9
K ₂ O	0,61		
Cl	0,0178		
Ölçülemiyen	0,51		
Toplam	99,49		
s.CaO	1,32		
Çözünmeyen Kalıntı	0,85		

Bu çimento TS EN 197-1 (Çimento-Bölüm 1:Genel Çimentolar-Bileşim,Özellikler,Uygunluk Kriterleri) standardına uygundur.

Merve KILIÇ
Kalite Kontrol Sorumlusu



Mümin GÜN
Fabrika Müdürü



ERZ-FR-23

Şekil 6. CEM I 42,5 R tip çimento için analiz raporu

Aşkaler Çimento Sanayi T.A.Ş Erzincan Çimento Fabrikası

ANALİZ RAPORU

Numune Adı: CEM II A-LL 42,5 R

Alınış Tarihi: 31.07.2014

Alındığı Yer: Paketleme

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO ₂	21,18	Özgül Ağırlık(gr/cm ³)	2,99
Al ₂ O ₃	4,29	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	4236
Fe ₂ O ₃	4,17	Priz Başlangıcı (saat-dk)	190
CaO	57,89	Priz Sonu (saat-dk)	250
MgO	3,18	Hacim Genleşmesi (mm)	0
SO ₃	2,87	2.Gün	25,1
Kızdırma Kaybı	4,81	Basınç Dayanımı 7.Gün	44,5
Na ₂ O	0,21	(N/mm ²) 28.Gün	53,3
K ₂ O	0,53		
Cl	0,0173		
Ölçülemiyen	0,85		
Toplam	99,15		
s.CaO	1,24		
Çözünmeyen Kalıntı			

Bu çimento TS EN 197-1 (Çimento-Bölüm 1:Genel Çimentolar-Bileşim,Özellikler,Uygunluk Kriterleri) standardına uygundur.

Merve KILIÇ
Kalite Kontrol Sorumlusu



Mürmün GÜN
Fabrika Müdürü



ERZ-FR-23

Şekil 7. CEM II A-LL 42,5 R tip çimento için analiz raporu

3.1.2. Mikronize Filtre Perlit (MFP)

Persan A.Ş firmasının fabrikalarında öğütülerek kimya ve inşaat sanayide kullanılan MFP, Erzincan Molla tepe yöresinden elde edilmiştir. Çalışmalarımızda kullanılan MFP firma tesislerinden elde edilmiştir.



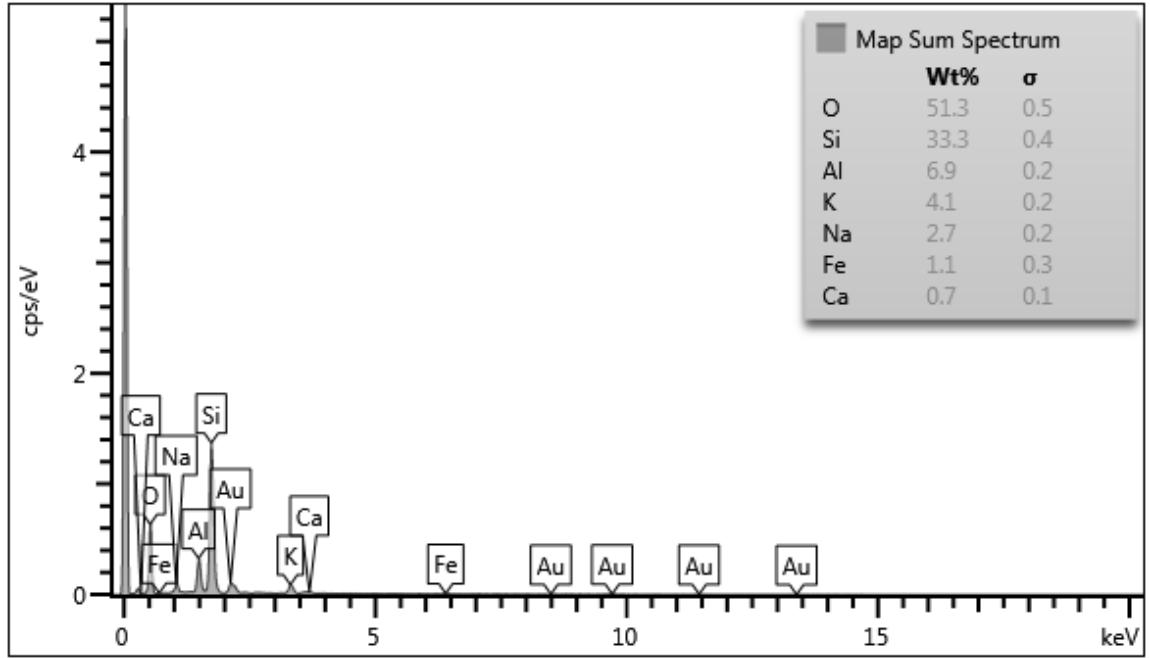
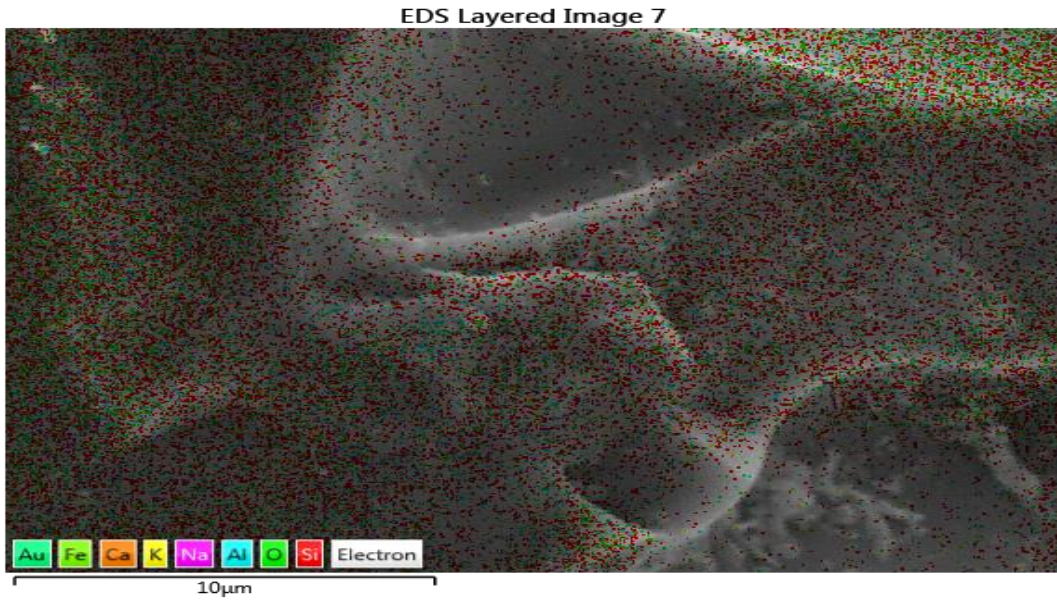
Şekil 8. Erzincan ili maden haritası, MTA

Perlitin kimyasal analizi, TS EN 196-2'ye göre yapılmış ve analiz sonuçları Çizelge 17'de verilmiştir.

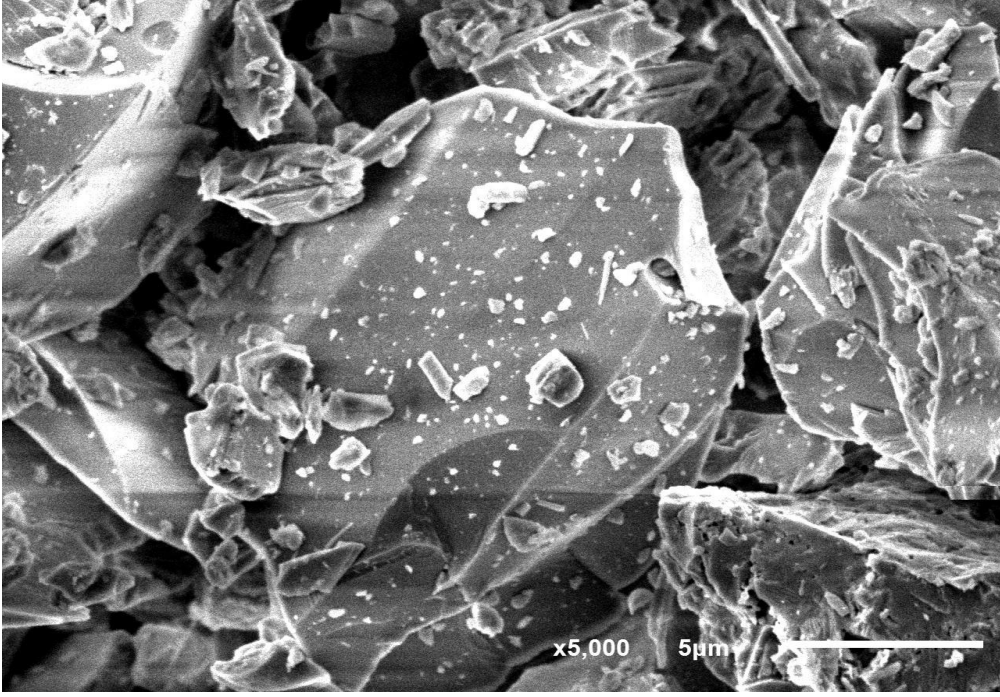
MİKRONİZE FİLTRE PERLİT			
KİMYASAL KOMPOZİZYON	%	FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
CaO	1,72	Özgül Ağırlık	2,38
SiO ₂	70,96	Blaine İnceliği, cm ² /g	4267
Al ₂ O ₃	13,40	45µm'den geçen,%	82
Fe ₂ O ₃	1,16		
MgO	0,28		
SO ₃			
K ₂ O	4,65		
Na ₂ O	3,20		
Cl ⁻			
LOI	3,27		

Çizelge 17. Perlit tozunun kimyasal ve fiziksel özellikleri, (Persan A.Ş.)

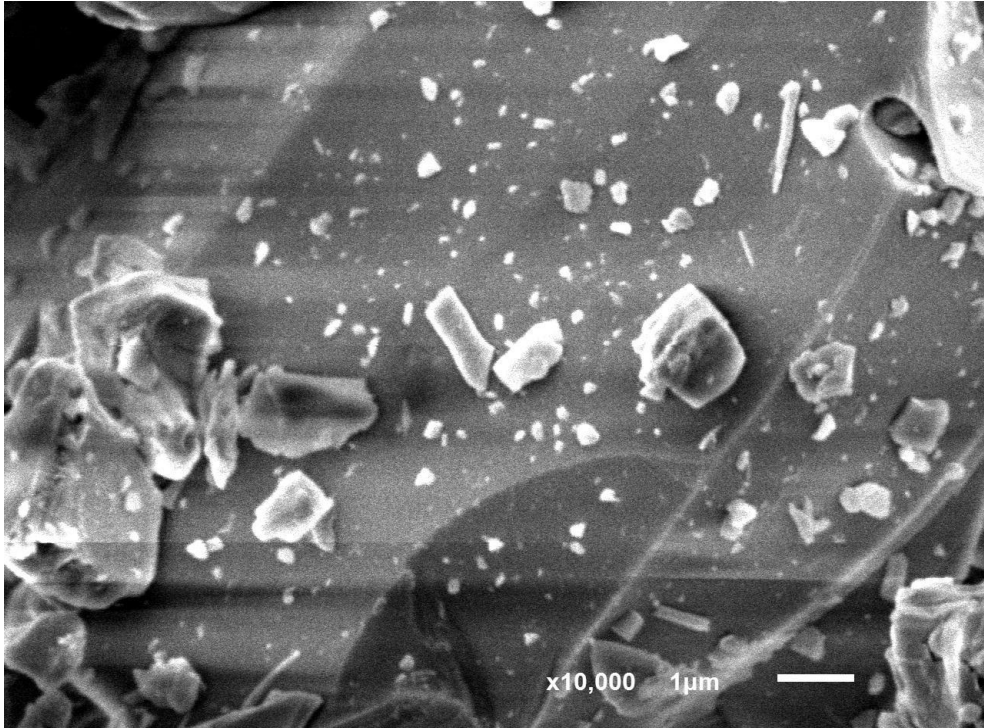
Rize Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Merkezi Araştırma laboratuvarlarda EDS analiz sonuçlarıyla, SEM görüntüleri ile Perlitin yapısı incelenme fırsatı bulunmuştur.



Şekil 9. Mikronize filtre perlitin EDS sonuçları



Şekil 10. Mikronize Filtre Perlit'in SEM görüntüsü, (X5000)



Şekil 11. Mikronize Filtre Perlit'in SEM görüntüsü, (X10000)

3.1.3. Agrega ve Su

Erzincan Beton tesislerinden temin edilmiştir. İri ve orta agregalar ile kum dere malzemesi olup teknik özellikleri deneysel çalışma kısmında verilmiştir. Çalışmada kullanılan su normal şebeke suyudur.

3.1.4. Beton Kimyasalı (Akışkanlaştırıcı)

Çalışmada naftalin sülfonat esaslı bir kimyasal akışkanlaştırıcı (süper akışkanlaştırıcı) kullanılmıştır.

3.2. Metot

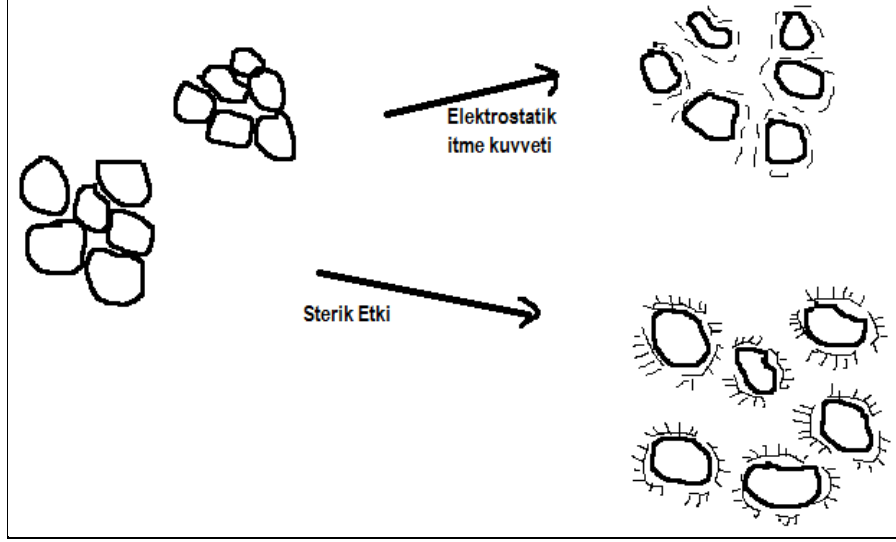
Çimento deneyleri Erzincan Aşkale Çimento Öğütme tesisinde yapılmıştır. Beton karışımlar Termoplast inşaat Erzincan beton laboratuvarlarında, Perlit SEM analizi ise Rize Recep Tayyip Erdoğan üniversitesi merkezi araştırma laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.2.1. Kimyasal Akışkanlaştırıcılar

Akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları genel anlamıyla betonun kıvamını sabit tutarak daha az karışım suyu ile yapılmasını sağlayan veya karışım suyu miktarı değiştirilmediği takdirde betonun kıvamını artıran maddelerdir. Akışkanlaştırıcı katkıları sırasıyla ligno, melamin ve naftalin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcılar ve son olarak polikarboksilat esaslı hiper akışkanlaştırıcılar olarak gelişme göstermişlerdir. Bu akışkanlaştırıcılar, hedeflenen amaca yönelik olarak betonda kullanılmaktadırlar [42,43,44].

Melamin ve naftalin sülfonat gibi akışkanlaştırıcılarda bulunan SO₃⁻ grupları çimento tanelerinin yüzeyinde negatif elektrik yük oluşturarak elektrostatik itme kuvveti oluşturmakta ve böylece çimento taneleri arasında topaklanma meydana gelememektedir. COO⁻ karboksil gruplarına sahip yeni nesil hiper akışkanlaştırıcılar ise elektrostatik itme kuvvetinin yanında zincir üstüne kurulmuş yan dalların varlığıyla (tarak şeklindeki yapı) sterik etki de oluşturmaktadırlar. Yan dalların molekül yapısı, molekül ağırlığı ve ayrıca

ana zincir yapısının uzunluğu, molekül yapısı ve molekül ağırlığı gibi etkiler hiperakışkanlaştırıcının özelliklerini önemli ölçüde değiştirmektedirler [43,44,45].



Şekil 12. Kimyasal katkıların çimento taneciklerinin üzerindeki etkisi

3.2.2. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışmalar Erzincan Termoplast beton laboratuvarlarında yapılmıştır. Çalışmada iki farklı tip çimento kullanılmış, MFP'in her iki tip çimento ile performans sonuçları incelenmiştir. Karışıma giren çimento tipleri ve puzolan oranları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

CEM I 42,R tip çimentolu karışımlar	
Çimento ve Puzolan oranları	Kısaltmalar
300 Dz CEM I 42,R(Referans)	300DzCMI
290 Dz CEM I 42,R +10 Kg Perlit	290DzCMI+10P
280 Dz CEM I 42,R +20 Kg Perlit	280DzCMI+20P
270 Dz CEM I 42,R +30 Kg Perlit	270DzCMI+30P
260 Dz CEM I 42,R +40 Kg Perlit	260DzCMI+40P
250 Dz CEM I 42,R +50 Kg Perlit	250DzCMI+50P
240 Dz CEM I 42,R +60 Kg Perlit	240DzCMI+60P

Çizelge 18. CEM I 42,5 R tip çimento ile MFP'li karışımları

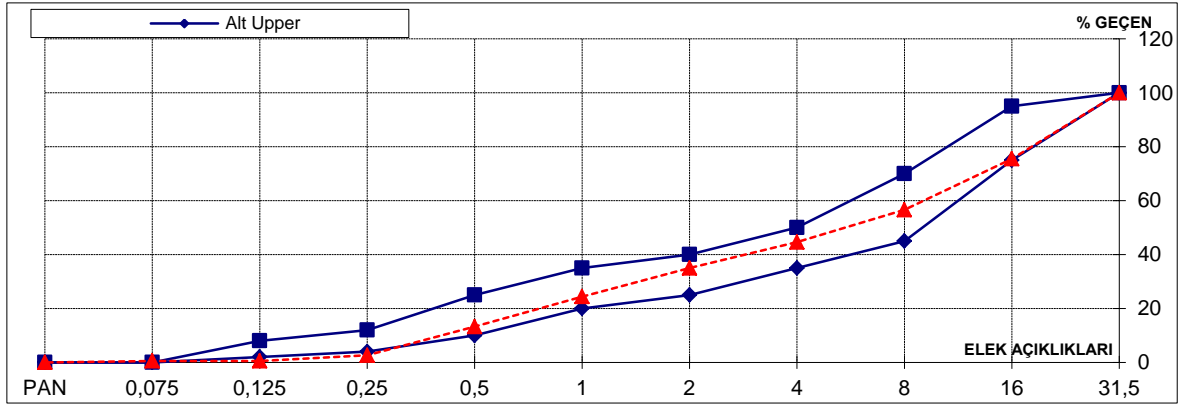
CEM II/A-LL 42,R tip çimento lu karışımlar	
<i>Çimento ve Puzolan oranları</i>	<i>Kısaltmalar</i>
310 Dz CEM II/A-LL 42,R(Referans)	310DzCMII
300 Dz CEM II/A-LL 42,R+10 Kg Perlit	300DzCMII+10P
290 Dz CEM II/A-LL 42,R+20 Kg Perlit	290DzCMII+20P
280 Dz CEM II/A-LL 42,R+30 Kg Perlit	280DzCMII+30P
270 Dz CEM II/A-LL 42,R+40 Kg Perlit	270DzCMII+40P
260 Dz CEM II/A-LL 42,R+50 Kg Perlit	260DzCMII+50P
250 Dz CEM II/A-LL 42,R+60 Kg Perlit	250DzCMII+60P

Çizelge 19. CEM II/A-LL 42,5 R tip çimento ile MFP'li karışımları

Agregalar Erzincan Fırat nehri üzerinde karasu deresinden temin edilmiş, Erzincan betondan alınarak çalışmalarda kullanılmıştır. Agregaların gradasyon ve diğer teknik özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2. Agrega fiziksel özellikleri, (TSE EN 1097-6 Standartına uygun olarak yapılmıştır.)

AGREGA ÖZELLİKLERİ (<i>Properties of Aggregate</i>)								
ELEKLER (mm) (Sieves)	Elek Analizleri (%) Geçen <i>Sieve Analysis (%) Passing</i>					Sonuç Result	TS EN 480-1 SINIRLARI <i>TS EN 480-1 Limits</i>	
	Kum 1 <i>Sand I</i>	KUM 2 <i>Sand II</i>	K. KUM <i>C.Sand</i>	ÇAKIL 1 <i>Gravel I</i>	ÇAKIL 2 <i>Gravel II</i>		Alt <i>Lower</i>	Üst <i>Upper</i>
31,5	0	0	100	100	100	100	100	100
16	0	0	100	97	14,6	76	75	95
8	0	0	100	18,7	0,2	57	45	70
4	0	0	84	0,1	0,2	45	35	50
2	0	0	66	0	0	35	25	40
1	0	0	46	0	0	24	20	35
0,5	0	0	25	0	0	13	10	25
0,25	0	0	5	0	0	3	4	12
0,125	0	0	1	0	0	1	2	8
0,075	0	0	1	0	0	1	0	0
PAN	0	0	0	0	0	0	0	0
Karışım Oranları <i>Mix Ratio</i>	0	0	53	19	28	Sınırlar <i>Limits</i>		
İncelik Modülü <i>Fineness Mod.</i>	11,0	11,0	5,7	8,8	9,9	Kum 2,3 - 3,1		
Özgül Ağırlık <i>Specific Gravity</i>	0,00	0,00	2,70	2,72	2,73	Max % 3		
Su Emme (%) <i>Water Absorp.</i>	0,00	0,00	1,80	1,32	0,86	Min % 2,55		
Tip <i>Type</i>	N	N	C	C	C			
Rutubet (%) <i>Moisture</i>	0,00	0,00	5,04	0,0	0,00			
Serbest Su (%) <i>Free Water</i>	0,00	0,00	3,24	-1,32	-0,86			



Şekil 13. Agrega gradasyon eğrisi



Şekil 14. Çalışmalardan bir görüntü

Her bir karışım 23dm³ olarak drum tipi mikserlerde karıştırılmıştır. Her çimento tipi için biri şahit karışım olmak üzere toplam çalışmada 14 ayrı beton karışım dizaynı yapılmış ve bu karışımlardan 168 adet 15X15X15cm'lik beton küp numuneler alınmıştır (Mikser kapasitesi düşük olması sebebiyle her karışım iki kez yapılarak numuneler alınmıştır.). Değerlendirmeler ortalama mukavemet değerleri göz önünde bulundurularak

yapılmıştır. Hedef slump (18cm) göre çalışılmış, ilave verilen ya da kesilen su miktarları göz önünde bulundurulmamıştır. Karışımlarda kullanılan kimyasal katkı miktarı toplam bağlayıcı (çimento veya çimento + puzolan) miktarının %1,1'i olarak alınmıştır. 24 saat sonra kalıplarından çıkarılan numuneler 22 °C ayarlanmış kur havuzuna- 3, 7, 28, 45, 60 ve 90.günlerde tek eksenli basınç testine tabi tutulmak üzere -bırakılmıştır.

KARIŞIM ADI:		PERLİT-ÇİMENTO			
KARIŞIM NO:	C 25	4	İmalat No	270 kg CEM I 42,5R+30 kg Perlit	
	ŞAHİT	TEST	SER.SU	Düzel.Diz.	KAZAN
	(kg/m3)	(kg/m3)	(kg)	(kg)	23
ÇİMENTO	0	270		270	6,210
Perlit	0	30		30	0,690
MİKROSİLİKA	0	0		0	0,000
SU	0	175		152	3,489
KUM 2	0	0	0,00	0	0,000
K.KUM	0	1012	32,78	1044	24,022
K+1	0	365	-4,82	361	8,292
K+2	0	540	-4,65	536	12,322
KATKI 1		1,10		KATKI (gr)	75,900
KATKI 1 Binder		0,00			0,00
Katkı SU Muh. (%)		0,00			0,000
KATKI 2		0,00		KATKI (gr)	0,00
KATKI 2 Binder		0,00		KATKI (gr)	0,00
Katkı SU Muh. (%)		0,00			0,000
TEO B. A.		2,392	ÜRETİM	19.08.2014	
SU/ ÇİM (W/C)	#SAYI/0!	0,6481	3.GÜN	22.08.2014	
SU/ BINDER	#SAYI/0!	0,5833	7.GÜN	26.08.2014	
HAVA		20	28.GÜN	16.09.2014	
SUKESME		#SAYI/0!	45.GÜN	03.10.2014	
ÇİM ÖZ.AĞ.	3,16		60.GÜN	18.10.2014	
Perlit	2,38		90.GÜN	17.11.2014	
Silis Dumanı Ö.AĞ.	0				
Katkı 1 Ö. Ağ.	1,17				
Katkı 2 Ö. Ağ.	0				

Şekil 15. Çalışmadan örnek bir beton karışım tablosu



Şekil 16. MFP karışıma katılması esnasında bir görüntü.



Şekil 17. Karışım numunelerinden bir görüntü



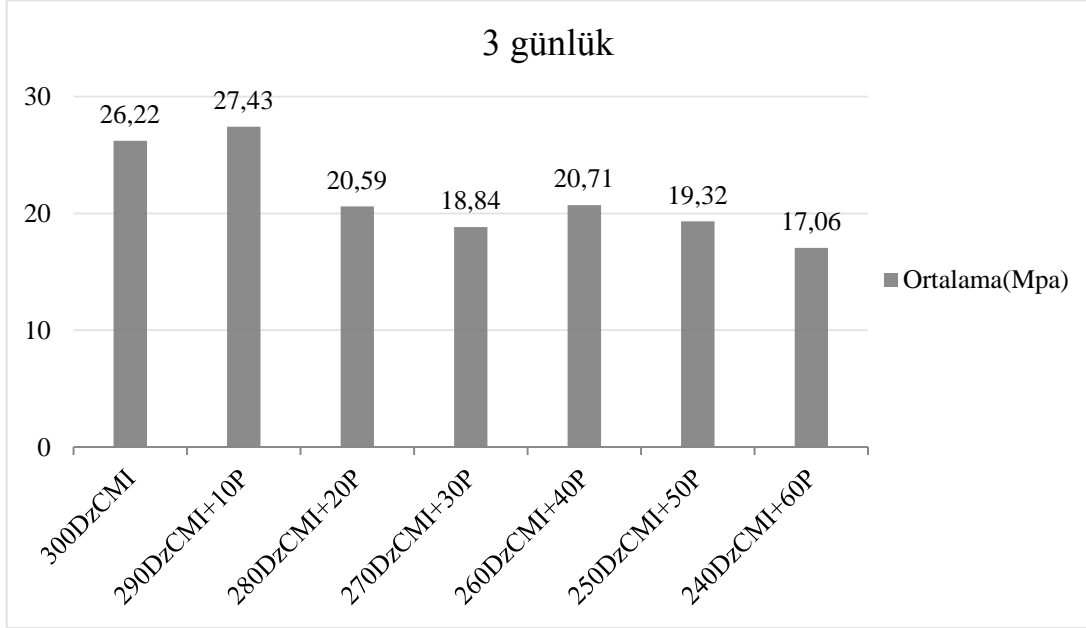
Şekil 18. Kür Havuzunda bekletilen numuneler

CEM I 42,5 R tip çimento ve MFP 'li karışım sonuçları:

3 Günlük Kırım Sonuçları;

<i>Karışımlar</i>	<i>3 Günlük Kırım Sonuçları (Mpa)</i>		<i>Ortalama (Mpa)</i>
<i>300DzCMI</i>	26,35	26,09	26,22
<i>290DzCMI+10P</i>	28,14	26,71	27,43
<i>280DzCMI+20P</i>	19,92	21,26	20,59
<i>270DzCMI+30P</i>	18,83	18,84	18,84
<i>260DzCMI+40P</i>	19,95	21,47	20,71
<i>250DzCMI+50P</i>	18,84	19,80	19,32
<i>240DzCMI+60P</i>	17,24	16,87	17,06

Çizelge 20. 3 günlük ortalama dayanım sonuçları, (1)

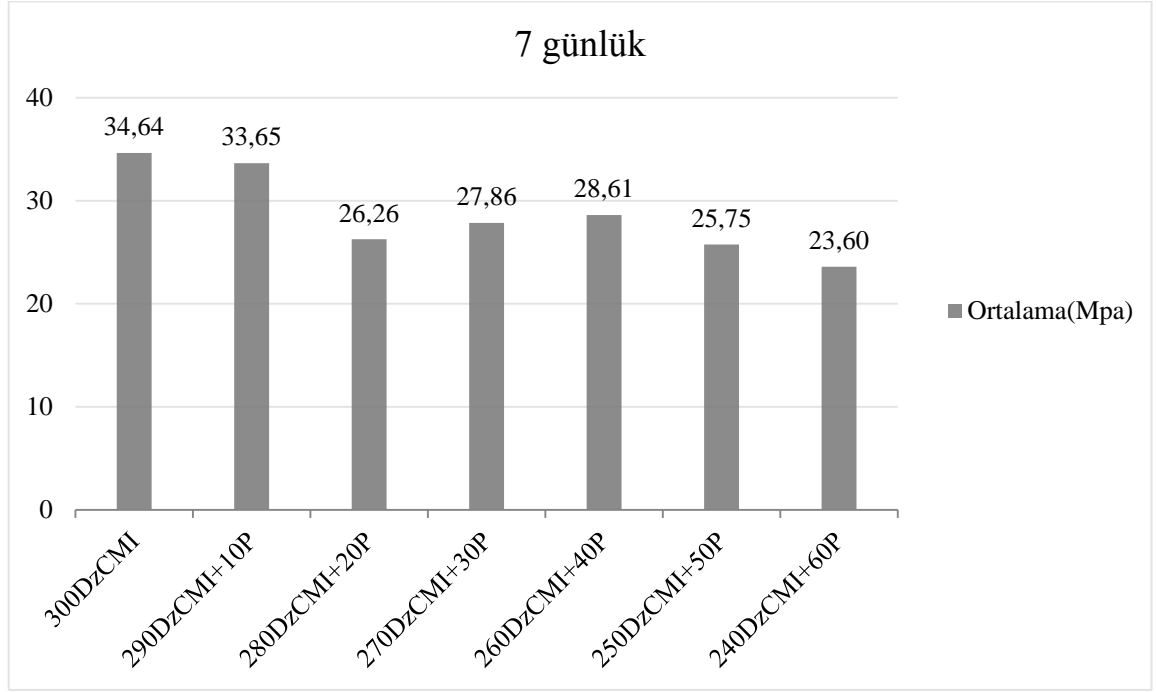


Şekil 19. 3 günlük dayanım grafiği, (1)

7 günlük kırım sonuçları;

Karışımlar	7 Günlük Kırım Sonuçları (Mpa)		Ortalama (Mpa)
300DzCMI	33,28	36,00	34,64
290DzCMI+10P	31,30	36,00	33,65
280DzCMI+20P	27,43	25,09	26,26
270DzCMI+30P	28,60	27,11	27,86
260DzCMI+40P	29,65	27,56	28,61
250DzCMI+50P	27,48	24,02	25,75
240DzCMI+60P	23,73	23,47	23,60

Çizelge 21. 7 günlük ortalama dayanım sonuçları, (1)

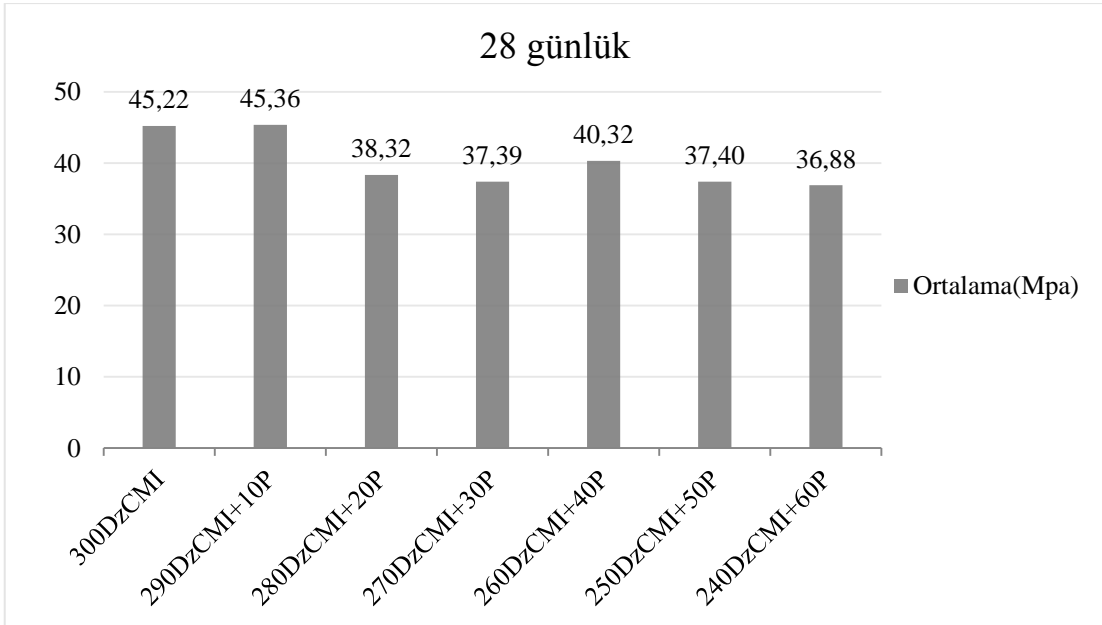


Şekil 20. 7 günlük dayanım grafiği, (1)

28 Günlük Kırım Sonuçları;

<i>Karışımlar</i>	<i>28 Günlük Kırım Sonuçları (Mpa)</i>		<i>Ortalama (Mpa)</i>
<i>300DzCMI</i>	45,18	45,25	45,22
<i>290DzCMI+10P</i>	48,79	41,92	45,36
<i>280DzCMI+20P</i>	39,87	36,77	38,32
<i>270DzCMI+30P</i>	35,85	38,93	37,39
<i>260DzCMI+40P</i>	38,77	41,86	40,32
<i>250DzCMI+50P</i>	36,44	38,35	37,40
<i>240DzCMI+60P</i>	36,42	37,34	36,88

Çizelge 22. 28 günlük ortalama dayanım sonuçları, (1)

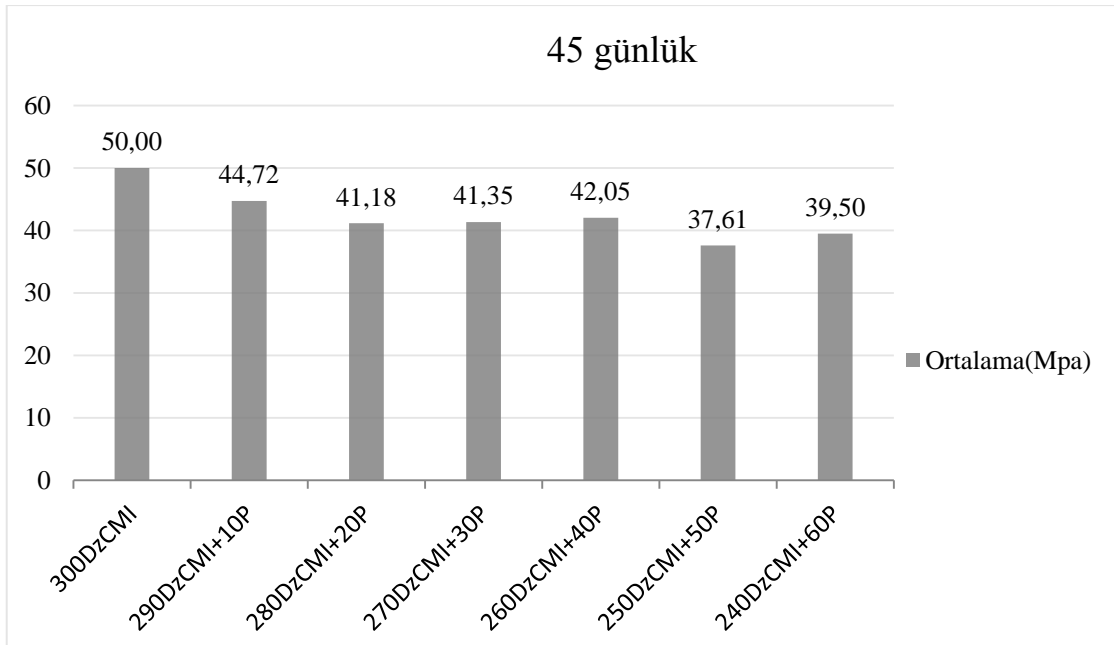


Şekil 21. 28 günlük dayanım grafiği, (1)

45 Günlük Kırım Sonuçları;

<i>Karışımlar</i>	<i>45 Günlük Kırım Sonuçları (Mpa)</i>		<i>Ortalama (Mpa)</i>
<i>300DzCMI</i>	49,72	50,28	50,00
<i>290DzCMI+10P</i>	46,00	43,44	44,72
<i>280DzCMI+20P</i>	39,38	42,97	41,18
<i>270DzCMI+30P</i>	43,00	39,69	41,35
<i>260DzCMI+40P</i>	43,59	40,5	42,05
<i>250DzCMI+50P</i>	38,00	37,21	37,61
<i>240DzCMI+60P</i>	39,11	39,89	39,50

Çizelge 23. 45 günlük ortalama dayanım sonuçları, (1)

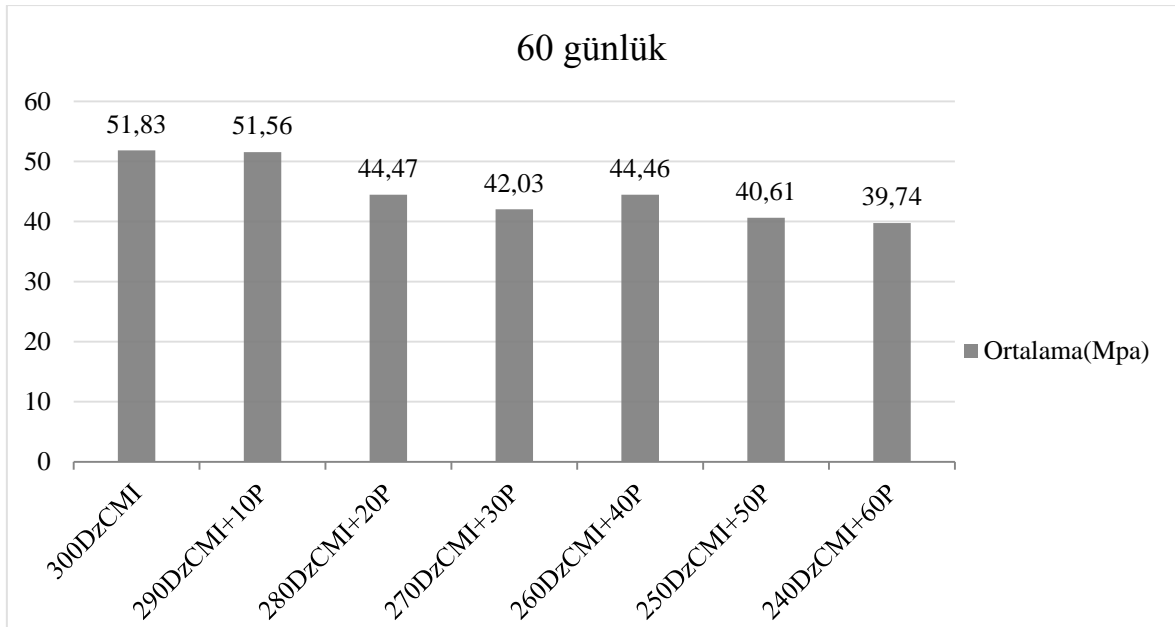


Şekil 22. 45 günlük dayanım grafiği, (1)

60 Günlük Kırım Sonuçları;

<i>Karışımlar</i>	<i>60 Günlük Kırım Sonuçları (Mpa)</i>		<i>Ortalama (Mpa)</i>
<i>300D_zCMI</i>	52,70	50,96	51,83
<i>290D_zCMI+10P</i>	49,67	53,44	51,56
<i>280D_zCMI+20P</i>	44,55	44,39	44,47
<i>270D_zCMI+30P</i>	43,40	40,65	42,03
<i>260D_zCMI+40P</i>	46,00	42,91	44,46
<i>250D_zCMI+50P</i>	41,12	40,10	40,61
<i>240D_zCMI+60P</i>	41,23	38,24	39,74

Çizelge 24. 60 günlük ortalama dayanım sonuçları, (1)

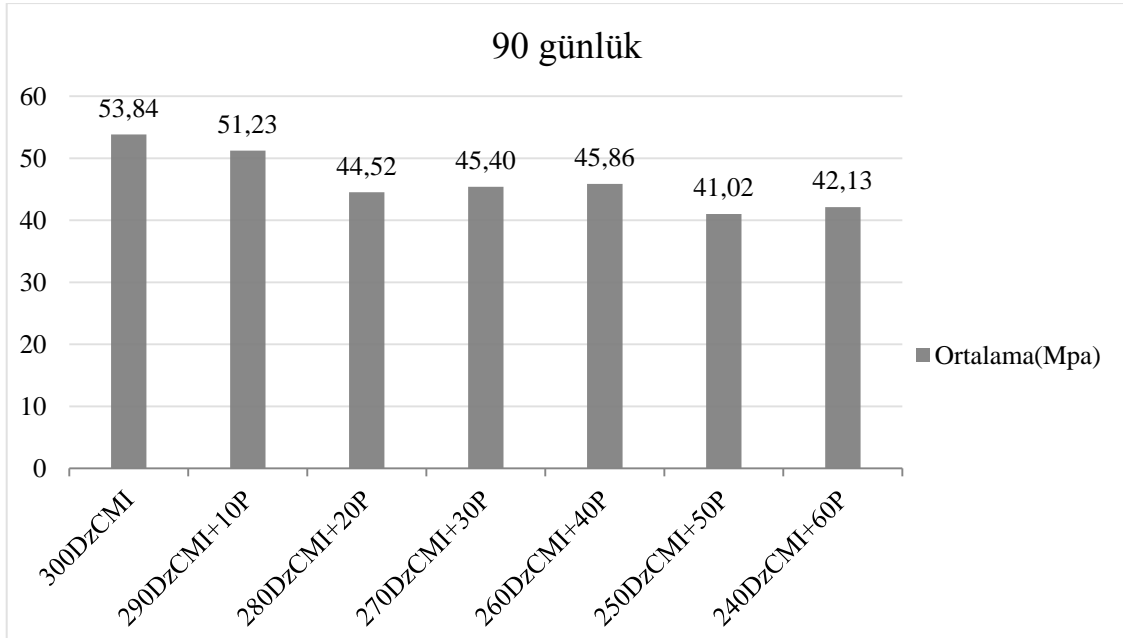


Şekil 23. 60 günlük dayanım grafiği, (1)

90 Günlük Kırım Sonuçları;

<i>Karışımlar</i>	<i>90 Günlük Kırım Sonuçları (Mpa)</i>		<i>Ortalama (Mpa)</i>
<i>300DzCMI</i>	54,39	53,28	53,84
<i>290DzCMI+10P</i>	54,47	47,99	51,23
<i>280DzCMI+20P</i>	43,91	45,13	44,52
<i>270DzCMI+30P</i>	44,60	46,20	45,40
<i>260DzCMI+40P</i>	47,40	44,31	45,86
<i>250DzCMI+50P</i>	43,42	38,61	41,02
<i>240DzCMI+60P</i>	41,64	42,62	42,13

Çizelge 25. 90 günlük ortalama dayanım sonuçları, (1)



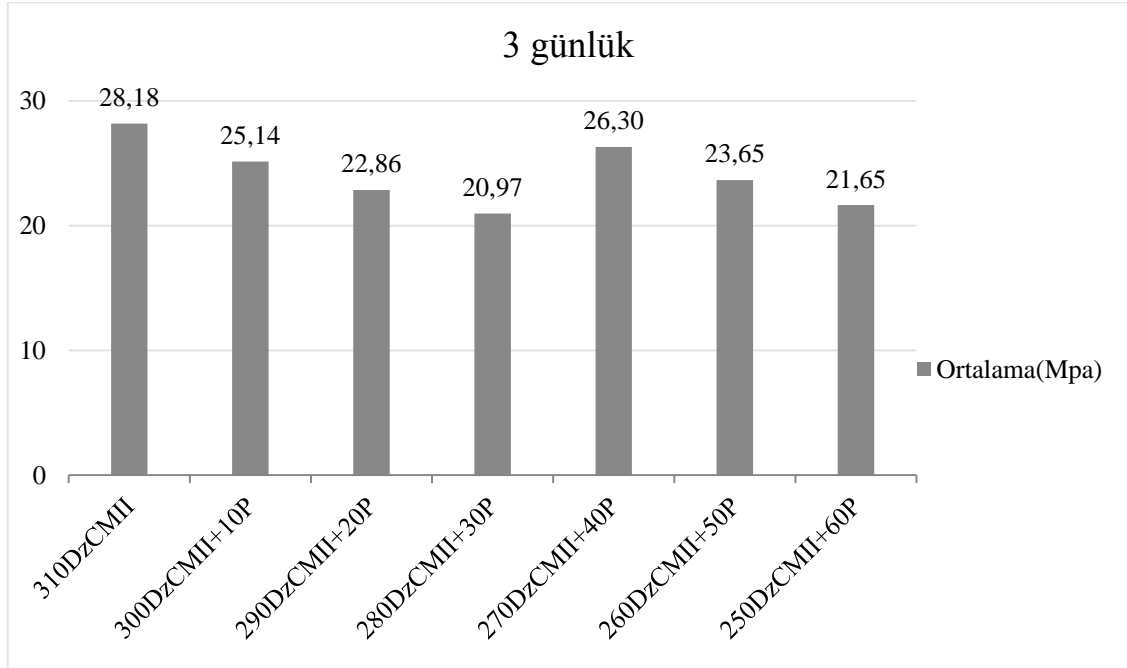
Şekil 24. 90 günlük dayanım grafiği, (1)

CEM II A-LL 42,5R tip çimento ve MFP 'li karışım sonuçları:

3 Günlük Kırım Sonuçları;

<i>Karışımlar</i>	<i>3 Günlük Kırım Sonuçları (Mpa)</i>		<i>Ortalama (Mpa)</i>
<i>310DzCMII</i>	27,66	28,70	28,18
<i>300DzCMII+10P</i>	23,11	27,17	25,14
<i>290DzCMII+20P</i>	21,32	24,40	22,86
<i>280DzCMII+30P</i>	22,82	19,11	20,97
<i>270DzCMII+40P</i>	26,87	25,73	26,30
<i>260DzCMII+50P</i>	24,50	22,80	23,65
<i>250DzCMII+60P</i>	21,97	21,32	21,65

Çizelge 26. 3 günlük ortalama dayanım sonuçları, (2)

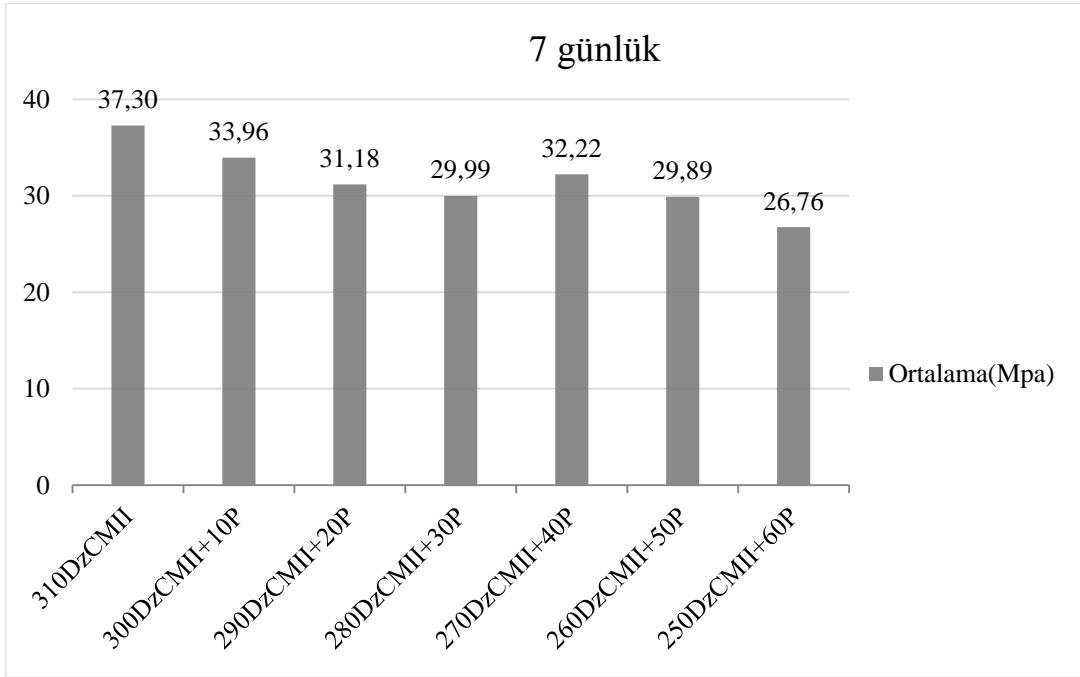


Şekil 25. 3 günlük dayanım grafiği, (2)

7 Günlük Kırım Sonuçları;

<i>Karışımlar</i>	<i>7 Günlük Kırım Sonuçları (Mpa)</i>		<i>Ortalama (Mpa)</i>
<i>310DzCMII</i>	37,26	37,33	37,30
<i>300DzCMII+10P</i>	31,92	36,00	33,96
<i>290DzCMII+20P</i>	30,28	32,08	31,18
<i>280DzCMII+30P</i>	28,63	31,34	29,99
<i>270DzCMII+40P</i>	31,32	33,12	32,22
<i>260DzCMII+50P</i>	28,00	31,77	29,89
<i>250DzCMII+60P</i>	26,64	26,87	26,76

Çizelge 27. 7 günlük ortalama dayanım sonuçları, (2)

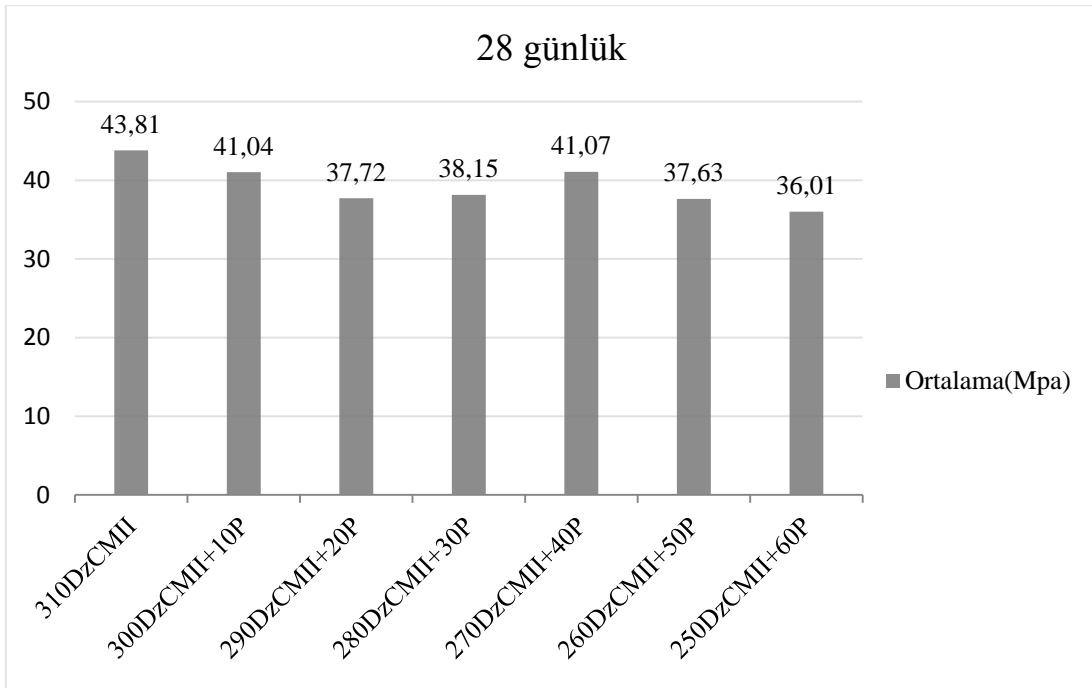


Şekil 26. 7 günlük dayanım grafiği, (2)

28 Günlük Kırım Sonuçları;

<i>Karışımlar</i>	<i>28 Günlük Kırım Sonuçları (Mpa)</i>		<i>Ortalama (Mpa)</i>
<i>310DzCMII</i>	45,39	42,22	43,81
<i>300DzCMII+10P</i>	42,61	39,46	41,04
<i>290DzCMII+20P</i>	36,29	39,15	37,72
<i>280DzCMII+30P</i>	36,16	40,13	38,15
<i>270DzCMII+40P</i>	41,63	40,50	41,07
<i>260DzCMII+50P</i>	39,23	36,03	37,63
<i>250DzCMII+60P</i>	36,12	35,90	36,01

Çizelge 28. 28 günlük ortalama dayanım sonuçları, (2)

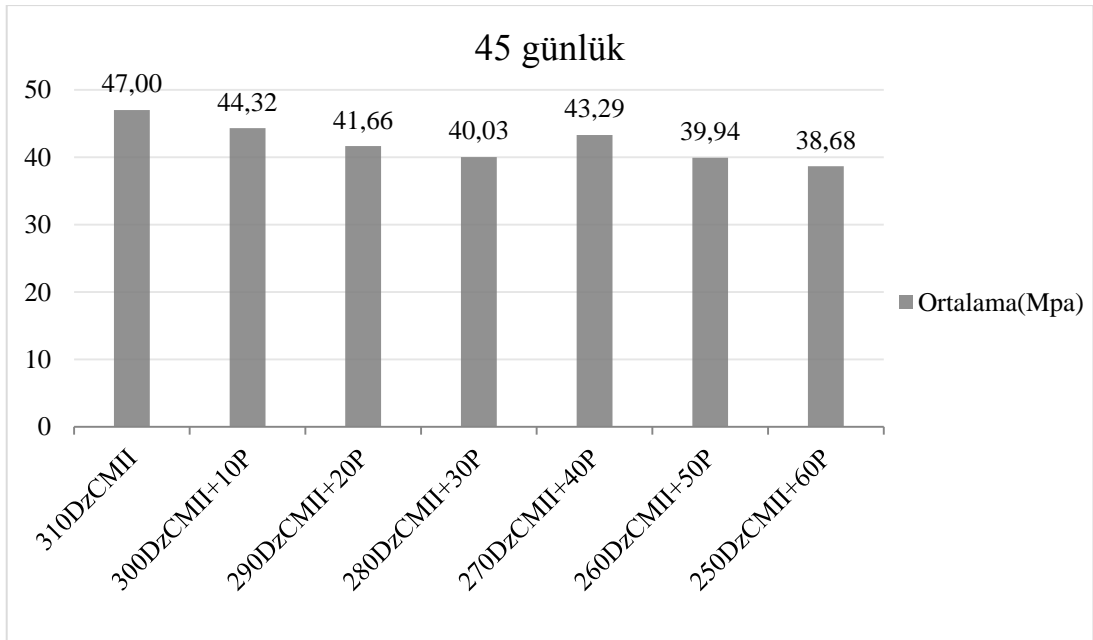


Şekil 27. 28 günlük dayanım grafiği, (2)

45 Günlük Kırım Sonuçları;

<i>Karışımlar</i>	<i>45 Günlük Kırım Sonuçları (Mpa)</i>		<i>Ortalama (Mpa)</i>
<i>310DzCMII</i>	45,00	49,00	47,00
<i>300DzCMII+10P</i>	43,92	44,72	44,32
<i>290DzCMII+20P</i>	44,73	38,58	41,66
<i>280DzCMII+30P</i>	36,76	43,29	40,03
<i>270DzCMII+40P</i>	42,18	44,40	43,29
<i>260DzCMII+50P</i>	37,59	42,28	39,94
<i>250DzCMII+60P</i>	38,40	38,96	38,68

Çizelge 29. 45 günlük ortalama dayanım sonuçları, (2)

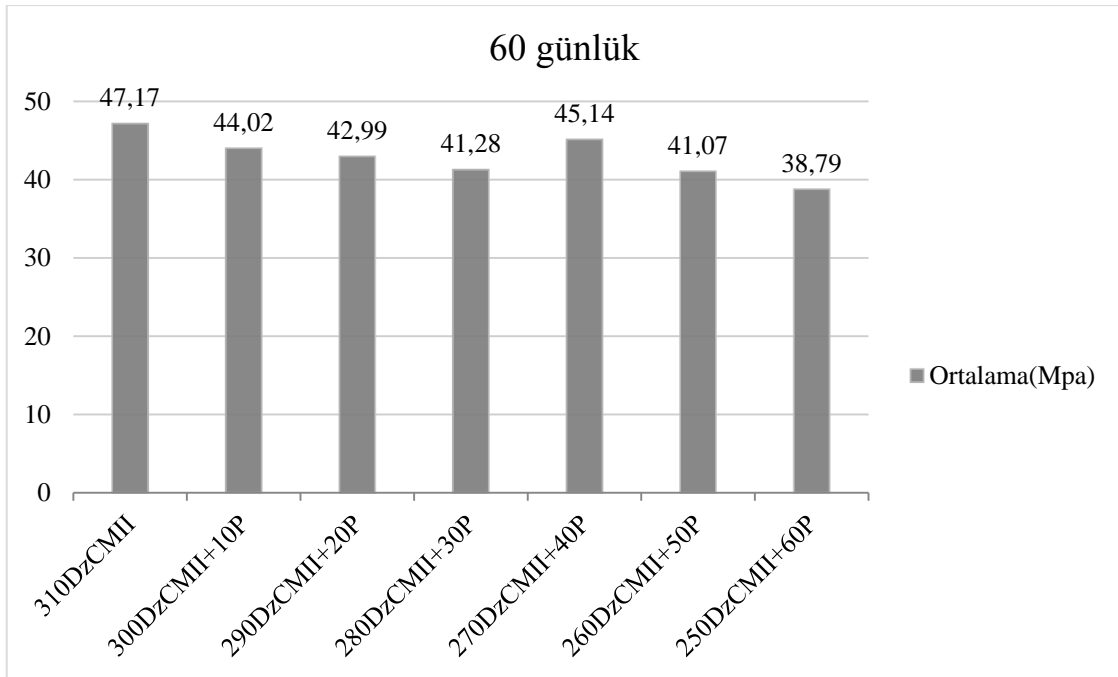


Şekil 28. 45 günlük dayanım grafiği, (2)

60 Günlük Kırım Sonuçları;

<i>Karışımlar</i>	<i>60 Günlük Kırım Sonuçları (Mpa)</i>		<i>Ortalama (Mpa)</i>
<i>310DzCMII</i>	45,44	48,89	47,17
<i>300DzCMII+10P</i>	42,38	45,65	44,02
<i>290DzCMII+20P</i>	46,66	39,32	42,99
<i>280DzCMII+30P</i>	42,51	40,05	41,28
<i>270DzCMII+40P</i>	45,68	44,60	45,14
<i>260DzCMII+50P</i>	43,11	39,03	41,07
<i>250DzCMII+60P</i>	39,14	38,44	38,79

Çizelge 30. 60 günlük ortalama dayanım sonuçları, (2)

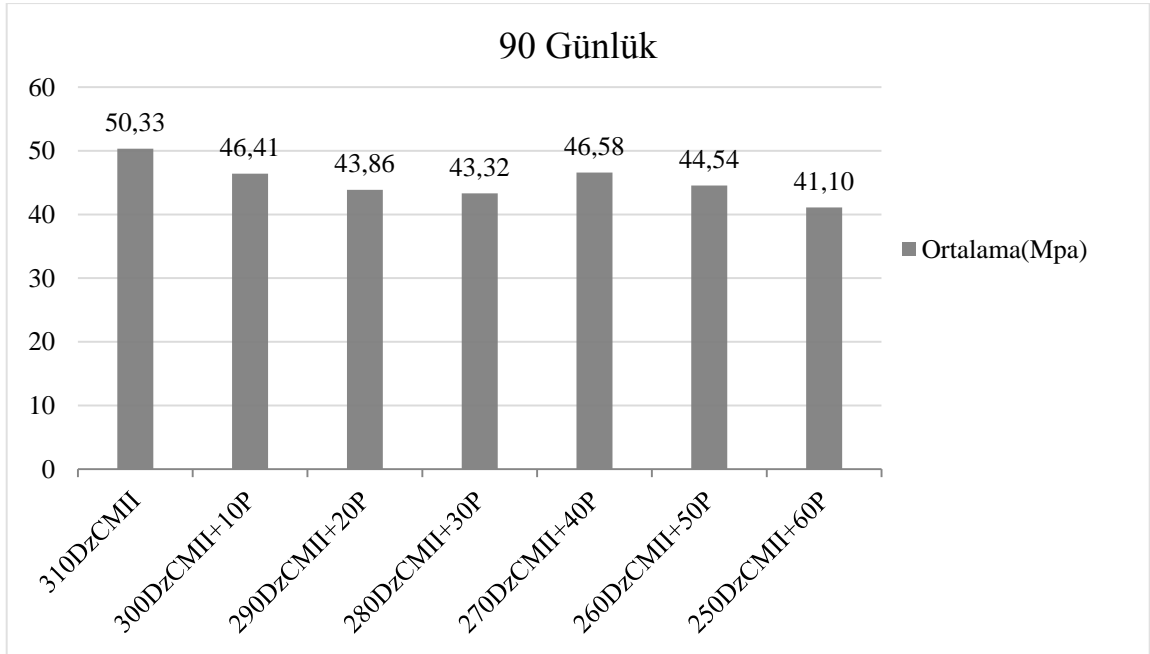


Şekil 29. 60 günlük dayanım grafiği, (2)

90 Günlük Kırım Sonuçları;

<i>Karışımlar</i>	<i>90 Günlük Kırım Sonuçları (Mpa)</i>		<i>Ortalama (Mpa)</i>
<i>310DzCMII</i>	49,14	51,52	50,33
<i>300DzCMII+10P</i>	44,35	48,46	46,41
<i>290DzCMII+20P</i>	46,22	41,49	43,86
<i>280DzCMII+30P</i>	44,68	41,96	43,32
<i>270DzCMII+40P</i>	48,08	45,07	46,58
<i>260DzCMII+50P</i>	42,41	46,66	44,54
<i>250DzCMII+60P</i>	41,89	40,31	41,10

Çizelge 31. 90 günlük ortalama dayanım sonuçları, (2)

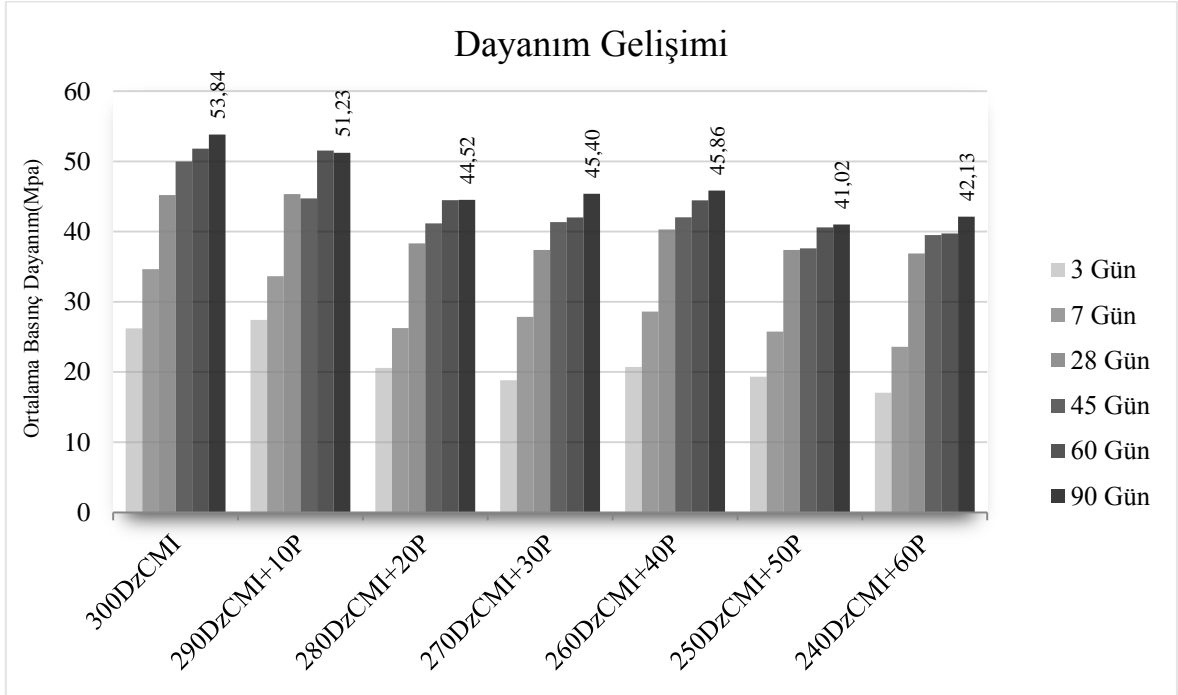


Şekil 30. 90 günlük dayanım grafiği

CEM I 42,5 R tip çimento ile MFP karışımlar için ortalama dayanım gelişim tablosu

<i>Karışımlar</i>	<i>Ortalama Dayanımlar (Mpa)</i>					
	<i>3 Gün</i>	<i>7 Gün</i>	<i>28 Gün</i>	<i>45 Gün</i>	<i>60 Gün</i>	<i>90 Gün</i>
<i>300DzCMI</i>	26,22	34,64	45,22	50,00	51,83	53,84
<i>290DzCMI+10P</i>	27,43	33,65	45,36	44,72	51,56	51,23
<i>280DzCMI+20P</i>	20,59	26,26	38,32	41,18	44,47	44,52
<i>270DzCMI+30P</i>	18,84	27,86	37,39	41,35	42,03	45,40
<i>260DzCMI+40P</i>	20,71	28,61	40,32	42,05	44,46	45,86
<i>250DzCMI+50P</i>	19,32	25,75	37,40	37,61	40,61	41,02
<i>240DzCMI+60P</i>	17,06	23,60	36,88	39,50	39,74	42,13

Çizelge 32. CEM I 42,5 R + MFP ortalama dayanım sonuçları

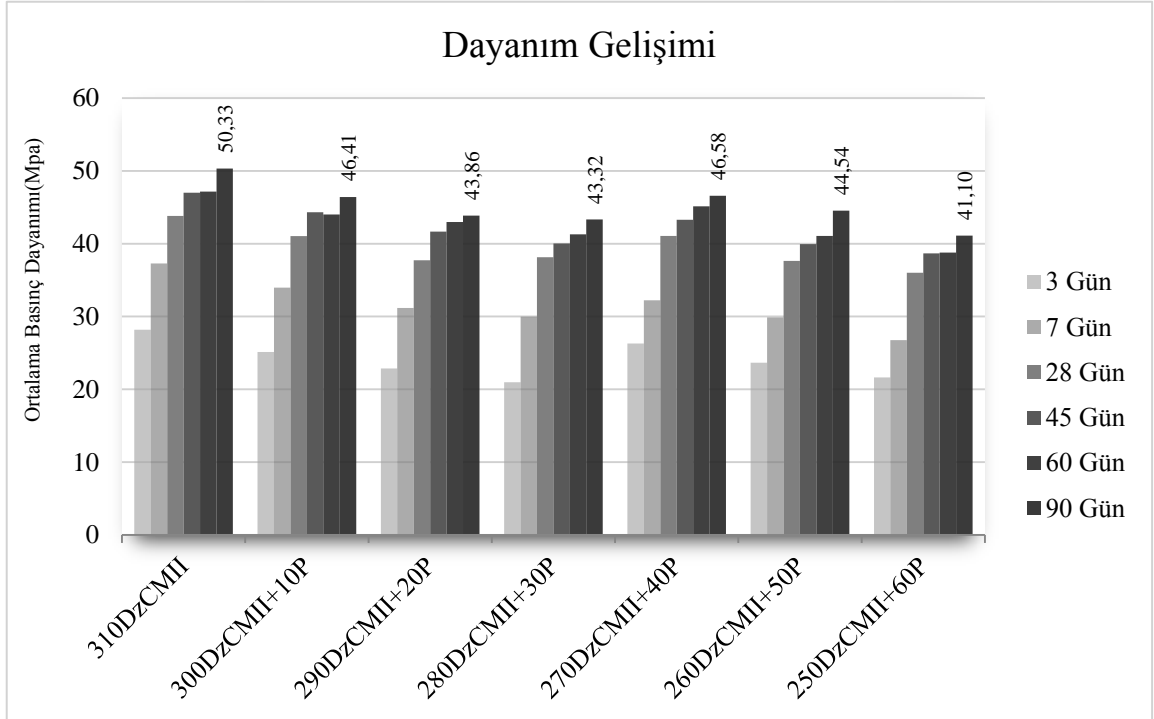


Şekil 31. Dayanım gelişim grafiği, (1)

CEM II A-LL 42,5R tip çimento ile MFP karışımlar için ortalama dayanım gelişim tablosu

<i>Karışımlar</i>	<i>Ortalama Dayanımlar (Mpa)</i>					
	<i>3 Gün</i>	<i>7 Gün</i>	<i>28 Gün</i>	<i>45 Gün</i>	<i>60 Gün</i>	<i>90 Gün</i>
<i>310D_zCMII</i>	28,18	37,30	43,81	47,00	47,17	50,33
<i>300D_zCMII+10P</i>	25,14	33,96	41,04	44,32	44,02	46,41
<i>290D_zCMII+20P</i>	22,86	31,18	37,72	41,66	42,99	43,86
<i>280D_zCMII+30P</i>	20,97	29,99	38,15	40,03	41,28	43,32
<i>270D_zCMII+40P</i>	26,30	32,22	41,07	43,29	45,14	46,58
<i>260D_zCMII+50P</i>	23,65	29,89	37,63	39,94	41,07	44,54
<i>250D_zCMII+60P</i>	21,65	26,76	36,01	38,68	38,79	41,10

Çizelge 33. CEM II A-LL 42,5R + MFP ortalama dayanım sonuçları



Şekil 32. Dayanım gelişim grafiği, (2)

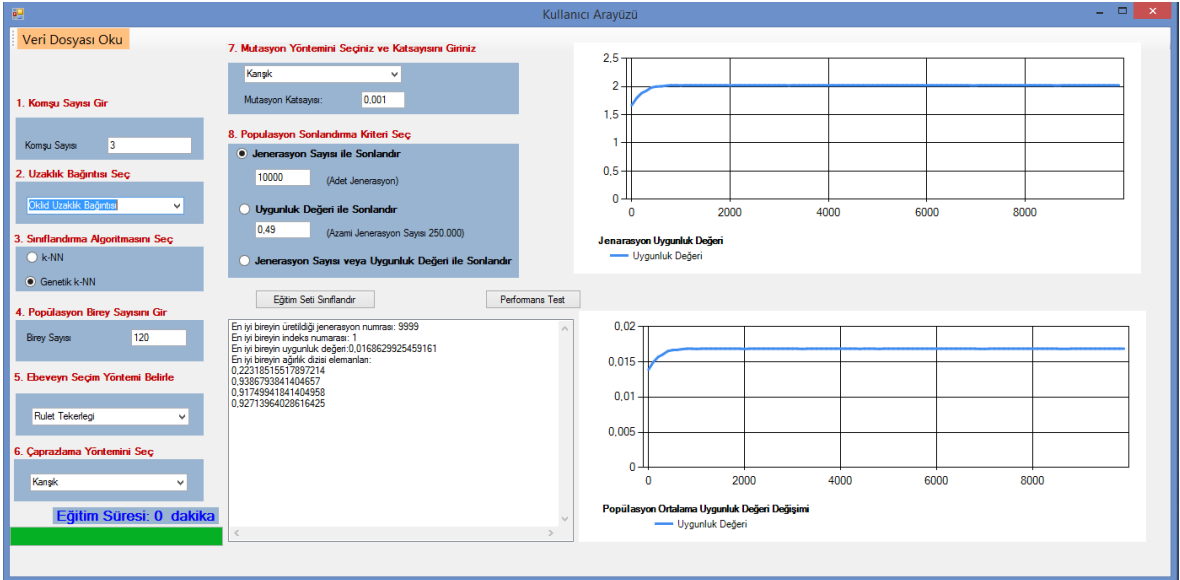
3.2.2.1. Dayanım Sonuçlarının Genetik Algoritma Yöntemi ile Optimizasyonu

3.2.2.1.1. Sezgisel k-nn Algoritması ve Uygulaması

Sezgisel k-en yakın komşuluk algoritması (k-nn) sınıflandırma ve tahmin görevlerinde kullanılan melez bir örnek tabanlı yapay zekâ yöntemidir. Bu yöntem literatürde asfalt karışımlarda ASTM D1559 (Marshall test) tahmininde [46], kontrplak panellerin yapışma direnci tahmininde [47], elektrik makinelerinin uyarım akımı tahmininde [48], internet üzerinden kullanıcıların verilerinin sınıflandırılmasında [49] ve daha birçok farklı alandan uygulamada başarılı bir şekilde denenmiştir. Sezgisel k-nn algoritması iki birimden oluşmaktadır. Bunlar sezgisel ağırlık keşfetme (ağırlıklandırma) ve k-en yakın komşuluk birimleridir. Sezgisel ağırlık keşfetme biriminin görevi bir probleme ait özneliklerin (giriş ve hedef/çıkış parametrelerinin) birbirleriyle olan ilişkilerini sıfır ile bir (0-1) sayıları arasında bir katsayıya dönüştürmektir. Böylelikle bir probleme ait olan çıkış parametreleri ile giriş parametreleri arasındaki ilişkiler sayısal değerlerle temsil edilebilmektedir. Bu işleme ağırlık keşfetme süreci adı verilmektedir. Elde edilen ağırlık değerleri giriş parametrelerinin çıkış parametreleri açısından önemini, etkisini ve dahası gerekliliğini ortaya koymakta ve model geliştirilirken bu ilişkiler tasarım kriterleri olarak dikkate alınabilmektedir. Sezgisel k-nn algoritmasının ikinci birimi ise k-nn tahmincisidir. k-nn tahmincisinin görevi, bir veri setinden faydalanarak henüz değeri belirlenmemiş bir çıkış parametresinin değerini bu örnek veri setinden seçilen k-adet en yakın gözlemin hedef parametrelerinin değerlerinden faydalanarak hesaplamaktır. Burada en önemli adım çıkış değeri tahmin edilecek durum ile örnek veri setindeki durumların uzaklıklarını (benzerliklerini) bulmaktır. Bu amaçla literatürde yaygın olarak oklit, manhattan ve minkovski uzaklık ölçüm metrikleri kullanılmaktadır. Uzaklık hesaplamada izlenen yol ise öncelikle çıkış değeri tahmin edilecek duruma ait giriş parametrelerinin değerleri ile örnek veri setindeki her bir örneğin giriş parametrelerinin değerlerini uzaklık bağıntısında kullanmaktır. Bu sayede veri setindeki örnek sayısı kadar uzaklık değeri elde edilmiş olur. Bu değerlerden en az olan k-adedi çıkış değeri tahmin edilecek duruma en yakın olan örnekleri temsil eder. Bunlara k-en yakın komşular adı verilmektedir. Bu komşuların belirlenmesinden sonra bu komşulara ait çıktı parametrelerinin değerleri “karelerinin toplamının karekök ortalaması” fonksiyonunda kullanılarak aranan hedef parametrenin değeri tahmin edilmiş olur. Bu çalışmada sezgisel k-nn algoritmasının

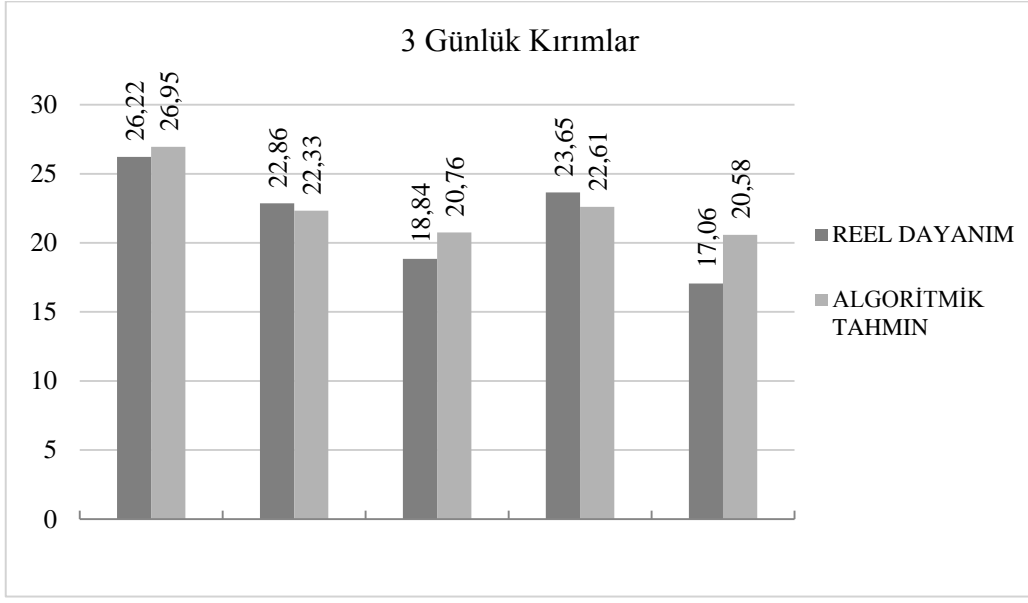
uygulanması için Hamdi Tolga KAHRAMAN tarafından geliştirilen bir yazılım aracı kullanılmıştır [46-47]. Yazılım aracına ait kullanıcı arayüzü aşağıdaki şekilde verilmektedir. Yazılım aracının çalışması kısaca maddeler halinde aşağıda açıklanmaktadır:

1. Veri dosyasının okunması: yazılım aracının bu menüsü eğitim ve test örneklerinden oluşan ve bilgisayarda kayıtlı olan veri dosyasının okunmasını sağlar.
2. Komşu sayısının seçimi: k-nn algoritmasına ait k (komşu sayısı) parametresinin kullanıcı tarafından belirlenmesi için kullanılan bir seçim aracıdır.
3. Algoritma seçimi: klasik ya da sezgisel k-nn algoritmalarından birini seçmeyi sağlar.
4. Popülasyon birey sayısı: genetik algoritmaya ait bir parametre olan popülasyon birey sayısını belirlemeyi sağlar.
5. Ebeveyn seçim yöntemi: genetik algoritmaya ait bir parametre olan ebeveyn seçim yöntemini rulet tekerleği ve ikili turnuva arasından belirlemeyi sağlar.
6. Çaprazlama yöntemi: genetik algoritmaya ait bir parametre olan çaprazlamayı, tek noktalı, iki noktalı, tek biçimli, karışık yöntemleri arasından birini seçmeyi sağlar.
7. Sonlandırma kriteri: algoritmanın eğitim ve test sürecinin sonlandırılması için dikkate alınan kriterleri belirlemeyi sağlar.

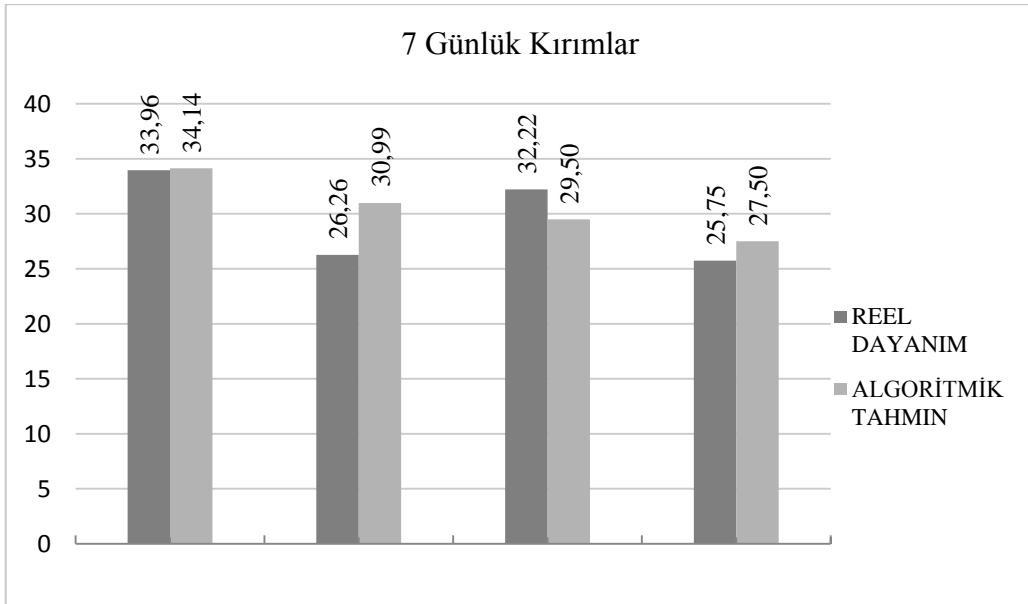


Şekil 33. Sezgisel k-nn algoritmasının uygulandığı programa ait kullanıcı arayüzü, [46-47]

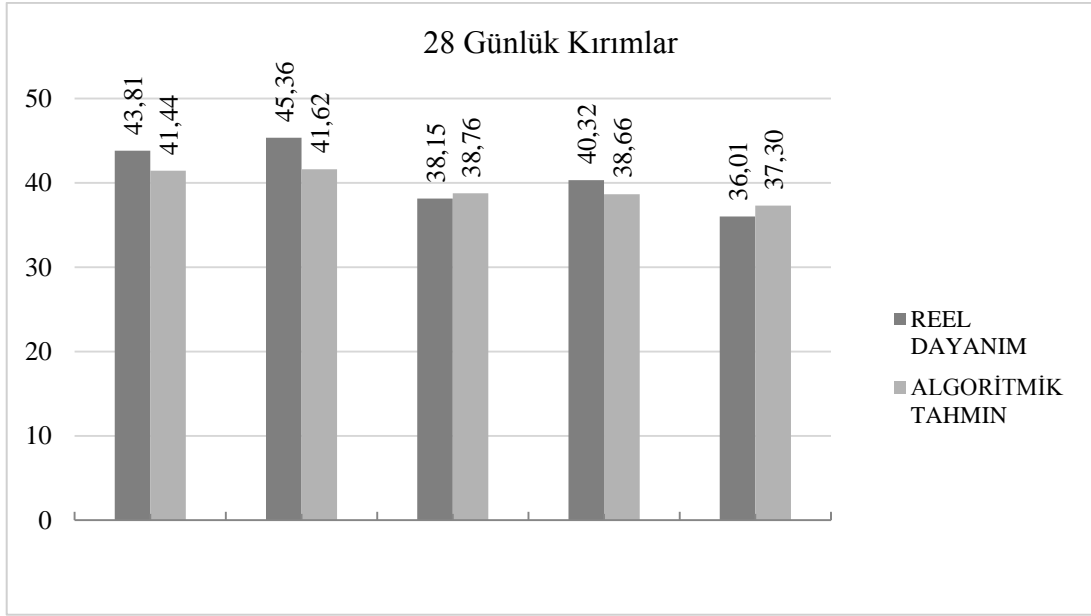
Dayanım sonuçları Genetik k-nn algoritma yöntemi ile değerlendirilmiştir. Deney koşulları ve malzeme özellikleri aynı olmak şartıyla, karışımların 3, 7, 28, 45, 60 ve 90 günlük tahmini dayanımları tespit edilmiştir. Reel dayanım sonuçları ile Algoritmik sonuçlar arasındaki değerlendirme aşağıda verilen grafiklerde gösterilmiştir.



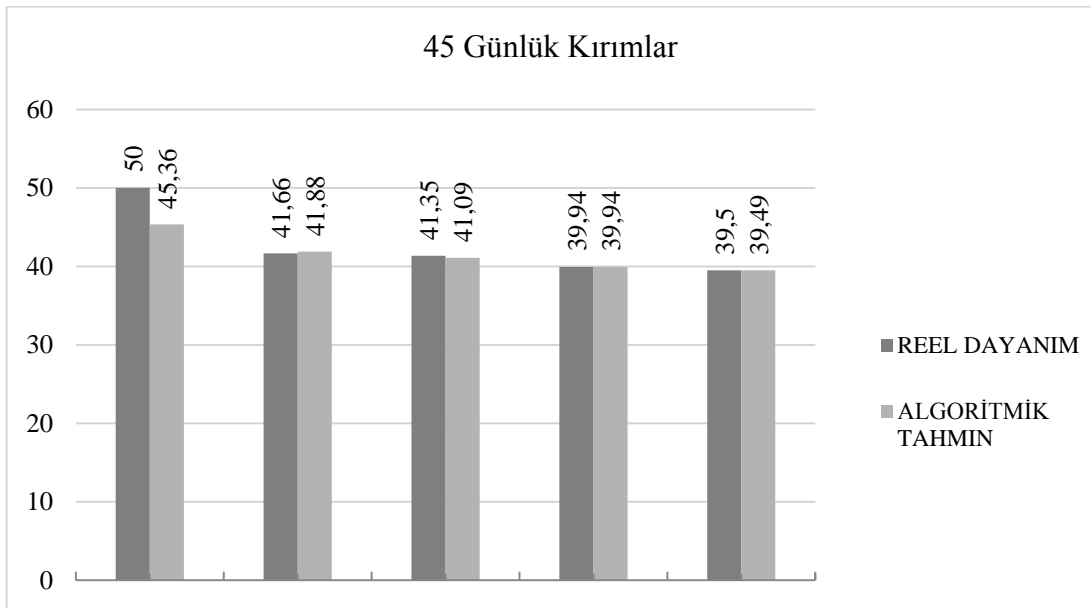
Şekil 34. 3 gün sonundaki reel ve algoritmik beton basınç dayanımları



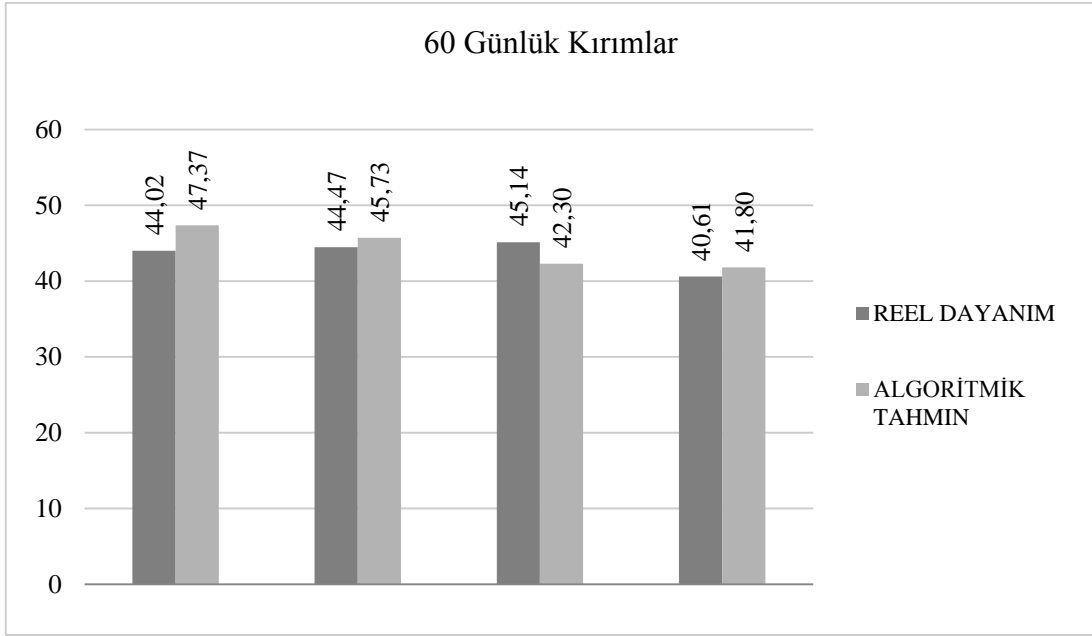
Şekil 35. 7 gün sonundaki reel ve algoritmik beton basınç dayanımları



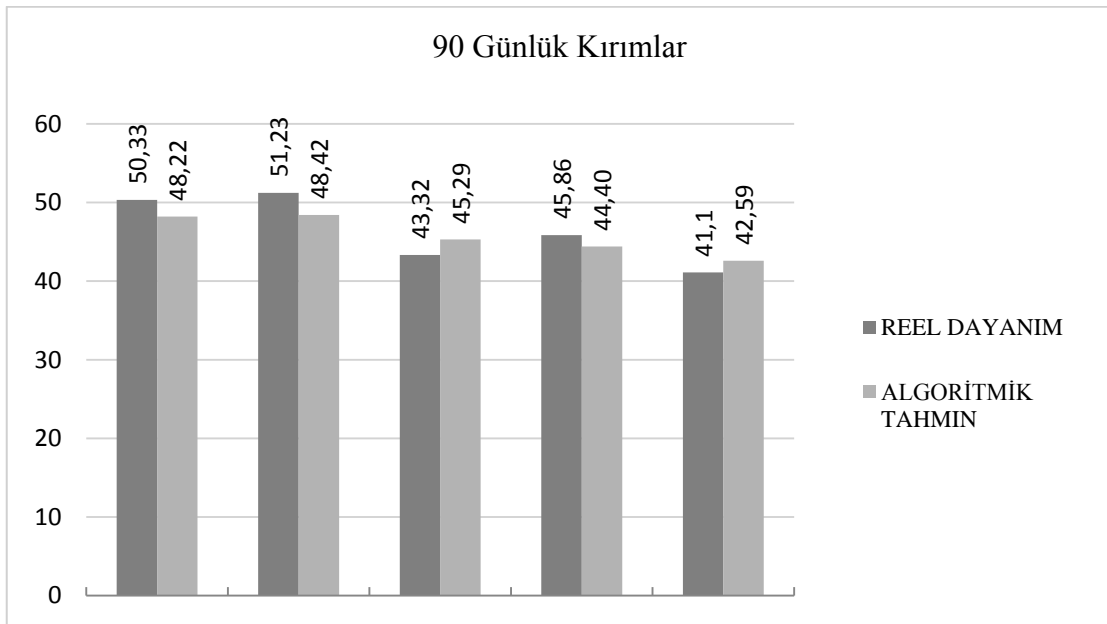
Şekil 36. 28 gün sonundaki reel ve algoritmik beton basınç dayanımları



Şekil 37. 45 gün sonundaki reel ve algoritmik beton basınç dayanımları



Şekil 38. 60 gün sonundaki reel ve algoritmik beton basınç dayanımları



Şekil 39. 90 gün sonundaki reel ve algoritmik beton basınç dayanımları

GUN	CIMENTO	TUR	PERLIT	CIMENTO	DAYANIMI	DAYANIMI	TAHMİN	HATA_DEGERI	ALGORITMA_ADI	YUZDE_HATA
3	1	0	300	26,22	26,947708	0,727708004	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	2,700444891		
3	2	20	290	22,86	22,32867066	0,531329342	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	2,379583409		
3	1	30	270	18,84	20,75727262	1,917272621	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	9,236630727		
3	2	50	260	23,65	22,61028463	1,039715467	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	4,588418323		
3	1	60	240	17,06	20,582265829	3,522265829	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	17,1131018		
7	2	10	300	33,96	34,13602642	0,176026424	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	0,515661728		
7	1	20	280	26,26	30,98760236	4,72760236	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	15,2564316		
7	2	40	270	32,22	29,50335744	2,716642564	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	9,207909879		
7	1	50	250	25,75	27,50093453	1,75093453	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	6,36681829		
28	2	0	310	43,81	41,44043275	2,369567248	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	5,718007971		
28	1	10	290	45,36	41,62352059	3,736479406	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	8,976846149		
28	2	30	280	38,15	38,76233309	0,612333091	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	1,579711649		
28	1	40	260	40,32	38,65883685	1,661163149	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	4,296981711		
28	2	60	250	36,01	37,30463262	1,294662325	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	3,470485415		
45	1	0	300	50	45,36202817	4,637971827	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	10,22434845		
45	2	20	290	41,66	41,88259662	0,222596624	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	0,531477612		
45	1	30	270	41,35	41,09499483	0,255005171	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	0,620526105		
45	2	50	260	39,94	39,93610981	0,003890191	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	0,009741037		
45	1	60	240	39,5	39,49201185	0,00798815	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	0,02027254		
60	2	10	300	44,02	47,36940855	3,349408553	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	7,070826205		
60	1	20	280	44,47	45,72779826	1,257798256	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	2,750620638		
60	2	40	270	45,14	42,29844323	2,841556766	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	6,717875527		
60	1	50	250	40,61	41,80392366	1,19392366	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	2,856008611		
90	2	0	310	50,33	48,22286214	2,107137856	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	4,36958273		
90	1	10	290	51,23	48,42404396	2,805966041	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	5,794551243		
90	2	30	280	43,32	45,29369345	1,973693454	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	4,357545837		
90	1	40	260	45,86	44,39781076	1,462189243	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	3,293381404		
90	2	60	250	41,1	42,58868747	1,488687465	23.1.2015/15:24:17/Manhattan Uzaklik Bagintisi: 3	3,495493753		
						1,799696279		5,126044798		

Şekil 40. Genetik Algoritma hesap methodu uygulaması

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yukarıdaki beton karışım tablolarından da dikkat edileceği üzere azalan her çimento miktarına karşılık MFP koyulmuştur. Beton basınç dayanım sonuçlarını ile birlikte MFP'in her iki tip çimentolu karışımlarındaki aktif kullanılabilir miktarı da tespit edilebilmiştir.

Genel çalışmalar incelendiğinde şu sonuçlara varılmıştır.

- Çimento'nun MFP ile belirli oranlarda yer değiştirilmesi sonucunda taze betondaki işlenebilirliğin puzolan oranı arttıkça azaldığı görülmüştür. Doğal puzolan inceliğinin fazla olması ve yapısı beraberinde su emme miktarını da arttırmıştır. Buna bağlı olarak betonda zamanla kıvam kaybı hızını da arttırmıştır.
- Çimento'nun MFP ile belli oranda yer değiştirmesi beton basınç dayanımı üzerindeki etkisi deneysel çalışma kısmında görülmektedir. Çalışmalarda kullanılan iki farklı tip çimentonun MFP ile karışımları incelendiğinde; Beton karışımlarında MFP'li betonların basınç dayanım sonuçları şahit beton karışımına göre düşük kalmıştır. 90 günlük dayanım sonuçlarında şahit karışıma göre en yüksek dayanım farkı CEM I 42,5R tip çimentolu karışımlarda 12Mpa, CEM II A-LL 42,5R tip çimentolu karışımlarda ise 9Mpa olduğu görülmüştür. Dikkat çeken önemli bir husus da; İki farklı çimentolu karışımlarda toplam bağlayıcı miktarının %13 olarak kullanılan MFP'in beton dayanım sonuçlarında daha etkin olduğudur.
- Her iki tip çimentolu ve puzolanlı bütün karışımlar istenilen mukavemetlere zamanında ulaşmıştır. Standartlar altında kalan dayanım yoktur. Bu sebeple MFP'in beton karışımlarında kullanılabilir iyi bir puzolan olduğu görülmüştür.
- Karışımlarda MFP oranının artmasına bağlı olarak betonların priz sürelerinin uzadığı görülmüştür.
- MFP'li karışimli betonların şahit karışimli betona göre erken dayanım gelişiminin zayıf olduğu görülmüştür.
- Beton karışımlarında kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkı yerine erken ve nihai dayanımları arttırmak için 3.nesil hiper akışkanlaştırıcı katkıları kullanılarak çalışmalar tekrar yapılabilir.

- Çimento-MFP'li beton karışımları, farklı gradasyonlarla tekrar yapılarak sonuçlar değerlendirilebilir.
- Farklı minerolojik agregalarla benzer çalışmalar yapılarak agrega türünün beton sonuçlarına etkisi araştırılabilir.
- Perlit'in öğütme boyutunun etkisinde yeni çalışmalara ışık tutacaktır.
- Beton karışımlarında kullanılan kimyasal akışkanlaştırıcı katkılarla Perlit uyumu da diğer bir araştırma konusu olarak değerlendirilebilir.
- Genetik Algoritma optimizasyon yöntemi ile dayanım sonuçları incelenmiş ve aynı ortam koşulları sağlanması ve benzer özellikli malzemeler kullanılması şartıyla karışım yapmadan Genetik Algoritma yaklaşımı kullanılarak ön bir dayanım tahmininin yapılabileceği görülmüştür.

İnşaat sektörünün gelişmesine paralel olarak çimento tüketim hızı da artmaktadır. Maliyetlerinin yüksek olması yatırımcıları da düşündürmekte ayrıca sürdürülebilir ekonomiyi ve çevre politikalarını da etkilemektedir.

Türkiye puzolanlar bakımında zengin bir ülkedir. Kendi kaynaklarımızı kullanarak beton maliyetlerini düşürmek ve ülke ekonomisine katkıda bulunmak önemlidir. Doğal ve yapay puzolan kaynaklarımızı kullanarak çalışmalar yapmak ve bunların betondaki etkisini maliyetler göz önünde tutarak geliştirmek de sektörel araştırmacıların görevidir.

Yapılan bu tez çalışmasına paralel olarak betonda kullanılan MFP'in, betonun erken dayanımına etkisinin araştırılıp geliştirilmesi için çalışmalar yapılırsa ilerisi için betonda çimento tasarrufu için çok ciddi bir yapı malzemesi olarak kullanılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Okucu, A., “*Bigadiç ve Turnatepe (Balıkesir) Yörelerindeki Zeolitik ve Perlitik Tüflerin Puzolanik Özellikleri*”, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir),1998
2. Özdemir, M., Öztürk, N. U., “*Utilization of clay wastes containing boron as cement additives*”, CRR Journal, 33 (2003), pp 1659-1661
3. Erdogan,S.,Erdogan,T.,Y,“*Puzolonik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri*”, 2.Yapılarda Katkı Sempozyumu,Nisan 2007.
4. DTP, *Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III (Pomza-Perlit-Vermikülit-Flogopit-Genleşen Killer) Çalışma Grubu Raporu*, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyon Raporu, Ankara, 2001.
5. Akman,S.M., “*Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi*”,Türkiye Mühendislik Haberler Dergisi,426,30-36.,2003.
6. Felekoglu,T.,K., “*Yapı Malzemesi II, Ders Notları*”,Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü,İzmir.
7. Erdoğan, T.,Y., “*Beton*”, Ortadoğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, (2003).
8. Massazza, F. Pozzolana and Pozzolanic Cements. Hewlett P. H. (Ed.), *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, Elsevier Butterworth Heinemann, Sf. 471 – 635.,1998.
9. Yetkin,S., Cavdar,A., “*Doğal Puzolan Katkı Oranının Çimentonun Dayanım, İşlenebilirlik, Katılaşma ve Hacim Genleşmesi Özelliklerine Etkisi*”, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der. Science and Eng. J. of Fırat Univ. 17 (4), 687-692, 2005.
10. S. Pan, D. Tseng, C. C. Lee, C. Lee, “*Influence of the fineness of sewage sludge ash on the mortar properties*”, Cem. Concr. Res., 33, 1749-1754, 2003.
11. Bulut,Ü., “*Perlitin Puzolonik Aktivitesi*”, Doktora Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,2007.
12. Küçük yıldırım, E., “*Kimyasal ve Isıl İşlem Görmüş Klinoptilolit Zeolitinin Puzolanik Aktivitesinin ve Katkılı Çimentolardaki Performansının İncelenmesi*” Yüksek Lisans Tezi,Niğde Üniv.Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,2013.

13. Tokyay M., Erdoğan K., “*Uçucu Küllerin karakterisasyonu.*”TÇMB/AR-GE/Y98.3,Ankara(1998).
14. Baradan B.,Yazıcı H.,Aydın S., “*Beton*” Dokuz Eylül Mühendislik Fakültesi Yayınları No:334,2012.
15. Tokyay, M., Erdogdu, K., “*Cürüfler ve cürüflü çimentolar*”, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, T.Ç.M.B./AR-GE/Y97.2, Ankara, 1-2(1997).
16. Dayı,M., “Doğal ve Yapay Puzolanların Kompoze Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”,Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,2006.
17. Massazza, F., “*Puzolanlı çimentolar ve kullanım alanları semineri*”, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara,1-28 (1989).
18. Erdoğan, S. T. ve Erdoğan, T. Y., “*Sorular ve Yanıtlarıyla Beton*”, Türkiye Hazır Beton Birliği, 2006.
19. Ramachandran, V. S., “*Concrete Admixtures Handbook*”, Second Edition, Noyes Publication, New Jersey, U.S.A., 1995.
20. “Türkiye Perlit Envanteri”, “*Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları*”, No. 193, Ankara, 1-8 (1985).
21. Harben, P.W., “*Perlite.The industrial minerals Handy book II*”,London, 126-128.,1995.
22. King,C.R., “*Pumice and perlite as industrial minerals in California*”, Calif. Jour. Mines and Geology. Vol. 44, 293-319.,1948.
23. Yılmaz, A., “Enerji Tasarrufunda Bor Ve Perlit”, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Ankara,2004.
24. Arı, K., “*Dolgulu duvar blokların imali ve ısı iletim katsayılarının karşılaştırılması*”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009.
25. Esenli, F., “*Perlit*”, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden fakültesi.
26. USGS., “*Mineral Industry Surveys. Perlite*”, Annual Review, 2014.
27. Demirboğa, R., “*Silis dumani ve uçucu külün perlit ve pomza ile üretilen hafif betonun özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 1-2 (1999).
28. Hamamcı, R. B., “*Perlit agregalı hafif beton özelliğinde kompozit malzeme olarak bir çalışma*”, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 1-2 (1998).

29. Yılmaz, S., “*Perlitli akustik plakaların nemli ortamlardaki davranışları*”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1-2 (1998).
30. Bulgu, M., “*Perlitin Çimentoda Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği*”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.
31. Tanaçan, L. , Akgül, E., “*The Pozzolan Activity of Datça Earth and Perlite*”, 3th International Conference Ecomaterials, Connecting Science: with The Grassroots; Cuba, 2005.
32. Yu, L.H., Ou, H. and Lee, L.L., “*Investigation on Pozzolan Effect of Perlite Powder in Concrete*”, *Cement and Concrete Research* 33, 73-76. 2003.
33. TÇMB (*Türkiye Çimento Müstahsiller Birliği*) İnternet sitesi-Çimento Nasıl Üretilir. <http://tcma.org.tr/index.php?page=icerikgoster&menuID=54>
34. POSTACIOĞLU, B., “*Bağlayıcı Maddeler*”, Cilt 1, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 5-38 (1986).
35. Toker, M., “*Çimento üretiminde kullanılan mineral* “ , İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2014.
36. Snell, L.M. and Snell, B.G., “*The Early Roots of Cement*”, *Concrete International*, 83-85 (2000).
37. YALNIZ, H., “*Çimento Sanayi Hammadde Ocağı Üretim Planlaması*”. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 178s,2006.
38. “*Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri*”, DPT Yedinci Bes Yıllık Kalkınma Planı Özel ihtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 2:14-27(2001).
39. MINDESS, S. And YOUNG, J.F., “*Concrete*”, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 41-94(1981).
40. Erdoğan, Ş., “*Beton Teknolojisi Yüksek Lisans Ders Notu*” ,Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Fakültesi,2014
41. NEVILLE, A.M., “*Properties of Concrete*”, Longman Scientific & Technical,İngiltere, 36 – 115 (1981).
42. Sağlam, A.R., Parlak N., Özkul M.H., “*Polikarboksilat Esaslı Kimyasal Katkıların Beton Üretiminde Kullanımı*”, Yapılarda Kimyasal Katkıları Bildiriler Kitabı, pp. 107-120, 2007.
43. Neville, A., *Neville on Concrete*, ACI International, 2003.

44. Felekođlu, B., Türkel, S., “*Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze Ve Sertleşmiş Betonun Bazı Özellikleri Üzerine Etkileri*”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 2004.
45. Tandırlı, E., Akalın Ö., Arca E., “*Effects of Different Superplasticizers on Early Strength of Concrete*”, Fifth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, 2000.
46. Aksoy, A., Iskender, E., Kahraman, H. T., "Application of the Intuitive k-NN Estimator for Prediction of the Marshall Test (Astmd1559) Results For Asphalt Mixtures", *Construction & Building Materials*, 34: 561-569, (2012).
47. Demirkır, C., Kahraman, H. T., Çolakođlu, G., “Application of Meta-Heuristic Hybrid Artificial Intelligence Techniques for Modeling of Bonding Strength of Plywood Panels”, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Vol. 15, No:1, (2014).
48. Kahraman, H. T., R.Bayindir, S. Sagirolu, "A New Approach To Predict The Excitation Current and Parameter Weightings Of Synchronous Machines Based On Genetic Algorithm-Based K-Nn Estimator", *Energy Conversion and Management*, 64:129-138, (2012).
49. Kahraman, H. T., Sagirolu, S., Colak, I., "Developing intuitive knowledge classifier and modeling of users' domain dependent data in web", *Knowledge Based Systems*, 37: 283-295, (2013).

ÖZGEÇMİŞ

30.01.1982 tarihinde Balıkesir’de doğdu. İlkokul ve Ortaokul Konya’da, Liseyi Malatya’da tamamlayarak 2000 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. Mezuniyetimin ardından 2005 yılında Mersin Dağlı İnşaat’ta Saha Mühendisi olarak iş hayatına başladı. Aynı yıl askerlik vazifesini gerçekleştirmek üzere İzmir İstihkâm Okuluna ardından Asteğmen olarak Osmaniye 2. Ordu İstihkâm Savaş Taburuna gitti. Askerlik vazifesinin ardından ara vermeden Malatya menşeli Güç-ar İnşaat firmasında kısa süreli olarak Adıyaman Toplu Konutlar Şantiyesinde Saha Mühendisi olarak çalıştı. 2006 yılı Ağustos ayı itibarı ile Ünye Çimento A.Ş İnşaat Kontrol Mühendisi-Yatırım Mühendisi olarak çalışmaya başladı. Firmanın yurt dışı ve yurtiçi yatırımlarında çalışmıştır. Yatırımların tamamlanmasının ardından yine aynı firmada görev değişikliği ile satış mühendisi olarak çalışmaya devam etmiştir. 2011 yılı Ağustos ayında Ünye Çimento A.Ş. bünyesinden ayrılarak, Hayma İnşaat firmasında Şantiye Şefi olarak çalışmaya başladı. 2012 yılı mart ayında ise Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. Beton Hedef Pazar bünyesinde Trabzon Bölge Sorumlusu olarak çalışmaya başladı. Ve halen bu görevi yürütmektedir. Çalışma süresince çeşitli eğitim ve etkinlikler düzenlemiştir. Avrasya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Tezli Yüksek Lisans yapmaktadır. Birçok kişisel gelişim ve eğitim sertifikalarına sahip olan Mustafa Gürkan ASLAN evli ve bir çocuk babasıdır.