



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONUN BÜZÜLME MİKTARININ DOLOMİT VE
MgO KATKILARIYLA TELAFİ EDİLMESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

SEDA KARATAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2024

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONUN BÜZÜLME MİKTARININ DOLOMIT VE
MgO KATKILARIYLA TELAFİ EDİLMESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

SEDA KARATAŞ

**Bu tez,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.**

KAHRAMANMARAŞ 2024

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Seda KARATAŞ



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

BETONUN BÜZÜLME MİKTARININ DOLOMİT VE MgO KATKILARIYLA TELAFİ EDİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI (YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Seda KARATAŞ

ÖZET

Uzun yıllardır inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan beton, zamanla değişime uğrayan servis ömrü boyunca belirli şartlara ihtiyaç duyan bir yapı malzemesidir. Çimento bazlı bir malzeme olan beton çevre şartlarından, kimyasal yapısından ve üretiminden sonra devam eden reaksiyonlardan etkilenmektedir. Bu tezde hacimsel değişiklik olarak tanımlanan büzülme olayı incelenmiştir.

Ülkemizde var olan dolomit cevheri birçok alanda kullanılmakta olup inşaat sektöründe de agrega olarak tercih edilmektedir. Çalışma kapsamında içerdiği MgO ihtivasi dikkate alınarak çimento ile karıştırılarak kullanılmıştır. Temin edilen dolomitin XRF sonuçlarına bakılarak standartlara uygun olarak MgO miktarının toplam beton içeriğinin %5-7'si üzerine çıkmamasına dikkat edilmiştir.

Bu çalışmada betonda meydana gelen büzülme ve büzülme çatlaklarını uygun oranda dolomit ve MgO katkılarıyla nötralize etmek araştırılmıştır. Beton, harç ve çimento karışımlarının hepsinin hesaplaması yapılırken çimento miktarından azaltılarak yerine çimento inceliğine getirilmiş olan dolomitten %5 - %10 - %15 - %20 - %30 ve %40 oranında, MgO'ten %5 - %10 - %15 oranında ve dolomitten %5 - %10 ile MgO'ten %5 - %10 oranında eklenerek 11 farklı kombinasyon oluşturulmuştur. 100x100x100 mm ölçülerindeki küp numuneleriyle gerçekleştirilen 7 ve 28 günlük basınç dayanım sonuçlarına bakıldığında en yüksek dayanım referans numunede görülmüştür. Harç karışımlarıyla 40x40x160 mm boyutlarında hazırlanan örneklerin en yüksek 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları referans numuneye ait olup sırasıyla 7,19 MPa-51,57 MPa'dır. 25x25x285 mm'lik numunelerle gerçekleştirilen boy değişimi sonuçları ise eklenen dolomit ve MgO katkılarıyla orantılı olarak artmaktadır. Tezin ana konusu kapsamında meydana gelen bu artış büzülmeyi telafi ederek 0 noktasına en yakın değer en ideal katkı oranı olarak seçilmiştir. Bu bağlamda %20 dolomit içeren H-D20 numunesi 0,021 mm farkla tez kapsamına uygun en ideal boy değişim miktarını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ögütülmüş Dolomit, MgO, Büzülme, Hacim Sabitliği, Genleşme, Mikroyapı

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Nisan / 2024

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ

Sayfa sayısı: 84

INVESTIGATION OF COMPENSATING THE SHRINKAGE OF CONCRETE WITH DOLOMITE AND MgO ADDITIVES (MSc THESIS)

Seda KARATAŞ

ABSTRACT

For many years, concrete has been widely used in the construction industry, and it is a building material that undergoes changes over its service life, requiring specific conditions. Concrete, a cement-based material, is influenced by environmental conditions, chemical structure, and reactions that occur after production. In this thesis, shrinkage, which is defined as volumetric change, is investigated.

Dolomite ore in our country is used in many areas and is preferred as aggregate in the construction sector. Within the scope of the study, it was mixed with cement considering its MgO content. By looking at the XRF results of the dolomite supplied, care was taken to ensure that the amount of MgO did not exceed 5-7% of the total concrete content in accordance with the standards.

While calculating all concrete, mortar and cement mixtures, by reducing the amount of cement, dolomite which has been reduced to cement fineness is added at the rate 5% - 10% - 15% - 20% - 30% and 40%; MgO is added at the rate 5% - 10% - 15% and also 5% - 10% of dolomite and 5% - 10% of MgO is added 11 different combinations were created. When looking at the compressive strength results of the cube specimens with dimensions of 100x100x100 mm at 7 and 28 days, the highest strength was observed in the reference sample. Similarly, the highest 28-day bending and compressive strengths of samples prepared in 40x40x160 mm dimensions were 7,19 MPa and 51,57 MPa, respectively. The dimensional change results obtained from the 25x25x285 mm samples increased proportionally with the added dolomite and MgO contributions. Within the scope of the main topic of the thesis, this increase compensates for shrinkage, and the contribution with the value closest to 0 is chosen as the most ideal contribution ratio. In this context, the H-D20 sample containing 20% dolomite shows the most ideal dimensional change amount within the scope of the thesis with a difference of 0.021 mm.

KeyWords: Dolomite, MgO, Shrinkage, Volume Stability, Expansion, Microstructure

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering, April / 2024

Supervisor: Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ

Page Numbers: 84

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve çalışmamın her aşamasında sağladığı bilimsel katkılardan dolayı **Prof.Dr.Hüseyin TEMİZ**'e, her fırsatta bilgi ve birikimlerinden yararlandığım tüm bölüm hocalarıma, tüm çalışmalarım süresince değerli görüş ve fikirlerini benimle paylaşan arkadaşlarıma, bölümde araştırma görevlisi olan **Betül PAKÖZ**'e tüm içtenliklerimle teşekkür ederim.

Çalışma esnasında laboratuvar kısmında test örneklerin hazırlanması aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım, Malzeme Bilimi Mühendisliği doktora öğrencisi **Emine KARATAŞ**'a teşekkürü bir borç bilirim.

Akademik anlamda bana her zaman yön veren ve yüksek lisans çalışmada her an bilgi birikiminden faydalandığım kıymetli abim **Muhammed Ziya KARATAŞ**'a tüm desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Testlerin yapılması esnasında yardımlarını esirgemeyen Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Üniversite-Sanayi-Kamu İşbirliği Merkezi personellerinden başta **Feridun KOÇER** olmak üzere tüm personellere teşekkür borç bilirim.

Son olarak, tüm hayatım boyunca yanımda olan ve her zaman maddi manevi desteğini aldığım, bu günlere gelmemde her türlü varlıkları ile bana güç veren aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

SEDA KARATAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Tezin Konusu	2
1.3. Tezin Kapsamı	2
1.4. Rötire.....	3
1.4.1. Rötire türleri.....	4
1.4.1.1. Plastik rötire	5
1.4.1.2. Otojen rötire	7
1.4.1.3. Kuruma rötresi.....	7
1.4.1.4. Karbonatlaşma rötresi	9
1.5. Rötreyi Etkileyen Faktörler	9
1.5.1. Çimentonun etkisi	10
1.5.2. Su/Çimento oranının etkisi	10
1.5.3. Çevre koşullarının etkisi	12
1.5.4. Geçirimsizlik etkisi	13
1.5.5. Kürleme etkisi.....	14
1.5.6. Rötire azaltıcı katkı maddeleri (SRA) etkisi.....	14
1.6. Dolomit	18
1.6.1. Türkiye’de dolomit	19
1.6.2. Dolomitin kullanım alanları.....	21
1.6.3. Dolomitin oluşumu	22
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	26
3. MATERYAL VE METOD	31
3.1. Materyal	31
3.1.1. Agregat.....	31
3.1.2. Çimento.....	32
3.1.3. Dolomit	33
3.1.4. MgO	34
3.2. Metod.....	35
3.2.1. Malzemelerin deneylere uygun hale getirilmesi	35
3.2.2. Karışım oranlarının hazırlanması	37

3.2.3. Beton numunelerinin deney metodları.....	43
3.2.4. Harç numunelerinin deney metotları	44
3.2.5. Çimento numunelerinin deney metotları	50
4. BULGULAR	53
4.1. Çimento Numunelerinde Priz Süreleri Tayini	53
4.2. Çimento Numunelerinde Hacim Sabitliği.....	54
4.3. Beton Numunelerin Slump Deneyi.....	56
4.4. Harç Numunelerinde Su-Emme	57
4.5. Harç Numunelerinde Birim Hacim Ağırlık	58
4.6. Harç Numunelerinde Basınç Dayanımı	60
4.7. Harç Numunelerinde Eğilme Dayanımı	62
4.8. Harç Numunelerinde Boy Değişimi	63
4.9. Beton Numunelerin Basınç Dayanımı	67
4.10. Harç Numunelerinde mikro yapı (SEM)	69
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	84

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MPA	: Mega Pascal (Basınç Dayanımı Birimi)
PÇ	: Portland Çimentosu
KPÇ	: Katkılı Portland Çimentosu
TSE	: Türk Standartları
EN	: Avrupa Standardı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ASTM	: Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
SEM	: Taramalı Elektron mikroskop
MgO	: Magnezyum Oksit
SiO₂	: Silis
CaO	: Kalsiyum Oksit
CSH	: Kalsiyum Silika Hidrat
C₂S	: Dikalsiyum Silikat
C₃S	: Trikalsiyum Silikat
C₃A	: Trikalsiyum Alüminat
C₃S	: Trikalsiyum Silikat
C₄AF	: Tetrakalsiyum Alumino Ferrit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Genleşme ve büzülmeden kaynaklı oluşan iç kuvvetler	3
Şekil 1.2. Büzülme çeşitleri ve oluşum evreleri	5
Şekil 1.3. Plastik rötre çatlaklarının oluşum süreci	6
Şekil 1.4. Plastik rötre çatlak örneği	6
Şekil 1.5. Kuruma rötresi örneği	8
Şekil 1.6. Kuruma rötresini etkileyen faktörler	9
Şekil 1.7. Çimento hamurundaki su moleküllerinin çeşitliliği	11
Şekil 1.8. s/ç, çimento ve su içeriklerinin uzun sürede rötre etkisi.....	12
Şekil 1.9. Çimento-agrega hamurundaki ara yüzey çatlakları.....	13
Şekil 1.10. C-S-H tanecikleri arasındaki çekim kuvvetleri	15
Şekil 1.11. Dolomitin sınıflandırılması	19
Şekil 1.12. Türkiye’deki magnezyum, dolomit ve barit yataklarının haritası.	21
Şekil 1.13. Dolostone	24
Şekil 1.14. Dolomitik mermer	24
Şekil 1.15. Dolomit minerali	25
Şekil 1.16. Dolomit agregası	25
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan agrega; 4 mm üstü elekten kalan ve 4 mm altı elekten geçen.....	32
Şekil 3.2. CEM I 42,5 R Portland Çimentosu	32
Şekil 3.3. Taş ocağından alınan dolomit ve Öğütülmüş dolomit	34
Şekil 3.4 Karışımlarda kullanılan saf MgO	34
Şekil 3.5. Araştırmada kullanılan agregalar	35
Şekil 3.6. Araziden temin edilen ve çeneli kırıcıda belirli tane boyutuna getirilen dolomit.....	36
Şekil 3.7. Numune hazırlanması.....	39
Şekil 3.8. Kalıba yerleştirilen ilk katman ve 25 kez yapılan şişleme işlemi	40
Şekil 3.9. Tokmaklama işlemi ve kalıplara yerleştirilen numuneler	40

Şekil 3.10. Harç numunelerin hazırlanması.....	42
Şekil 3.11. Basınç dayanımı test cihazı	44
Şekil 3.12. Etüv cihazı, kür havuzunda bekleyen numuneler ve numunelerin tartılması....	45
Şekil 3.13. Kuru ağırlıkların ölçümü ve kumpas yardımıyla hacim ölçümü.....	46
Şekil 3.14. Harç numuneleri ve eğilme deneyi.....	46
Şekil 3.15. Basınç dayanımı deneyi.....	47
Şekil 3.16. Boy değişimi numune kalıbı ve numuneler.....	48
Şekil 3.17. Boy değişiminin ölçülmesi.....	48
Şekil 3.18. Taramalı elektron mikroskobu (Sem görüntüleme cihazı).....	49
Şekil 3.19. Yüksek dereceli fırın	49
Şekil 3.20. Priz süreleri tayini için kullanılan vicat aleti.....	51
Şekil 4.1. Çimento numunelerinde priz süreleri.....	54
Şekil 4.2. Çimento numunelerinde hacim genleşmesi.....	56
Şekil 4.3. Beton numunelerinde slump (çökme)	57
Şekil 4.4. Harç numunelerinde ağırlıkça – hacimce su emme.....	58
Şekil 4.5. Harç numunelerinde birim hacim ağırlık	59
Şekil 4.6. Harç numunelerinde basınç dayanımı	61
Şekil 4.7. Harç numunelerinde eğilme dayanımı	63
Şekil 4.8. 56. Harç numunelerinin 3,7,28 ve 56 günlük boy değişimleri.....	65
Şekil 4.9. 56. gün sonundaki boy değişimi (mm).....	66
Şekil 4.10. 56. Gün sonundaki boy değişimi (%).....	67
Şekil 4.11. Beton numunelerinde basınç dayanımı	68
Şekil 4.12. Referans numuneye ait sem görüntüsü.....	69
Şekil 4.13. Referans numuneye ait sem görüntüsü.....	70
Şekil 4.14. H-D20 numuneye ait sem görüntüsü.....	70
Şekil 4.15. H-D20 numuneye ait sem görüntüsü.....	71
Şekil 4.16. H-M5 numuneye ait sem görüntüsü	72

Şekil 4.17. H-M5 numuneye ait sem görüntüsü	72
Şekil 4.18. H-M5 numuneye ait sem görüntüsü	73
Şekil 4.19. H-M15 numuneye ait sem görüntüsü	74
Şekil 4.20. H-M15 numuneye ait sem görüntüsü	74
Şekil 4.21. H-M15 numuneye ait sem görüntüsü	75
Şekil 4.22. H-D10M10 numuneye ait sem görüntüsü	76



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Çimento, Harç ve Beton karışımı içerikleri.....	17
Çizelge 1.2. Beton sınıfları ve basınç dayanımları.....	17
Çizelge 1.3. Dolomitin Özellikleri	18
Çizelge 1.4. Türkiye’de yer alan dolomit bölgeleri ve rezervleri.....	20
Çizelge1.5. Dolomit malzemesinin çeşitli kullanım alanları.....	22
Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekaniksel özellikleri.....	33
Çizelge 3.2. Dolomit kayacına ait XRF sonuçları	33
Çizelge 3.3. Beton numunelerinin isimleri ve karışım oranları.....	38
Çizelge 3.4. Harç numunelerinin isimleri ve karışım miktarları	41
Çizelge 3.5. Çimento hamurunun karışım oranları ve isimleri.....	43
Çizelge 4.1. Çimento numunelerinin priz süresi değerleri	53
Çizelge 4.2. Çimento numunelerinin hacim genleşmesi değerleri	55
Çizelge 4.3. Beton numunelerinde slump değeri.....	56
Çizelge 4.4. Harç numunelerinde ağırlıkça – hacimce su emme Oranları	57
Çizelge 4.5. Harç numunelerinde birim hacim ağırlık	59
Çizelge 4.6. Harç numunelerinin basınç dayanım değerleri.....	60
Çizelge 4.7. Harç numunelerinin eğilme dayanım değerleri	62
Çizelge 4.8. Harç numunelerinin 3,7,28 ve 56 günlük boy değişimleri	64
Çizelge 4.9. Harç numunelerinin 56 gün sonundaki mm ve % cinsinden boy değişimleri.	65
Çizelge 4.10. Beton numunelerinde basınç dayanım değerleri	68

1. GİRİŞ

İnsanlığın varoluşundan bu yana beslenme, barınma, korunma gibi temel ihtiyaçlar ve bunların teminiyle ilgili sorunlar ortaya çıkmıştır. İnsanlar yaşama, mevsimsel zararlardan korunma, yerleşik hayata geçme, kavimler ve değişen dünya olaylarıyla birçok yapı malzemesi kullanmıştır. Fakat zamanla oluşan sorunlarla yapı malzemesi arayışı ve teknolojisi sürekli gelişmiştir. İlk insanların yapı malzemeleri çevrelerinde var olan toprak, taş, ağaç ürünleri, saman türü malzemelerdir. Evrenin gelişimi, yeni çağlara geçiş ve yeni malzeme keşifleri sayesinde daha sonraları kil, kerpiç, tuğla, kireç ve çimento kullanılmaya başlanmıştır.

Üretimin hızlı olması, işlenebilirliğinin yüksek olması, çelik veya polimer malzemeler nispeten daha ekonomik olması, üretiminde kullanılan agreganın temininin kolay olması gibi birçok olumlu yönüyle yapı teknolojisinde en çok tercih edilen malzeme betondur. Gelişen teknoloji ve iyileştirmelerle sudan sonra en fazla tüketilen malzeme haline gelen beton; baraj, kanal, yol, bina, köprü ve birçok yapıda hem taşıyıcı eleman hem estetik amaçla kullanılmaktadır. Ayrıca yapılara yangın koruma, su geçirmezlik ve ses yalıtım olarak da katkı sağlamaktadır. En ilkel tanımıyla beton, çimentolu malzeme, agrega ve suyun birleşiminden elde edilen akışkan kıvamda bir yapı malzemesidir. Beton bünyesinde farklı fazlarda materyaller bulunduran ve kullanım alanı oldukça geniş olan kompozit malzemedir. Yapıların servis ömrü boyunca kimyasal ve fiziksel olarak aktif kabul edilen beton zamana bağlı birçok deformasyona maruz kalır. Fiziksel olarak meydana gelen yük gerilmelerinin dışında çeşitli kimyasal reaksiyonlar betonu olumsuz etkilemektedir. Betonda zamanla büzülme, hidrasyon ıslığı, priz süresi yetersizliği, dayanım düşüklüğü gibi betona zarar veren olaylar gerçekleşebilmektedir. Beton gözenekli bir yapıya sahiptir ve bu gözeneklerde belirli miktarda su bulunmaktadır. Çevresel faktörler, kürlenme, sıcaklık gibi nedenlerle bu suyun fazlalığı ve azlığı çeşitli problemlere yol açmaktadır. Taze betonun yüzeyinde veya yüzeye yakın yerlerinde su buharlaşır. Sertleşmiş betonda betonun kurumması, hidrasyon ve karbonatlaşma yüzünden su kaybı gerçekleşir. Betondaki bu su kayıplarının neden olduğu hacimsel değişikliğe “Rötre (Büzülme)” denir.

Gelişen teknolojiler yeni üretilen teknikler sayesinde betona birçok özellik kazandırılıyor ve betondaki olumsuz özelliklerde bu yöntemler sayesinde telafi edilebiliyor. Betona çeşitli mineral katkıları ekleyerek, su/çimento oranını değiştirerek, yeni kimyasallar katarak betonun olumsuz yanları nötralize edilmeye devam edilmektedir.

Çalışmamızda üstünde durduğumuz büzülme kavramıyla ilgili olarak da son yüz yıldır birçok çalışma yapılmaktadır. Betonun rötresini etkileyen çimento ve agrega türü, su/çimento oranı, kütleme ve kimyasal katkıları dikkate alınarak çeşitli betonlar üretilerek testlere tabi tutulmaktadır. Çeşitli yerlerdeki kullanımına göre silis dumanı, uçucu kül, yerleşen tip çimento ve SRA (rötre azaltıcı katkı malzemesi) kullanılmaktadır. Rötre azaltıcı katkı maddeleri (SRA) ilk olarak 1982 yılında Japonya’da geliştirildi fakat 1985 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde patente aldı. Kimyasal olarak iki grup SRA mevcuttur; neopentil-glycol veya propylen-glycol dur. Yukarıda belirtilen yöntemlerden biriyle ya da birkaçıyla dayanımı yüksek, servis ömrü uzun, maliyeti uygun betonlar üretilmektedir.

1.1. Tezin Amacı

Çalışmanın ana amacı; betonun büzülme özelliği göz önünde alınarak önceden belirlenen malzemeleri betona ekleyerek hacimsel değişimi en minimize edilmiş beton elde etmektir. Çalışmada betona MgO ihtivası belirli dolomit minerali ve manyezitten kalsine edilmiş saf MgO eklenmiştir. Tüm çimento içindeki MgO ’in yüzdelik oranları standartlara uygun olarak %5-7 altında tutulmuştur. Standartlara uygun yapılan test sonuçları ışığında betona eklenen dolomit ve MgO katkılarıyla betonda meydana gelen büzülme kaynaklı hacim değişiklikleri en aza indirilmiştir.

1.2. Tezin Konusu

Çalışma konusu dikkate alındığında deneyleri gerçekleştirmek için CEM-I 42.5 çimentosu tercih edilerek değişik oranlarda dolomit ve MgO katkılarıyla betondaki genleşme özelliği artırılarak betonda meydana gelen büzülme olayının sonuçlarını iyileştirilmesi yapılmıştır. Ayrıca oluşturulan bu yeni beton içeriği tüm standartlara uygun olarak gerekli birçok teste tabii tutulmuştur. Çalışmada yapılan testler; boy değişimi, hacim kararlılığı, priz süresleri tayini, basınç-eğilme deneyleri, su emme ve birim hacim ağırlığı testleridir.

1.3. Tezin Kapsamı

Bu çalışmanın kapsamında öncelikle değişik oranlarda dolomit ve MgO içeren beton ve harç karışımların uygun ortam koşullarında yapılan rötre ölçümlerinin sonuçları referans numuneye karşılaştırılarak ulaştığımız hacimsel değişikliği belirtmektir.

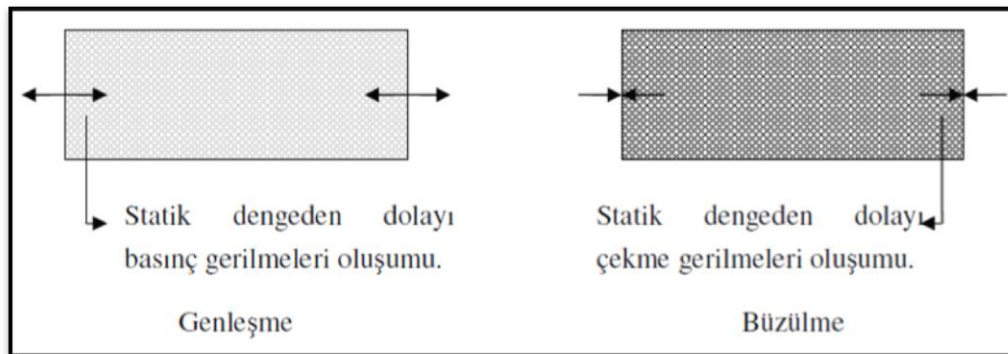
Ülkemizdeki dolomit rezervlerinin inşaat sektöründeki kullanımı artırmak ve MgO ihtivası bakımından zengin bir mineral olduğu için çalışmada dolomitin kullanılması tezin kapsamında diğer önemli noktadır.

Betona eklediğimiz dolomitin kimyasal analizi yapılarak içerdiği MgO %'liği, kullandığımız çimentonun MgO içeriği ve belirli numunelere eklediğimiz MgO ile beraber toplam çimento içeriğinin %5-7 arasında MgO içermesi gerekmektedir. Aksi takdirde betonun aşırı MgO içermesi betonda aşırı genleşmeye yol açarak yapıda daha büyük sorunlara yol açabilir.

1.4. Rötire

Betonun gözenekli yapısıyla su hareketinden ve kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanan zaman içindeki hacimsel azalmaya büzülme (rötire) denir (Tazawa, 1999). Çimentonun hidratasyonu, kürlenme, sıcaklık, nem, rüzgâr gibi nedenlerle betondan uzaklaşan su, betonun içinde iç gerilmelere ve boyutsal kararlılığın değişmesine neden olur. Betondaki hacim değişikliği kaybolan suyun hacmiyle aynı değildir. İlk olarak serbest su kaybolur ama bu olay rötire yapacak kadar etkili değildir. Betonun kurumması devam ederken, emilen su uzaklaşır. Bu su küçük kapiler boşluklardaki (< 50 nm) hidrostatik gerilim tarafından tutulmaktadır. Su kaybı çekme gerilmeleri oluşturarak betonun büzülmesine sebep olur. Emilmiş su kaybından dolayı oluşan büzülme, serbest su kaybında oluşan büzülmeden büyüktür (Neville, 1998).

Betondan ayrılan suyun rötreye neden olması gibi, betona katılan su da bir miktar genleşmeye neden olur. Ancak bu genleşme, rötire gibi tehlikeli değildir. Çünkü beton içerisinde genleşme sırasında basınç gerilmeleri oluşacakken, büzülme sırasında çekme gerilmeleri oluşur (Kadıoğlu, 2006).



Şekil 1.1. Genleşme ve büzülmeden kaynaklı oluşan iç kuvvetler (Kadıoğlu, 2006)

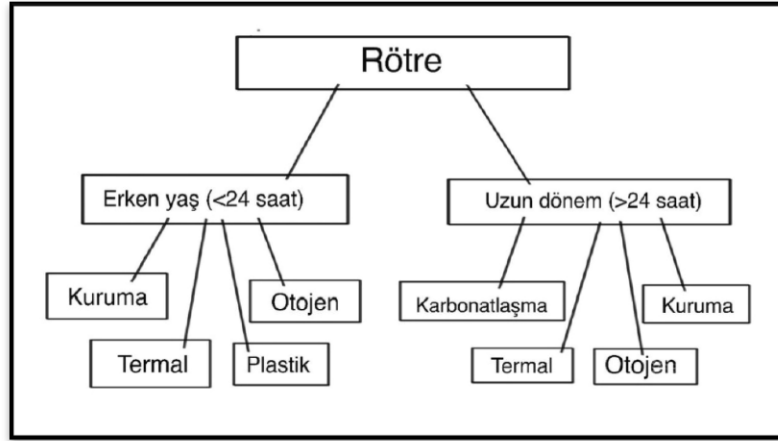
Oluşan bu iç gerilmeler betonun çekme dayanımını aştığında çatlaklar meydana gelir. Bu mikro veya makro boyutlu çatlakların açtığı yoldan betona zarar verebilecek malzemeler girebilir ve betonun servis ömrünü, dayanımını tehdit edebilir. Rötrenin betona verdiği başlıca iki önemli zarar vardır. Birincisi; betonda çatlaklar oluşturarak hem başta çekme kuvveti olmak üzere mekanik mukavemetini azaltması hem de geçirimsizliği artırarak betonun kimyasal etkiler ve donatı dayanıklılığının azalması ve böylece donatının paslanması kolaylaşır. İkincisi ise donatıda parazit gerilmeler meydana gelir ve bu fazla gerilmeleri dengelemek için donatı kesitinin artması gerekir (Holt ve Leivo, 2004).

Betonda meydana gelen bu tür deformasyonlar için yapı inşa edilirken birtakım önlemler alınmaktadır. Örneğin; agregalar, betonarme donatıları, kolon-kiriş ya da döşeme birleşim noktaları. Fakat bu etkenlerde betonun rötresine bağlı olarak hareket kısıtlaması oluşturur ve bu da küçük boyutlu çatlaklar meydana getirmektedir (Neville, 1998).

Beton ve betonarme yapılarda hem mühendislik hem de estetik bakımdan rötre olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Havalimanı pistlerinde, perde duvarlarında, dış cephe prekast elemanlarında, köprü ayaklarında, liman yapılarında özellikle hayati bir önem taşımaktadır. Kimyasal etkilerle (sülfat, alkali-silika reaksiyonları) rötre çatlakları aracılığıyla aktif olarak temasa geçen yapı elemanlarında korozyon meydana gelmesi yüksek ihtimaldir. Bu yüzden kaliteli ve uzun ömürlü bir beton üretiminde rötre ile rötre çatlakları dikkate alınması gereken bir olaydır.

1.4.1. Rötre türleri

Büzülme kavramı zaman ile ilişkilendirebilir. Üzerine uygulanan yükten bağımsız olarak beton yaşı ilerledikçe beton hacminde küçülmeler görülecektir (ACI Committee 116R-90). Betonda büzülme olayı iki ayrı aşamada gerçekleşir: erken ve sonraki yaşlar. Erken aşama, genellikle ilk 24 saat olarak kabul edilirken, 24 saatten sonra beton sertleşmeye başlar. Sonraki yaşlar (uzun dönem) ise ilk 24 saatten sonraki betonu ifade eder. Aşağıdaki tabloda büzülme çeşitleri ve hangi aşamada meydana geldikleri gösterilmiştir (Holt ve Leivo , 2004).



Şekil 1.2. Büzülme çeşitleri ve oluşum evreleri (Holt ve Leivo , 2004)

Taze halde ki betonda su kaybı yalnız fiziksel iken, sertleşmiş durumda ki beton da fiziksel ve kimyasal etkileşimlerin bir arada gerçekleşmesiyle meydana gelmektedir. Örneğin beton döküldükten sonra taze halde bulunan betonun terlemesi sonucu beton yüzeyine ilerleyen suyun, buharlaşma sonucu beton bünyesinden uzaklaşması fiziksel bir durumdan kaynaklanan rötreyi gösterirken, hidratasyon olayı, kuruma olayı, betonun karbonatlaşması gibi etkenlerden kaynaklanan hacim küçülmeleri kimyasal nedenlerden dolayı gerçekleşmektedir. Rötrenin temel olarak 4 çeşidi bulunmaktadır: plastik, otojen, kuruma ve karbonatlaşma rötresidir. Bunların dışında negatif rötre, termal rötre, kimyasal rötre gibi rötre çeşitleri literatürde verilmektedir.

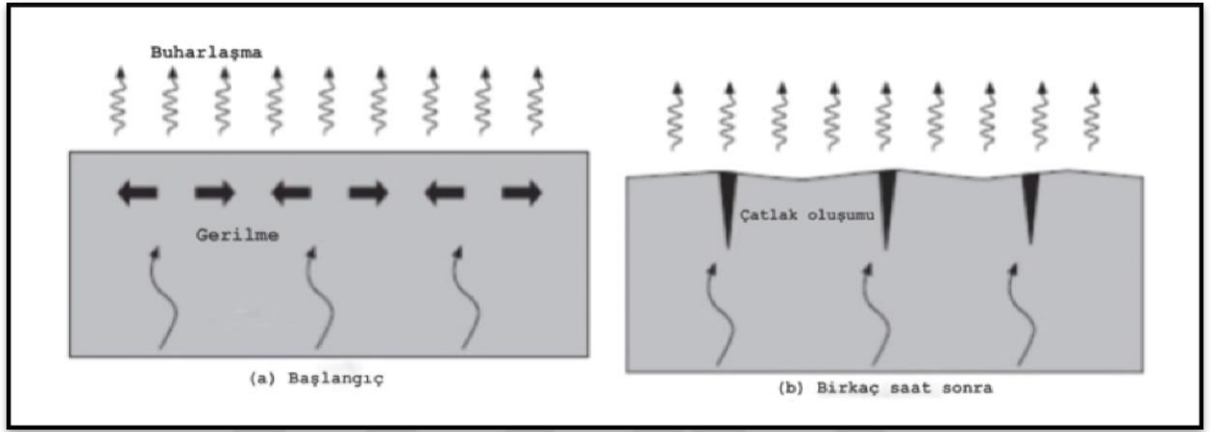
1.4.1.1. Plastik rötre

Plastik rötre, betonun henüz sertleşmeye başlamadığı halinden priz başlangıcına kadar süre içerisinde görülür. Beton yüzeyinde biriken suyun ani buharlaşması ile görülen hacim değişikliğidir. Plastiklik kavramı betonun henüz prizini tamamlamış halde iken büzülme meydana gelmesinden dolayı kullanılmaktadır. Plastik rötre genel anlamda hava ve beton sıcaklığına, göreceli nem miktarına ve rüzgâr hızına bağlıdır (Tekin, 2017).

Taze beton yerleştirildikten sonra agrega dibe doğru çökerken su, yüzeye doğru çıkmaya başlar. Yüzeydeki su, rüzgâr veya güneşin etkisiyle buharlaşırken beton içinde hidratasyon bünyesindeki suyu kullanmaya devam eder. Bu aşamada yüzeydeki buharlaşma hızı, terleme hızından fazla olduğunda betonda plastik rötre oluşur. Plastik rötrenin sonucu olarak beton yüzeyinde kapilariteden dolayı mikroskobik ölçekte hacim değişiklikleri olur. Bu hacim değişikliğinden dolayı beton yüzeyinde çatlaklar oluşması muhtemeldir. Çünkü,

bu bölge yani yüzey, çoğunlukla çekme gerilmelerini karşılayacak elemanlardan yoksun bölgelerdir (Neville, 2000).

Taze beton yüzeyindeki katı ve ağır malzemeler yerçekimiyle aşağı yöndeki hareketlenir. Bu aşağı doğru hareket büyük boyutlu kaba agregaya veya üst katman takviyesi tarafından engellenebilir. Bu durumda kaba agregaya veya takviye çubuğunun üzerindeki beton yüzey katmanını agregalar veya çubuklar üzerine dökülme eğilimi gösterir ve plastik çekme çatlakları olarak adlandırılan çatlaklara neden olur (Zongjin, 2011).



Şekil 1.3. Plastik rötre çatlaklarının oluşum süreci (Newman and Choo, 2003)

Plastik rötre çatlaklar genellikle sığ derinliktedir, genellikle 38 ila 50 mm ve 300 ila 450 mm uzunluğunda, normalde dikeydir. Çatlakların beton dayanımına etkisi az olmakla birlikte estetik açıdan rahatsız edicidir. Zamanla dış etkenlerin agresif etkisiyle bu çatlaklardan beton durabilitesi de olumsuz etkilenir (Yatağan, 2010).



Şekil 1.4. Plastik rötre çatlak örneği

Plastik küçülmeyi önlemenin en etkili yolu, yapım sırasında yüzeyin rüzgâr ve güneş ışığından korunması ve bitimden hemen sonra buharlaşma oranının düşürülmesine yönelik olarak yönlendirilen beton yüzeylerin kaplanmasıdır. Mastarlama işleminden sonra yüzeyi polietilen malzeme ile su kaybını aza indirmek, gece çalışmak, kontrollü bir şekilde yeniden vibrasyon, genleşen çimento kullanmak ve rötre düzenleyici katkı maddesi kullanarak plastik rötre azaltılabilir.

1.4.1.2. Otojen rötre

Otojen rötre ilk olarak 1900 yılında Le Chatelier tarafından açıklanan ‘Kimyasal Rötre’ tanımıyla başlamıştır. Le Chatelier, çimento ve suyun hidrate olması sonucu ortaya çıkan ürünlerin hacminin tepkimeye giren çimento ve sudan daha az olduğunu belirtmesiyle başlamıştır (Polat, 2013). Otojen rötre tanımı ise 1934 yılında Lynam tarafından; betonun dış etkenlerden (bağıl nem, rüzgâr, kür vb.) bağımsız olarak sadece kendi bünyesindeki çimento hidratasyonunun neden olduğu hacimsel değişimden kaynaklanan rötre olarak yapılmıştır.

Otojen rötreyi, düşük su/çimento oranı ve yüksek çimento içeriği etkiler. S/b oranının artmasıyla otojen rötre azalmaktadır (Chandra, 1997). Otojen rötre daha çok s/ç oranı 0,40’dan düşük betonlarda görülür. Otojen rötre hidratasyon reaksiyonu ile ilişkilendirildiğinden önlenmesi ve azaltılması oldukça güçtür. Diğer rötre türlerine kıyasla büzülme miktarı çok az oluşmaktadır. 1980’lerden önce betonun işlenebilirliğini artırmak için su/çimento oranı yüksek tutulurdu bu yüzden otojen büzülme göz ardı edilirdi. Fakat son yıllarda süper akışkanlaştırıcılar sayesinde düşük su/çimento oranlı yüksek dayanımlı beton üretimiyle otojen büzülme kavramın önemi artmıştır (Chandra , 1997).

Araştırmacılar otojen rötre sonucu oluşan söz konusu hacimsel değişikliği önlemenin yollarını araştırmıştır. Bir nevi iç kür görevi gören suya doymun kuru yüzey agrega kullanılarak otojen rötrenin olumsuz etkisinin azaltılabileceği belirtilmiştir (Anonim, 1).

1.4.1.3. Kuruma rötresi

Beton dökümünü itibariyle çevresel sıcaklık, nem, rüzgâr gibi değişkenlere bağlı olarak ısı dengelenene kadar çevreyle ısı alışverişi olur. Beton yüzeyindeki ısı, iç ısıdan az ise beton içerisinde su, ısı dengeye ulaşınca kadar buharlaşır. Beton ile çevresindeki nem farkı da su buharı değişimine sebep olur. Ortamdaki rutubet betonun iç rutubetinden az ise buharlaşma daha kuru tarafa doğru devam eder. Tüm olaylarla beraber sertleşmiş

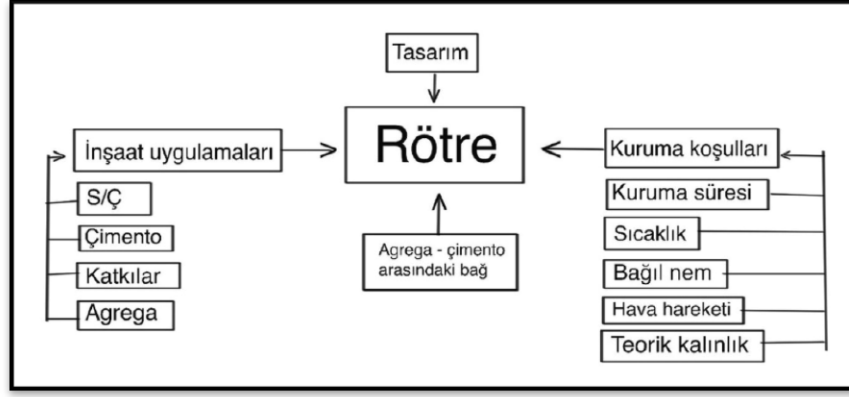
betondaki suyun buharlaşıp kaybolmasıyla oluşan büzölmelere kuruma rötresi denilmektedir. Çimento hidratasyonunun hiç bitmemesi gibi, kuruma koşullarına bağılı olarak kuruma rötresi de, hiç bitmeyen bir işlemdir (Gong, 2006). Kuruma rötresinin en büyük miktarı ilk bir-iki ay içerisinde gerçekleşir. Betondaki suyun uzaklaşması aşağıda verilen sırayla gerçekleşmektedir;

- Çimento hamurunun kuruması
- Kılcal boşluklardaki suyun buharlaşması
- C-S-H parçacıklarının yüzeyinde ki emilen suyun kaybı
- C-S-H jelinin yapısına katılan suyun kaybı, bu olayların sonunda tanecikler birbirine daha çok yaklaşır ve büzölme gerçekleşir. Şekil 1.5. de kuruma büzölmesine örnek bir çatlama gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Kuruma rötresi örneğı

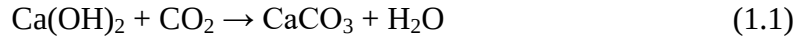
Kuruma rötresi dışardan herhangi bir yükleme olmadan meydana gelir. Ama dış bir yükleme de olursa hacimsel azalma artış gösterecektir. Ayrıca çekme kuvvetleri, sünme, elastisite gibi parametrelere bağılı olarak kuruma büzölmesi de değışkenlik gösterir. Şekil 1.6. da kuruma büzölmesini etkileyen faktörler detaylı bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Kuruma rötresini etkileyen faktörler (Krumbein, 1963)

1.4.1.4. Karbonatlaşma rötresi

Karbonatlaşma rötresi diğer rötre türlerine göre daha yeni tanımlanan ve daha az etki gösteren bir rötre türüdür. Atmosferde serbest halde bulunan karbondioksit ile çimento hamurundaki Kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) etkileşime girer ve kalsiyum karbonat oluşur. Plastik haldeki beton, bünyesinde bulunan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sayesinde yüksek alkali derecesine sahiptir. Daha sonra beton bünyesine giren sular $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'i çözer ve dolayısıyla betonun alkali derecesi düşer. Eriyik hale gelen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kapiler hareket sayesinde beton yüzeyine yükselir ve atmosferde bulunan CO_2 ile tepkimeye girer. Söz konusu tepkime sonucunda CaCO_3 oluşur (ACI 209 Committee, 2005).



Yukarda gösterilen tepkime sonucunda oluşan suyun beton yüzeyinde ve yüzeye yakın yerlerinde buharlaşmasıyla çatlaklar oluşur. İşte bu çatlaklara karbonatlaşma rötresi denir. Karbonatlaşma meydana geldiği beton yüzeyinde çok yavaş yol alır ve betonun içerdiği nem muhtevası ile ortamın mevcut bağıl nem oranına bağlıdır.

Karbonatlaşma büzülmesi sonucu meydana gelen çatlakların yönleri bir kalıba uymayıp, örümcek ağı şeklinde rastgele uzanan çatlaklar olup, bu çatlakların derinlikleri fazla olmayıp, yüzeye yakın kısımlarda oluşmaktadır (Erdoğan, 2003).

1.5. Rötreyi Etkileyen Faktörler

Farklı sebeplerden dolayı oluşan rötre çeşitleri olsa da tüm bu büzülme eylemi çimento içerisinde gerçekleşen bir olaydır. Bu yüzden beton içeriğiyle ilgili çoğu şey rötreyi etkileyen faktörler arasındadır. Ayrıca betonun taze halinden sertleşmiş haline kadar gerçekleşen uzun süreli bir olay olduğu için çevre koşulları da fazlaca etkilidir.

1.5.1. Çimentonun etkisi

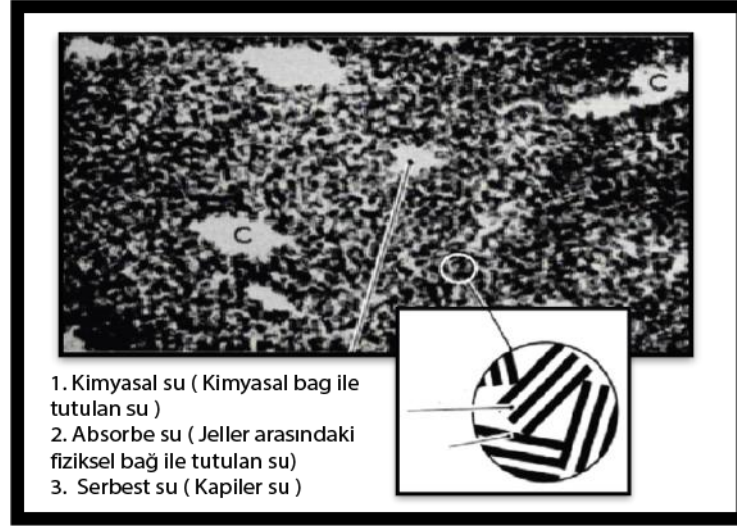
Betonda rötreye olayı direkt olarak çimentoyla ilişkilidir bu yüzden rötreyi etkileyen en önemli faktörlerden ilki çimentodur. Çimentonun miktarı, türü, inceliği, içerdiği agreganın türü ve sertliği gibi etkenler çimento içerisinde meydana getirdikleri C-S-H jeli oluşumu, hidrasyon, moleküller arası boşluk, priz alma süresi vb. olaylar yüzünden çok önemlidir.

Betondaki çimento yoğunluğu arttıkça tanecikler arası mesafe azalacaktır ve C-S-H jelleri daha yaklaşıp rötreye ihtimalini daha çok arttıracaktır. Çimentonun kimyasal yapısını oluşturan ana malzemeler C_3S , C_2S , C_3A ve C_4AF 'nin de rötreye üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Çimentonun erken hidrate olması C_3A miktarının kontrolü altındadır. C_3A çok hızlı hidrate olarak çimentonun da hızlı bir şekilde bağlayıcı özelliği kazanmasını sağlar. C_3A miktarının fazla olması; hızlı ve yanlış yerleşme, düşük slump ve çimento bileşiminde uyuşmazlığa neden olacaktır. Hızlı sertleşme ve yanlış yerleşmenin sonucu olarak yüksek su kaybı ve yüksek geçirimsizlik, rötrenin artışına neden olacaktır. Çimentonun incelik derecesi arttıkça, beton karışımına gerekli su ihtiyacı artacaktır ve rötrenin artmasına neden olacaktır (Meyer ve Perenchio, 1979).

Çimento karışımının içerisinde bulunan agreganın da büzölmeye etkisi bulunmaktadır. Karışım içerisinde kullanılan agrega toplam hacminin artması, büzölmeyi asıl etkileyen parametre olan çimento hamur hacminin azalmasına neden olacağından rötreyi azaltacaktır (Rhodes ve ark., 1978). Ayrıca seçilen agrega türü de dikkat edilmesi gereken bir noktadır. Betonda kullanılan hafif agregaların, ağır agregalara göre daha fazla boşluk oranına sahip olduğundan rötreye oranı daha yüksektir. Agrega tanelerinin küçük olması ve düşük elastisite modölüne sahip olması birim rötreye üzerinde olumsuz etkiye sahiptirler (Bilal, 2013).

1.5.2. Su/Çimento oranının etkisi

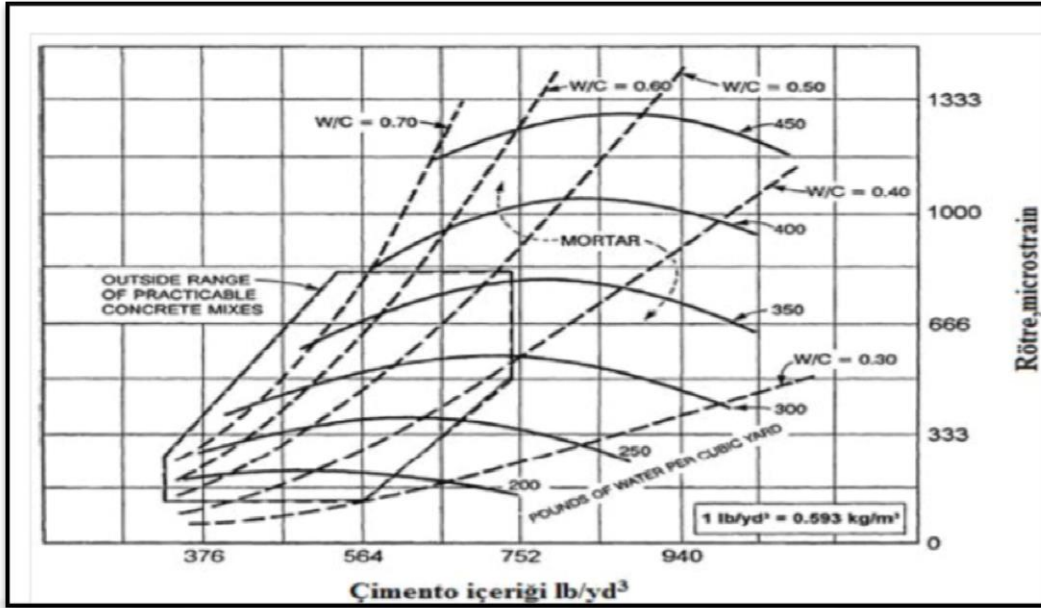
Rötreye olayı en basit tanımıyla betondaki su kaybı nedeniyle hacim küçölmesidir. Bu tanım ışığında büzölme kavramının en önemli parametrelerinden biri betondaki su/çimento oranıdır. Betona katılan su, çimento ile reaksiyona girerek hidrasyonu başlatır ve ayrıca betona işlenebilirlik özelliği katar. Su, çimento hamuru içerisinde 3 farklı şekilde bulunur. Şekil 1.7.'de gösterildiği gibi ; suyun çimento ile kimyasal reaksiyona girmesi ile kimyasal bağlarla tutunan kristal suyu, C-S-H jelleri tarafından absorbe edilen su, boşluklarda bulunan kapiler su olarak tarif edilir (Powers , 1946).



Şekil 1.7. Çimento hamurundaki su moleküllerinin çeşitliliği (Bilal, 2013)

Kimyasal olan su; buharlaşmayan sudur ve jel yapısının tamamlayıcı bölümüdür. Bu yüzden, kimyasal olarak bağlı suyun miktarı hidrasyonun derecesini belirlemek için kullanılır (Jennings, 1988). Fiziksel olarak C-S-H jelleri tarafından absorbe edilen su; Van der Waals bağlarıyla çimento jelinin yüzeylerinde tutulan sudur. Bu çok küçük jel boşlukların duvarlarındaki çekim kuvvetinin etkisi ile tutulur (Powers, 1946). Kapiler su ise serbest sudur; hidrasyonun sürekliliği için önemlidir. Kapiler su buharlaştığında kapiler boşluklar meydana gelir ve geniş jel boşlukları hidrostatik basınç oluşur. Basınç ile çimento hamurunda mikroyapıda çatlaklar meydana gelir.

Bir beton karışımı planlanırken s/ç oranı yüksek olur ise toplam su miktarı da fazla olacaktır. Kapiler boşluklar artacak ve buharlaşma daha kolay olacak, böylece büzülme miktarı da artacaktır. Ayrıca yüksek s/ç oranı dayanımı da düşürecektir. Su ve çimento içeriğinin beton üzerindeki rötre etkisi Şekil 1.8.'de gösterilmektedir. Çimento içeriğini 335'den 450 kg / m³'e (564 ila 752 lb/yd³) arttırmak, 290'dan 560 mikrostaine bir büzülme artışı ile sonuçlanır; bu 0.40'lık bir s/ç için yaklaşık % 90'lık bir artış olur (Blanks ve ark., 1940).



Şekil 1.8. s/ç, çimento ve su içeriklerinin uzun sürede rötreye etkisi (Blanks ve ark., 1940).

1980'lerden önde tercih edilen yüksek s/ç oranı rötreye ve rötreye kaynaklı çatlaklarının artmasına neden oluyordu. Fakat 1980'lerden sonra geliştirilen süper akışkanlaştırıcılar sayesinde düşük s/ç oranlı yüksek dayanımlı beton üretilmeye başlandı. Ama s/ç oranının düşmesiyle otojen büzülmenin de arttığı saptanmıştır. Yani kısaca s/ç oranı arttıkça kuruma rötresi, azaldıkça ise otojen rötreye ve plastik rötreye artmaktadır (Samman ve ark., 1996). Sonuç olarak s/ç oranının rötreye konusunda en başlıca etken olduğunu ve dikkatli bir şekilde planlanması yapılmadığı takdirde ciddi rötreye ve rötreye çatlaklarına ve bunlara bağlı birçok olumsuz etkiye neden olduğunu görmekteyiz.

1.5.3. Çevre koşullarının etkisi

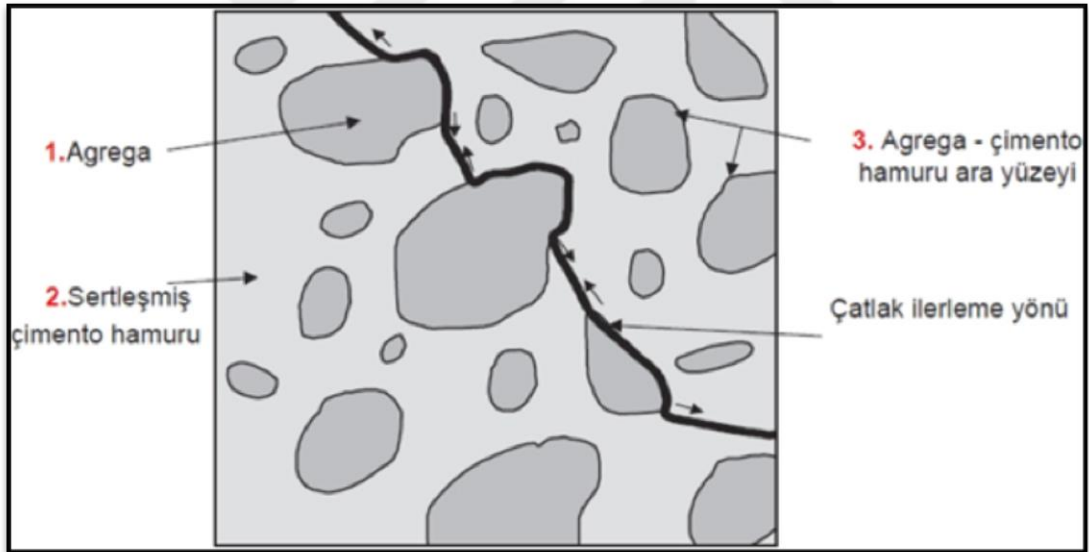
Çevre koşulları rötreye doğrudan ilişkili bir unsurdur. Sıcaklık, rüzgâr koşulları, nem içeriği gibi etkenler beton muhteviyatından ayrı olarak rötreye üzerinde azaltıcı ya da artırıcı etkileri olabilir. Düşük nem, fazla rüzgâr, yüksek sıcaklık gibi koşullar rötreyi artırır. Havadaki rutubetin az olması buharlaştırmayı kolaylaştırdığı için büzülme de artırır. Ortam sıcaklığı betonun genel kalitesini ve performansını etkileyen özelliktir. Sıcaklığın fazla olması halinde betonda su ihtiyacı artar, kıvam bozulur, priz süresi kısalmaz, hidratasyon hızı ve taze betondaki suyun buharlaşma hızı artar. Tüm bu durumların sonucunda beton, rötreye ve rötreye çatlakları oluşumuna uygun hale gelir.

Nem rötreye üzerinde daha farklı bir etkiye sahiptir. Diğer parametreler zamanla kontrol altına alınabilir iken nem parametresi kütleme bittikten sonra müdahale edilemeyen

bir durumdur. Daha önce yapılan deneyler ışığında havadaki nemin betondaki neme oranı %94'den az ise betonda rötre başlar. Bu oran %100 olduğunda ise tam tersi bir durum yani betonda genleşme gözlenir (Neville, 2000).

1.5.4. Geçirimlilik etkisi

Geçirimlilik, betonda dayanımı etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Geçirimlilik oranı yüksek olan betonların dayanımları da bir o kadar düşüktür. Çeşitli nedenlerle beton içerisinde kuruma büzülmesine sebep olan su buharlaşması da geçirimsizlik ile alakalıdır. Betondaki geçirimsizlik ilkesi agrega ve çimento hamuru arasındaki ara yüzeyden meydana gelmektedir. Çimento hamuru genel olarak %30-40 kapiler poroziteye sahiptir. Hidratasyonu tamamlanmış %70 su/çimento oranındaki çimento hamurunun geçirimsizlik katsayısı yaklaşık 6×10^{11} cm/sn dir (Uyan, 1977). Kuruma büzülmesi esnasında çimento hamuru büzülme isterken agregalar rijit eleman görevi görerek bu olaya engel olurlar ve bu şekilde çimento hamuru ile agrega yüzeyi arasında mikro çatlaklar meydana gelir.



Şekil 1.9. Çimento-agrega hamurundaki ara yüzey çatlakları (Anonim 1)

Standartlara uygun olarak, gerektiği şekilde yerleştirilmeyen veya sıkıştırılmayan betonlarda suyun betondan uzaklaşması da geçirimsizlik hızıyla orantılıdır. Çimento yerleştirilmesi yapılırken kullanılan vibratör sayesinde geçirimsizlik daha da az olacaktır.

1.5.5. Kürleme etkisi

Beton taze haldeyken kalitesini etkileyen hayati parametrelerden bir diğeri ise betonun kürlenmesidir. Kürleme işlemi betonun erken döneminde hidratasyon için su temini sağlamak için yapılır. Yani hidratasyon ile meydana gelen su kaybını engellemek ve yüzeyden su takviyesi yapmak için çok önemlidir. Bu işlem ne kadar çok yapılırsa su kaybıyla oluşacak rötre ve rötre çatlakları da o kadar az olacaktır. Kürleme ile plastik ve otojen rötre azaltılabilir iken kuruma rötresine bir etki yapmayacaktır. Çünkü her şekilde kurumu rötresi, kürleme işlemi bittikten sonra başlayacaktır.

Beton karışımına ek olarak “içsel kür” olarak adlandırılan; ıslatılmış, küçük, hafif agregalar ya da süper emici polimerler eklenebilir. Bu içsel kür ile hidratasyon ısısının düşmesine ivme kazandırılır. Böylece daha yüksek dayanım ve daha az otojen rötreye ulaşılır.

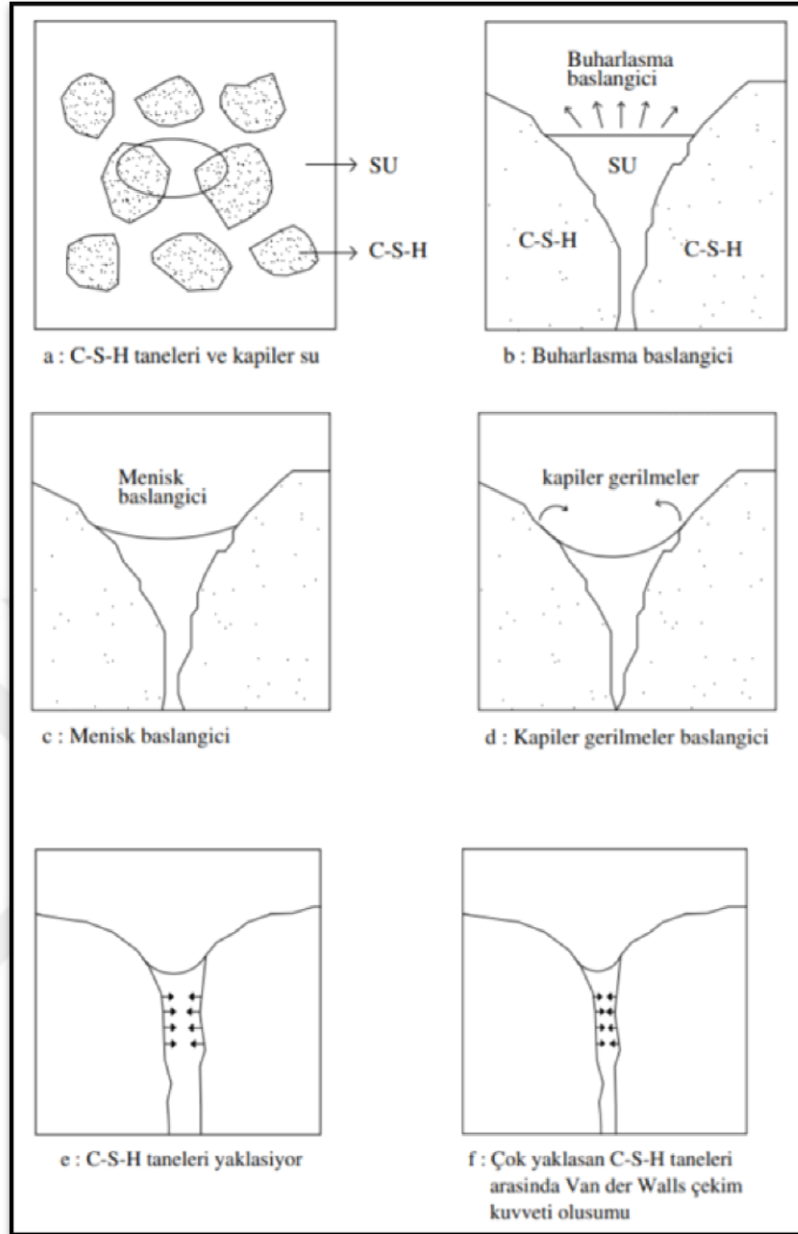
1.5.6. Rötre azaltıcı katkı maddeleri (SRA) etkisi

Dünyadaki ilk olarak 1982’de Japonya’da ortaya çıkan rötre azaltıcı katkı maddesi, özel bir şirket ortaklığında gerçekleştirilmiş olup yine ilk yayınları 1983 yılı civarında yapıldı. 1985 yılında ise Amerika Birleşik Devletleri’nde patenti alınmıştır. Yapı malzemesi sektöründeki son 30 yıllık ilerlemeler ışığında büzülme olayı için SRA (Shrinkage Reducing Admixture) ilgisi gün geçtikçe artmıştır. SRA kullanımıyla elde edilen rötre azalması, diğer uygulanan metotlardan çok daha fazla olmuştur. Özellikle kuruma rötresi için yapılan araştırmalar sahada da kullanıma geçmiştir.

Düşük viskoziteye ve suda çözünme özelliğine sahip bu katkı malzemeleri, kimyasal olarak iki grup halinde bulunmaktadır. Bu gruplar;

- Neopentil-glycol $[(CH_2)_2 - C - (CH_2-OH)_2]$
- Propylen-glycol’dur $[(CH_3 - CH_2 - CH - (CH_2 - OH)_2)]$.

SRA sahip olduğu bu düşük viskozite ile su meydana gelen kapiler gerilmeyi azaltarak, C-S-H taneciklerinin arasındaki mesafeyi belirli seviyede tutarak rötreyi azaltır. SRA’ların kapiler gerilmeleri azaltma tekniğiyle çalıştığını Sato (1983), Goto ve arkadaşları (1985) gerçekleştirdikleri deneyler ve gerekli araştırmalar sonucunda çalışmalarında vurgulamışlardır.



Şekil 1.10. C-S-H tanecikleri arasındaki çekim kuvvetleri (Kadıoğlu, 2006)

SRA eklenerek üretilen betonları yerleştirirken bir miktar gecikme söz konusu olabilir. Bunun sebebi düşen yüzey gerilimiyle menisklerin konsolide etkisinde düşüş meydana gelebilir ve böylece beton sahip olduğu mekanik özelliklere daha geç ulaşır. (Lura ve ark., 2005)

Ayrıca rötre azaltıcı katkı maddesi betonda priz süresini geciktirerek erken yaş dayanımını negatif bir şekilde etkileyebilir. Bahsettiğimiz bu azalma, nihai dayanımda %0-15 arasında olabilmektedir. Oluşan bu olumsuzluğu iyileştirmek için yüksek oranlı su azaltıcı katkı malzemeleri kullanarak s/ç oranını düşürüp daha yüksek dayanım elde edilebilir.

SRA'lar en yaygın olarak kuruma büzülmesinin fazla olduğu; havalimanı pistlerinde, içme suyu depolarında, otopark zeminlerinde, liman yapılarında, yüksek performanslı betonarmelerde yapılarda kullanılır. Beton karışımının %1-2'si kadarı direkt olarak karışımın içine katılabilir ya da y zeyssel uygulama ile tercih edilebilir. Fakat y zeyssel uygulamalar belirli şartlar altında yapılması ve diğer uygulama kadar etkili olmaması nedeniyle daha az tercih edilir.

1.6. Beton

Milat  ncesi tarihlerden bu yana kalsiyum (Ca) temelli bağlayıcı özelliği olan maddeler yapı malzemesi görevinde kullanılmaktadır. Modern Portland  imentosu'nun keşfedilmesiyle beraber betorname yapılar yapılmaya başlamıştır. 1903 yılında Almanya'da başlayan hazır beton gelişmesi kısa bir sürede ABD'ye kadar ulaşmıştır. Yapılan araştırmalar ve gelişmelerle beraber beton yaygın olarak kullanılan yapı malzemesi haline gelmiştir. 20.yüzyıl itibariyle ivme kazanan şehirleşme ve şehirleşmenin getirdiği altyapı  alışmlarıyla beton ve beton ürünlerinin kullanılmasında son derece artış gözlemlenmiştir. ( zkul ve ark., 1999)

Beton, günümüz inşaat teknolojisinin en temel malzemesi olarak kabul görmektedir. Betonun hala bu kadar yaygın bir yapı malzemesi olarak tercih edilmesinin birçok sebebi mevcuttur. Bunların başında kolay şekil alması, dayanıklı olması, ekonomik olması, estetik olarak şekil verilmesi ve üretiminin az enerji gerektirmesi gösterilebilir. (Rixom ve Mailvaganam, 1986)

Çimento, kum, çakıl (kırmataş, hafif agrega vb.), su ve betonun kullanım alanına bağlı olarak gerekli kimyasal malzemelerin uygu şartlarda birleşmesiyle oluşan yapıya beton adı verilmektedir. Aynı malzemeler kullanılarak oluşturulan  imento hamuru ve harç kavramları da beton olarak algılanmaktadır. Fakat  imento hamuru, harç ve beton farklı malzemelerdir ve içerikleri Tablo 1.1.'de belirtilmiştir. Belirli oranlarda karıştırılmak üzere hazırlanan malzemeler bir araya getirilerek plastik yapıda bir beton halde edilir. Kalıplara yerleştirilen taze beton uygun şartlarda altında priz alması ve dayanım kazanması için bekletilir (Ersoy, 1987).

Çizelge 1.1. Çimento, Harç ve Beton karışımı içerikleri (Ersoy, 1987)

Malzeme	Bileşimi
Çimento Hamuru	Çimento + Su
Harç	Çimento Hamuru + İnce Agrega
Beton	Çimento Hamuru + İnce Agrega + Kaba Agrega

Kullanım alanları, coğrafya, çevre şartlarına ve iklim farklılıklarına bağlı olarak betonun servis ömrü boyunca dayanımını koruması için betonlar çeşitli sınıflara ayrılmıştır. Taze beton Vebe, çökme, sıkıştırılabilme ve yayılabilmesine göre sınıflandırılırken sertleşmiş beton ise basınç dayanıma göre sınıflandırılmıştır. TS EN 206-2014 standartları göz önüne alınarak 28 gün kürde tutulan 150 mm çapında 300 mm yüksekliğinde silindir ya da 150 mm kenar uzunluğuna sahip küp numunelerin 28 günlük karakteristik basınç dayanımlarına göre sınıflandırma yapılmıştır. (Çizelge 1.2.)

Çizelge 1.2. Beton sınıfları ve basınç dayanımları (TS EN 206-2014)

Basınç Dayanım Sınıfı	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı (N/mm ²)	En Düşük Karakteristik Küp Dayanımı (N/mm ²)
C8 / C10	8	10
C12 / C15	12	15
C16 / C20	16	20
C20 / C25	20	25
C25 / C30	25	30
C30 / C37	30	37
C35 / C45	35	45
C40 / C50	40	50
C45 / C55	45	55
C50 / C60	50	60
C55 / C67	55	67
C60 / C75	60	75
C70 / C85	70	85
C80 / C95	80	95
C90 / C105	90	105
C100 / C115	100	115

1.6. Dolomit

Kaynaklardan edilen bilgiler ışığında dolomit, ilk mineral olarak 1768'de Carl Linnaeus tarafından tanımlanmıştır. Öncelikle eski Roma kentindeki binalarda ardından Dolomit Alpleri olarak bilinen dağlardan toplanan örnekler, Fransız doğa bilimci ve jeolog Déodat Gratet de Dolomieu tarafından 1791'de kayaç olarak tanımlandı. İsviçreli bir kimyager olan Nicolas-Théodore de Saussure ise dolomite ilk olarak Mart 1792'de mineral ismini verdi (Saussuree, 1792).

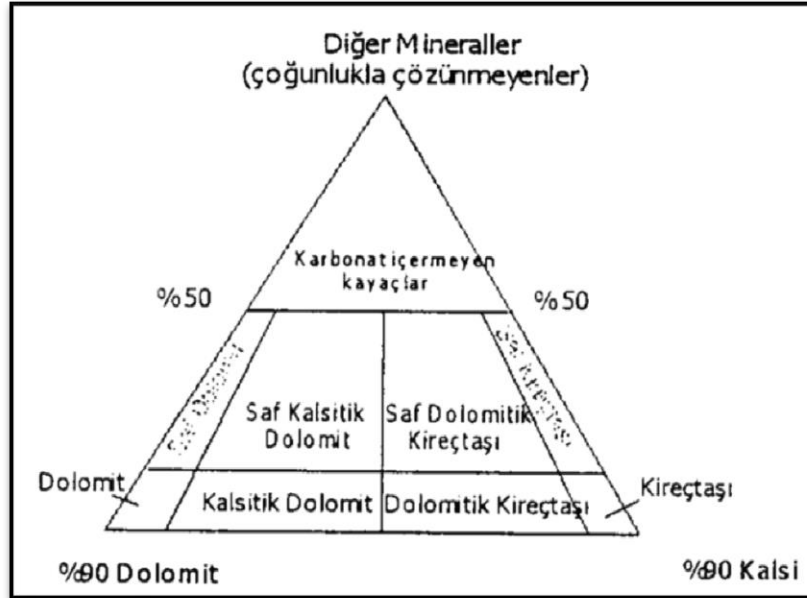
Kireçtaşı (CaCO₃) var olan CaO'nun yerini tamamen ya da belirli miktarda MgO'nin almasıyla oluşan minerale dolomit ismi verilmektedir. Dolomit ismi hem bir minerali hem de bu mineralin ana bileşeni olduğu kayacı tanımlamak için kullanılır. Bileşiminde %35'den fazla magnezyum karbonat (MgCO₃) içeren tortul bir kayadır. Teoride % 45,65 MgCO₃ içerir olarak anılsa da asıl olarak %10-40 arasında değişen oranlara sahiptir. Dolomit, kalsiyum ve magnezyumlu karbonat birleşiminin sonucunda oluşan mineraldir. Dolomitin fiziksel yapısıyla alakalı olarak; kimyasal bileşimi CaMg(CO₃)₂, kristal sistemi hekzagonal, sertliği 3,5-4 arasında değişen, özgül ağırlığı içerdiği MgO oranına göre 2,71-2,86 arasında değişen, kırılma bir mineraldir. Dolomit genelde pembe, kirli beyaz, beyaz-gri, kahverengi ve siyah renktedir ve içerdiği malzemelerin fazlalığına bağlı olarak koyulaşmaktadır (Nishikawa, 1984).

Çizelge 1.3. Dolomitin Özellikleri (Nishikawa, 1984)

Kimyasal Formül		
Kimyasal Bileşim (%)	CaO	
	MgO	
	CO ₂	
Kristal Sistem		Rombohedral
Kafes Sabiti	a (Å)	6.00
	A	47°32'
Yoğunluk (g/cm ³)		2.80-2.90
Kalsinasyon Sıcaklığı	MgCO ₃ →MgO 700-800°C	
	CaCO ₃ →CaO 800-900°C	

Dolomit kayacı içinde var olan kalsit ve dolomit oranına göre dolomit, dolomitik kireçtaşı gibi isimlerle sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar;

- %10'dan az kalsit, %90'dan fazla dolomit: Dolomit
- %10-50 arası kalsit, %50-90 arası dolomit: Kalkerli Dolomit
- %50-90 arası kalsit, %10-50 arası dolomit: Dolomitik Kireçtaşı
- %90-95 arası kalsit, %5-10 arası dolomit: Mg'lu Kireçtaşı
- %95'den fazla kalsit, %5'den az dolomit: Kireçtaşı



Şekil 1.11. Dolomitin sınıflandırılması (Krumbein ve Sloss, 1963; Harben, 1995)

Ticari olarak tercih edilen dolomitler için çeşitli sıcaklık değerlerinde uygulamalar yapılmaktadır. Kalsinasyon işlemine tabi tutulmuş dolomite “ham dolomit”, 1100°C’ de ısıtılmış dolomite “kalsine dolomit”, 1850-1950°C arası ısıtılmış dolomite “sinter dolomit” denilmektedir. Dolomitin 1650°C’lerdeki sıcak demir oksit ile yakılması sonucu oluşan ürüne “dead-burned dolomit” adı verilmiştir (Krumbein, 1963).

1.6.1. Türkiye’de dolomit

Türkiye, jeolojik yapısı bakımından birçok farklı madene rastlanan bir coğrafyaya sahiptir. Zengin madenlere sahip olan ülkeler arasında 28. sırada, mevcut maden çeşitliliği açısından ise 10. sırada yer almaktadır. Ülkemizde dolomitin varlığı da birincil çağdan (kambrien) üçüncü çağa (üçüncü çağ) kadar devam eden oldukça uzun bir yaş skalasında bulunmaktadır.

Çizelge 1.4. Türkiye’de yer alan dolomit bölgeleri ve rezervleri (DPT Raporu, 2001)

Bölge	MgO (%)	Rezerv (x10 ³ ton)
Kırklareli-Dereli	18-21	10920 (Görünür+Muhtemel)
Malatya-Hekimhan-Zorbehan	20-21	122 (Görünür)
Zonguldak-Alaplı-Ormanlı	16-20	393 (Muhtemel)
Zonguldak-Eflani		95 (Görünür+Muhtemel)
Zonguldak-Devrek		20 (Görünür+Muhtemel)
Marmara Adası	20-21	40 (Görünür+Muhtemel)
Hatay-Harbiye	19	880 (Görünür+Muhtemel)
Gaziantep-Fevzipaşa	18	
İçel-Gülnar-Aydıncık	19-20	
İçel-Kurudere		
Konya-Yunak-Kocayazı		10 (Muhtemel)
İzmir-Karaburun-Çeşme	20-21	684000 (Görünür+Muhtemel)
İzmir-Torbalı-Cumaovası	17-21	7919 (Görünür+Muhtemel)
Antalya-Akseki	19-20	500 (Görünür+Muhtemel)
İstanbul-Şile		9932 (Görünür+Muhtemel)
Kocaeli-Gebze		621455 (Görünür+Muhtemel)
Çankırı-Eskipazar-Sofular	18-21	236520 (Görünür+Muhtemel)
Bartın-Kurucaşile	15-21	335000 (Görünür+Muhtemel)
Hatay-Payas	20	24500
Antalya (Komdullak)		50000
Aydın-Karataş		200000
Bursa-Köybaşı		5000
Eskişehir-Kaşhöyük		3000
Gümüşhane-Spelea deresi		1000000
Zonguldak-Balıkısık		4000

Türkiye’nin her bölgesinde az ya da çok bir miktar dolomit mevcuttur. Ülkemizde olan dolomitlerin MgO oranı %20-30 arasında olup sanayide kullanıma uygun düşük demir oranına sahiptir. Şu an aktif olarak kullanılan dolomit rezervleri dışında dolomit etütleri devam ettiği sürece büyük miktarda dolomit yataklarının ortaya çıkacağı çok açıktır. Türkiye olarak daha uzun yıllar ihtiyacımızı karşılayacak dolomite sahip durumdayız. Çizelge 1.4.’de Türkiye dolomit yatakları ve rezervleri verilmektedir (DPT Raporu, 2001).

Dolomitin en bol olduğu bölgeler Marmara, Ege, Akdeniz ve Karadeniz bölgeleridir. Şu an aktif olarak işletilmekte olan en zengin dolomit ocağı ise Mersin, İçel’dedir. Ayrıca Hatay, Malatya, Muğla ve Kırklareli illerinde de çok zengin dolomit rezervleri vardır. Dolomit bakımından en fakir bölgeler, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleridir. Türkiye’deki önemli dolomit yatakları Şekil 1.12’de belirtilmiştir (Anonim, 4).



Şekil 1.12. Türkiye’deki magnezyum, dolomit ve barit yataklarının haritası (Anonim, 2).

1.6.2. Dolomitin kullanım alanları

İçerdiği fiziksel ve kimyasal farklılıklar göz önüne alınarak, dolomit uzun yıllardır birçok alanda kullanılmaktadır. Günümüze kadar uzanan kayıtlı 30’dan fazla kullanım alanı mevcuttur. En önemli kullanımı refrakter malzeme imali ve kalsinasyon işleminin ardından çelik üretiminde istenmeyen malzemelerin ayrımını yapmak için flux olarak kullanımıdır. Bu yüzden dolomit en yaygın olarak endüstriler cam, refrakter ve demir-çelik sanayisinde kullanılmaktadır. Çizelge 1.5.’de dolomitin kullanım alanları detaylı şekilde gösterilmiştir.

Çimento üretiminde, dolomitik sönmemiş kireç; cam ve soda üretiminde hammadde, demir çelik sanayiinde sinter; yüksek fırınlarda refrakter malzeme ve cüruf artırıcı eleman olarak çeşitli sanayi kollarında farklı kullanımıyla tercih edilmektedir. Çinliler dolomit katkılı çimento üretilen baraj çimentosu ismini vermişlerdir.

Çizelge1.5. Dolomit malzemesinin çeşitli kullanım alanları (DPT 2008)

Ana Sektör	Kullanım Alanı	Kireç Cinsi	Kullanma Amacı	Türkiye'de Kullanımı
Seramik	Refrakter	Sinter dolomit, sönmüş kireç	Dolomit tuğla üretiminde, silisli tuğla üretiminde	Var
	Cam	Dolomitik kireç	Cam üretiminde flux olarak	Var
	Diğer	Sönmüş ve sönmemiş kireç	Emaye, porselen eşya üretiminde	Var
Metal	Demir dışı metaller	Dolomitik kireç	Metalik magnezyum üretiminde	Yok
Kimya	MgO	Dolomitik kireç	Deniz suyundan MgO üretiminde	Yok
	CMA	Dolomitik kireç	Yollarda buzlanmayı önleyen kalsiyum magnezyum asetat üretiminde	Yok
Çevre	İçme suyu arıtma	Dolomitik sönmüş kireç	Sudaki silisin, manganın, floridlerin ve organik taninin giderilmesinde	Yok

Bahçecilik alanında topraklara pH tamponu ve magnezyum kaynağı olarak eklenen dolomit ya da dolomitik kireç taşı ayrıca süs taşı olarak da yaygın olarak kullanılmaktadır. Tuzlu su akvaryumlarında substrat olarak da tercih edilebilir.

Dolotaşların en sık kullanıldığı alan inşaat endüstrisidir. Yol temel malzemesi, beton ve asfalt agregası, demiryolu balastı, dolgu malzemesi olarak kullanılması için boyutlandırılır. Ayrıca çimento üretiminde kalsine edilir ve "boyut taşı" olarak bilinen belirli büyüklükteki bloklara kesilir (Anonim, 2).

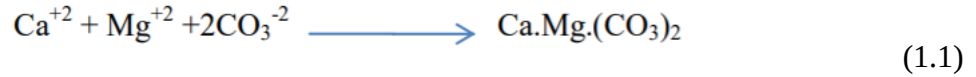
1.6.3. Dolomitin oluşumu

Dolomit, modern tortul kayaç çevresinde nadiren bulunur, fakat dolostonlar çok yaygın olarak görülürler. Dolomit minerallerinin oluşturduğu bu kayaçlara Dolotaşı da denilmektedir. Bu kayaçlar kimyasal bir çökeltme ile oluşmamıştır. Coğrafi olarak geniş ve yüzlerce ila binlerce fit kalınlığında olabilirler. Dolomit açısından zengin olan kayaların çoğu, başlangıçta, dolomit oluşturmak üzere magnezyum açısından zengin gözenek suyu tarafından tortul olarak değiştirilen kalsiyum karbonat çamurları olarak çökelmiştir. Magnezyum içeriği zengin suların etkisi altında kalan kireçtaşlarının, aşırı buharlaşmanın

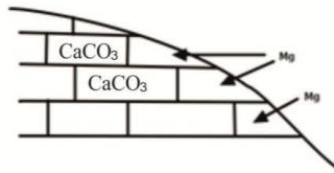
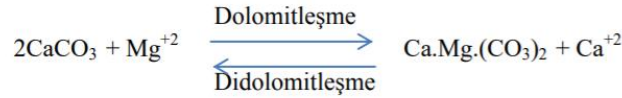
olduğu dönemlerde yarı kapalı ortamlarda kalan suların magnezyum içeriğinin artmasıyla tabana çökmüş kalsit çamuruyla etkileşerek Dolomitleşmesiyle dolomit oluşur. Kayaç olan dolomit aynı zamanda bir mineral olduğu için dolomitleşme olayı doğada iki farklı şekilde gerçekleşir. (Machel ve ark., 1986 ; Üşenmez ve Ünsal, 1986)

1-) Bir depolanma (çökelme) havzasında bulunan çözeltiler içerisindeki anyon ve katyonların bir araya gelerek doğrudan kristallenmesidir.

Buna Birincil Dolomitleşme ya da Genç Dolomitler denir. Her Ca^{+2} atomu bir Mg^{+2} atomu bularak normal dolomitleşmeyi gerçekleştirir. Bu durum biraz zaman alan zor eylemdir. (Denklem 1.1) Bu yüzden oluşumu daha kolay olan kalsit (CaCO_3) daha önce oluşur ve Mg oranı yüksek olan ortamda dolomit oluşumu gerçekleşir (Bus/Otobüs Teorisi).



2-) Önceden oluşan yaşlı kireçtaşının (kalkerli kayanın) olduğu ortama çeşitli çözeltiler aracılığıyla gelen Mg^{+2} ile etkileşiminden oluşan dolomit türüdür. (Denklem 1.2) Buna Yaşlı/Eski Dolomitler ya da İkincil Dolomit denir. Doğada en aygın dolomit oluşum şeklidir.



(1.2)

Dolostone olarak bilinen tortul kayaç ve dolomitik mermer olarak bilinen metamorfik kayaçların birincil bileşenidir.



Şekil 1.13. Dolostone (Anonim, 3)

Dolostone, kayacın üzerindeki "şekerli" ışıltılı görünümün sebebi; ufak dolomit yarıklarının yüzeyinden yansıyan ışıktır.



Şekil 1.14. Dolomitik mermer (Anonim, 3)

Dolomit ayrıca hidrotermal damarlarda yaygın olarak görülen bir mineraldir. Bu damarlarda bazen kavisli yüzleri olan eşkenar dörtgen dolomit kristalleri oluşabilir.



Şekil 1.15. Dolomit minerali (Anonim, 3)

Dolomit agregası, genelde asfalt döşemelerinde kullanılır. Bunun dışındaki kullanım alanları olarak; yol inşaatında mıcır malzemesi, beton üretimi yapımında dolgu malzemesi (agrega), ateşe dayanıklı tuğla yapım sırasında ve refrakter olarak yüksek fırınların astarlanması sıralanabilir.



Şekil 1.16. Dolomit agregası

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Gao ve ark. (2007a), genleşen kompozit malzemelerin kullanımı ile betondaki çatlak ve deformasyonların azaltılması yönünde yaptıkları çalışmalarında, Çin Devletinde önemli bir atık sorunu oluşturan ve genleşme özelliğine sahip dolomit, serpentin, magnezit gibi malzemelerin baraj betonlarında kullanılmasıyla rötre deformasyonlarının ve çatlakların azaltılabilirliğini test etmişlerdir.

Gao ve ark. (2007b), MgO esaslı, genleşen malzemelerin endüstriyel yan ürün olarak baraj betonlarında kullanılması yönünde yaptıkları çalışmalarında, yan ürün olarak bir önceki çalışmalarındaki gibi dolomit, serpentin ve magnezit kullanmışlardır.

Yıldırım ve Yılmaz (2002), yıldız ırmağı çökeltilerinin beton agregası olarak kullanılabilirliklerini inceledikleri çalışmalarında, birim ağırlık, özgül ağırlık, su emme, aşınma deneyi gibi agrega deneylerinin yanı sıra X-Ray taraması da yapmışlardır. XRD-TK çözümlemesi sonuçlarına göre Yıldız ırmağı çökellerinde ortalama; % 0-5 dolomit, % 5-10 kalsit, % 15-35 kuvars, % 25-35 feldispat, % 0-20 piroksen, % 25-40 kil minerali tespit etmişlerdir. Dolomit ve kalsit minerallerinin Porsuk kireçtaşlarından, kuvars ve feldispat minerallerinin ise çevrede bulunan volkanik ve metamorfik kayalardan geldiğini öngörmüşlerdir. Çökellerdeki dolomit miktarının betona önemli ölçüde zarar vermeyecek düzeyde olduğu, ancak agregaların su emme değerlerinin yüksek, dona dayanıklılık değerlerinin düşük olduğu ve bu yönde önlem alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Temiz, H, Kantarcı, F ve İnçeer, M.E (2015) Dolomit ve yüksek fırın cürufundan üretilen genleştirici maddeler, çatlaklara neden olan termal büzülmeyle telafi ederek kütle betonunun sızıntısının ve geçirgenliğinin azaltılmasında kullanılabilir. Ayrıca, yaşlılıkta karışım özelliklerinin araştırılması da yararlı olacaktır.

Jincheng Yu, Jincheng Yu (2020), Magnezyum fosfat çimentosu (MPC), birçok hayati özelliğe sahip olsa da, pratik uygulama, yüksek hammadde maliyeti ile sınırlı bir kullanıma sahiptir. MPC üretiminde genellikle manyezitin kalsinasyonu ile oluşan ölü yanmış MgO tercih edilir. Dolomit ise büyük oranda magnezyum içeren başka bir kaynaktır ve manyezitten daha büyük tortulara sahiptir. Bu çalışmada, MPC üretiminde maliyeti azaltmak için manyezitin eldesi için dolomit kullanılması amaçlanmıştır. Kalsinasyon işlemine dolomit içinde mevcut olan CaO bileşenlerini birleştirmek için kuvars eklendi. Kalsine edilmiş hammaddenin özelliklerine kalsinasyon sıcaklığı ve dolomit-kuvars kütle oranının etkisi araştırılmıştır. Kalsinasyondan sonra, farklı

kalsinasyon koşulları altındaki dolomit kuvars tozlarının MPC pastalarının performansı üzerindeki etkisi, hidratasyon ürünlerinin priz süresi, basınç dayanımı, faz gelişimi ve mikro yapısı ile sağlamlık gözlemlenerek değerlendirilmiştir.

Barbhuiya (2011), kendiliğinden yerleşen betonun taze halindeki segregasyonunu ve deformesini kontrol etmek amaçlı betonun içine uçucu kül ve kalker tozu eklenmesi tercih edilen bir yöntemdir. Bu çalışmada ise kalker tozuna alternatif olarak dolomit tozu kullanılmıştır. 3:1 oranında uçucu kül ve dolomit tozu bunlara ek olarak superplastizerler kullanılarak hazırlanan karışım gerekli testlere tabi tutularak sonuçları tartışılmıştır. %25-50-75 oranlarında uçucu kül ve dolomit eklenmiş ve karışım 2 olarak isimlendirilen %75 uçucu kül %25 dolomit tozu olan karışım en uygun birleşim sonuçlarını vermiştir. Sonuç olarak kendinden yerleşen beton yapımında uçucu kül ve dolomit kullanılması uygun bulunmuştur.

Kadioğlu (2006), Sıcaklık, rüzgâr, düşük rutubet gibi etkenlerle birlikte terlemeye bağlı olarak betonda rötre ve rötre çatlakları meydana gelir. Betonda gerçekleşen bu olay birçok olumsuzluğa yol açmaktadır. Betonun servis ömrünü, dayanımını, estetiğini çok ciddi derece etkileyebilir. Gelişen inşaat teknolojisiyle bu soruna çeşitli çözüm önerileri yapılmıştır. Bu çalışmada da rötre azaltmak için geliştirilen bu yöntemlere detaylıca yer verilmiştir. Rötre azaltıcı olarak kullanılan katkı malzemelerinin beton üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. İki farklı su/çimento oranı ve rötre azaltıcı kullanılmıştır. Beton numuneler üzerinde mekanik etkiler elastisite modülü ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Harç formundaki numunelerde ise rötre ile buharlaşma ilişki incelenmiştir. Sonuç olarak iki farklı rötre azaltıcının azaltma miktarı farklı olmakla birlikte dayanımı bir miktar azalma gözlemlenmiştir.

Kaky (2017), Beton yapısına nano parçacıkları ekleme teknolojisi yeni uygulamaya geçen konulardan biridir. Bu tez kapsamında normal betonun performansını artırmak için çimentoya nano-silika kullanılmıştır. Bu çalışmada Portland çimentosunun ağırlıkça % 1, %3 ve % 5 oranlarında nano-silika eklenerek numune örnekle kıyaslanarak sonuçları tartışılmıştır. Bu tez kapsamında sırasıyla 380, 325 ve 300 kg gibi toplam sementasyon malzemeleri içeriği ile üç su-bağlayıcı (w / b) oranında (0.33, 0.45 ve 0.55) toplam 12 beton karışımı tasarlanmıştır. Basınç dayanımı, kuruma büzülmesi ve karşılık gelen kurumaya bağlı ağırlık kaybı gibi betonların performans özellikleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, normal beton ile karşılaştırıldığında nano-silika'nın dahil edilmesiyle kuruma büzülme gerginliğini önemli ölçüde arttırdığı ortaya konulmuştur.

Türkmenoğlu ve ark. (2017), çalışmada, manyezit cevherinin 650 oC ile 850 oC arasındaki sıcaklıklarda kalsine edilmesi ile elde edilen kostik kalsine manyezitlerin yüzey alanları ve poroziteleri belirlenmiştir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre, manyezit örneği %97,02 oranında magnezyum karbonattan oluşmaktadır.

Liwu ve ark. (2014), Çin yaklaşık 40 yıldır araştırma faaliyetlerinde ve endüstriyel uygulamalarda özellikle baraj betonu olarak kullanılan kütle betonunun termal büzülmesini iyileştirmek için çimento harcına MgO veya genişleyici bir katkı maddesi eklemektedir. MgO kullanarak üretilen betonlarda genleşme ile büzülmenin etkili bir şekilde telafi edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca ve sıcaklık kontrol önlemlerinin maliyetini düşürdüğü ve inşaat sürecini hızlandırdığı kanıtlanmıştır. MgO'nin sahip olduğu genleşme özelliği sayesinde kalsinasyon koşulları (kireçleme sıcaklığı ve kalma süresi) değişerek daha esnek bir mikro yapıya tasarlanabilmektedir. Bu makalede ise MgO genleşmeli çimento ve beton alanındaki tarihi, en gelişmiş ilerlemeyi ve gelecekteki araştırma ihtiyaçlarını gözden geçirmektedir.

Qin ve ark. (2018), Eski beton ara yüzleri, beton mantolama ve beton kaplama, tamir harcı veya kendiliğinden konsolide betonda, kendiliğinden konsolide harç gibi beton yapıların onarımında veya güçlendirilmesinde yaygın olarak görülebilir. Yeni ve eski beton arasındaki en önemli fark, yeni betonun büzülmesinin, sertleşme işlemi sırasında eski betonun büzülmesinden çok daha yüksek olmasıdır. Hacim değişimindeki bu fark, eski beton yapı ile yeni beton (güçlendirme ve onarım malzemesi olarak) arasında uyumsuzluğa neden olur. Bu uyumsuzluk sayesinde çatlamlar, onarım kaplamasında bozulmalar, dayanımda azalmalar oluşabilmektedir. Yeni beton tasarımında rötre azaltıcı katkı (SRA) kullanımı, suyun yüzey gerilimini azaltarak yeni betonun rötresini azaltabilir. Ayrıca, SRA'nın geliştirilmiş bir dayanıklılık elde etmek için betonun su yayılımını azaltabileceği bildirilmektedir. Bu makalede, SRA'nın yeni-eski beton sisteminin arayüzey bütünlüğü üzerindeki etkisini incelemek için, ilk olarak yeni-eski beton sistemin arayüzey kırılma tokluğunu deneysel faaliyetlerle araştırılmıştır. Sonuç olarak SRA kullanımıyla yeni ve eski beton sisteminin arayüzey kırılma tokluğunun arttığını gözlemlenmiştir.

Kurt, (2010), Yapılan bu çalışmada dolomitlerin kalsinasyon karakteristiklerini belirlemek için Antalya (Alanya) ve Mersin (Kızıldağ, Çanakçı) yörelerinden temin edilen dolomitler kullanılmıştır. İlk aşamada, alınan farklı dolomit örneklerinin kimyasal, petrografik, mineralojik ve fizikomekanik özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise kalsinasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyin amacı, dolomitlerin çeşitli boyut, süre

ve sıcaklıktaki davranışlarını gözlemlemektir. Deney sonuçlarının ışığın elde edilen sonuçta, incelenen dolomit örneklerinin yapı malzemesi, kireç, cam ve refrakter üretimi için kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır.

Alptuna (2009), Son zamanlarda ülkemizde bazı betonarme köprü ayaklarında alkali-silika reaksiyonu sonunda oluşan olumsuz etkenlerden dolayı büyük hasarlar meydana gelmiştir. Alkali reaktif agregaların kullanılmasıyla bu gibi sorunların oluşacağı uzun yıllardır bilinen bir gerçektir. Yapı malzemesi sektöründe bu durum için büyük ölçekli araştırmalar yapılmış ve hala da çalışmalar devam etmektedir. Alkali silika reaksiyonu (ASR) gibi alkali karbonat reaksiyonu (ACR) da bir alkali agrega reaksiyonu türüdür, fakat henüz kayıtlara geçen bir hasar olmamıştır. Son zamanlarda dolomit kökenli agrega kullanımının artmasıyla bu iki reaksiyon daha önemli hale gelmiştir. Dolomitte gerçekleşen ACR ile dolomit ile kireçtası, kendilerinden daha büyük hacimli olan kalsite ve brusite dönüşür. Ve bu sırada oluşan gerilmeler sonucu çatlaklar meydana gelir. Reaksiyonları önlemek amacıyla farklı görüşler sunulmuştur. Kimi araştırmacılar mineral katkıların ve lityum tuzlarının reaksiyonu önleme konusunda ASR’de olduğu gibi etkili olduğunu iddia ederken, kimi araştırmacılar ise bu tür önlemlerin reaksiyonu durduramadığı kanısındadır. Bu tez çalışmasında, reaktif bir agrega ile mineral ve kimyasal katkıların reaksiyonu önlemedeki katkıları araştırılmıştır. Reaksiyonların gelişimi petrografik incelemelerle ve SEM analizleriyle incelenmiştir.

Gu L., Qin X. and Feng J. (2023), kütle beton yapılarında MgO genleşme maddelerinin (MEA) kullanılmasıyla ilgili Çin ‘de birçok araştırma yapılmıştır. Fakat, MEA’nın beton dolgulu çelik boruların (CFST) içindeki beton dolgularında kullanımıyla alakalı çalışma sayısı çok az miktardadır. Bu çalışmada da farklı aktif MEA’ların betonun hacim stabilitesi üzerindeki etkileri araştırılmış ve mekanizma termogravimetrik, cıva sızdırmazlık porozimetresi ve taramalı elektron mikroskop analizleri yapılmıştır. İdeal orandaki MEA miktarıyla, hidratlanan $Mg(OH)_2$ ‘in olduğu yeri büyütmesiyle MEA partikülleri yüzeylere yapışmasına sebep olmuş ve iyi bir şekilde sınırlı genleşme- hacim stabilizasyonu meydana gelmiştir. Fakat, yüksek miktarda MEA kullanılması $Mg(OH)_2$ ‘in sebep olduğu çatlakların büyümesine ve gözeneklerin aşırı genleşmesine sebep olarak hacim stabilizasyonunda bozulma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Zhang, J. (2022), k t le betonlarında meydana gelen termal büzülmenin tesadüfen ke  fedilmesinin ardından MgO genle  me maddesi (MEA) eklenerek beton geli  tirilmesi yapılmıştır. Bu beton geli  imleri baraj betonlarında çekme telafisinin yapılması, köprü ve yol yapımında ve  imento kuyusu in asındaki çimentolarda kullanılmıştır. Bu makale de  imento ve beton konusunda MEA ile ilgili son geli  meler ara tırılmı  ve hidrasyon kinetiği, MgO reaktivitesi, genle  menin çalışma mekanizması gibi konular yer almaktadır.

Li ve ark. (2021), söz konusu çalışmada ultra yüksek performanslı betonların içerdiği yüksek miktarda bağlayıcı ve düşük su oranı nedeniyle erken yaşta meydana gelen otojen büzülme ve çatlamalar göz önüne alınmıştır. Bu erken yaştaki büzülme olayı için 3 farklı MgO genle  tirici katkı malzemelerinin (MEA) hidrasyon ve mekanik özellikleri ve mikroyapı üstündeki etkileri incelenmiştir. Aktivite değerleri 75s olan MEA-R, 130s olan MEA-M ve 220s olan MEA-S    MgO genle  tirici ajanlarına göz atıldığında MEA-R'nin daha düşük otojen büzülme ve daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Agregas

Beton ihtivasında önemli ölçüde yer alan agregas, çakıl, kırma taş ve kum benzeri tanecikli yapıdaki malzemedir. Beton içerisindeki betona oranla daha ekonomik bir malzeme olan agregas ayrıca betona yapısal katkılarda sağlamaktadır. Zaman içerisinde kuruyarak büzülme gösteren çimento hamuruna eklenen agregas ile meydana gelen hacim değişikliğinin serbest yer alması bir miktar engellenmiş olmaktadır. Ayrıca, beton içerisinde yer alan agregalar dayanımı yüksek olan bir malzemedir ve bu yönüyle beton dayanımına katkı sağlamaktadır. Sert agregalar da betondaki aşınma ya da çevresel nedenli yıpranma etkenlerine karşı dayanıklılığa ek bir yardımcıdır.

Agregalar belirli özellikleri göz önüne alınarak farklı sınıflandırılmışlardır. Ağırlıklarına göre sınıflandırılmasına bakıldığında Türk standartları kapsamında özgül ağırlıkları; normal ağırlıklı, hafif ve ağır agregalar şeklinde sınıflandırılmıştır. Agregaların özgül ağırlıklarına bakıldığında 2,55 – 2,70 arasında değişmekle birlikte betonun içeriğinin %70-75 kadarını kapsamaktadır. TS 706 EN 12620 standardı kapsamında gerekli agregas kullanım alanı ve amacına göre tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılık ve zararlı maddeler bakımından agregas gereksinimleri sağlanmalıdır.

Bu tez çalışmasında Kahramanmaraş ili sınırları içerisinde yer alan Pazarcık yolu üzerindeki kireçtaşı taş ocağından temin edilen agregas kullanılmıştır. Kullanılacak olan agregaların su emme kapasitesi ve özgül ağırlığına TS 3526 standartlarına göre rastgele alınan numunelerle test yapılmıştır. TS 706 EN 12620 standardında beton yapımında kullanılan agreganın özgül ağırlıklarıyla ilgili olarak bir sınır değeri belirtilmemiştir. Fakat seçilecek agreganın özgül ağırlığının 2,55 kg/dm³ değerinden büyük olmasının daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir. TS EN 1097-2 kapsamında 500 devire göre yapılan Los Angeles aşınma deneyinin sonuçları standartlara uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma konusunun genel kapsamı düşünüldüğünde MgO oranı düşük olan kireçtaşı agregası tercih edilmiştir. Temin edilen agreganın tane boyutlarını uygun hale getirmek için deneylerden önce elek işleminden geçirilmiştir. 4mm'nin altını ince agregas olarak 4mm'nin üstünde kalan kısmı için iri agregas olarak kabul edilmiş olup deneylerde kullanılmıştır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan agrega; 4 mm üstü elekte kalan ve 4 mm altı elekten geçen

3.1.2. Çimento

Bu tez çalışması kapsamında Kahramanmaraş Çimko Beton Tesisinden temin edilen CEM I 42,5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır (Şekil 3.2.). CEM I 42,5 R Portland çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.1’de belirtilmiştir.



Şekil 3.2. CEM I 42,5 R Portland Çimentosu

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekaniksel özellikleri

Bileşenler (%)	Çimento
SiO ₂	18,85
Al ₂ O ₃	4,80
Fe ₂ O ₃	2,40
CaO	62,80
MgO	2,5
Na ₂ O+K ₂ O	1,14
SO ₃	3,69
Serbest CAO	0,90
Kızdırma Kaybı	3,5

Çimento Tipi	Özgül Ağırlık (kg/cm ³)	Özgül Yüzey (cm ² /g)
CEM I 42,5	3,12	3250

3.1.3. Dolomit

Bu çalışmanın ana konusunu oluşturan malzemelerden biri olan dolomitin kullanımıyla hem betonun büzülme davranışının nötralize edilmesi hem de ülkemizin doğal zenginliği olan dolomitin ülke ekonomisine kazandırılması amaçlanmıştır.

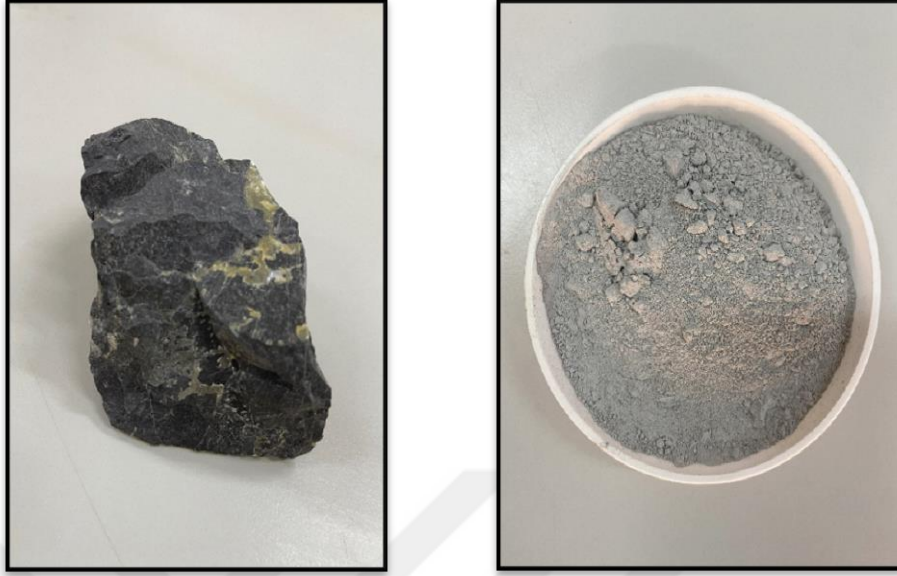
Araştırma kapsamında kullanılan dolomitin özgül ağırlığı 2.83 gr/cm³ olup Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesine ait kırma taş ocağı santralinden temin edilmiştir ve gerekli analizleri yapılarak aşağıdaki Çizelgede belirtilmiştir (Çizelge 3.2.).

Çizelge 3.2. Dolomit kayacına ait XRF sonuçları

Kimyasal Bileşim	Dolomit (%)
CaO	33,17
SiO ₂	1,94
Al ₂ O ₃	0,37
SO ₄	0,05
MgO	15,39
K ₂ O	0,01
Fe ₂ O ₃	0,38
Na ₂ O	0,05
Diğerleri	49,02

Taş ocağından kayaç halinde temin edilen dolomit önce Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında ön kırma işleminden geçirilmiştir. Daha sonra Kipaş Çimento tesisleri laboratuvarlarında çalışma kapsamında kullanılan

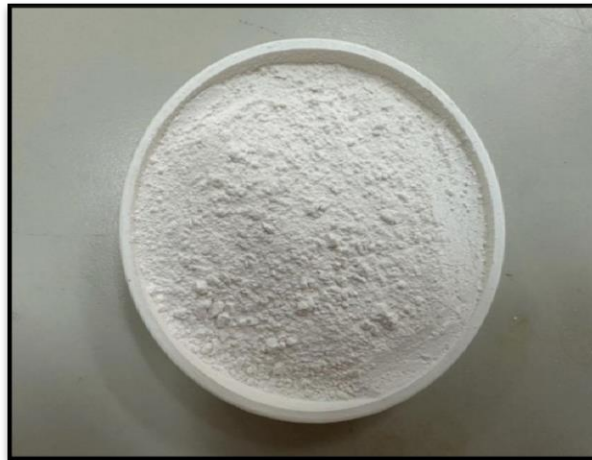
dolomit çimentonun blaine inceliği 4120 ile 5320 cm^2/g değerlerine getirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Taş ocağından alınan dolomit ve Öğütülmüş dolomit

3.1.4. MgO

Bu çalışmada kullanılan yoğunluğu 3.62 g/cm^3 olan saf MgO, Eskişehir de bulunan Akdeniz Mineral Kaynakları A.Ş. tarafından temin edilmiştir. 4250- 5370 cm^2/g blaine inceliğinde temin edilen Saf MgO belirlenen karışım oranlarında numunelere eklenerek tez çalışmasında kullanılmıştır (Şekil 3.4.). Çalışma kapsamında betonda oluşan rötre çatlaklarını azaltmak için dolomit kayacı içerisindeki MgO ihtivası dikkate alınmıştır. MgO mineralinin betonda meydana getirdiği değişimleri gözlemlemek amacıyla deneylerde saf MgO içeren karışımlar oluşturulmuştur.



Şekil 3.4 Karışımlarda kullanılan saf MgO

3.2. Metod

3.2.1. Malzemelerin deneylere uygun hale getirilmesi

Çalışma çerçevesinde oranları belirlenen referans numune dışında 11 farklı karışım oluşturulmuştur. Karışımlar 3 farklı ana başlıkta olmak üzere sadece dolomit, sadece saf MgO ve hem dolomit hem saf MgO içeren çeşitli yüzdelik oranlarda numuneler üretilmiştir. Tezin ana malzemesi olan dolomit, agrega ve MgO numune üretiminde kullanılmadan önce çeşitli işlemlerden geçirilmişlerdir. Tez kapsamında kullanılacak agrega, TS 706 EN 12620 standartlarına ve teze uygun içeriğe sahip olması dikkate alınarak seçilmiştir. Tüm numunelerinin üretimi için temin edilen ince ve kaba agregalar boyutlandırılmak amacıyla eleklerden geçirilerek kullanılmıştır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Araştırmada kullanılan agregalar

Agregalar 4mm'nin altında kalan agregalar ince agrega, 4mm'nin üstünde kalan agregalar iri agrega olarak ayrılıp deneyde kullanıma hazır hale getirilmiştir. Ayrıca, agrega tercihi yapılırken içerdiği MgO oranı dikkate alınarak dolomitik kayalardan elde edilen agreganın kullanılmaması sağlanmıştır.

Çalışma konusu çerçevesinde kullanılacak olan dolomit, Kahramanmaraş ili sınırları içerisindeki bir taş ocağından kayaç halinde temin edilmiştir (Şekil 3.6.). Rötire büzülmelerine olan katkısını değerlendirmek için dolomit kayacının çimento boyutlarına getirilip kullanılmasına karar verilmiştir. Çimento boyutlarına getirilmeden önce

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İnşaat Mühendisi Bölümü laboratuvarında Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi çeneli kırıcı aracılığıyla ön kırma işleminden geçirilmiştir. Laboratuvar şartlarında çimento blaine inceliğine getirilemeyen dolomit Gaziantep yolu üzerindeki Kipaş Holdinge ait KÇS Çimento tesisinin laboratuvarlarında önce 1200C dereceye kadar fırınlarda ısıtıldıktan sonra 3500 blaine (cm^2/gr) çimento boyutlarına getirilmiştir. Dolomitin XRF sonuçlarını da yine aynı firmada yapılmıştır. Karışımlara %5, %10, %15, %20, %30 ve %40 oranlarında dolomit eklenirken aynı miktarda çimentonun azaltılması planlanmıştır.



Şekil 3.6. Araziden temin edilen ve çeneli kırıcıda belirli tane boyutuna getirilen dolomit

Tezin araştırma konusu olan rötre büzölmelerinin nötralize edilmesinde tercih edilen dolomitin içerisindeki MgO ihtivasının betona katacağı genleşme özelliği göz önünü alınmıştır. Bu kapsamda MgO mineralinin saf halde karışımlara eklenerek betona olan katkısının gözlemlenmesi sağlanmıştır. MgO içeren karışımlardaki CaO ve MgO bileşenleri suyla tepkimeye girerek $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve $\text{Mg}(\text{OH})_2$ oluşturur ve bu durum genleşmeye neden olarak erken veya geç yaştaki rötreyi karşılamaktadır. Eskişehir'in 35 km batısında Kümbet ve Erenköy mevkiinde yer alan kalsine manyezit (MgO, Magnezyum Oksit) üreticisi olan bir firmadan temin edilen MgO minerali çimento inceliğinde kullanılmıştır.

Karışımlara eklenen suyun iki önemli görevi bulunmaktadır. Betonun içeriğindeki çimento ve agregaya işlenebilirliğini sağlamak ve çimentoyla birleşerek kimyasal tepkime

sonucu sertleşme sağlamaktır. Çalışma kapsamında numunelerin üretiminde Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsü İnşaat Mühendisliğine ait içme suyu kullanılmıştır.

3.2.2. Karışım oranlarının hazırlanması

Beton karışımları oluşturulurken TS 802 standartları göz önüne alınarak belirli ölçülerde çimento miktarı azaltılarak yerine dolomit ve MgO katkıları karışımlara eklenerek referans numune dışında toplamda 11 farklı karışım oranı belirlenmiştir. Beton karışımları oluşturulurken B-D5 – B-D10 – B-D15 – B-D20 – B-D30 ve B-D40 numunelerinde çimento yerine çimento ağırlığının %5, %10, %15, %20, %30 ve %40'ı oranında dolomit ikame edilmiştir. B-M5 – B-M10 – B-M15 numunelerinde çimento yerine çimento ağırlığının %5 - %10 - %15'i oranında MgO eklenmiştir. Son olarak B-D5M5 numunesinde çimento yerine çimento ağırlığının % 5'i oranında dolomit % 5'i oranında MgO ve B-D10M10 numunesinde çimento yerine çimento ağırlığının % 10'u oranında dolomit % 10'u oranında MgO ilave edilmiştir (Çizelge 3.3.). TS 802'ye uygun olarak su/çimento oranı en büyük tane büyüklüğüne, betonun katkılı ve hava sürüklenmiş olup olmadığına bağlı olarak farklılık gösterir. Çalışma kapsamında su/çimento oranı 0.5 olarak belirlenmiştir. C30 beton sınıfı referans numune için gerekli malzeme miktarları TS 802'de belirtilen karışım elemanları denklemiyle bulunmuştur (Denklem3.1).

$$\frac{C}{\delta_c} + W + \frac{W_a}{\delta_a} + A = 1000 \text{ dm}^3 \quad (3.1)$$

C = Karışıma girecek çimentonun kütlesi (kg)

δ_c = Çimentonun yoğunluğu (kg/dm³)

W = Karışıma girecek suyun hacmi (dm³)

W_a = Karışıma girecek agreganın yüzdesi (kg)

δ_a = Agreganın yoğunluğu (kg/dm³)

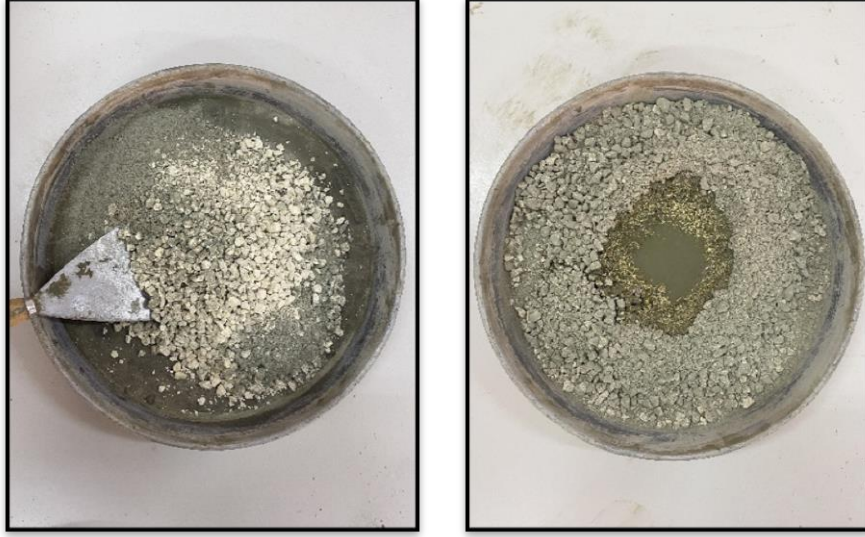
A = Betondaki toplam hava miktarı (dm³)

Çizelge 3.3. Beton numunelerinin isimleri ve karışım oranları

Örnek no	Beton numunesi karışım oranları
R	Agrega(1850 gr)+Çimento(350 gr)+Su(175 gr)
B-D5	Agrega(1850 gr)+Çimento(332,5 gr)+Su(175 gr)+(17,5 gr Dolomit)
B-D10	Agrega(1850 gr)+Çimento(315 gr)+Su(175 gr)+(35 gr Dolomit)
B-D15	Agrega(1850 gr)+Çimento(297,5 gr)+Su(175 gr)+(52,5 gr Dolomit)
B-D20	Agrega(1850 gr)+Çimento(280 gr)+Su(175 gr)+(70 gr Dolomit)
B-D30	Agrega(1850 gr)+Çimento(245 gr)+Su(175 gr)+(105 gr Dolomit)
B-D40	Agrega(1850 gr)+Çimento(210 gr)+Su(175 gr)+(140 gr Dolomit)
B-M5	Agrega(1850 gr)+Çimento(332,5 gr)+Su(175 gr)+(17,5 gr saf MgO)
B-M10	Agrega(1850 gr)+Çimento(315 gr)+Su(175 gr)+(35 gr saf MgO)
B-M15	Agrega(1850 gr)+Çimento(297,5 gr)+Su(175 gr)+(52,5 gr saf MgO)
B-D5M5	Agrega(1850 gr)+Çimento(315 gr)+Su(175 gr)+(17,5 gr Dolomit+17,5 gr MgO)
B-D10M10	Agrega(1850 gr)+Çimento(280 gr)+Su(175 gr)+(35 gr Dolomit+35 gr MgO)

Slump deneyi; deneyde 30 cm yüksekliğindeki tabanında yarıçapı 10 cm, tavanında ise yarıçapı 5 cm’lik açıklık bulunan standart slump hunisi kullanılmıştır. Düz bir zemine yerleştirilen huniye hazırlanan beton karışımları 3 aşamada dökülmüştür. Her dökümde 25 kez şişleme yapılarak sıkıştırma işlemi yapılır. Daha sonra huninin üst yüzeyi mala yardımıyla düz bir hale getirilir. 5-10 saniye içerisinde dikey olarak huni dikkatli bir şekilde kaldırılır ve beton karışımının yanına bırakılır. Yığılma meydana gelen taze beton karışımıyla huni arasındaki yükseklik farkı şekil 3.12’de gösterildiği gibi cetvel ile ölçülerek ‘h’ değeri olarak kaydedilir. Bu değer taze betonun slump (çökme) değeri olarak kabul edilir.

Beton karışım oranları belirlendikten sonra numunelerin hazırlanması aşamasına geçilmiştir. TS EN 12390-2 standartları dikkate alınarak beton karışımlarının numuneleri oluşturulmuştur. Karışımlara ait malzemeler özenle tartılarak karıştırma kaplarına alınmıştır. Öncelikle iri ve ince agreg, daha sonra eklenmesi belirlenen katkı malzemeleri ve en sonra çimento karışıma eklenmiş. Kuru malzemeler önce karıştırılmış ve ardından ölçülen su miktarı eklenerek beton karışımları elde edilmiştir (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Numune hazırlanması

Referans numuneyle birlikte toplam 12 adet numune 10x10x10 cm'lik standart küp kalıplara dökülmüştür. Küp kalıplar kullanılmadan önce iç yüzeyleri yağlanmış ve numunelere ait isimler kâğıt parçasına yazılarak kalıpların tabanlarına yerleştirilmiştir. Taze beton karışımlara kalıplara eklenirken iki tabaka halinde doldurulmuş ve şişleme yapılarak sıkıştırma işlemi Şekil 3.8'de gösterildiği üzere yapılmıştır.



Şekil 3.8. Kalıba yerleştirilen ilk katman ve 25 kez yapılan şişleme işlemi

Her sıkıştırma işleminde taze beton 25 kez şişlenerek hava kabarcıklarının uzaklaştırılması sağlanmıştır. Tüm karışım kalıplara doldurulduktan sonra tokmak yardımıyla hafifçe vurularak sıkıştırma işlemine büyük hava kabarcıklarının çıkışı bitine kadar devam edilmiştir. Tokmaktama işleminin ardından masterla kalıbın üst yüzeyi düzenlenerek karışımlar hava sirkülasyonundan uzak bir yerde 24 saat boyunca kalıpta bekletilmiştir. Numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra testler deney süresi gelinceye kadar kür havuzunda bekletilmiştir (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Tokmaktama işlemi ve kalıplara yerleştirilen numuneler

Çalışma kapsamında planlanan çimento karışımları ASTM C 227 'ye uygun olarak belirli oranlarda çimento miktarı azaltılıp yerine dolomit ve MgO katkıları eklenerek oluşturulmuştur. Harç sistemine herhangi bir katkı malzemesi eklenmeden referans numune dökümü yapılmıştır. Daha sonra H-D5 – H-D10 – H-D15 – H-D20 – H-D30 ve H-

D40 nolu numunelere sadece dolomit eklenmesi halinde meydana gelecek değişimleri gözlemek amacıyla sırayla çimento ağırlığının %5, %10, %15, %20, %30 ve %40'ı oranında dolomit eklenmiştir. H-M5 – H-M10 – H-M15 nolu harç karışımlarına ise çimento ağırlığının % 5 - %10 - %15'i oranında MgO ikame edilmiştir. Son olarak hem dolomit hem MgO katılarak H-D5M5 ve H-D10M10 numuneleri hazırlanmıştır. Referans numuneyle beraber toplamda 12 farklı harç karışımı Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Harç numunelerinin isimleri ve karışım miktarları

Örnek no	Harç karışım oranları
R	Agrega(1350 gr)+Çimento(450 gr)+Su(225 gr)
H-D5	Agrega(1350 gr)+Çimento(427,5 gr)+Su(225 gr)+(22,5 gr Dolomit)
H-D10	Agrega(1350 gr)+Çimento(405 gr)+Su(225 gr)+(45 gr Dolomit)
H-D15	Agrega(1350 gr)+Çimento(382,5 gr)+Su(225 gr)+(67,5 gr Dolomit)
H-D20	Agrega(1350 gr)+Çimento(360 gr)+Su(225 gr)+(90 gr Dolomit)
H-D30	Agrega(1350 gr)+Çimento(315 gr)+Su(225 gr)+(135 gr Dolomit)
H-D40	Agrega(1350 gr)+Çimento(270 gr)+Su(225 gr)+(180 gr Dolomit)
H-M5	Agrega(1350 gr)+Çimento(427,5 gr)+Su(225 gr)+(22,5 gr saf MgO)
H-M10	Agrega(1350 gr)+Çimento(405 gr)+Su(225 gr)+(45 gr saf MgO)
H-M15	Agrega(1350 gr)+Çimento(382,5 gr)+Su(225 gr)+(67,5 gr saf MgO)
H-D5M5	Agrega(1350 gr)+Çimento(405 gr)+Su(225 gr)+(22,5 gr Dolomit+22,5 gr MgO)
H-D10M10	Agrega(1350 gr)+Çimento(360 gr)+Su(225 gr)+(45 gr Dolomit+45 gr MgO)

Harç numuneleri hazırlanırken gerekli olan akıcılığı ve işlenebilirliği sağlamak için karışım oranları hesaplanırken yayılma deneyi yapılmıştır. Deney yapılırken üst çapı 70 mm, alt çapı 100 mm ve yüksekliği 60 mm olarak belirlenen kesik koni kullanılmış ve iki katman halinde kalıp içerisine harç karışımı eklenmiştir. Her katman 25 kez tokmaklandıktan sonra dış kalıp çıkartılmış ve 15 saniyede 25 tekrarla sarsılmıştır. Sarsılma sonunda oluşan çap hesaplanarak ortalaması kayıt altına alınmıştır.

Harç çubuklarında yapılacak deneyler için belirlenen numunelerinin TS EN 196-1 standartları dikkate alınarak üretilmesi planlanmıştır. Deneyde kullanılacak 4x4x16 cm'lik kalıplar harç karışımları dökülmeden önce numunelerin kolay çıkması amacıyla

yağlanmıştır. Karışımında kullanılacak malzemelerin ağırlık ölçümleri hassas şekilde yapılmıştır. Ölçümleri yapılan malzemeler önce iri ve ince agrega daha sonra kullanılacak diğer katkı malzemeleri mikserin kabına alınarak önce kuru hallerinin homojen şekilde karıştırılması sağlanmıştır. Oluşan bu homojen karışıma ölçülü miktarda su eklendikten sonra harcın istenilen kıvamı alması için 30 sn boyunca mikserde karıştırılmıştır. Elde edilen harç karışımı 4x4x16 cm'lik kalıplara 3'er setlik numune olacak şekilde dökülmüştür. Kalıpların içinde hava boşluklarının kalmaması için sarma yapılmış ve kalıpların üst yüzeyleri düzeltilmiştir. Hava akımından uzak bir bölgede 24 saat kurumaya bırakılan numuneler dikkatli bir şekilde kalıplardan çıkartılmıştır ve deneyler yapılmadan önce 14 gün boyunca bekletilmiştir.



Şekil 3.10. Harç numunelerin hazırlanması

Tez kapsamında çimento karışımlarında yapılacak deneyler için belirli oranlarda dolomit ve MgO eklenerek çeşitli oranlarda karışım miktarları belirlenmiştir. Beton ve harç numunelerinde olduğu gibi C-D5 – C-D10 – C-D15 – C-D20 – C-D30 ve C-D40 nolu çimento hamuru karışımlarında sadece dolomit katkısı kullanılmıştır. Sadece MgO ilavesiyle oluşturulan C-M5 – C-M10 – C-M15 nolu numunelere çimento ağırlığının yüzde olarak sırasıyla 5 - 10 -15'i oranında MgO ikame edilmiştir. Hem dolomit hem MgO katkısıyla oluşturulan numuneler ise C-D5M5 ve C-D10M10 dir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Çimento hamurunun karışım oranları ve isimleri

Örnek no	Çimento numunesi karışım oranları
R	Çimento(500 gr)+Su(150 gr)
C-D5	Çimento(475 gr)+Su(150 gr)+(25 gr Dolomit)
C-D10	Çimento(450 gr)+Su(150 gr)+(50 gr Dolomit)
C-D15	Çimento(425 gr)+Su(150 gr)+(75 gr Dolomit)
C-D20	Çimento(400 gr)+Su(150 gr)+(100 gr Dolomit)
C-D30	Çimento(350 gr)+Su(150 gr)+(150 gr Dolomit)
C-D40	Çimento(300 gr)+Su(150 gr)+(200 gr Dolomit)
C-M5	Çimento(475 gr)+Su(150 gr)+(25 gr saf MgO)
C-M10	Çimento(450 gr)+Su(150 gr)+(50 gr saf MgO)
C-M15	Çimento(425 gr)+Su(150 gr)+(75 gr saf MgO)
C-D5M5	Çimento(450 gr)+Su(150 gr)+(25 gr Dolomit+25 gr MgO)
C-D10M10	Çimento(400 gr)+Su(150 gr)+(50 gr Dolomit+50 gr MgO)

3.2.3. Beton numunelerinin deney metodları

Basınç dayanımı; TS EN 12390-3 standartları dikkate alınarak hazırlanan beton numuneleri basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Tüm karışım oranlarından oluşturulan 3'er takımlık numuneler kür havuzunda bekletilip 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür. Deney yapılırken aşağıdaki Denklem 3.2 kullanılmıştır. Her oranda üretilen 3 takım numunenin test sonuçları kaydedilmiş olup ortalaması alınarak basınç dayanımı belirlenmiştir.

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

(3.2.)

f_c = Basınç dayanımı MPa (N/mm²)

F = Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)

A_c = Numunenin üzerine basınç yükü uygulandığı en kesit alanı (mm²)



Şekil 3.11. Basınç dayanımı test cihazı

3.2.4. Harç numunelerinin deney metotları

Su emme; harç numuneleri üzerinde yapılan su emme deneyinde su emme miktarını ölçmek için numuneler 105°C' de bir gün boyunca etüvde bekletilmiştir. Bir gün sonra kuruyan numunelerin ağırlıkları tartılarak ' Kuru Ağırlık' değeri W2 ağırlığı olarak not alınmıştır. Tartma işleminden geçen numuneler 24 saat boyunca kür havuzunda bekletilmiştir. Bir gün sonra kürden çıkartılan numunelerin ağırlıkları tartılarak 'Yaş Ağırlık' değeri W1 ağırlığı olarak kaydedilmiştir. Aşağıda belirtilen denklem 3.3. kullanılarak su emme yüzdeleri hesaplanmıştır (Şekil 3.12.).

$$\text{Su emme (\%)} = [(W1-W2) / W1] \times 100 \quad (3.3)$$

W1 = Numunelerin yaş ağırlıkları

W2= Numunelerin kuru ağırlıkları



Şekil 3.12. Etüv cihazı, kür havuzunda bekleyen numuneler ve numunelerin tartılması

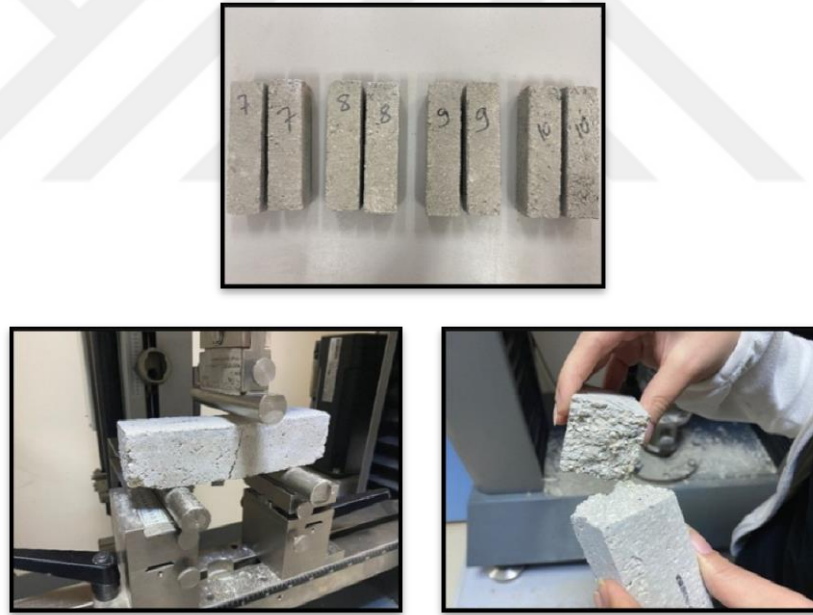
Birim hacim ağırlığı; Numunelerin 24 saat etüvde bekletildikten sonraki ağırlıkları ölçülerek W1 (kuru ağırlık) ağırlığı olarak değerlendirilmiştir. Daha sonra deney yapılacak numuneler kumpas yardımıyla ölçüldükten sonra hacimsel değerleri hesaplanmıştır. Aşağıda belirtilen denklemle Birim Hacim Ağırlığı (BHA) hesaplanmıştır (Şekil 3.13.).

$$BHA = W1 / v \quad (3.4)$$



Şekil 3.13. Kuru ağırlıkların ölçümü ve kumpas yardımıyla hacim ölçümü

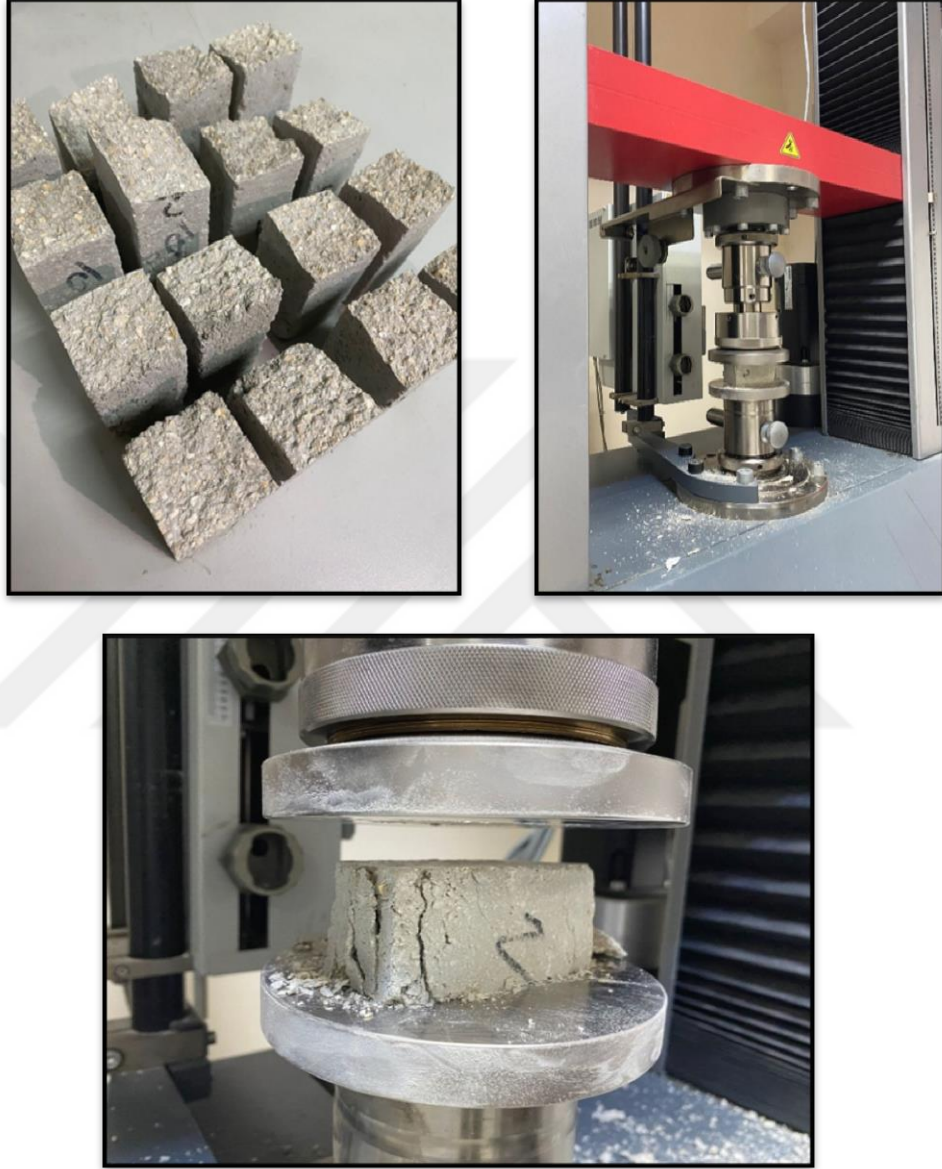
Eğilme dayanımı; Farklı karışım oranlarıyla oluşturulan 4x4x16 cm'lik harç blokları tezin bu aşamasında TS EN 196-1 standartlarında belirtilen eğilme dayanımlarını ölçmek için üç nokta yükleme yöntemine tabi tutulmuşlardır. Eğilme testi saniyede 50 N yük uygulayarak 20 kN kapasiteli “Zwick/ 2010 Üniversal Test” cihazıyla yapılmıştır. Deney yapılırken mesnet açıklığı 100 mm olarak saptanmıştır (Şekil 3.14.).



Şekil 3.14. Harç numuneleri ve eğilme deneyi

Basınç dayanımı; Tez kapsamındaki basma dayanımı eğilme deneyi sonucu kırılan parçalardan kalan numunelerle yapılacaktır. Sertleşen harç numunelerine yapılacak olan test TS EN 1015-11 standartları dikkate alınarak yapılmıştır. Eğilme deneyi sonunda kırılan her iki parçanın da en az 4x4x4 cm ölçülerine sahip olanları seçilerek basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Test “Diwick Roell Z010 Üniversal Test” aletiyle

gerçekleştirilmiştir. Test cihazının basma çeneleri arasına yerleştirilen numunelere yükleme hızı saniyede 2400N olan basma kuvvetine maruz kalmışlardır. Her karışım oranı için 3'er takım dökülen numuneler testten geçirilmiş ve test sonuçları hesaplanırken ortalamaları alınmıştır (Şekil 3.15.).



Şekil 3.15. Basınç dayanımı deneyi

Boy değişimi; Çalışma çerçevesinde boy değişimlerinin incelenmesi, analiz edilip yorumlanması amacıyla betonda genişmeye yol açan malzemelerden biri olan MgO minerali üzerine çeşitli oranlarda dolomit ve MgO ekleyerek harç karışımları oluşturulmuştur. Referans numune üzerinde çimento miktarının azaltılarak yerine eklenen katkılarla 11 farklı harç karışımı oluşturularak 25x25x285cm boyutlarında numuneler

oluşturulmuştur. Şekil 3.16. 'da gösterilen kalıplar önce yağlanarak harç karışımlarının dökülmesi için hazır hale getirilmiştir. TS3322:2019 standartlarına uygun olarak boy değişimi ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3.16. Boy değişimi numune kalıbı ve numuneler

Şekil 3.17.'daki gibi hazırlanan numuneler çalışmanın ana konusu olan boy değişimlerinin tayini için ölçüm yapılacak alete yerleştirilerek 3,7, 28 ve 56 günlük sonuçları kayıt altına alınmıştır. Deney kapsamında her karışım oranı için üçer adet numune hazırlanıp ölçülen değerlerin ortalaması alınarak sonuç değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.17. Boy değişiminin ölçülmesi

Taramalı elektron mikroskopu (SEM); Daha önce eğilme dayanımı için hazırlamış olduğumuz dikdörtgen numunelerin iri agregaların bulunmadığı kısımlarından yaklaşık 10 mm (1x1x1 cm) küp şeklinde ebatlara sahip numuneler alınmıştır alınan bu numuneler Sivas Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde sem görüntüleme işleminden önce iletkenliği sağlaması maksatıyla altın suyuna batırılarak

yüzeyleri altın suyuyla kaplanmıştır ve mikro yapıları incelenmek üzere TESCAN MIRA3 marka taramalı elektron mikroskobu cihazı kullanılarak SEM görüntüleri alınmıştır (Şekil 3.18.).



Şekil 3.18. Taramalı elektron mikroskobu (Sem görüntüleme cihazı)

Sıcaklığın etkisi; Şekil 3.19.'daki gibi hazırlanan numuneler çalışmanın ana konusu olan boy değişimlerinin tayini için sıcaklığın etkisini ölçmek amacıyla yüksek dereceye sahip ısı fırınına yerleştirilmiştir. 50°C, 100°C, 200°C ve 400°C sıcaklıklara maruz bırakılarak sonuçları kayıt altına alınmıştır. Deney kapsamında her karışım oranı için üçer adet numune hazırlanıp ölçülen değerlerin ortalaması alınarak sonuç değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.19. Yüksek dereceli fırın

3.2.5. Çimento numunelerinin deney metotları

Priz süresi tayini; Çimentonun su ile birleşmesiyle oluşturulan çimento hamurunun zamanla katılaşıp işlenebilirliğini kaybedip katılaştığı ana kadar geçen zamandır. Karışım oranları daha önceden belirlenen katkılı ve katkısız referans çimento hamuru TS EN 480-1'e uygun olarak hazırlanmıştır. Priz süresi başlama ve bitiş süreleri tayin edilirken yapılan deney TS EN 196-3 standartları dikkate alınarak yapılmıştır. Deneyde Vicat Aleti kullanılacaktır. Elde edilen karışımların yerleştirildiği yer olan Vicat kalıbıyla ilgili olarak derinliği $40,0 (\pm 0,2)$ mm, alt yüzeye ait $\text{çap ölçüsü } 80 (\pm 5)$ mm ve üst yüzeye ait $\text{çap ölçüsü } 70 (\pm 5)$ mm olan kesik koniye benzeyen bir yapıdır. Vicat hunisi cihazın üstüne yerleştirilen bir cam parçasının üzerine bırakılır. Karışımlar bu kabın içerisine dökülmeden önce kabın iç yüzeyi ve cam zeminin üst yüzeyi iyice yağlanmıştır. Karışım oranları hazırlanıp karışma işlemi yapıldıktan maksimum bir dakika içerisinde çimento harcı kabın içerisinde dökülmelidir. Vicat kabıyla cam yüzey arasında kaçak olmamasına dikkat edilmelidir. Huniye karışımlar dökülürken çimentonun fazla sıkıştırılmamasına ve sarsıntı yaşanmamasına özen gösterilmelidir. Spatula yardımıyla kabın üst yüzeyi düzlenmelidir. Priz süresi tayini için Vicat aletiyle beraber Vicat iğnesi de kullanılmaktadır. Vicat iğnesiyle ilgili olarak etkili uzunluğu $50 (\pm 1)$ mm ve iğne çapı $1,13 (\pm 0,05)$ mm ölçülerinde olup, korozyona dayanıklı metalden üretilmiştir. İğne ile kaba yerleştirilen çimento hamurunun yüzeyi temas edene kadar aşağı indirilmiş ve 1-2 saniye tutulmuştur. Hareket eden parçalar serbest bırakılıp vicat iğnesinin çimento hamurunun içerisine düşey yönde girmesi düzenlenmiştir. İğne çimento hamurunun içine tamamen batması veya vicat iğnesinin bırakılmasından 30 sn sonra (Hangi eylem önce olursa o dikkate alınacaktır) taksimatlı göstergede görünen değer not alınmıştır. Yapılan bu deney işlem vicat iğnesinin temizlenmesiyle belirli aralıklarla tekrar edilerek başlangıç süresi itibariyle iğne ve cam taban arasındaki mesafe 4 mm olana kadar geçen süre çimento hamurunun Priz Başlama Süresi olarak kabul edilir.

Priz başlangıç zamanı not alındıktan sonra iğne harcın içerisine batırılmaya devam edilmiştir. İğnenin uç tarafının 0,05 mm olan kısmı çimento hamuruna battığı zaman ile sıfır olarak belirlenen süre arasındaki zaman miktarı Priz Sonu Süresi olarak kabul edilir (Şekil 3.20.).



Şekil 3.20. Priz süreleri tayini için kullanılan vicat aleti

Hacim sabitliği deneyi; Çimentolarda hacim genişlemesini sağlayan bileşenler serbest kalsiyum oksit ve magnezyum oksittir. Kalsiyum oksit ve magnezyum oksit suyla birleşince hidroksit perhaldetlere dönüşüyor. Bu ekzotermik reaksiyonda hacim genişlemesine neden oluyor. Çimento içerisindeki serbest kireç ve MgO miktarını tespit etmek için bu deney yapılmaktadır. Deney TS EN 196-3+A1 standartları dikkate alınarak yapılmıştır. Deneydeki karışım oranları daha önceden belirlenmiştir. Deney yapılırken Le Chatelier aleti kullanılacaktır. Deney hazırlıkları yapılırken halkaların esnekliği kontrol edilmeli, halkanın ucundaki çubukların açıklığının 10 mm az olmasına özen gösterilmelidir. Karışımlar belirlenen oranlarda hazırlandıktan sonra bu halkaların içerisine doldurulacaktır. Bu işlemden önce çubukların arasındaki açıklığının sabit kalması amacıyla bir halka yardımıyla halkaların çevresi sabitlenmiştir. Ardından kalıplar ve cam levhalar iyice yağlanmıştır. Hazırlanan çimento hamurları kalıpların içerisine yerleştirilirken herhangi bir sarsma işlemi yapılmamıştır. Karışımlar döküldükten sonra cam levhayla kalıpların üstü kapatılmıştır. Çubukların arasındaki mesafeyi sabitlemek için kullanılan halkalar da çıkartılmıştır. Kalıplar zaman kaybetmeden 20C’de suyun bulunduğu bir kaba alınarak 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra sudan çıkartılan kalıpların çubukları arasındaki uzunluk ölçülerek (A) değeri olarak kaydedilmiştir.

Cam levhalar kalıpların üstünden dikkatli bir şekilde ayrıldıktan sonra kalıplar ucundaki çubuklar hiçbir noktaya temas etmeden su dolu kaynatma kabına alınmıştır. Kap içerisindeki su 30 dakika içerisinde kaynama sıcaklığına ulaşacak şekilde ısıtılmıştır.

Kalıplar kaynama sıcaklığındakini su içerisinde 3 saat bekletilmiştir. Kaplar bu üç sonunda sudan çıkartılıp çubuklar arasındaki mesafe (B) değeri olarak kaydedilmiştir.

Aynı numuneler tekrar suyun içinde 20C'ye kadar soğutularak çubukların arasındaki uzaklık (C) değeri olarak kaydedilmiştir. Tüm bu ölçümler göz önüne alınarak (B-A), (C-B), (C-A) mm değerleri hesaplanmıştır. (C-A) mm değeri ise Toplam Hacim Genleşmesi olarak değerlendirilmiştir.



4. BULGULAR

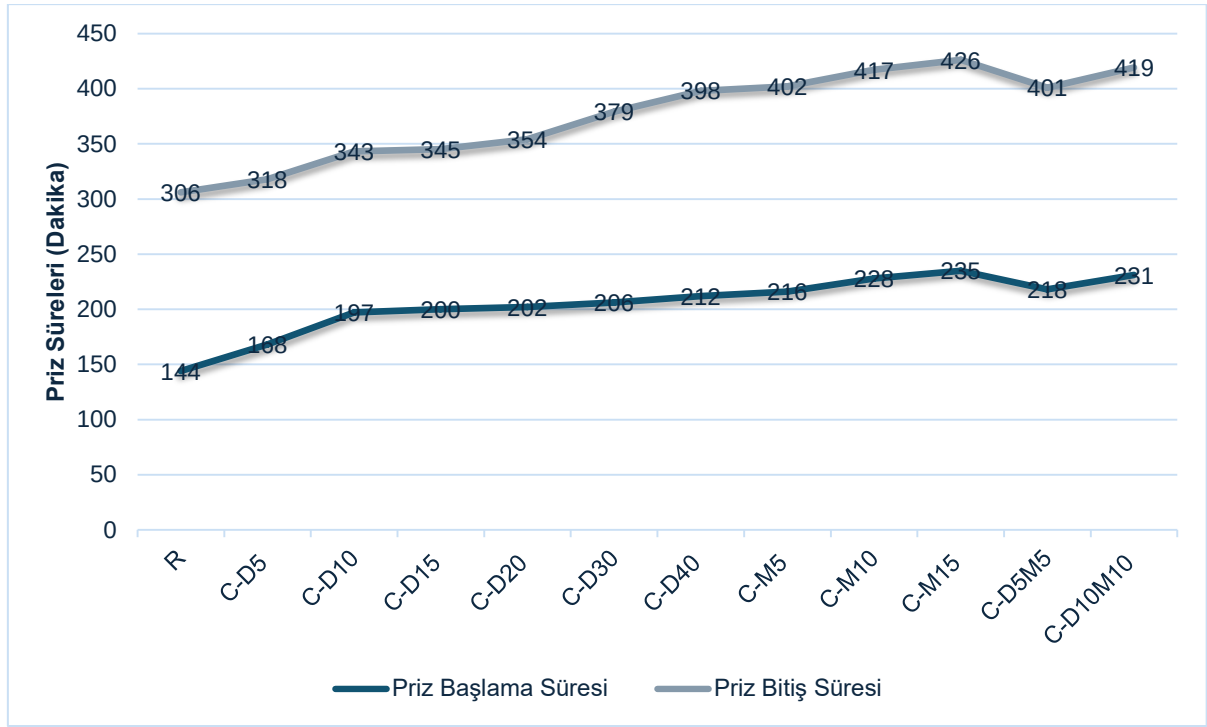
4.1. Çimento Numunelerinde Priz Süreleri Tayini

Priz sürelerinin tayini için su/çimento oranı belirlenmiş olan çimento karışımlarının oranları önceden belirlenmiştir. Priz başlangıç ve bitiş sürelerini tespit etmek için vicat aleti ve iğnesi bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. Çizelge 4.1.'de tespit edilen priz başlangıç ve bitiş süreleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Çimento numunelerinin priz süresi değerleri

	Priz Başlangıç Süresi (Dakika)	Priz Bitiş Süresi (Dakika)
R	144	306
C-D5	168	318
C-D10	197	343
C-D15	200	345
C-D20	202	354
C-D30	206	379
C-D40	212	398
C-M5	216	402
C-M10	228	417
C-M15	235	426
C-D5M5	218	401
C-D10M10	231	419

Şekil 4.1.'deki priz başlangıç sürelerini incelersek 144 dk ile 235 dk arasında değişkenlik gösterdiğini görebiliriz. En düşük 144 dk olan priz başlangıç süresi referans numuneye ait olup su ihtivasının sabit tutulup çimento miktarından azaltılarak katkı malzemesi eklenen tüm numunelerdeki priz başlangıç süreleri referans numuneye kıyasla daha uzun olduğu tespit edilmiştir. %5, %10, %15, %20, %30 ve %40 oranlarında dolomit eklenen karışımlar içinde en yüksek priz başlangıç süresi C-D40 numunesine aittir.



Şekil 4.1. Çimento numunelerinde priz süreleri

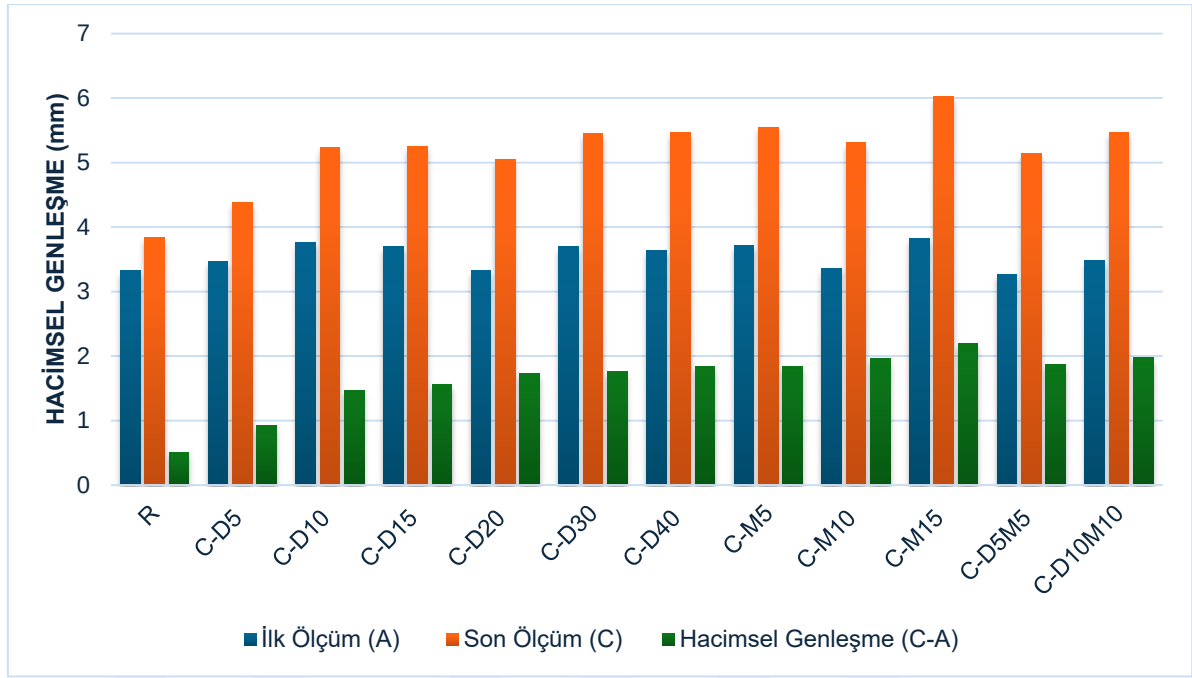
4.2. Çimento Numunelerinde Hacim Sabitliği

Çalışma kapsamında rötre çatlaklarından kaynaklı boy ve hacim değişikliğini katkı malzemeleriyle nötralize etmek için karışım oranları daha önceden belirlenen çimento karışımları üzerinde hacim genişmesi deneyi yapılmıştır. Kıvam tayini deneyi yapılarak bulunan su/çimento oranıyla bir adet referans numune oluşturulup daha sonra çimento miktarı azaltılıp yerine dolomit ve MgO katkı malzemeleri eklenerek 11 farklı kombinasyonlu numune oluşturulmuştur. Oluşturulan çimento karışımları önce 24 saat suda bekletilerek ilk ölçümleri alınmış daha sonra kaynatılıp soğuma bırakılarak tekrar ölçümleri yapılmış olup sonuçlar mm cinsinden Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Çimento numunelerinin hacim genleşmesi değerleri

	24 Saat Kür Sonundaki Ölçüm (mm) (A)	Kaynayıp Soğuduktan Sonraki Ölçüm (mm) (C)	Hacim genleşmesi (mm) (C-A)
R	3,33	3,84	0,51
C-D5	3,46	4,38	0,92
C-D10	3,76	5,23	1,47
C-D15	3,69	5,25	1,56
C-D20	3,32	5,05	1,73
C-D30	3,69	5,45	1,76
C-D40	3,64	5,47	1,83
C-M5	3,71	5,55	1,84
C-M10	3,35	5,31	1,96
C-M15	3,82	6,02	2,2
C-D5M5	3,27	5,14	1,87
C-D10M10	3,48	5,46	1,98

Deney içerisinde ölçümleri kayıt altına alınan A ve C sonuçları birbirlerinden çıkartılarak (C-A) hacim genleşmesi sonuçlarını Şekil 4.2’den incelersek en yüksek hacim genleşmesi değeri C-M15 numunesinde gözlemlenmiştir. En düşük değer ise R referans numunede kayıt altına alınmıştır. Çalışma kapsamında beklenen hacim artışı dolomit katkılı numunelerde hacim genleşmesi sonuçlarının artmasıyla doğrulanmıştır. Bunun nedeniyle ilgili olarak malzeme ihtivasında bulunan CaO ve MgO’nin gerçekleştirdiği hidratasyon tepkimesi sonucu oluşan Ca(OH)_2 ve Mg(OH)_2 içerikler genleşmeye yol açtığı söylenebilir. Sadece MgO eklenen numunelerde de aynı etki test sonuçlarına yansıdığını Şekil 4.2’de inceleyebiliriz.



Şekil 4.2. Çimento numunelerinde hacim genleşmesi

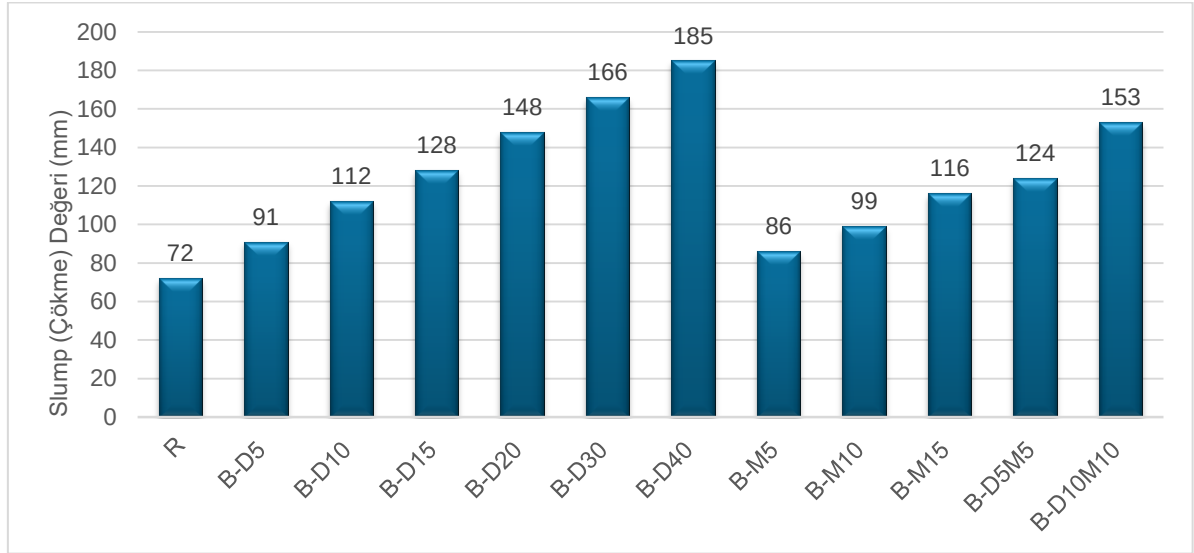
4.3. Beton Numunelerin Slump Deneyi

Taze beton numuneleriyle gerçekleştiren slump deneyi, karışımları önceden belirlenen 12 farklı numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.3'te belirtildiği gibi slump değerleri 72 mm ve 185 mm arasında değişiklik göstermiştir. En düşük slump değeri olan 72mm referans numuneye aittir. Agrega ve su içerikleri tüm numunelerde sabit tutulmuş olup çimento miktarı belirli oranda azaltılıp dolomit eklenen B-D5 – B-D10 – B-D15 – B-D20 – B-D30 ve B-D40 numunelerinde slump değeri artış göstermiştir. En yüksek slump değeri de bu grupta yer alan B-D40 karışımına aittir.

Çizelge 4.3. Beton numunelerinde slump değeri

	Slump Degeri (mm)	Beton Isısı (°C)
R	72	20
B-D5	91	20
B-D10	112	19
B-D15	128	19
B-D20	148	19
B-D30	166	18
B-D40	185	18
B-M5	86	20
B-M10	99	19
B-M15	116	10
B-D5M5	124	18
B-D10M10	153	18

Aynı oranda çimento azaltılıp yerine dolomit katılan B-D15 (%15D) ve MgO katılan B-M15 (%15MgO) numuneleri karşılaştırıldığında B-D15 numunesinin slump değeri 128 mm olup daha yüksek bir değere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak deney yapılırken gözlemlenen betonun işlenebilirliği arttıkça slump değerinin artmakta olduğu ön görülmüştür. Şekil 4.3.'te görüldüğü gibi betona eklenen katkı malzemeleriyle slump değerleri orantılı olarak artış göstermiştir.



Şekil 4.3. Beton numunelerinde slump (çökme)

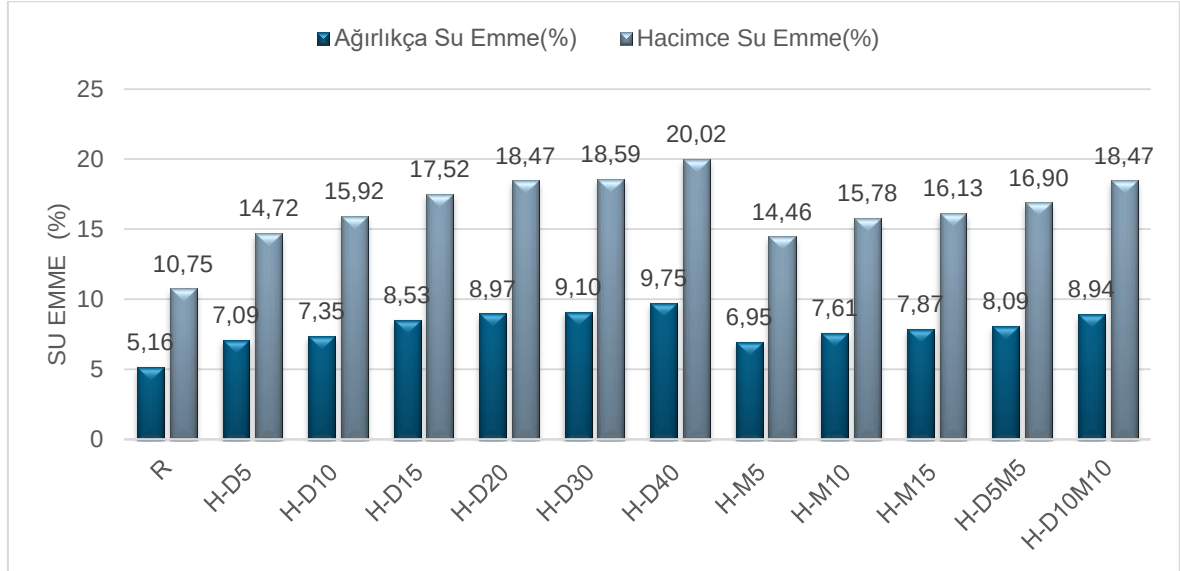
4.4. Harç Numunelerinde Su-Emme

40x40x160 mm ebatlarındaki numuneler üzerinde yapılan ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi sonuçları incelendiğinde hem ağırlıkça hem de hacimce su emme değerleri katkı malzemesi eklendikçe artış göstermiştir. Çizelge 4.4'ü incelediğimiz de görüyoruz ki en yüksek ağırlıkça su emme oranı yüzde 40 oranında dolomit içeren H-D40'a aittir.

Çizelge 4.4. Harç numunelerinde ağırlıkça – hacimce su emme Oranları

	Ağırlıkça Su emme (%)	Hacimce Su emme (%)
R	5,2	10,8
H-D5	7,1	14,7
H-D10	7,4	15,9
H-D15	8,5	17,5
H-D20	9,0	18,5
H-D30	9,1	18,6
H-D40	9,8	20,0
H-M5	7,0	14,5
H-M10	7,6	15,8
H-M15	7,9	16,1
H-D5M5	8,1	16,9
H-D10M10	8,9	18,5

Dolomit yapısı gereği su emmesi yüksek olan bir malzeme olduğu için dolomit miktarı arttıkça harç karışımlarındaki su emme yüzdesi artmaktadır. Dolomit ve MgO katkılarının su emmeye olan etkisini karşılaştırmak için H-D10 ve H-M10'in sonuçlarına Şekil 4.4'e göz atarsak H-M10 numunesinin su emme yüzdesinin daha yüksek olduğunu tespit edebiliriz.



Şekil 4.4. Harç numunelerinde ağırlıkça – hacimce su emme

Numunelerin yaş ağırlığı ile kuru ağırlığı arasındaki farkın numunenin ilk hacmine oranıyla elde edilen hacimce su emme değerleri Şekil 4.4 incelendiğinde hacimce su emme yüzdesinin ağırlıkça su emme yüzdesiyle orantılı olarak artıp azalmakta olduğu gözlemlenmektedir. En yüksek hacimce su emme oranı ağırlıkça su emme oranında olduğu gibi H-D40 karışımına aittir. Dolomit ve MgO oranları eşit olan H-D15 ve H-M15 örneklerini karşılaştıracak olursak H-M15 numunesi % 16,1 değeriyle H-D15'ten daha düşük bir değere sahip olduğu elde edilmiştir.

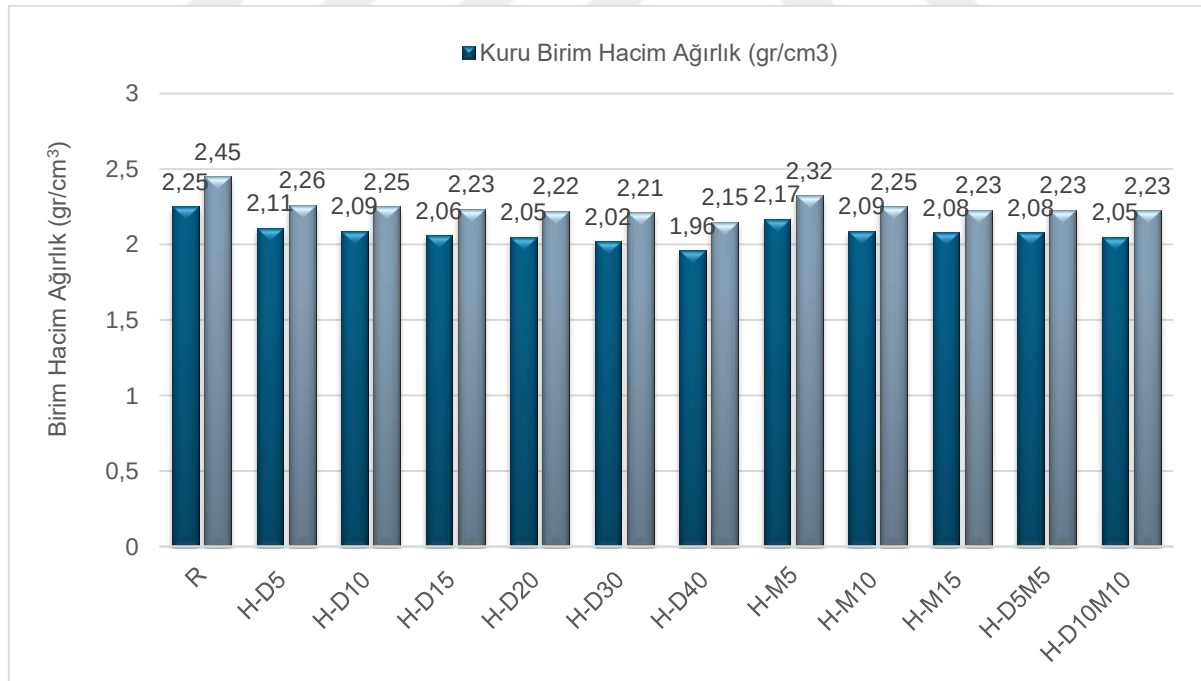
4.5. Harç Numunelerinde Birim Hacim Ağırlık

Karışım oranları daha önceden belirlenen harç numunelerine hem kuru birim hacim ağırlığı hem de doymuş birim hacim ağırlığı testleri yapılmıştır. Kuru haldeki numunelere yapılan kuru birim hacim ağırlığı testinin sonuçları Çizelge 4.5'te en düşük olarak 1.96 2.08 gr/cm³ ve en yüksek olarak 2.25 gr/cm³ gösterilmiştir. Agregat ve su miktarları sabit tutularak çimento boyutundaki dolomit ve MgO eklenerek oluşturulan kombinasyonlarda katkı malzemeleri harç numunelerinin birim hacim ağırlıklarını azaltacak bir etki göstermiştir.

Çizelge 4.5. Harç numunelerinde birim hacim ağırlık

	Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	Doygun Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)
R	2,25	2,45
H-D5	2,11	2,32
H-D10	2,09	2,29
H-D15	2,06	2,23
H-D20	2,05	2,20
H-D30	2,02	2,17
H-D40	1,96	2,15
H-M5	2,17	2,34
H-M10	2,09	2,27
H-M15	2,08	2,25
H-D5M5	2,08	2,24
H-D10M10	2,05	2,22

Birim hacim ağırlığının düşük olması beton içerisindeki boşluğun artması ve buna bağlı olarak dayanımın düşük olmasını ifade eder. En yüksek kuru ve doymuş birim hacim ağırlığı referans numuneye aittir. Çimento yerine eklenen malzemeler harç numunelerinin birim hacim ağırlıklarının azalmasına sebep olmuştur.



Şekil 4.5. Harç numunelerinde birim hacim ağırlık

Dolomit miktarı en fazla olan numune olan H-D40 numunesinin doymuş birim hacim ağırlığı 2.15 gr/cm³ olup en düşük değer bu numuneye aittir. Şekil 4.5'te gösterildiği gibi en yüksek değer ise referans numunede gözlemlenmiştir. Bu değerler göz

önüne alındığında dolomit ve MgO eklenen kombinasyonların referans numuneden daha düşük dayanım değerlerine sahip olacağını ön görebilmekteyiz.

4.6. Harç Numunelerinde Basınç Dayanımı

Eğilme dayanımı testine tabi tutulan 4x4x16 cm'lik numunelerin kırılan parçalarının belirli standartlara uygun olanları basınç testine tabi tutulmuştur. Referans numuneyle birlikte toplam 12 adet numunenin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri MPa (N/mm²) türünden Çizelge 4.6'da belirtilmiştir.

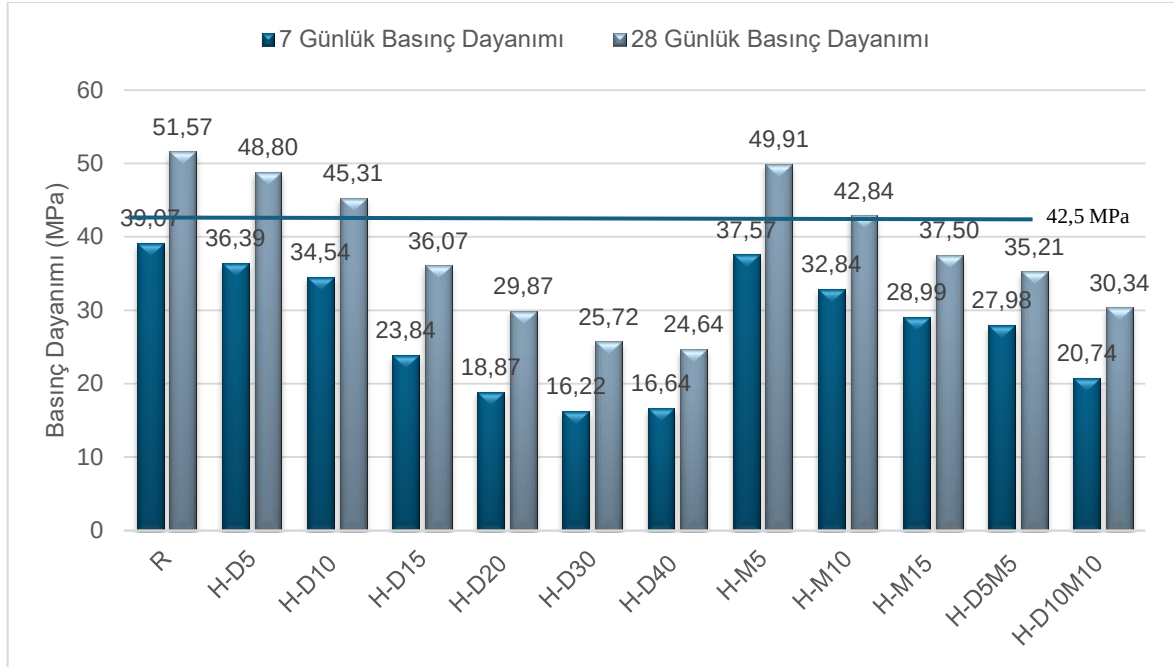
Çizelge 4.6. Harç numunelerinin basınç dayanım değerleri

	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
R	39,07	51,57
H-D5	36,39	48,80
H-D10	34,54	45,31
H-D15	23,84	36,07
H-D20	18,87	29,87
H-D30	16,22	25,72
H-D40	16,64	24,64
H-M5	37,57	49,91
H-M10	32,84	42,84
H-M15	28,99	37,50
H-D5M5	27,98	35,21
H-D10M10	20,74	30,34

Sonuçlar üçer adet numunenin test sonuçlarının aritmetik ortalaması alınarak oluşturulmuştur. 7 günlük basınç dayanımı referans numuneye ait olup en düşük değer ise %40 dolomit içeren H-D40 numunesine aittir. Agrega ve su miktarları sabit tutularak çimento miktarı azaltılıp dolomit ve MgO eklenerek oluşturulan karışımların basınç dayanımları daha düşük hesaplandığı görülmektedir. Bunun sebebi karışımlara dayanım sağlayan ana malzeme çimento miktarının azalmasıyla çimento hidrasyonu azaldığı için yeteri dayanımı sağlayamamaktadır.

7 günlük basınç dayanımları dikkate alınarak; dolomit ve MgO arasında bir karşılaştırma yapmak gerekirse Şekil 4.6'da göreceğiniz gibi %5 çimento azaltarak oluşturulan H-D5 ve H-M5 numunelerinin sonuçları sırayla 36,39 MPa – 37,57 MPa dır. Bu değerlere bakıldığında MgO içeren H-M5 numunesinin basınç dayanım sonucu daha yüksektir. Fakat %10 çimento azaltılarak oluşturulan H-D10 ve H-M10 numunelerinin

basınç dayanım sonuçları sırasıyla 34,54 MPa – 32,84 MPa dır. Bu sonuçlara göz atarsak dolomit içeren H-D10 numunesinin basınç dayanımı daha yüksektir. Standartlarda da belirtildiği gibi çimento içerisindeki fazla MgO miktarı betonda olumsuz sonuçlar meydana getirmektedir.



Şekil 4.6. Harç numunelerinde basınç dayanımı

Şekil 4.6’da verilen 28 günlük basınç dayanım sonuçları 24,64 MPa ile 51,57 MPa aralığındadır. 7 günlük basınç dayanımlarıyla paralel olarak en yüksek değer referans numneye aittir. Katkılı numunler arasındaki en düşük dayanım ise %40 dolomit içeren H-D40 numunesinde tespit edilmiştir. Tüm dayanım testlerinde en düşük değer H-D40 numunesine ait olup bunun nedeni çimento miktarının en fazla bu karışımda azaltılmıştır. %10 oranında hem dolomit hem de MgO içeren H-D5M5 ve H-D10M10’nun 28 günlük basınç dayanım sonuçları ise sırasıyla 35,21 MPa – 30,34 MPa olarak hesaplanmıştır. H-D10M10 numunesine ait olan sonucu aynı miktarda çimento azaltılıp yerine %20 oranında dolomit eklenen H-D20’nin basınç dayanımı olan 29,87 MPa ile karşılaştırdığımızda; H-D10M10 numunesinin basınç dayanımının daha yüksek olduğunu tespit edilmektedir. Bunun nedeni, tüm katkılı numunlerin basınç dayanımları referans numuneden daha düşük olmasının nedeni olarak dolomit ve MgO’in hidratasyonu çimentonun hidratasyon tepkimesinden daha yavaş ilerlediği ön görülmektedir.

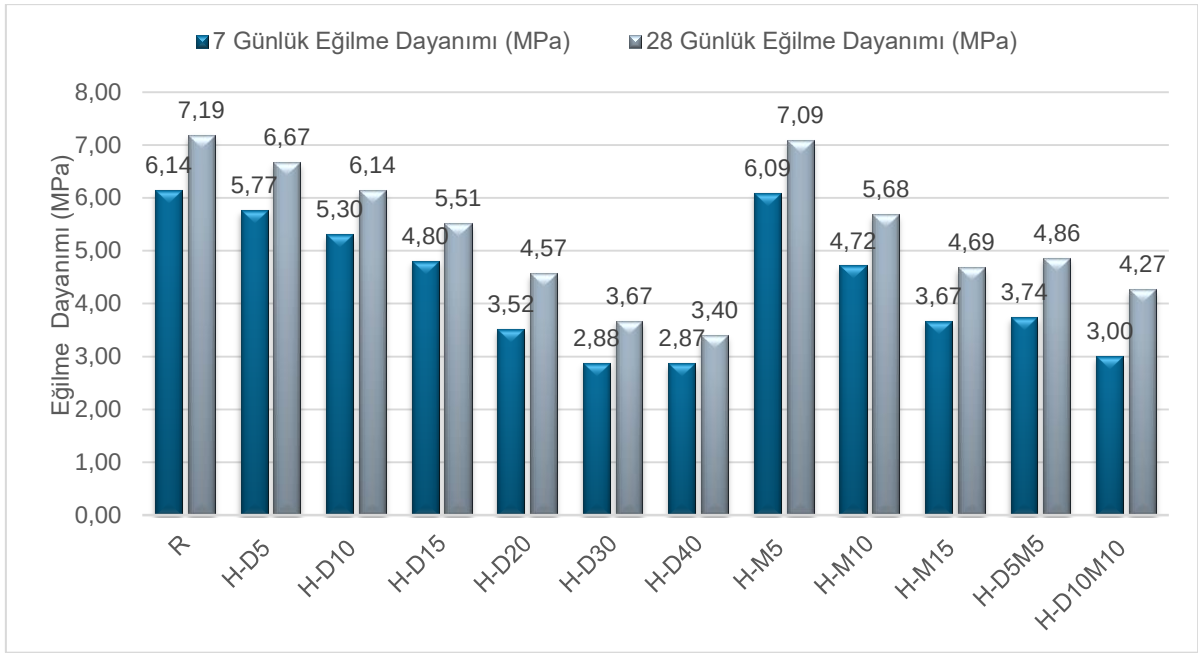
4.7. Harç Numunelerinde Eğilme Dayanımı

4x4x16 cm boyutlarında hazırlanan harç numunelerine 7 ve 28 günlük eğilme dayanım testi yapılmıştır. Standartlar kapsamında yapılan test sonuçlarına Çizelge 4.7’de bakıldığında hem 7 hem de 28 günlük en düşük değer 3,87 MPa – 3,4 MPa olan H-D40 numunesine, en yüksek değer ise 6,14 MPa – 7,19 MPa olan referans numunesine aittir. Tüm bu değerler aynı orandaki karışımların 3 farklı numunesine test yapıp ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Referans numune ihtivasında en fazla çimento içeren karışım olup bu sebeple eğilme dayanımı en yüksek karışımdır. Dolomit ve MgO katkılarının dayanımları ve bağlayıcılıkları çimentodan az olduğu için Şekil 4.7’de belirtildiği gibi eğilme dayanımları düşme eğilimindedir.

Çizelge 4.7. Harç numunelerinin eğilme dayanım değerleri

	7 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)	28 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)
R	6,14	7,19
H-D5	5,77	6,67
H-D10	5,30	6,14
H-D15	4,80	5,51
H-D20	3,52	4,57
H-D30	2,88	3,67
H-D40	2,87	3,40
H-M5	6,09	7,09
H-M10	4,72	5,68
H-M15	3,67	4,69
H-D5M5	3,74	4,86
H-D10M10	3,03	4,27

7 günlük eğilme dayanım sonuçlarına Çizelge 4.7’de göz atarsak H-D5M5’in eğilme dayanım değeri 3,74 MPa ve H-D20’nin eğilme dayanım değeri 3,52 MPa dır. İçerdikleri toplam MgO içerikleri karşılaştırılacak olursa H-D20 ile H-D5M5 karışımlarının MgO ihtivaları birbirine yakın değerdedir. Bu sonuçlar göz önüne alınarak MgO miktarı %5’i aştığında eğilme dayanımını olumsuz yönde etkilediğini ön görebilmekteyiz.



Şekil 4.7. Harç numunelerinde eğilme dayanımı

Şekil 4.7’de gösterilen 28 günlük eğilme deneyi sonuçlarına bakıldığında en düşük dayanım 3,4 MPa ve en yüksek dayanım 7,19 MPa dır. 7 günlük dayanım sonuçlarıyla paralellik gösteren 28 günlük dayanım sonuçları için de kullanılan katkı malzemeleri dayanım değerlerinde düşüşe neden olmuştur. Sırasıyla %5 oranında dolomit ve MgO eklenen H-D5 ve H-M5 numunelerinin sonuçlarını karşılaştırarak dolomit ve MgO’in dayanıma etkilerini inceleyebiliriz. H-D5 numunesinin eğilme dayanımı 6,67 MPa ve H-M5’in eğilme dayanımı 7,09 MPa dır. Bu sonuçlara bakılarak MgO eklenerek oluşturulan H-M5 numunesinin eğilme dayanımı daha yüksektir. Bunun nedeni ise MgO eklenen numune de hidrasyonun dolomit katkılı numuneye göre hızlı gerçekleşmesiyle ilişkilidir.

4.8. Harç Numunelerinde Boy Değişimi

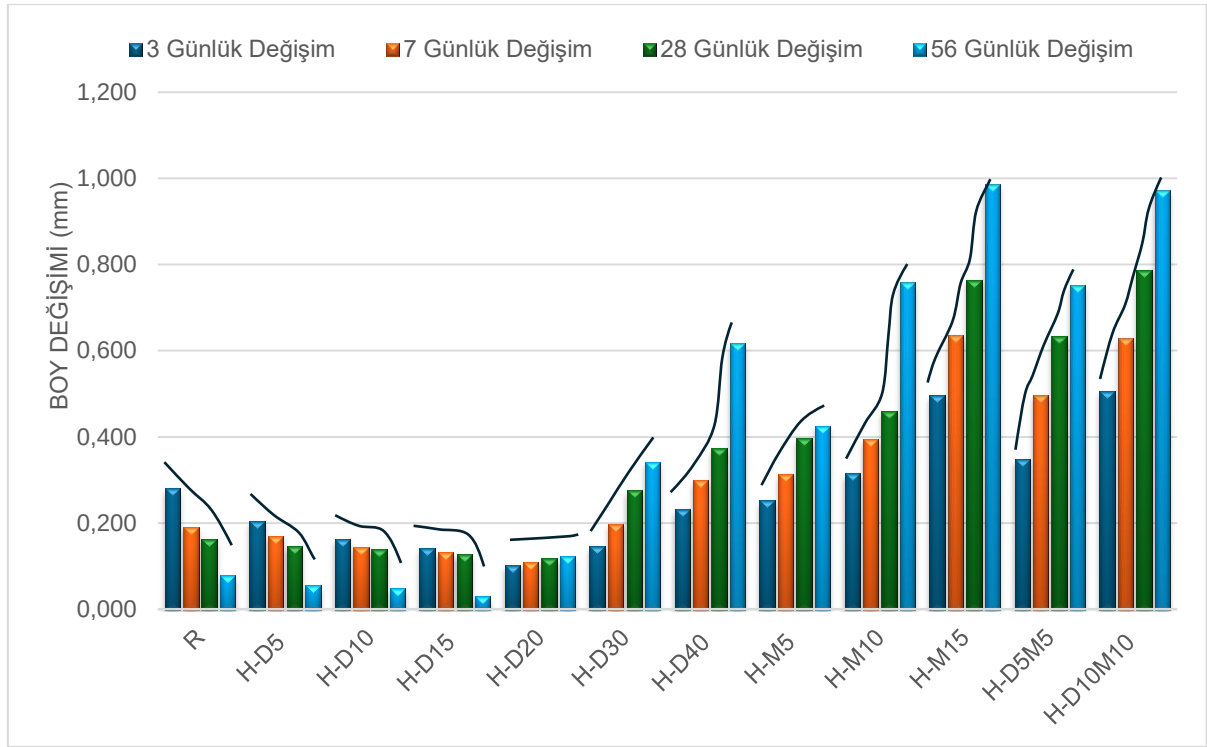
Standartlara göre hazırlanan 25x25x285 mm boyutlarındaki harç numunelerinin boy değişimleri 3, 7, 28 ve 56 günlerde ölçülerek Çizelge 4.8’de belirtilmiştir. Yapılan incelemeler için referans numuneyle beraber 6 farklı kompozisyonda sadece dolomit, 3 farklı kompozisyonda sadece MgO ve 2 farklı kompozisyonda hem dolomit hem MgO katkı malzemeleri eklenerek 12 farklı numune için 3’er adet numune oluşturulup ölçümlerin aritmetik ortalaması hesaplanarak not alınmıştır. Boy değişim değerleri hesaplanırken her karışım için hazırlanan 3’er adet numunenin ölçümleri kayıt altına alınarak bu üç numunenin en yüksek ve en düşük değerlerinin farkı alınmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Harç numunelerinin 3,7,28 ve 56 günlük boy değişimleri

	Boy Değişimi (mm)			
	3 Günlük Değişim	7 Günlük Değişim	28 Günlük Değişim	56 Günlük Değişim
R	0,281	0,189	0,162	0,079
H-D5	0,205	0,168	0,146	0,056
H-D10	0,163	0,144	0,139	0,049
H-D15	0,142	0,131	0,128	0,031
H-D20	0,102	0,109	0,118	0,123
H-D30	0,145	0,198	0,275	0,342
H-D40	0,232	0,298	0,373	0,618
H-M5	0,252	0,314	0,398	0,425
H-M10	0,315	0,394	0,459	0,758
H-M15	0,496	0,635	0,764	0,987
H-D5M5	0,348	0,497	0,634	0,752
H-D10M10	0,505	0,629	0,787	0,973

3 gün sonunda ölçülen değerler incelendiğinde en fazla boy değişimi ölçülen numune % 10 dolomit ve %10 MgO içeren H-D10M10, en az değişim gösteren numune ise H-D20 numunelerine aittir. Tezin ana konusu olan rötre miktarının azaltılması çerçevesinde eklenen katkı malzemeleri boy değişiminde pozitif bir etki göstermiştir (Şekil 4.8).

7 günlük değişim sonuçları incelendiğinde Dolomit içeren karışımların boy değişimleri 0,109 ile 0,635 mm arasında değişiklik göstermiştir. MgO içeren karışımların boy değişimleri 0,314 ile 0,635 mm arasında değişiklik göstermiştir. Hem dolomit hem MgO içeren H-D5M5 ve H-D10M10 numunelerinin boy değişimleri ise sırasıyla 0,497 ve 0,629 mm olarak ölçülmüştür. 28 ve 56 günlük değişimler de diğer ölçümlerle paralel olarak hesaplanmıştır. Tüm ölçümler incelendiğinde dolomit ve MgO katkılarının tüm numunelerde sürekli bir boy artışına sebep olduğu gözlemlenebilmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. 56. Harç numunelerinin 3,7,28 ve 56 günlük boy değişimleri

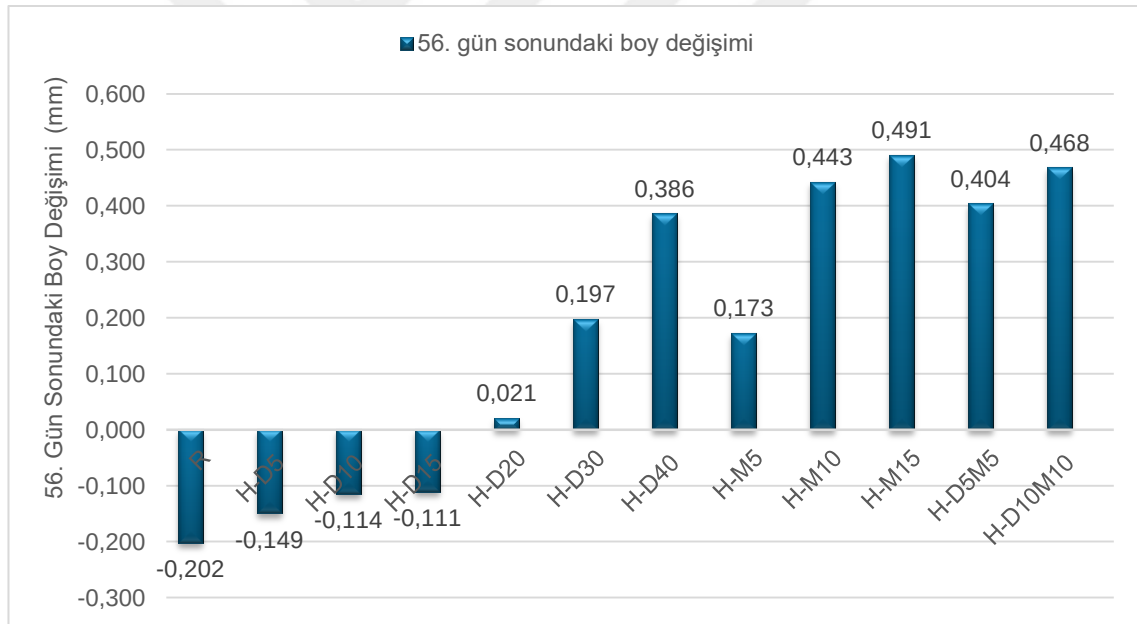
Tez konusu kapsamında incelenen 25x25x285 mm'lik numunelerin boy değişimleri incelendiğinde bizim için önemli olan dolomit ve MgO katkılarıyla genleşme ve büzülmenin sıfır olduğu noktayı incelemektir., Çizelge 4.9.'de 56 gün sonundaki boy değişimleri ilk ve son gün ölçümlerinin farkı hesaplanarak mm ve yüzdelik cinsinden belirtilmiştir.

Çizelge 4.9. Harç numunelerinin 56 gün sonundaki mm ve % cinsinden boy değişimleri

	56. gün sonundaki boy değişimi (mm)	56. gün sonundaki boy değişimi (%)
R	-0,202	-0,071
H-D5	-0,149	-0,052
H-D10	-0,114	-0,04
H-D15	-0,111	-0,039
H-D20	0,021	0,007
H-D30	0,197	0,069
H-D40	0,386	0,135
H-M5	0,173	0,061
H-M10	0,443	0,155
H-M15	0,491	0,172
H-D5M5	0,404	0,142
H-D10M10	0,468	0,164

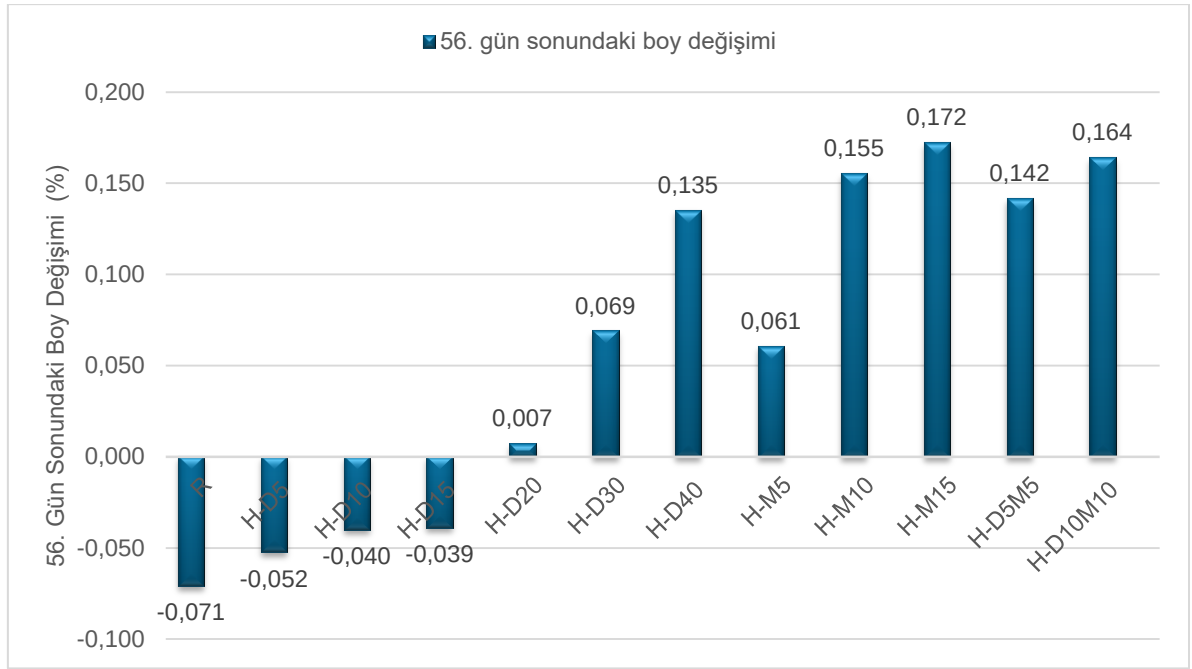
Harç numunelerinde gözlemlenen değerleri inceleyecek olursak meydana gelen büzülmeyi dolomit ve MgO katkılarıyla pozitif yönde bir genleşme sağlayarak boy değişimini 0 noktasına en yakın noktası bizim için en ideal katkı yüzdesi olarak tespit edilecektir. Sadece dolomit eklenen H-D5 – H-D10 – H-D15 – H-D20 – H-D30 ve H-D40 numunelerinin ilk ve son ölçüm farklarına bakıldığında negatif değerler numunelerdeki büzülmeyi göstermektedir. Dolomit katkısının artmasıyla MgO 'in harç içerisinde gerçekleştirdiği kimyasal reaksiyon sonucunda meydana gelen $Mg(OH)_2$ miktarı da artış göstermektedir. Buna bağlı olarak da boy değişiminde artış gözlemlenmektedir (Şekil 4.9).

Hem dolomit hem MgO katkılı numunelerin fark değerleri incelendiğinde boy değişiminin en iyi nötralize olduğu 0,021 mm boy değişimiyle dolomit katkısı %20 dolomit olan H-D20 numunesidir. Boy değişiminde sürekli bir artış gözlemlenmektedir fakat çalışma kapsamında incelediğimiz konu büzülme ve genleşme olayları sonunda ilk boya en yakın olan katkı yüzdesini tespit etmektir.



Şekil 4.9. 56. gün sonundaki boy değişimi (mm)

Referans numuneyle birlikte toplam 12 adet numuneye ait yüzdelik değişim değerleri % 0,071 ile % 0,172 aralığındadır (Şekil 4.10). H-D20 numunesine kadar numunelerde büzülme meydana gelmeye devam etmek fakat dolomit katkılarıyla bu büzülme miktarı azalmaktadır. H-D20 numunesinde ise bu değişim %0,007 oranıyla en nötralize edilmiş değer olarak gözlemlenmiştir. Daha sonraki en iyi değer ise %0,061 değeriyle %5 MgO içeren H-M5 numunesine aittir.



Şekil 4.10. 56. Gün sonundaki boy değişimi (%)

4.9. Beton Numunelerin Basınç Dayanımı

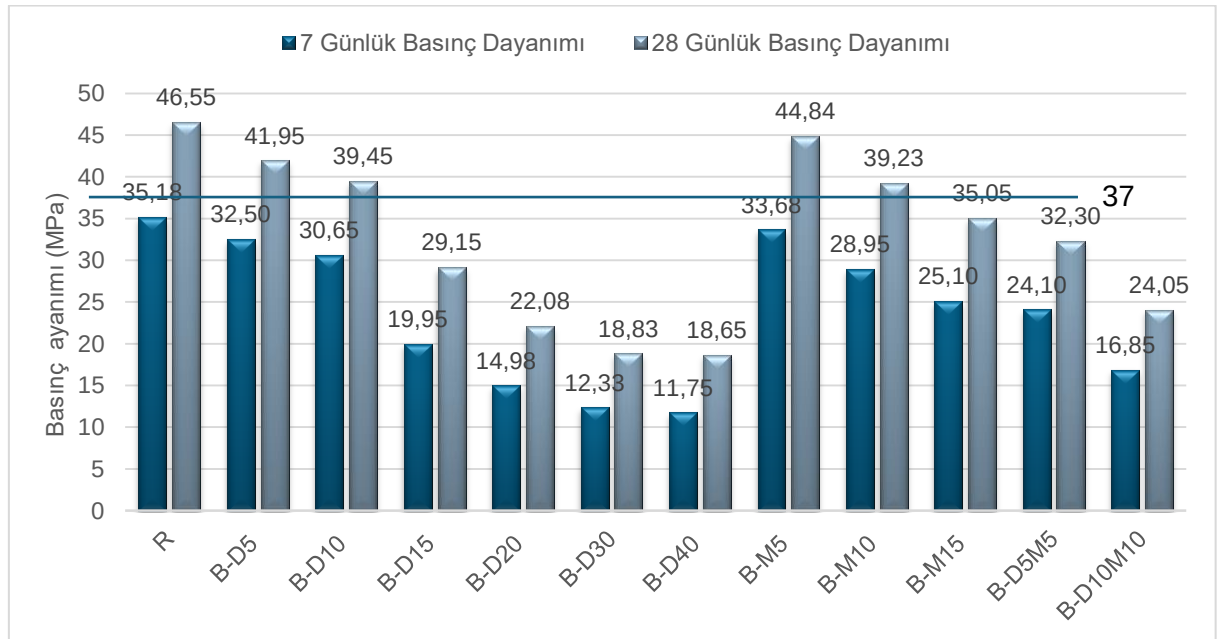
Karışımları daha önceden belirlenen ve standartlara uygun olarak üretilen referans ile toplam 12 çeşit 10x10x10 cm'lik küp numuneler üzerinde basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Beton numunelerine ait 7 ve 28 günlük basınç dayanım testlerinin sonuçları Çizelge 4.10'da MPa (N/mm²) cinsinden gösterilmiştir.

Çizelge 4.10'daki değerler her numuneden üçer adet üretilerek basınç testine tabi tutulup sonuçların ortalaması alınarak oluşturulmuştur. 7 günlük basınç dayanımı göz önüne alındığında en yüksek basınç dayanımı referans numuneye, en düşük basınç dayanımı ise B-D40 (% 40 Dolomit) numunesine aittir. Su ve agrega ağırlıkları sabit tutulup çimento miktarı azaltılarak dolomit ve MgO eklenen numuneler kıyaslandığında referans numuneye en yakın değer B-M5 (%5 MgO) numunesine aittir. Deney sonuçları incelendiğinde en yüksek basınç dayanımının referans numune çıkmasının sebebi çimento oranının en yüksek olduğu karışım olup çimento miktarı azalmasıyla orantılı olarak basınç dayanımları da azalmıştır. Ayrıca aynı oranda çimento azaltılıp yerine dolomit eklenen B-D5 ve MgO eklenen B-M5 numuneleri karşılaştırıldığında B-M5'in dayanımı daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.10. Beton numunelerinde basınç dayanım değerleri

	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
R	35,18	46,55
B-D5	32,50	41,95
B-D10	30,65	39,45
B-D15	21,95	29,15
B-D20	16,98	22,08
B-D30	14,33	18,83
B-D40	12,75	18,65
B-M5	33,68	44,84
B-M10	26,95	39,23
B-M15	25,10	35,05
B-D5M5	24,10	32,30
B-D10M10	16,85	24,05

Şekil 4.11’de belirtilen 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde en yüksek değer referans numunesindedir. Sadece dolomit eklenerek oluşturulan numuneler arasında en fazla dayanım 41,95 MPa ve en az dayanım 18,65 MPa dır. Sadece MgO eklenerek oluşturulan numuneler arasında en fazla dayanım 44,84 MPa ve en az dayanım 35,05 MPa dır. Dolomit ve MgO eklenerek oluşturulan numuneler arasında çimento miktarı fazla olan B-D5M5 numunesinin dayanımı B-D10M10 numunesinden daha yüksektir.

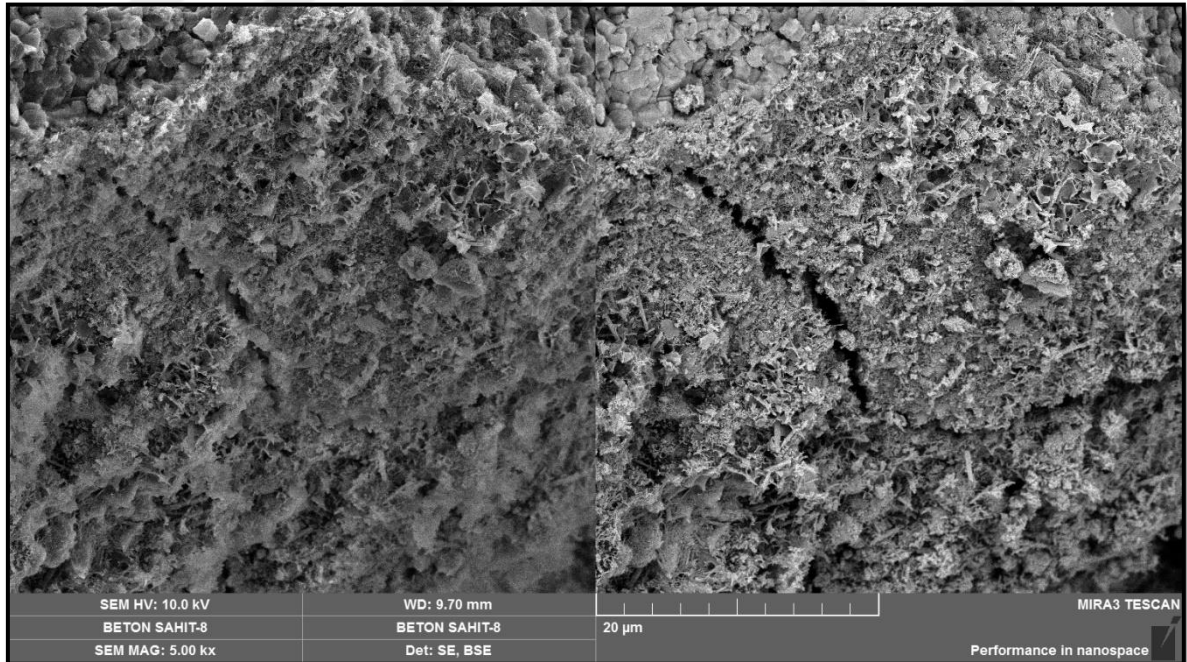


Şekil 4.11. Beton numunelerinde basınç dayanımı

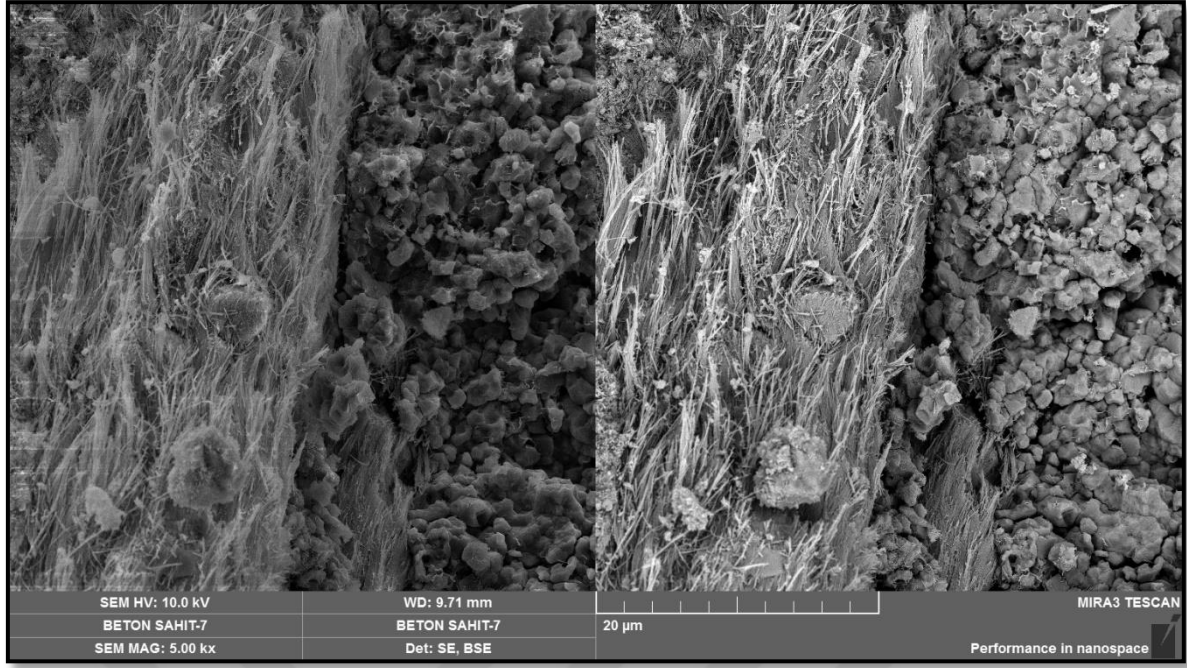
Referans numuneyle beraber toplam 12 farklı numunelerin basınç dayanımlarına bakıldığında katkılı olan tüm numune dayanımlarının referans numuneden daha düşük bir basınç dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir. MgO katkısı %5 oranında eklendiğinde dayanıma etkisi %5 dolomit katkısından daha yüksek olduğu test sonuçlarıyla belirlenmiştir. MgO katkısının %5'in üzerine çıkması dayanımı negatif yönde etkilediği görülmüştür. Aynı oranda çimento azaltılıp yerine dolomit eklenerek oluşturulan B-D10 ve MgO eklenerek oluşturulan B-M10 numunelerinin sonuçları karşılaştırıldığında dolomit içeren karışımın dayanım değeri daha yüksek çıkmıştır. Numuneler üzerinde yapılan basınç dayanım testi sonuçlarına bakıldığında numuneler hazırlanırken ön görülen dolomit ve MgO katkılarının su emmesi sonucu çimento reaksiyonlarını azalttığı gözlemlenmiştir.

4.10. Harç Numunelerinde mikro yapı (SEM)

Çalışma kapsamında 28 gün bekletilen örneklerin sem görüntüsü incelenmiş olup referans numuneyle ait sem görüntüsü başta olmak üzere, çalışmada mekanik ve fiziksel testlerde sonuçları dikkat çeken H-D20 numuneyle ait sem görüntüsü, H-M5 numuneyle ait sem görüntüsü, H-M15 numuneyle ait sem görüntüsü ve H-D10M10 numuneyle ait sem görüntüsü incelenmiştir.



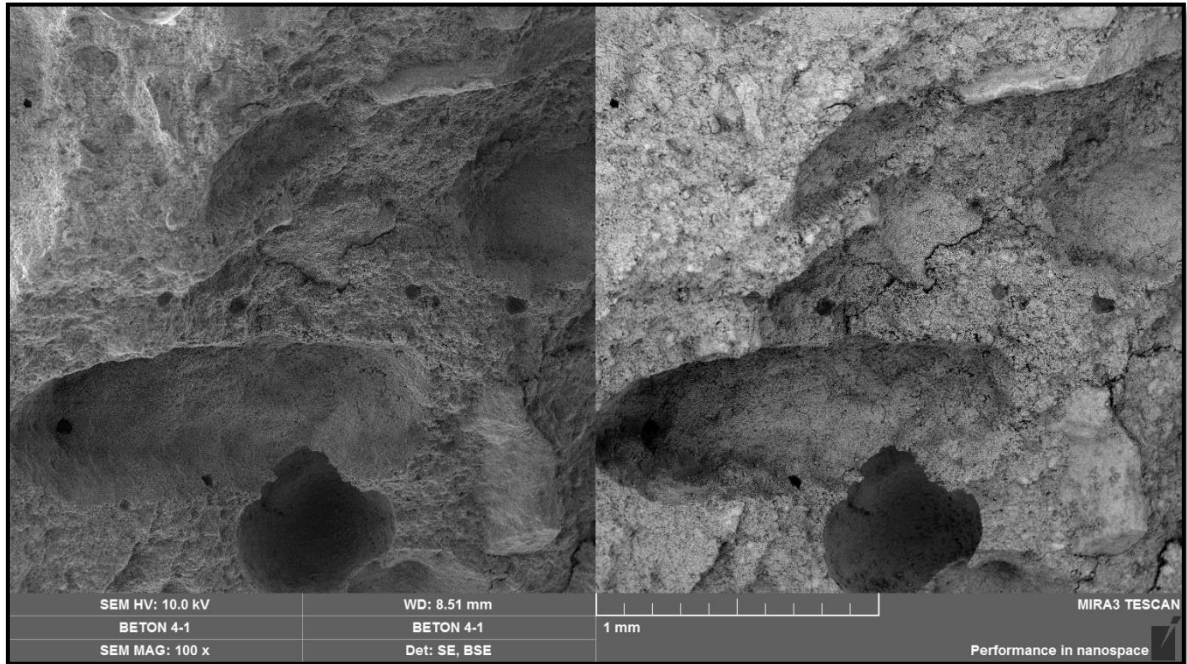
Şekil 4.12. Referans numuneyle ait sem görüntüsü



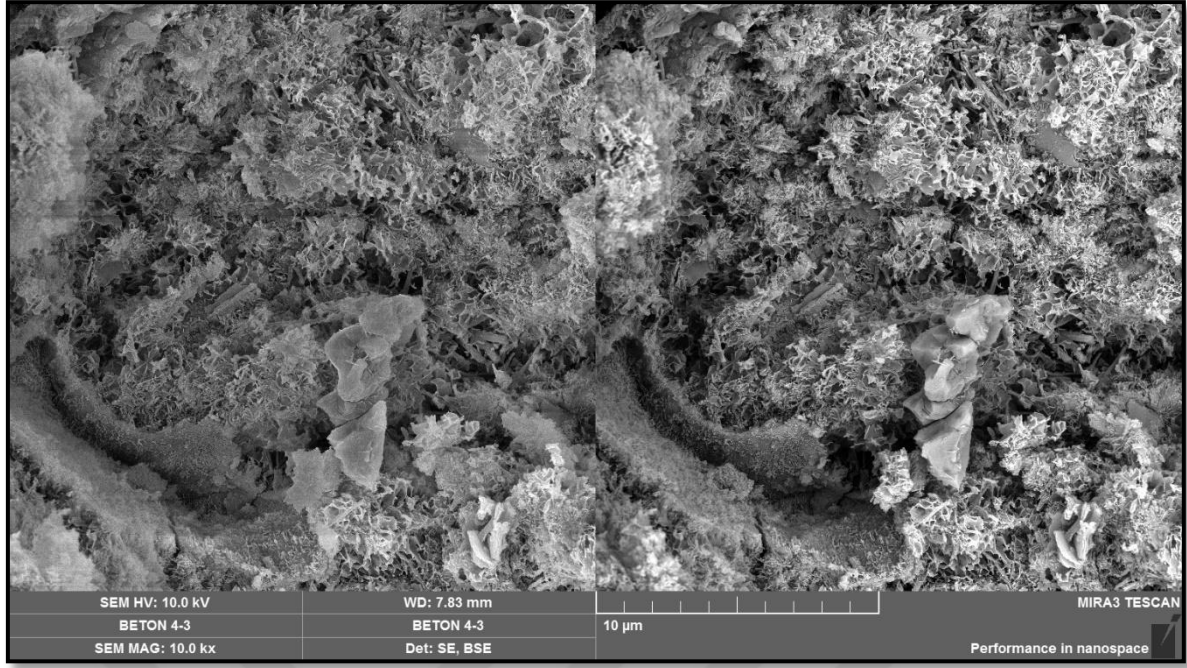
Şekil 4.13. Referans numuneye ait sem görüntüsü

Şekil 4.12’de görülen referans numunesine ait örnekte görüldüğü üzere sem görüntüsün incelendiğinde; çatlakların olduğu görülmektedir.

Referans numunesinin Şekil 4.12 ve 4.13’deki sem görüntüleri incelendiğinde; boşluklar ve yakın çekim sem görüntülerinde çatlak ve öbeklerin arasında çok ince iğnemi yapıya sahip etrenjit oluşumları ve CSH jelleri gözlenmektedir.



Şekil 4.14. H-D20 numuneye ait sem görüntüsü

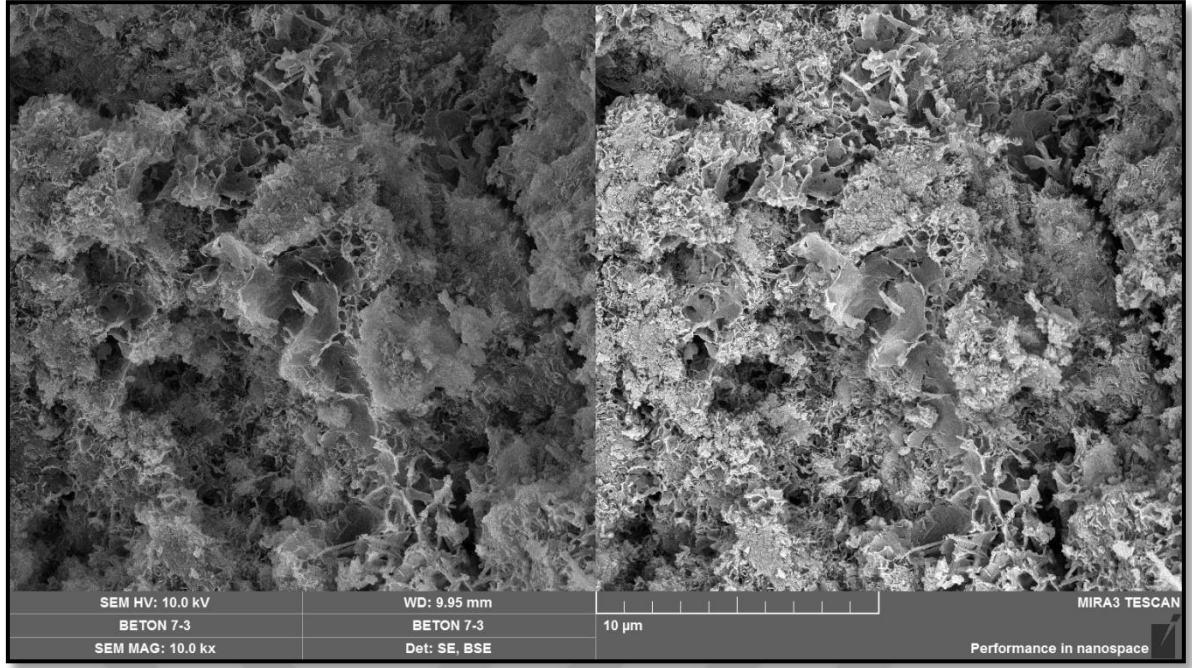


Şekil 4.15. H-D20 numuneye ait sem görüntüsü

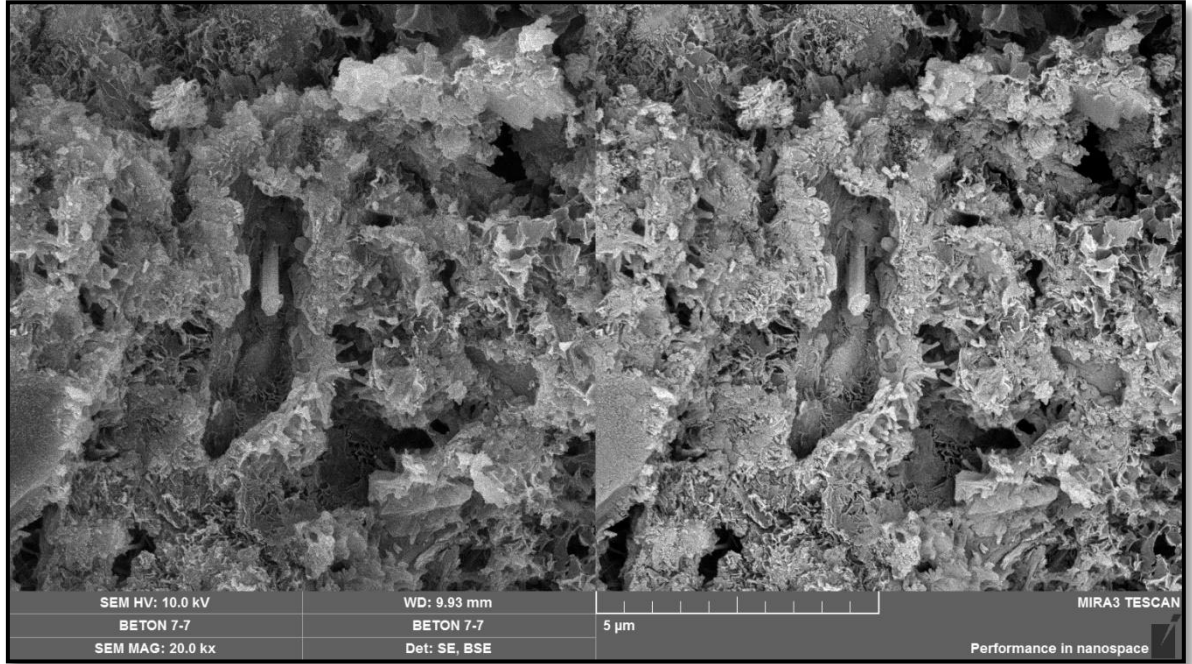
Referans numunesi kıyaslandığında Şekil 4.14'te yer alan sem görüntüsü incelendiğinde örnek genelinde neredeyse yok denecek kadar az çatlak olduğu gözlenmiş olup yer yer ara yüzey boşluklarına rastlanmıştır.

Şekil 4.15'de görülen H-D20 numunesine ait örnekte görüldüğü üzere sem görüntüsü incelendiğinde; bütün matris yüzeyi boyunca CSH jellerine rastlandığı, yoğunluğunun öbek şeklinde olduğu görülen bu CSH jelleri aralarında dayanımı artırdığı bilinen Portlandite olduğu düşünülen yapılar görülmüştür.

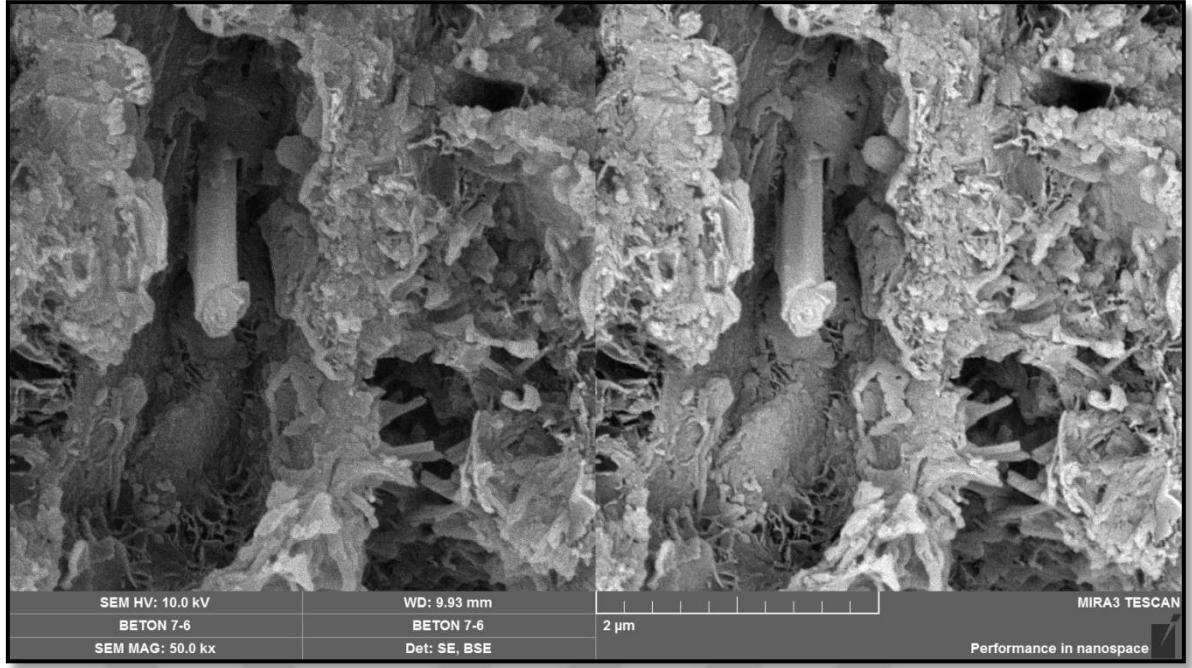
Şekil 4.14'de ve Şekil 4.15'te görüldüğü üzere örneklerin bileşiminde yer alan dolomitin bileşimindeki katkısının mikro yapıya olumlu etkileri olduğu sem görüntülerinde görülmektedir.



Şekil 4.16. H-M5 numuneye ait sem görüntüsü



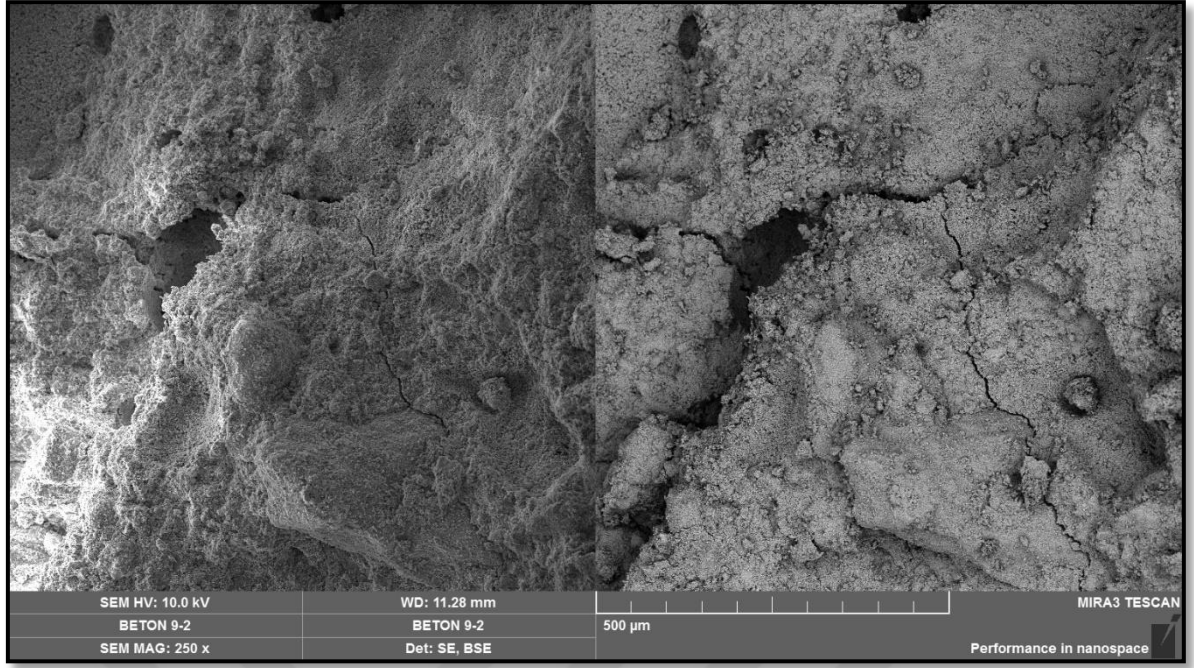
Şekil 4.17. H-M5 numuneye ait sem görüntüsü



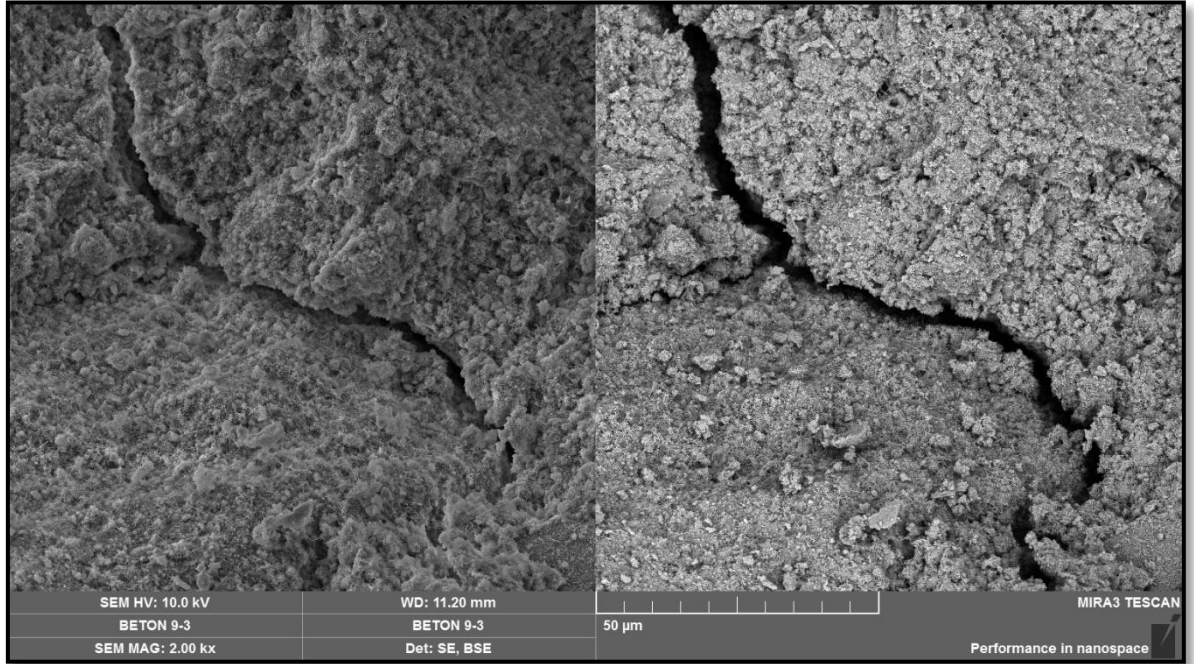
Şekil 4.18. H-M5 numuneye ait sem görüntüsü

Şekil 4.16’te, Şekil 4.17’da ve Şekil 4.18’de görüldüğü üzere H-M5 numunesine ait örnekte sem görüntüsü incelendiğinde; bütün matris yüzeyi boyunca kümelenmiş biçimde yer alan CSH jelleri görülmektedir. Oldukça net biçimde CSH jelleri arasında dayanımı pozitif katkı verdiği bilinen Portlandite görülmüştür.

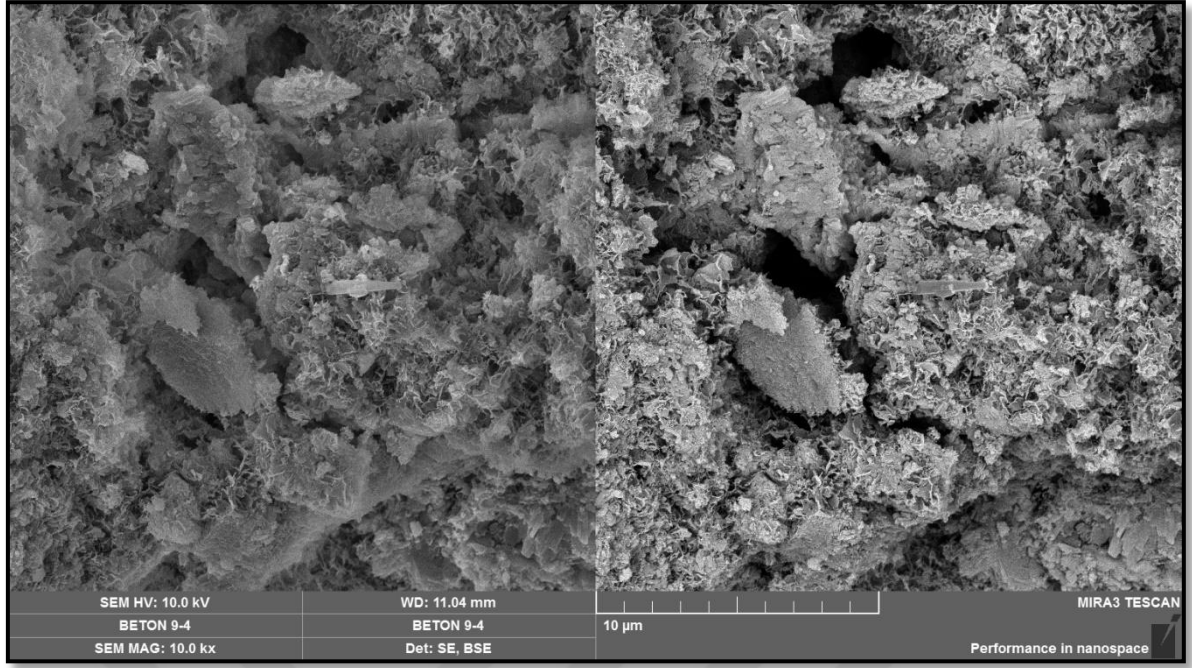
Referans numuneden sonra en yüksek eğilme ve basma dayanımı sahip örneğin H-M5 olduğu kanıtlar nitelikte bolca CSH jelleri ve Portlandite görülmüştür.



Şekil 4.19. H-M15 numuneye ait sem görüntüsü



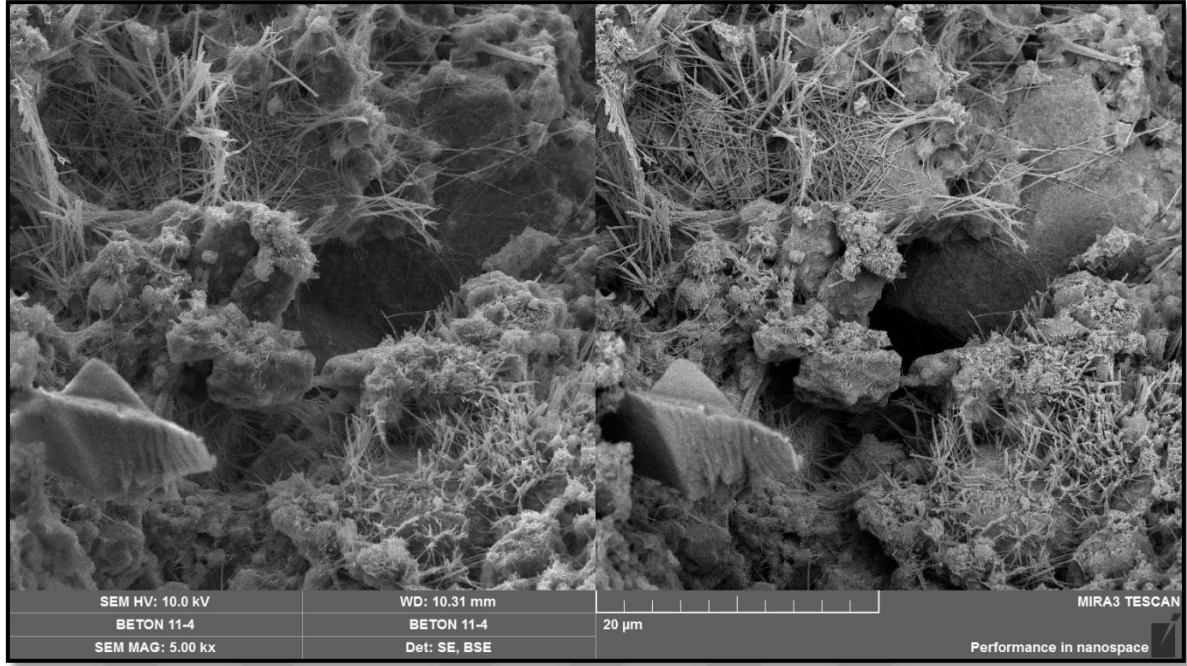
Şekil 4.20. H-M15 numuneye ait sem görüntüsü



Şekil 4.21. H-M15 numuneye ait sem görüntüsü

Şekil 4.19’de ve Şekil 4.20’de görüldüğü üzere H-M15 numunesine ait örnekte sem görüntüsü incelendiğinde; bütün yüzey boyunca geniş aralığa sahip biçimde çatlakların olduğu gözlenmektedir.

Şekil 4.21’de, görüldüğü üzere H-M15 numunesine ait örnekte sem görüntüsü incelendiğinde; bütün matris yüzeyinde CSH jelleri görülmektedir. Oldukça net biçimde CSH jelleri arasında ve kenar kısımlarında iğnemsî yapıya sahip olan etrenjit kristallerinin görülmektedir.



Şekil 4.22. H-D10M10 numuneye ait sem görüntüsü

Şekil 4.22’de, görüldüğü üzere H-D10M10 numunesine ait örnekte sem görüntüsü incelendiğinde; bütün matris yüzeyinde iğnemsı yapıda olan etrenjit, CSH jelleri ve Portlandit minerali görülmektedir.

H-D10M10 numunesine Sem taramasında sülfattan kaynaklı meydana gelen ve olumsuz etkisi olduğu bilinen ayrışma ve iplik şeklindeki diğer bir ifadeyle yün yumağı şeklinde etrenjit oluşumu gözlenmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması ile elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- (1) Katkısız ve katkılı beton karışımlarıyla yapılan slump hunisi ölçümlerinde katkı malzemeleriyle orantılı olarak slump değerleri de artış göstermektedir. Karışım oranları hesaplanırken çimentoda azaltılarak katkı malzemeleri eklendiği için betonda bağlayıcılığı sağlayan malzeme azaldıkça slump değeri de artmaktadır.
- (2) Çimento karışımlarıyla gerçekleştirilen priz sürelerinin başlangıç ve bitiş sürelerinin tayiniyle ilgili sonuçlarda en düşük priz başlangıç süresi 144 dakika ile referans numunede ölçülmüştür. Çimento miktarı azaltılıp yerine eklenen katkı malzemeleriyle bu değerler orantı şeklinde artış göstermiştir. En yüksek priz bitiş süresi ise 426 dakika ile H-M15 numunesi vermiştir.
- (3) Beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanım test sonuçları katkısız referans numune, dolomit katkılı, MgO ve hem dolomit hem MgO katkılı örnekler değerlendirildiğinde en yüksek değer referans numuneye aittir. Oluşturulan numunelerde çimento miktarının azalmasına bağlı olarak basınç değerlerinde de düşüş gözlemlenmiştir.
- (4) Su emme miktarları hesaplandığında hem ağırlıkça hem hacimce su emme en yüksek H-D40 numunesinde ölçülmüştür. Eklenen katkı malzemeleriyle su emme oranı orantılı şekilde arttığı tespit edilmiştir. Dolomit yapısı nedeniyle su emmesi fazla olan bir malzemedir, bu yüzden dolomit miktarı arttıkça su emme yüzdesinde de artış gözlemlenmiştir.
- (5) Birim hacim ağırlık sonuçları düşük birim hacim ağırlığı harç karışımı içindeki boşluğun artması ve dayanımın düşmesini ön görülmesini sağlamaktadır. En yüksek kuru ve doymuş birim hacim ağırlığı referans numunede ölçülmektedir. Hem kuru hem de doymuş birim hacim ağırlığının en düşüğü H-D40 numunesinde hesaplanmıştır.
- (6) Harç numuneleriyle gerçekleştirilen eğilme dayanım sonuçlarına bakılacak olursa hem 7 hem de 28 günlük eğilme dayanımlarında çimento miktarının azalmasına bağlı olarak düşüş olduğu gözlemlenmektedir. 28 günlük eğilme dayanımı en yüksek 7,19 Mpa ile referans numuneye en düşük 3,40 Mpa ile H-D40 numunesinde olduğu not altına alınmıştır.
- (7) Dolomit içeren H-D5, H-D10, H-D15, H-D20, H-D30, H-D40 numunelerde basınç dayanımı eklenen katkı malzemeleriyle ters bir ilişki sergilemekte olup ölçülen değerler

çimento miktarı azaldıkça azalmaktadır. Aynı durum eklenen diğer katkı malzemeleri içinde aynı şekilde seyretmiştir. Hem 7 gün hem 28 günlük basınç değerlerine bakıldığında en yüksek dayanım R referans numunesine ait olup en düşük değer ise çimento miktarı en az olan H-D40 numunesine aittir. Söz konusu olan bu dayanım düşüşü çimento ile eklenen dolomit ve MgO katkılarının aynı dayanımı sağlamaması olarak açıklanabilir.

(8) Tezin ana amacı dahilinde referans numunede gözlemlenen büzülme miktarının eklenen dolomit ve MgO katkılarıyla iyileştirildiği ölçüm sonuçlarıyla tespit edilmiştir. Referans dahil toplam on iki numuneyle gerçekleştirilen ölçümlerde her karışım için 3'er adet numune oluşturulmuş ve bunların en yüksek ile en düşük ölçümlerinin farkı alınarak boy değişimleri hesaplanmıştır. 3,7,28 ve 56 günlük olarak not altına alınan ölçümlere göz atıldığında eklenen katkılar numuneler de boy artışına neden olmuştur. Tez kapsamında araştırdığımız husus 56 gün sonunda boy değişiminin 0 (nötr) noktasına en yakın olduğu katkı malzemesi aralığını tespit etmektir.

İlk ve son ölçüm değerlerinin farkları mm cinsinden hesaplandığında - 0,202 ile 0,491 mm aralığında değiştiğini görmekteyiz. Negatif olan değerler gerçekleşen büzülme miktarını telafi edene kadar devam etmiş ve boy değişimi büzülmeden genleşmeye geçtiği yerde pozitif değerlere geçiş olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerler göz önüne alınarak ilk boyutuna en yakın değer 0,021 mm ile %20 dolomit içeren H-D20 numunesine aittir. Yüzdelik olarak bakıldığında da H-D20 numunesinden sonra fark en az olan numune % 0,061 değeriyle H-M5 numunesinde ölçülmüştür. Eklenen dolomit ve MgO katkılarının harç karışımı içerisinde gerçekleştirdikleri kimyasal reaksiyon sonucunda oluşan $Mg(OH)_2$ eldesi sayesinde genleşme eyleminin gerçekleştiği bu konuyla ilgili bir açıklama olarak gösterilebilir.

(9) Sem görüntülerinde mekanik testleri doğrular nitelikte en az çatlağın olduğu, dolomit içerisinde yer alan MgO katkılarının pozitif etkisin gözlemlendiği, diğer bir ifadeyle genleşme ve büzülenin nötralize olduğu görülen H-D20 örneğidir.

Sem görüntülerinde referans numune yer alan çatlaklar Dolomit kullanımı ve Saf MgO katkılarının sayesinde azaltıldığı görülmüştür.

(10) Harç numunelerinde sıcaklığın etkisini görmek amacıyla 50°C, 100°C, 200°C ve 400°C sıcaklıklara maruz bırakılan örnekler incelendiğinde, dolomit içerinden gelen MgO ve saf MgO katkıları düşünüldüğünde beton içerisinde genel olarak MgO kullanımının standartlarda yer alan sınır değerleri aşmadığı süreci 50°C ve 100°C sıcaklıklara maruz

bırakıldıklarında boy değişimi ve mekanik değerlerinde pozitif sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. Ancak 200°C ve 400°C sıcaklıklara maruz bırakılan örneklerde yapılan araştırmalarda MgO kullanımının negatif yönde değerleri etkilediği gözlenmiştir.

Beton içerisinde yer alan MgO içeriğine sıcaklığın etkisi bu tez çalışmasının ana konusu olmadığından geniş kapsamlı bir biçimde konu ele alınmamıştır. Fakat beton içerisine katkı olarak konulan dolomitin içerisinde yer alan MgO içeriği ve saf MgO içeriği düşünüldüğünde, konu ile ilgilenen bilim insanların dikkate alması gereken oldukça önemli bir çalışma konusu olduğunu düşünüyorum.

(11) Çalışma kapsamında ön görülen hacimsel değişim dolomit ve MgO katkılı numunelerin hacim genişmesi deney sonuçlarının artmasıyla doğrulanmıştır. Bu bağlamda, malzeme ihtivasındaki CaO ve MgO ile gerçekleştirdiği hidrasyon tepkimesinin eldesi olan Ca(OH)_2 ve Mg(OH)_2 genişmeye yol açtığı söylenebilir.

Bu tez çalışmasında çimento inceliğinde kullanılan dolomit kayacının çimento malzemesiyle birlikte hacimsel bir genişme meydana getirdiği deney sonuçlarıyla gözlemlenmiştir. Dolomit kayacının içerisindeki MgO içeriği göz önüne alarak sadece MgO katkılı numunelerde genişmenin daha fazla olduğu görülmüştür. Yapılan basınç ve eğilme deneyleriyle de dolomit ve MgO katkılarının çimento malzemesi yerine kullanıldığında beton dayanımına çok fazla katkı sağlamadığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- ACI 209.1R-05, 2005. Report on factors affecting shrinkage and creep of hardened concrete, Farmington Hills, USA.
- ACI Committee 209-Creep and Shrinkage. 2005. Report on factors affecting shrinkage and creep of hardened concrete. American Concrete Institute.
- Alptuna G., 2009. Dolomit Kökenli Agregaların Alkali-Karbonat Reaktivitesinin Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı.
- Anonim 1. <https://www.insaattedarik.com.tr/makale/beton-ile-ilgili-yanlis-bilinenler/>
- Anonim 2. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/veritabanlari>
- Anonim 3. <https://geology.com/minerals/dolomite.shtml>
- Arbili, M.M.A., 2014. Numerical modeling and experimental evaluation of shrinkage of concretes incorporating fly ash and silica fume. Master's Thesis. Hasan Kalyoncu Üniversitesi Lisans Üstü Enstitüsü.
- Barbhuiya S., 2011. Effects of fly ash and dolomite powder on the properties of self-compacting concrete, School of Engineering, University of the West of Scotland, PA1 2BE, United Kingdom.
- Bilal, C., 2013. Kütle elemanlarda erken yaş çatlak riskinin belirlenmesi ve uygulama ile karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Blanks Ve Ark., 1940. Blanks, R. F.; Vidal, E. N.; Price, W. H.; And Russell, F. M., 1940, "The Properties Of Concrete Mixtures," ACI JOURNAL, Proceedings V. 36, Apr., Pp. 433-476.
- Chandra, S., 1997. Special report, 10th international congress on the chemistry of cement. Cement and Concrete Research, 27 (10), 1613-1617.
- Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 2001. Sekizinci beş yıllık kalkınma planı, madencilik özel ihtisas komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Yapı Malzemeleri II Çalışma Grubu Raporu, DPT: 2616-ÖİK:627, 191s., Ankara.
- DPT, 2008. Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007/2013), Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler Özel İhtisas Komisyonu Raporu Cilt 1 DPT: 2773-ÖİK: 703, Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton, Ders Kitabı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yay. ve İletişim AŞ Yay 2., s 579-611, Ankara.
- Ersoy, U., 1987. Betonarme İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Evrim Basımevi, İstanbul.
- Gao, P., Lu, X., Geng, F., Li, X., Hou, J., Lin, H., Shi, N. 2007b. Production of MgO-Type Expansive Agent in Dam Concrete by Use of Industrial by-Products. Science Direct. Building and Environment.

- Gao, P., Lu, X., Jin, S., Zhang, H., Guo, C. 2007a. Using a New Composite Expansive Material to Decrease Deformation and Fracture of Concrete. Science Direct. Materials Letters.
- Gong, Z., 2006. Cracking Studies of High-Performance concrete for Bridge Decks, PhD Thesis, West Virginia University, Morgantown.
- Gu L., Qin X. and Feng J. (2023), Experimental Studies on The Volume Stability of MgO Expansion Agent in Concrete.
- Harben, 1995. Industrial Minerals Handybook. 2nd Edition, Industrial Minerals Information Ltd., London, pp.36-43.
- İlhan M., 2018. Kuruma Büzülme Engelleyici Katkı Ve Lif Kullanımının Çimentolu Sistemlerin Taze Hal, Mekanik Ve Bazı Durabilite Özelliklerine Etkisi, Uludağ Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- Jennings, M., 1988. Concrete surgery broadens its horizons. Civil Engineering, 11, 43-46.
- Jincheng Y., Qian J., Wang F., Qin J., Dai X. You C., Jia X., 2020. Study of using dolomite ores as raw materials to produce magnesium phosphate cement.
- Kadioğlu, T., 2006. Rötire azaltıcı katkı maddeleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Kaky A.T., 2017. Determination Of The Drying Shrinkage And Compressive Strength Of Concrete By Using Nano-Silica, M.Sc. Thesis İn Civil Engineering University Of Gaziantep.
- Krumbein, W.C., & Sloss, L.L., 1963. Stratigraphy and sedimentation. In: (2nd ed.), W.H. Freeman and Co., San Francisco.
- Krumbein, W. C., & Sloss, L. L., 1951. Stratigraphy and sedimentation. San Francisco.
- Kurt, C.H. 2010. Dolomit Cevherinin Kalsinasyon Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı. Adana.
- Li S., Mo L., Deng M., Cheng S., (2021) Mitigation on The Autogenous Shrinkage of Ultra-high Performance Concrete via Using MgO expansive Agent, China.
- Linnaeus, C., 1768. Systema naturae per regnum tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species cum characteribus & differentiis. Tomus III. Laurentii Salvii, Holmiae.
- Liwu M., Deng M., Tang M., Al-Tabbaa A., 2014. MgO expansive cement and concrete in China: Past, present and future.
- Lura, P., Mazzotta, G. B., Rajabipour, F., & Weiss, J., 2006. Evaporation, settlement, temperature evolution, and development of plastic shrinkage cracks in mortars with shrinkage-reducing admixtures. In Int. RILEM-JCI Seminar on Concrete Durability and Service Life Planning.

- Machel, Hans-G., Mountjoy, Eric, W., Mayıs 1986. Dolomitleşmenin kimyası ve ortamları - Bir yeniden değerlendirme. *Earth-Science Reviews*, 23 (3): 175–222.
- Mardani-Aghabaglou, A., Yüksel, C., Hosseinneshad, H., Ramyar, K., 2016. Performance of steel micro fiber reinforced mortar mixtures containing plain, binary and ternary cementitious systems. *Journal of Green Building*, 11(4), 109-130.
- Meyer, L. M., & Perenchio, W. F., 1979. Theory of concrete slump loss as related to the use of chemical admixtures. *Concrete International*, 1(1).
- Neville, A. M., 2000. *Propriétés des bétons*. Paris, Éditions Eyrolles, pp. 804.
- Neville, A., 1998. *Properties of concrete*. Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Newman, J., Choo, B., 2003. *Advanced Concrete Technology Concrete Properties*, Elsevier Ltd, book.
- Nishikawa, A., 1984. *Technology of monolithic refractories*, Plibrico Japan Co. Ltd., January.
- Özkül, H., Taşdemir, M.A, Tokyar, M., Uyan, M., 1999. *Her Yönüyle Beton*, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- Polat, R., 2013. Genleştirilmiş perlit agregası, nano ve mikro boyutta cao ve mgo ve kil'in yüksek mukavemetli betonların otojen rötreleri üzerindeki etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü, Atatürk Üniversitesi. Erzurum.
- Powers, T. C., & Brownyard, T. L. 1946. Studies of the physical properties of hardened Portland cement paste. In *Journal Proceedings*, 43 (9).
- Qin R., Hao H., Rousakis T., Lau D., 2018. Effect of shrinkage reducing admixture on the new-to-old concrete interface.
- Rhodes, J. A., Carreira, D. J., Bazant, Z. P., Beaudoin, J. I., Branson, D. E., Gamble, B. R., ... & Hard, M. A., 1982. Prediction of creep, shrinkage, and temperature effects in concrete structures: Reported by ACI committee 209. In 1978 Adrian Pauw Symposium on Designing for Creep and Shrinkage at the 1978 ACI Fall Convention (pp. 193-300). American Concrete Institute.
- Rixom, M.R. ve Mailvaganam, N.P, 1986. *Chemical Admixtures for Concrete*, E&FN, Londra.
- Samman, T. A., Mirza, W. H., & Wafa, F. F., 1996. Plastic shrinkage cracking of normal and high-strength concrete: a comparative study. *Materials Journal*, 93(1), 36-40.
- Saussure le fils, M. De, 1792. *Analyse de la dolomie*. *Journal de Physique*, 40, 161-173.
- Tazawa, E., 1999. *Autogenous shrinkage of concrete*. London, E. & FN Spon, Book.
- Tekin, E., 2017. Kendiliğinden yerleşen betonlarda rötre azaltıcı katkı maddesinin dayanım ve dayanıklılığa etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kırıkkale.

- Temiz,H, Kantarcı,F ve İnceer,M.E., 2015. Influence of blast-furnace slag on behaviour of dolomite used as a raw material of MgO-type expansive agent. Construction and Buildings Materials.
- TS 706 EN 12620. 2009. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802. 2009. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-2. 2002. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3. 2003.Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196 -1. 2009. Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-3+A1. 2010. Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 3: Priz Süreleri ve Genleşme Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkmenoğlu M., Yapıcı N., Anıl M., Kılıç Ö., 2017. Farklı Kalsinasyon Sıcaklıklarında Elde Edilen Kostik Kalsine Manyezitlerin Yüzey Alanlarının ve Porozitelerinin Belirlenmesi,Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi , Adana.
- Uyan, M., 1977. Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Üşenmez, Ş. Ve Ünsal,N., 1986. Dolomitleşme Ve Kireçtaşlarının Diyajenizi, Gazi Üniv.
- Yatağan, S., 2010. Beton ve harçlarda agrega dane boyutunun rötre ve durabilitiye etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Yıldırım, M., Yılmaz, I. 2002. Yıldız Irmağı Çökellerinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliklerinin İncelenmesi. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri, Sivas. Cilt: 19, Sayı: 2.
- Zhang J., 2022. Recent Advance og MgO ExpansiveAgent in Cement and Concrete,China.
- Zongjin, L., 2011. Advanced concrete technology. Hoboken, John Wiley and Sons, Inc, pp 164-248.