

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TÜNELLERDE KULLANILAN PÜSKÜRTME BETON KALİTESİNİ
ETKİLEYEN AGREGA ÖZELLİKLERİ**

ERCAN GÜNGÖREN

KOCAELİ 2021

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TÜNELLERDE KULLANILAN PÜSKÜRTME BETON KALİTESİNİ
ETKİLEYEN AGREGA ÖZELLİKLERİ**

ERCAN GÜNGÖREN

Dr. Öğr. Üyesi Özkan CORUK
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet KARAKAŞ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Erkan BOZKURTOĞLU
Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 01.02.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmasında, ülkemizde hızlı trenler kullanımı için, güvenli ve hızlı olması sebebiyle tercih edilen hızlı tren alt yapı işleri yapım esnasında uygulanan püskürtme betondaki agrega özellikleri incelenmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmam süresince değerli katkılarıyla beni yönlendiren, tez konusunu belirlememde ve her türlü bilgisine başvurduğum tez danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Özkan Coruk hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme komitesinde yer alan tezimi savunmamı ilgiyle dinleyen ve eksiklerimi kapatmam için yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Ahmet Karakaş'a ve Dr. Öğretim Üyesi Erkan Bozkurtoğlu'na teşekkürlerimi iletirim.

Tez konusunu seçme konusunda yardımını esirgemeyen TCDD Yapım Dairesi 2. Grup Müdürlüğündeki kontrol mühendisi Evren Poşluk'a teşekkürlerimi sunarım. Akademik çalışmalarım boyunca ilgi, bilgi ve destekleriyle yardımcı olan Master Builders Solutions Yapı Kimyasalları bünyesinde çalışan İnşaat Mühendisi Mert Cısdık'a, Polyfibres Sentetik fiber firması bünyesinde görev yapan İnşaat Yüksek Mühendisi Faraz Malik'e ve Ünitek İnşaat ve Müşavirlik firmasında görev yapan İnşaat Teknikeri Bekir Zengin'e, değerli arkadaşım Mimar Melek Çepni'ye ve Özgün Yapı firmasındaki çalışma arkadaşlarıma verdikleri her türlü destekten dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca tüm bu süreçte büyük bir sabırla desteğini esirgemeyen aileme, her an yanımda olan kardeşlerime, yol göstericim ve bugünlere gelmemi sağlayan sevgili annem ve babama çok teşekkür ederim.

Şubat – 2021

Ercan GÜNGÖREN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. İnceleme Alanı	9
1.2. İncelemenin Amacı	11
1.3. Literatür Çalışması	11
2. GENEL BİLGİLER	17
2.1. Püskürtme Beton Tanım ve Özellikleri	17
2.2. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM)	18
2.3. Püskürtme Betonun Kullanım Alanları	20
2.4. Püskürtme Beton Uygulama Sistemleri	21
2.4.1. Kuru sistem püskürtme beton	22
2.4.2. Yaş sistem püskürtme beton	24
2.4.3. Yaş ve kuru sistem püskürtme betonun karşılaştırılması	25
2.5. Püskürtme Beton Uygulama Yöntemleri	26
2.6. Püskürtme Beton Uygulamasında Dikkat Edilecek Hususlar	30
2.7. Püskürtme Beton Bileşenleri	33
2.7.1. Agregası	33
2.7.2. Çimento	39
2.7.3. Su	45
2.7.4. Kimyasal katkıları	48
2.7.4.1. Püskürtme betonda akışkanlaştırıcı katkıları	49
2.7.4.2. Püskürtme betonda priz hızlandırıcı katkıları	51
2.8. Püskürtme Betonda Deneyler	57
2.8.1. Panel numune alınması	58
2.8.2. Proktor penetrometre ve erken yaş dayanımı testi	63
2.8.3. Püskürtme betonda ribaunt (geri sıçrama kaybı, seken beton)	67
3. MALZEME VE YÖNTEM	71
3.1. Uygulama Alanı ve Uygulama Alanının Jeolojisi	71
3.2. Malzeme Özellikleri ve Agregası Ocaklarının Jeolojisi	73
3.3. Yöntem	77
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	78
4.1. Agregası Test ve Deneyleri	78
4.1.1. Tane büyüklüğü dağılımının tayini-Elleme yöntemi	78
4.1.2. Çok ince malzeme muhtevası ve incelik modülü	80
4.1.3. İnce tanelerin tayini-Metilen mavisi (leke) deneyi	82
4.1.4. Tane şekli tayini-Yassılık indeksi	84
4.1.5. Parçalanma direncinin tayini	86
4.1.6. Sıkışık ve gevşek yığın yoğunluğu tayini	87
4.1.7. Kil toprakları ve ufalanabilir taneler deneyi	88
4.1.8. Tane yoğunluğu ve su emme tayini	90
4.1.9. Renk yöntemiyle organik madde tayini	92

4.1.10. Agregaların Na ₂ SO ₄ çözeltisi ile don deneyi	94
4.2. Püskürtme Betonda Saha ve Beton Deneyleri.....	96
4.2.1. Püskürtme beton tasarımı.....	97
4.2.2. Agregalarla üretilen beton karışımlarında deneylerin yapılışı	98
5. VERİ ANALİZİ.....	108
5.1. Granülometri eğrisi	108
5.2. Kil Topakları ve Ufalanabilir Tane Yüzdesi	109
5.3. Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı.....	109
5.4. Gevşek ve Sıkışık Birim Hacim Ağırlıkları.....	111
5.5. Los Angeles Aşınma Deneyi (500 devir sonunda)	112
5.6. Organik Kökenli Maddeler	112
5.7. Metilen Mavisini Deneyi.....	113
5.8. Donma-Çözölmeye Karşı Kütle Kaybı	113
5.9. Yassılık İndeksi Deneyi	114
5.10. Çok İnce Malzeme Muhtevası ve İncelik Modülü	115
5.11. Beton Deneyleri.....	116
5.11.1. Proktor penetrometre deneyi	116
5.11.2. Ribaunt (geri seken beton)	117
5.11.3. Beton basınç deneyleri	118
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	119
KAYNAKLAR	122
EKLER.....	127
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	141
ÖZGEÇMİŞ	142

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Günümüzdeki püskürtme beton tekniği uygulaması.....	2
Şekil 1.2.	1907'de Chicago Field Müzesi'nin dış yüzeyini yeniden kaplamak için kullanılan orijinal makine	2
Şekil 1.3.	Carl Ethan Akeley'in 1911 tarihinde patentini aldığı püskürtme beton makinesi ve haznesine ait detaylar	4
Şekil 1.4.	Lehigh Üniversitesi'nden Profesör M. O. Fuller'ın gözetiminde yapılan gunite plakalarının testi	6
Şekil 1.5.	Çift odacıklı püskürtme beton makinesi	6
Şekil 1.6.	Çanak ve rotor tipi püskürtme beton makinesi	7
Şekil 1.7.	T2 tüneli proje alanı yer bulduru haritası	9
Şekil 1.8.	Agrega ocakları yer bulduru haritası	10
Şekil 2.1.	Tünel kazı adımları	19
Şekil 2.2.	Çift hazneli, vidalı ve döner çark sistemlerinin çalışma prensibi	22
Şekil 2.3.	Kuru karışım püskürtme beton uygulama yöntemi	24
Şekil 2.4.	Yaş karışım püskürtme beton uygulama yöntemi.....	25
Şekil 2.5.	Rotor tipi kuru püskürtme makinesi ve çalışma sistemi.....	27
Şekil 2.6.	Yaş karışım püskürtme beton makinesi elemanları.....	28
Şekil 2.7.	Yaş karışım püskürtme beton makinesi çalışma sistemi	29
Şekil 2.8.	Kuru ve yaş karışım yönteminde kullanılan tipik püskürtme uçları	29
Şekil 2.9.	Püskürtme beton uygulama öncesi yüzeyin yıkanması.....	31
Şekil 2.10.	Püskürtme beton nozül açısı ve mesafesi.....	32
Şekil 2.11.	Püskürtme beton ilk tabaka betonun uygulanması.....	32
Şekil 2.12.	Çeşitli standartlarda verilen agreg granülometrisi sınırları	38
Şekil 2.13.	Portland çimento üretim aşamaları	39
Şekil 2.14.	Fırın reaksiyonları sonucu ortaya çıkan ürünlerin zamana bağlı dayanımları.....	41
Şekil 2.15.	Portland çimentosunda hidrasyon ürünleri.....	42
Şekil 2.16.	Kimyasal katkı içermeyen, melez katkı esaslı ve polikarboksilat esaslı katkının betonda kıvama etkisi	50
Şekil 2.17.	pH ölçeği	52
Şekil 2.18.	Vikat deneyi ile alkali ve alkali olmayan katkı priz süresinin karşılaştırılması	55
Şekil 2.19.	Püskürtme beton numune kalıbı örneği	59
Şekil 2.20.	Püskürtme betonda panel numune örneği	60
Şekil 2.21.	Karot kesme makinesiyle hazırlanan silindir numunenin baş kısmının düzeltilmesi	60
Şekil 2.22.	Püskürtme betonda proktor penetrometre testi.....	63
Şekil 2.23.	Püskürtme betonunun erken mukavemet sınıfları.....	64
Şekil 2.24.	Penetrasyon iğnesi için örnek kalibrasyon eğrisi	65
Şekil 2.25.	Püskürtme betonun basınç dayanım gelişimi.....	66
Şekil 2.26.	Tünelde ribaunt takip örneği	68
Şekil 2.27.	Tünelden alınan geri seken betonun miktar ölçümü	69
Şekil 3.1.	T2 tüneli kazı aynasında metamorfik istife ait metakumtaşı düzeylerinin görünümü	72
Şekil 3.2.	T2 tüneli kazı aynasında metamorfik istife ait metaçamurtaşı düzeylerinin görünümü	72

Şekil 3.3.	T2 tüneli kazı aynasında metamorfik istife ait metaofiyolit düzeylerinin görünümü	73
Şekil 3.4.	Osmaneli, Düzmeşe kireçtaşı kırmataş ocağı işletme aynasının görünümü	74
Şekil 3.5.	Ferizli, Akçukur dolomit kırmataş ocağı işletme aynasının görünümü	75
Şekil 3.6.	Arifiye Boğazköy kum-çakıl ocağının görünümü	76
Şekil 4.1.	Elek analizi uygulanan üç agrega tipinin makroskobik görünümü	78
Şekil 4.2.	Kırma agregalara ait granülometri eğrisi	79
Şekil 4.3.	Kireçtaşı agregasında yapılan metilen mavisi deneyi	83
Şekil 4.4.	Dolomit agregasında yapılan yassılık indeksi deneyi	85
Şekil 4.5.	Los Angeles aşınma deneyi aşamaları	86
Şekil 4.6.	Kırmataş agregalarda gevşek ve sıkışık birim ağırlığı tayini	88
Şekil 4.7.	Kil toprakları ve ufalanabilen tane deneyi için hazırlanan agregalar	89
Şekil 4.8.	İnce ve kaba agregada özgül ağırlık tayini	90
Şekil 4.9.	Kırmataş agregalarına ait organik madde deneyi	93
Şekil 4.10.	Kırma agregalara ait don deneyi sonucu ağırlıkları	96
Şekil 4.11.	Çökme deneyi ölçümünden görünüm	98
Şekil 4.12.	Ribaunt takibi için tünel zemine serilen branda	99
Şekil 4.13.	Tünel tavan kısmında ikinci kademeye uygulanan püskürtme beton	100
Şekil 4.14.	T-1 tasarımına ait geri seken beton miktarının toplanıp tartılması	100
Şekil 4.15.	Deneyde kullanılan yay tipi proktor penetrometresi	102
Şekil 4.16.	Püskürtme betondan panel numune alınması ve penetrometre testi	102
Şekil 4.17.	Betonla doldurulmuş panellerden kesilen karot numunelerinin görünümü	104
Şekil 4.18.	Karot numunelerinin başlıklanmış hali ve test sonucu görüntüsü	105
Şekil 4.19.	Tünel 2 giriş tarafı ana tünel tip kesit detayları	106
Şekil 5.1.	Agregaların granülometri eğrisi	108
Şekil 5.2.	Agregaların kil toprakları ve ufalanabilir tane yüzdesi	109
Şekil 5.3.	Agregaların özgül ağırlık değerleri	110
Şekil 5.4.	Agregaların su emme yüzdesi	110
Şekil 5.5.	Agregaların gevşek ve birim hacim ağırlıkları	111
Şekil 5.6.	Agregaların Los Angeles Aşınma dayanımı değerleri	112
Şekil 5.7.	Agregaların metilen mavisi değerleri	113
Şekil 5.8.	Agregaların donma ve çözülmeye karşı kütle kaybı değerleri	114
Şekil 5.9.	Agregaların yassılık indeksi değerleri	114
Şekil 5.10.	Agregaların çok ince malzeme muhtevası değerleri	115
Şekil 5.11.	Agregaların incelik modülü değerleri	116
Şekil 5.12.	Püskürtme betonda ölçülen proktor penetrometre değerleri	117
Şekil 5.13.	Püskürtme betondan geri seken beton yüzdeleri	117
Şekil 5.14.	Püskürtme betondan kesilen karotların basınç dayanımları	118

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Kuru ve yaş sistem püskürtme betonun karşılaştırılması	26
Tablo 2.2. Püskürtme betonda kullanılan kum ve kaba agrega özellikleri	34
Tablo 2.3. Kırmataş ham maddelerinin jeolojik sınıflandırılması	36
Tablo 2.4. Farklı kaynaklara göre agrega granülometri önerileri	37
Tablo 2.5. Fırın reaksiyonları sonucu ortaya çıkan ürün bileşenleri	40
Tablo 2.6. Püskürtme betonda kullanılacak çimentonun özellikleri	43
Tablo 2.7. Beton karışım suyunun ön muayenesi için incelenecek özellikler ve deney işlemleri.....	45
Tablo 2.8. Beton karışım suyundaki klorla ilgili şartlar	46
Tablo 2.9. Beton karışım suyunun zararlı maddeler ile ilgili şartlar	48
Tablo 2.10. Akışkanlaştırıcı katkı özellikleri ve çalışma mekanizması.....	51
Tablo 2.11. Alkali ve alkali olmayan kimyasal katkıların karşılaştırılması	54
Tablo 2.12. Püskürtme beton için çimento pastasında priz süresi limit değerleri.....	55
Tablo 2.13. Püskürtme beton çimento pastasında priz süresi testi	55
Tablo 2.14. Priz hızlandırıcı katkıların genel özellikleri	56
Tablo 2.15. Püskürtme beton test panelleri boyutlarına örnekler	59
Tablo 2.16. Farklı referanslara göre basınç dayanımı gereksinimlerine örnekler.....	61
Tablo 2.17. Püskürtme panellerinden kesilmiş numuneler üzerinde test edilen püskürtme beton için mukavemet sınıfları.....	62
Tablo 2.18. Püskürtme beton için basınç dayanım sınıfları ve kalite kontrol kriterleri	62
Tablo 3.1. TS 706 EN 12620+A1 standardına göre agregalarına yapılan test ve analizler	77
Tablo 4.1. Kıрма agregalara ait % geçen oranların karşılaştırılması.....	79
Tablo 4.2. Kıрма agregalara ait numunelerin çok ince malzeme muhtevası değerleri	81
Tablo 4.3. İncelik modülüne bağlı olarak irilik veya incelik	82
Tablo 4.4. Beton agregaları için metilen mavisi değerleri.....	83
Tablo 4.5. Kıрма agregalara ait numunelerin metilen mavisi değerleri.....	84
Tablo 4.6. Kırmataş agregalara ait yassılık indeksi değerleri.....	85
Tablo 4.7. Kırmataş agregalara aşınma dayanımı değerleri	87
Tablo 4.8. Kırmataş agregalarına ait sıkışık ve gevşek birim ağırlık değerleri.....	88
Tablo 4.9. Kırmataş agregalarında kil topakları ve ufalanabilir tane deney sonuçları.....	90
Tablo 4.10. Kırmataş agregalarında özgül ağırlık ve su emme deneyi sonuçları	91
Tablo 4.11. Artan organik madde miktarına göre agregaların sınıflandırılması.....	93
Tablo 4.12. Don deneyinde elek çaplarına göre iri agrega deney numunesi miktarı.....	95
Tablo 4.13. Don kaybını belirlemede kullanılacak elekler.....	95
Tablo 4.14. Kıрма agregaların don kaybı değerleri	96
Tablo 4.15. Deneylerde kullanılan püskürtme beton karışım bileşenleri	97
Tablo 4.16. Kıрма agregalarla üretilen betonların penetrometre test sonuçları	103

Tablo 4.17. Püskürtülen betonun nozuldaki basıncı ve diğer parametreler	103
Tablo 4.18. Kırmataş agregalarla üretilen betonların penetrometre test ve basınç mukavemetlerine ait sonuçlar.....	106
Tablo 5.1. Kırmataş agregalarına ait organik madde tayini sonuçları	112



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

cm	: santimetre
cm ² /g	: santimetrekare/gram
cm ³	: santimetreküp
dk	: dakika
f _{ckp}	: proje karakteristik basınç dayanımı
g	: gram
g/dm ³	: gram/desimetreküp
g/cm ³	: gram/desimetreküp
km	: kilometre
kg	: kilogram
km/s	: kilometre/saat
km/s	: kilometre/saat
kg/dm ³	: kilogram/desimetreküp
lbf	: pound-kuvvet
m	: metre
ml	: mililitre
mm	: milimetre
m/s	: metre/saniye
m ³	: metreküp
m ³ /dk	: metreküp/dakika
m ³ /saat	: metreküp/saat
MPa	: megapascal
N	: newton
N/mm ²	: newton/milimetrekare
pH	: power of hydrogen (hidrojenin gücü)
%	: yüzde
°C	: santigrat derece

Kısaltmalar

ACI	: Amerikan Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)
ASCE	: American Society of Civil Engineers (Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği)
ASCE	: Association Française des Tunnels et de l'Escape Souterrain (Fransız Yeraltı ve Tüneller Alanı Derneği)
ASR	: Alkali Silika Reaksiyonu
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)
BS	: British Standart (İngiliz Standartı)
CBI	: Cement och Betong Institutet (Çimento ve Beton Enstitüsü)
DIN	: Deutsches Institut für Norming (Alman Standartlar Enstitüsü)
EFNARC	: European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)

MB	: Methylene Blue (Metilen Mavisi)
NATM	: The New Austrian Tunnelling Method (Avusturya Yeni Tünel Açma Yöntemi)
JCI	: Japan Concrete Institute (Japon Beton Enstitüsü)
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
SANCOT	: The South African National Committee on Tunnelling (Güney Afrika Tünel Açma Ulusal Komitesi)
TS	: Türk Standardı
TS EN	: Türk Standardı European Norm (Türk Standardı Avrupa Normu)
YHT	: Yüksek Hızlı Tren



TÜNELLERDE KULLANILAN PÜSKÜRTME BETON KALİTESİNİ ETKİLEYEN AGREGA ÖZELLİKLERİ

ÖZET

Günümüzde kullanım alanı gittikçe artan püskürtme betonun uygulamasında ortaya çıkan başlıca sorunlardan biri, püskürtme betonun uygulanan yüzeye veya daha önce püskürtülen tabakalara yapışmamasıdır. Ribaunt (geri seken) bu yapışmayan beton genellikle kullanılamaz. Püskürtme beton uygulaması esnasında geri seken bu malzemenin çevreye ve ekonomiye olumsuz etkileri vardır. Bu çalışmada, ribaunt miktarını en aza indirmek hedefiyle farklı özellikteki agregaların püskürtme betondaki ribaunt ve püskürtme beton kalitesine etkisi araştırılmıştır. Agregaların mühendislik özellikleri püskürtme betonunun dayanımını, kullanılan çimento ile kimyasal katkının miktarını etkilemektedir. Bu nedenle agregaların, mineralojik ve petrografik yapısı ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bütün bu özelliklerin betonun performansını ve durabilitesini önemli ölçüde etkilediğinden, üretilen agregaların standartlara uygunluğu belirlenmeden herhangi bir yatırıma gidilmesi sakınca oluşturmaktadır.

Bu amaçla, Sapanca-Geyve Yüksek Hızlı Tren Hattı T2 Tünel projesinde püskürtme betonunda kullanılan farklı kökenli agregaların püskürtme betonunun kalitesine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kireçtaşı ve dolomit kökenli kırmataş ile dere agregasının, mühendislik özelliklerinin belirlendiği deneyler yapılmıştır. Sahada, bu agregalarla üretilen püskürtme betonlarının ribaunt miktarları ve proktor penetrometre değerleri tespit edilmiştir. Uygulama esnasında testi yapılmış, hazırlanan karot numunelerin mukavemeti belirlenmiştir. Böylece her tip agrega için üretilen beton karışımında bulunan agregaların kullanılabilirliği, betondaki mukavemet ve ribaunt miktarları tayin edilmiştir.

Deney sonuçlarına göre kireçtaşı ve dolomit agregalarından üretilen püskürtme betonlarında gereken ilk sertlik, priz süresi ve mukavemet değerlerine ulaşılmıştır. Dere malzemesiyle üretilen betonun mukavemeti ve priz alma süresi ise sınır değerlerinin altındadır. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde agrega özelliklerinin, püskürtme betonu kalitesini etkilediği ve proje maliyetini denetlediği belirlenmiştir. Proje ölçütlerinin sağlanması için göreceli olarak daha uzak kırmataş ocaklarından malzeme temin edilmesi gerekmiştir.

Anahtar Kelimeler: Agregas, Altyapı, Demiryolu, Püskürtme Beton.

INVESTIGATION OF AGGREGATE PROPERTIES AFFECTING SHOTCRETE PROPERTIES USED IN TUNNELS

ABSTRACT

One of the main problems that arise in the application of shotcrete, whose area of use is increasing, is that the shotcrete does not adhere to the applied surface or to the previously sprayed layers. Rebound (bounce) this non-adherent concrete generally cannot be used. This material, which bounces during the application of shotcrete, has negative effects on the environment and economy. In this study, the effect of aggregates with different characteristics on the rebound and shotcrete quality in shotcrete was investigated in order to minimize the amount of rebound. Engineering properties of aggregates affect the strength of shotcrete, the amount of cement and chemical additive used. Therefore, the mineralogical and petrographic structure and physical and mechanical properties of aggregates should be well known. Since all these properties significantly affect the performance and durability of the concrete, it is inconvenient to make any investments without determining the compliance of the produced aggregates to the standards.

For this purpose, the effects of aggregates of different origin used in shotcrete on the quality of shotcrete were investigated in the Sapanca-Geyve High Speed Train Line T2 Tunnel project. In the study, experiments were carried out to determine the engineering properties of limestone and dolomite based crushed stone and stream aggregate. The rebound amounts and proctor penetrometer values of the shotcrete produced with these aggregates were determined in the field. During the application, the test was made and the strength of the prepared core samples was determined. Thus, the usability of the aggregates in the concrete mixture produced for all types of aggregates, the strength and rebound amounts in the concrete were determined.

According to the test results, the initial hardness, setting time and strength values required in shotcrete concretes produced from limestone and dolomite aggregates were reached. The strength and setting time of the concrete produced with stream material are below the limit values. When all results are evaluated, it is determined that aggregate properties affect the shotcrete quality and control the project cost. In order to meet the project criteria, materials had to be procured from relatively distant crushed stone quarries.

Keywords: Aggregate, Infrastructure, Railway, Shotcrete.

1. GİRİŞ

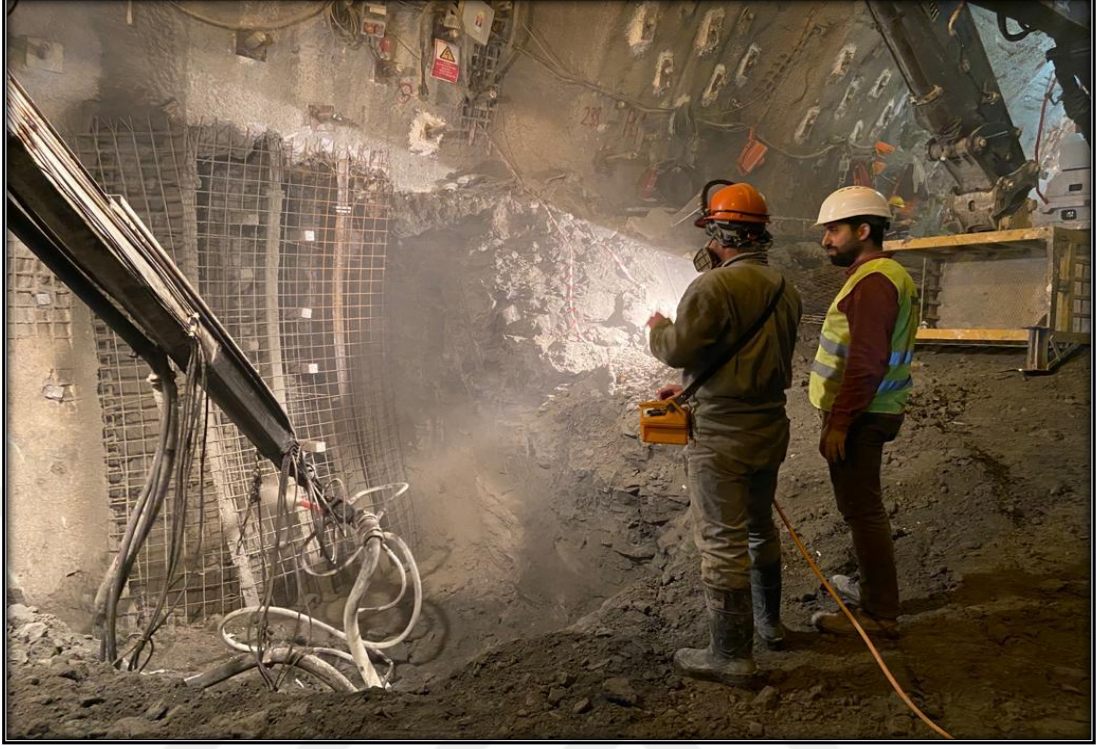
İnşaat sektörü hakkında iyi bilinen bir gerçek, yeraltı inşaatı ve tüm projelerin benzersiz olmasıdır. Proje ile ilgili parametrelerin çeşitliliğinin ve iç içe geçmesi nedenlerden dolayı karmaşıklık derecesi birçok endüstriden daha yüksektir. Bir inşaat ve kaya destek sürecinde püskürtme betonla uygulamaların iyileştirilmesi, teknolojik olarak malzeme, ekipmana kolay ulaşılabilir olmasından dolayı, modern yeraltı inşaat işleri için çok önemli ve gerekli bir araç haline gelmiştir. Özellikle modern yaş karışım püskürtme betonunun geliştirilmesi, yeraltı inşaat işlerinin alanını genişletmiştir. Böylece gerçekleştirilmesi zor görünen olan projeler artık uygulanabilir hale gelmiştir.

Beton; çimento, agrega (kum, kırma kum, çakıl, kırmataş vb.), su ve gerektiğinde bazı kimyasal ve mineral katkı maddelerinin belli bir üretim teknolojisine uygun olarak karıştırılmasıyla elde edilen, akıcı kıvamda olup, şekil verilebilen ve zamanla katılaşarak sertleşerek, dayanım (mukavemet) kazanan kompozit yapı malzemesidir. Dünyada en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biri olan beton, mukavemet, dayanıklılık, az bakım gerektiriyor olması, enerji tasarruflu, sürdürülebilirlik gibi ayırt edici özellikler, mühendislik alanında betonun geniş kullanımının nedenlerindedir.

Püskürtme beton ise uygulanacak yüzeye büyük hızla fırlatılması sonucunda priz hızlandırıcı katkı desteğiyle, betonun uygulanan yüzeye çarpması sonucunda yapışması ve kısa sürede içinde katılaşarak taşıyıcılık kazanmasıyla oluşan betondur. Püskürtme beton veya diğer adıyla gunite olarak isimlendirilir ve yaklaşık bir asırdır uygulama alanı bulmuştur.

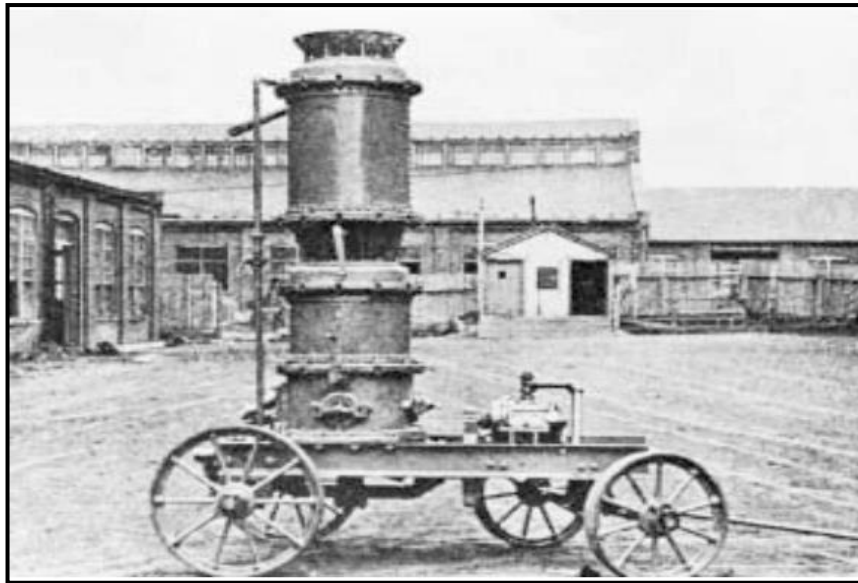
Püskürtme beton, temel karışımla imal edilen ve kendi momentumu ile yoğun, homojen bir kütle imal etmek amacıyla nozuldan imal edilecek bölgeye hava basıncıyla püskürtülen beton (TS EN 14487-1, 2006).

Püskürtme betonun bulunuşuna dair elde edilen bilgiler de oldukça ilginçtir. "Gunite" adı ile bilinen ilk püskürtme beton, 20. yüzyılın başlarında Amerikalı tahnitçi Carl Akeley tarafından hayvan modellerini doldurmak için kullanılmıştır. Hava ile katı



Şekil 1.1. Günümüzdeki püskürtme beton tekniği uygulaması

malzemeyi taşıyan bir sistemin çıkışında su ile karışım sağlanarak uygulama gerçekleştirilmiştir. Herhangi bir mikserde su ve katı karışımı gerçekleştirilmeyen, doğrudan tabanca ağzında karışım sağlanan bu uygulama günümüzde uygulanan yaş karışım ve kuru karışımdan farklıdır (Bicik, 2012).



Şekil 1.2. 1907'de Chicago Field Müzesi'nin dış yüzeyini yeniden kaplamak için kullanılan orijinal makine (Teichert, 2002)

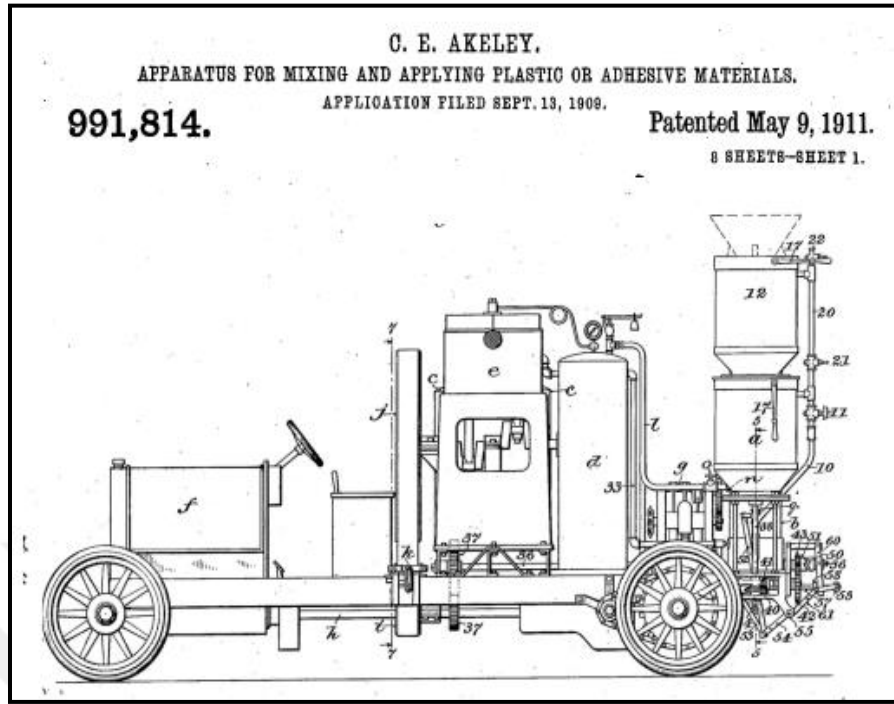
20. yüzyılın başlarında, Amerika'nın Sanayi Devrimi'nin temelindeki önemli parçalar, Doğu Pensilvanya'daki Lehigh Vadisi'nde kurulmuştur. Kıtanın erken gelişimi için önemli ürünler olan demir ve çelik Bethlehem'de üretilmiş ve Kuzey Amerika'da ilk Portland çimentosu üretimi gerçekleştirilmiştir. Önemli bir endüstri kolu olan çimento üretimi Lehigh Portland Cement Company tarafından 1897'de Allentown'da kurulmuştur. Çimento ve çelik üretiminde mühendislik, tasarım, test ve üretim hizmetleri sağlamak için çeşitli destek şirketleri ve mesleklerin yanı sıra Lehigh Üniversitesi'nin uzmanlığından yararlanılmıştır. Yine bu yüzyılın başlarında, 1904'te Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) ve 1916'da Portland Çimento Derneği kurulmuştur (Yoggy, 2000).

Allentown'daki süreçte hem çimento tabancasının hem de Gunitenin gelişimi tesadüfen olmamıştır. Sektörde çimento, beton tasarımı, beton yapım yöntemlerine olan aşırı ilgiden ve keşfedilen bu tasarımı uygulamak için Carl Ethan Akeley tarafından icat edilen bir makine gerekmiştir. İlk makine Aralık 1910'da New York'taki Cement Show'da tanıtılmıştır (Yoggy, 2000).

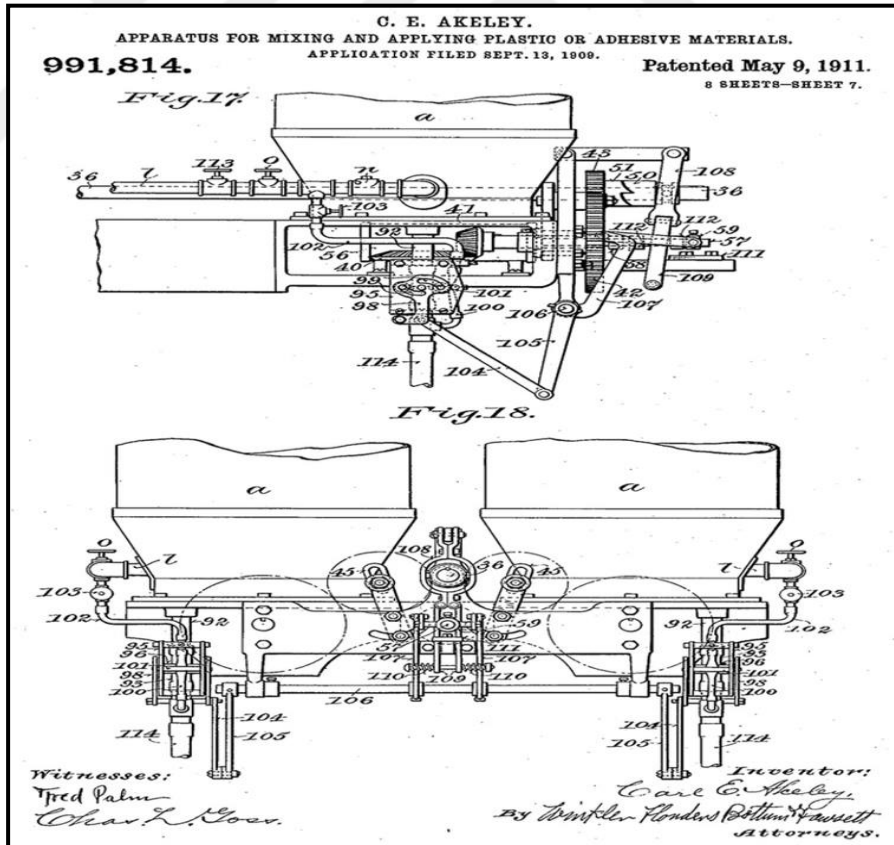
1910'da Carl Ethan Akeley tarafından geliştirilen bir tasarıma dayanan çift hazneli bir çimento tabancası (kuru karışım) inşaat sektörüne tanıtıldı. Bu cihaz tarafından uygulanan kum-çimento ürününe "gunit" tescilli adı verildi. Takip eden yıllarda, benzer süreçleri tanımlamak için Guncrete, Pneucrite, Blastcrete, Blocrite, Jetcrete gibi ticari markalar ve "pnömatik olarak uygulanan harç veya beton" ve "püskürtülmüş beton" terimleri tanıtılmıştır. 1930 ve 1950 yılları arasında, gunit/püskürtme betonu dünya çapında yaygın olarak kabul görmüştür (ACI, 2006).

Carl Akeley 1911 yılında "Cement Gun" adındaki bu buluşu için patent almıştır. Karışımın bir mikserde oluşturulduktan sonra püskürtülmemesi buluşun yapıldığı tarih düşünüldüğü zaman normal karşılanabilir. Çünkü, mikser Carl Akeley'in patent almasından sadece bir yıl önce 1910 yılında Chester A. Beach tarafından icat edilmiştir (Bicik, 2012).

New York'taki Amerikan Doğa Tarihi Müzesi'nde çalışan Akeley 1909'da makinesi için patent başvurusunda bulundu. Yapılan değişiklik, iyileştirme ve düzenlemelerle kuru karışım püskürtme beton makinesine 9 Mayıs 1911 yılında "plastik veya yapışkan malzemelerin karıştırılması ve uygulanması için bir aparat" adıyla 991814 numaralı patent verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1.3. Carl Ethan Akeley'in 1911 tarihinde patentini aldığı püskürtme beton makinesi ve haznesine ait detaylar (Levent 2020, URL-1)

Püskürtme beton makinesiyle uygulanan harç karışımı "gunite" olarak adlandırılmıştır. Gunite kelimesi ticari markaydı ve 1950'lere kadar bu teknoloji kullanımı devam etmiştir.

1920 yılların başında püskürtme beton yaygın olarak kullanılmış, buna bağlı olarak makine kullanımı da artmıştır. Gunite kullanımı Kuzey Amerika'da inşaat projelerinde yaygınlaşmış ve bazı firmalar kurulmuştur. Piyasadaki ihtiyacı karşılamak için farklı müteahhitlik şirketleri kurulmuştur. Karışım tasarımı, uygulama koşulları konusunda patent belgeleri, telif hakları açıklanmış ve gerçek bir "çimento tabancası" kullanılarak yerleştirilen malzeme "Gunite" olarak adlandırılmıştır. Bu kullanım alanı Atlantik'i aşmış ve daha sonra İngiliz Cement Gun Company kurulmuştur (Yoggy, 2000).

Gunite 1915'te Atlantik'ten sonra dünya çapında da hızla yaygınlaşmış, 1922'de Cement Gun Company şirketi küreselleşmiştir. Gunite, kullanışlı ve önemli bir inşaat işi yöntemi olarak 1920, 1930 ve 1940'lı yıllarda dünyanın tüm sanayi merkezlerinde kullanılmıştır. 1950 yılına gelindiğinde, her eyalette ve 120'den fazla ülke projelerinde veya müteahhitlere yaklaşık 5000 makine teslim edilmiştir (Yoggy, 2001).

1912 yılında başlayan ve devam eden proje çalışmaları 1930 yılına kadar sürmüştür. Cement Gun Company şirketinin ilk başkanı ve kurucularından biri olan Bryan C. Collier, sürecin tasarımcılarını, kullanıcılarını desteklemiştir. Gunite kalitesini, çok yönlülüğünü doğrulamak için test yapılmasına ve yayınlanmasına büyük ilgi göstermiştir. Sıkışma kabiliyeti nedeniyle dökme betondan daha yüksek olduğuna inanılan basınç dayanımı, yapışma ve yoğunluğunu belirlemeye yönelik yapılan erken testler, Lehigh Üniversitesi'nde Profesör M.O. Fuller tarafından yapılmıştır. Veriler, hem dikey hem de yatay püskürtme numunelerinde önemli nitelikler göstermiştir. Kaliforniya Üniversitesi'nde, pnömatik yöntemle yerleştirilen betonun üstün özelliklerini doğrulanması için testler yapılmıştır. Gunitenin yoğunluk ve su geçirmezliği özellikleri Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği (ASCE) raporlarında bildirilmiş, su depolama tankları ve tesislerinin inşasında gunite karışımını değerli hale getirmiştir (Yoggy, 2001).

Cement Gun Company tarafından orijinal makinede yapılan değişikliklerle çift hazneli püskürtme beton makinesi geliştirilmiştir.



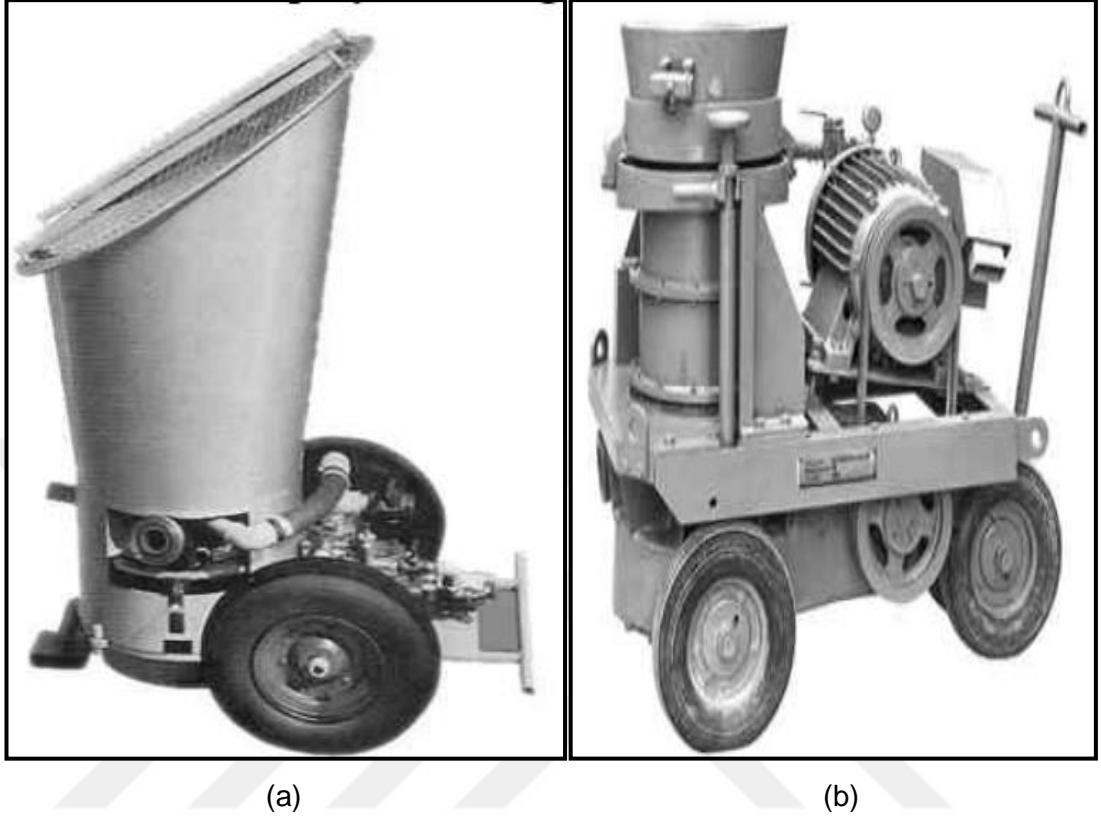
Şekil 1.4. Lehigh Üniversitesi'nden Profesör M. O. Fuller'ın gözetiminde yapılan gunite plakalarının testi



Şekil 1.5. Cement Gun firmasının 1914'te geliştirdiği çift odacıklı püskürtme beton makinesi (Teichert, 2003)

II. Dünya Savaşı'ndan sonra Frank Reed verimli ve kullanımının kolay olduğu, başarılı bir çanak tipi makine geliştirmiştir. Iowa firması Jetcreter'i üretmiş, Meyco rotor tipi makinesi ise Meynadier firmasının gelişimini sağlamıştır. Aliva firması,

Meyco'dan kısa bir süre sonra rotor tipi bir makine ile piyasaya girmiş ve hala dünya çapında üretilen temel tasarımlardan farklı örnekler bulunmaktadır (Yoggy, 2001).



Şekil 1.6. Çanak ve rotor tipi püskürtme beton makinesi (Yoggy, 2001)

1950 yılında gunite karışımına iri agregaya eklenmesiyle, bu harç kuru karışım püskürtme beton olarak bilinmeye başlamıştır. 1960 yılına gelindiğinde, pnömatik ekipmanların geliştirilmesiyle yaş karışım püskürtme beton uygulanmaya başlamıştır.

Püskürtme yoluyla ilk güçlendirme uygulamalarına XX. yüzyılın başlarında kireç kum ve 5 mm'yi geçmeyen agregaya, harcından oluşan karışım (gunite) kullanılarak başlamıştır, ancak ekipman ve malzeme dayanımındaki sorunlar nedeniyle yaygınlaşamamıştır. Daha ekonomik ve güvenli destekleme ve güçlendirme sistemleri konusunda II. Dünya Savaşı'ndan sonra araştırmalar yapılmış, 25 mm dane çapına kadar agregaya içeren karışımları püskürtebilen makinelerin geliştirilmesi ve Portland çimentosunun kullanımıyla tüneller ve madenlerdeki güçlendirme ve destekleme sistemlerinde kullanılmaya başlamıştır. Pnömatik teçhizatın gelişmesiyle 1960'larda yaş karışım püskürtme kullanılmaya başlanmıştır (Yüksel ve Arıoğlu, 1999).

1970'lerde ve 1980'lerde başta beton pompaları ve malzemeleri olmak üzere yaş karışım ekipmanında birçok iyileştirme yapılmıştır. Bu iyileştirmelerle, düşük kıvamlı püskürtme beton karışımlarının daha uzun mesafelere ve daha büyük hacimlerde pompalanmasına olanak sağlamıştır. Bu yenilikler, sürecin faydasını, esnekliğini ve genel etkililiğini artırdı. Daha yakın zamanlarda, püskürtme beton uygulamalarının yelpazesini genişleten, katkılarda ve püskürtme betonun yerleştirilmesinde ilerlemeler ve gelişmeler olmuştur (ACI, 2006).

Püskürtme beton 1970 yılına kadar yalnızca kuru sistem olarak uygulanmıştır. Bu tarihte yaş sistem devreye girmiş ancak yüksek su-çimento oranı kullanılması beton dayanımında düşme yarattığından yaygın uygulama görülmemiştir, 1975'de silikat ve plastisiteyi artırıcı katkıların püskürtme betonda başarıyla uygulanması yüksek kapasitede uygulanabilen yaş sisteme yüksek dayanım kazandırmış ve bu metotta yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Sümer, 1994).

Püskürtme betonun avantajlarının fazla olmasına rağmen, günümüzde üretilen püskürtme betonun birim maliyetlerinin normal betonlara göre daha yüksek olması, priz hızlandırıcı katkıdan dolayı tozuma ve betonda geri sekmeden dolayı meydana gelen zayıflık, dezavantajları olarak değerlendirilebilir. Makineleşme, teknoloji ve insan nüfusunun artmasıyla birlikte, yeraltı mühendislik yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yer altı mühendislik yapılarının püskürtme beton tarafından karşılanabilmesi için üretilen betonların, daha dayanıklı, ekonomik ve pompalanabilir hale getirme çalışmaları devam etmektedir.

TS 11747, TS EN 14487-1 ve TS EN 14487-2 püskürtme beton uygulama, özellikleri tanımlama, yapılacak testler, kullanılacak teknik bilgilerin çoğu tarif edilmektedir.

Tez çalışması literatür araştırması, arazi ve laboratuvar çalışması ve verilerin analizi yorumlanması olarak 3 bölüme ayrılmıştır.

Yapılan çalışmada püskürtme betonla ilgili literatürdeki çalışmalardan bahsedilmiş, daha sonra püskürtme beton tanımı, püskürtme beton hammaddeleri, uygulama şekli, uygulama alanları, püskürtme beton tasarımı ve püskürtme beton bileşenlerinden bahsedilmiştir. Püskürtme betonda kullanılan agrega testleri, püskürtme betonla ilgili saha ve laboratuvar koşullarında yapılan deneysel çalışmalar yorumlanmıştır.

1.1. İnceleme alanı

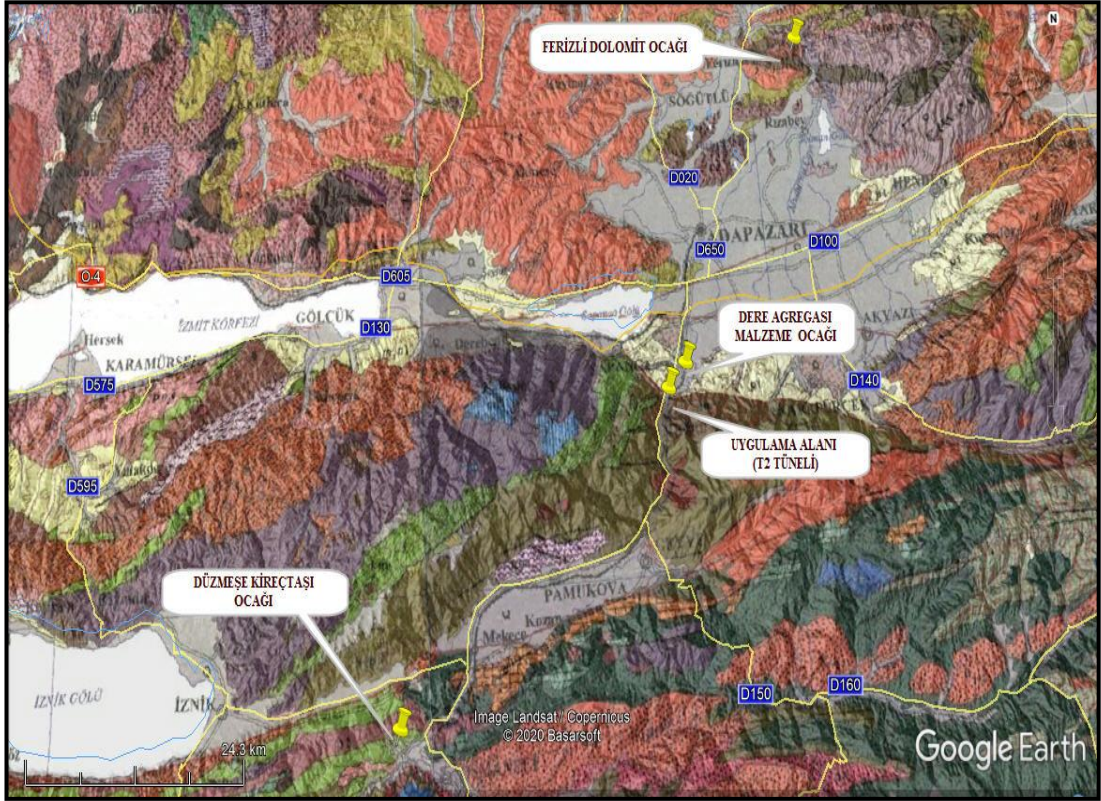
Doğançay Ripajı 2. Kesim Doğançay-Sapanca Arası Yüksek Hızlı Tren Projesi kapsamında yapılması planlanan 2 adet ana tünel bulunmaktadır. Bunlardan T2 tüneli projenin Km:127+930 ile Km:132+597 arasında bulunmaktadır. Tek tüp olan T2 tüneli 13 m çapında ve 4667 m uzunluğundadır. Tünelin girişi yaklaşık 120 m, çıkışı ise 75 m kotundadır. Vadi geçişlerinde örtü kalınlığı yaklaşık 25 metreye azalmakta, tepe geçişlerinde ise yaklaşık 400 metreye kadar artmaktadır. Doğançay Ripajı 2.Kesim Doğançay-Sapanca Arası Yüksek Hızlı Tren Projesi işi kapsamında Km:127+930 ile Km:132+597 arasında bulunan T2 tüneline geçilecek birimlere jeoteknik parametrelerinin atanması sonucu ve bu koşullara uygun destek sistemleri belirlenmiştir (Şimşek ve diğ., 2019).

Güzergahın yeri T2 Tüneli, Sakarya İlinin Sapanca İlçesi sınırlarındaki Akçay Vadisi'nden başlayıp İlimbey ve Karaçam mahallelerinin arasından geçerek Geyve ilçesinin Doğançay Bucağı'nda sonlanmaktadır. Tünel alanının yer bulduru haritası Şekil 1.7'de verilmiştir (Şimşek ve diğ., 2019).



Şekil 1.7. T2 tüneli proje alanı yer bulduru haritası (Şimşek ve diğ., 2019)

Saha deneyleri Sakarya’da yapımı devam eden “Sapanca-Geyve Yüksek Hızlı Tren Hattı Altyapı, Üstyapı ve Elektromekanik İşleri ile Tünel 26 Yht Hat Kesimi Üstyapı ve Elektromekanik İşleri Yapımı” işi kapsamında Tünel 2 çıkış ve Tünel 2 giriş tarafında gerçekleştirilmiştir. Beton geri sekmesinin en iyi gözlemlenebileceği tünelin üst yarı ikinci kademesinde püskürtme beton uygulamaları yapılmıştır. Püskürtme betonda kullanılmak üzere agrega olarak seçilen kireçtaşı, dolomit ve dere agregasına ait ocak konumları Şekil 1.8’de gösterilmiştir. Kireçtaşıyla üretilen püskürtme beton Tünel 2 çıkışta 131+251,90-131+253,40 km arasında, dere agregasıyla üretilen püskürtme beton Tünel 2 çıkışta 131+238,40-131+239,90 arasında uygulanmıştır. Dolomit ile üretilen püskürtme beton ise Tünel 2 giriş kısmında 128+227,15-128+228,15 km arasında uygulanmış olup, her üç uygulamada panel numuneler alınmıştır.



Şekil 1.8. Agrega ocakları yer bulduru haritası

Doğançay mevkinde bulunan T2 çıkış tüneline ve Akçay mevkinde bulunan T2 giriş tüneline proktor penetrometre testi yapılmış ve beton numunesi alınması amacıyla 60x60x12 cm boyutunda çelik numune kalıpları hazırlanmıştır. T2 giriş ve T2 çıkış tüneline yapılan püskürtme beton uygulamasında panel numuneler alınırken, püskürtme beton tabancasından çimento dozajının %7-%8 oranında priz hızlandırıcı katkı kullanılmıştır. Proktor penetrometre deneyleri, püskürtme beton

numunelerinin kalıplara alındıktan hemen sonra, penetrometre uçlarının batmaya karşı gösterdiği direnç dağılımının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Kireçtaşı, dolomit ve dere agregalarıyla üretilen püskürtme betonda 2. dakikada, 5. dakikada, 10. dakikada batmaya karşı direnç belirlenmiştir. Ribaunt takibi için uygulama alanında yere serilen brandayla geri seken beton toplanmış, daha sonra tartılmıştır. Böylece her tip agrega için atık halde bulunan püskürtme beton miktarı bulunmuş ve püskürtme betonun batmaya karşı direnci tespit edilmiştir. Panellerle alınan beton numuneler 18 saat boyunca tünelde bekletilmiş, daha sonra laboratuvara getirilerek 10 cm boy ve çapta silindir numuneler kesilmiştir. Üretilen numunelerle 1, 7, 28 gün boyunca 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip kirece doymuş su havuzu tankında standart kür uygulanmıştır.

1.2. İncelemenin Amacı

Bu incelemenin amacı, püskürtme betonda düşük su/çimento oranına sahip, yüksek dayanımlar oluşturan, dayanıklı beton özelliği oluşturmaktır. Ayrıca püskürtme beton endüstrisinde, karışımlarda yeni malzemeler kullanmak, bu malzemelerin miktarlarını belirlemek ve betonun üretim maliyetini düşürerek uygulanabilir püskürtme beton üretimi hedeflenmektedir.

Ülkemizde beton üretim ham maddelerinden biri olan kırmataş için maden ocakları önemli bir yere sahiptir. Kireçtaşı, dolomit ve dere agregalarıyla üretilen bu çalışmanın konusu püskürtme beton karışımında agrega tiplerinin kullanılabilirliğinin belirlenmesi amacıyla, ribaunt (geri sekme) ve beton mukavemetlerine etkisini ortaya koymaktır.

Püskürtme beton numunelerinin üretiminde agrega, çimento, su, kimyasal katkı miktarları sabit oranlarda tutulmuştur.

1.3. Literatür Çalışması

Aka ve Celep (1978) püskürtme betonu tanımlayıp genel bilgilere yer vermişlerdir. Çalışmada püskürtme betonun hazırlanması, uygulanması ve dikkat edilmesi gereken hususlardan bahsedilmiş aynı zamanda püskürtme beton bileşenlerinden ve kullanım oranlarının öneminden bahsetmişlerdir.

Beaupre (1994) püskürtme betonun reolojisini ortaya koymak amacıyla yaptığı çalışmada, yüksek performanslı püskürtme betonu geliştirmek ve püskürtme işlemiyle ilgili sürecin temelini anlatmayı amaçlamıştır. Bunun için laboratuvarında

yapılan çalışma sonucunda, püskürtme beton karışımının pompalanması ve/veya püskürtülmesi için bir beton pompası tasarlanmıştır. Taze püskürtme betonunun reolojik özelliklerini ölçmek için bir reometre yapılmıştır. Püskürtme betonun reolojik özellikleri ile pompalama basıncı, et kalınlığı ve püskürtme betonunun sıkıştırılması arasında önemli temel ilişkiler elde edilmiştir.

Malmgren (2005) püskürtme beton ve püskürtme beton arasındaki etkileşimde yer alan önemli parametrelerin belirlenmesi için laboratuvar ve saha testi çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Analiz sonuçlarına göre püskürtme beton kaplaması ile kaya arasındaki yüksek bir bağ mukavemetinin olduğu görülmüştür. Böylece püskürtme beton kaplaması ile kaya arasındaki ara yüzdeki bağın önemi ortaya konmuştur. Ayrıca püskürtme betonun tutunma dayanımının, püskürtme beton kaplamasındaki yenilmeler üzerinde etkisi olduğu ortaya konulmuştur. İnce bir püskürtme beton tabakasının (<20 mm) iyi performans göstermediği tespit edilmiş, bu nedenle püskürtme betonun tasarlanan kalınlıkta uygulanmasının önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

(Kim ve diğ., 2006) yeraltı suyundaki sülfat ve asidin zamana bağlı olarak püskürtme betonunun mühendislik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada, tünel inşaat sahasında basınç dayanımı testi için püskürtme beton numuneleri ve yapışma mukavemeti testi için beton numuneleri hazırlanmıştır. Bu numuneler nötr suya, %1, %2 ve %5 sülfat çözeltisine ve pH 1, pH 2 ve pH 3 asit çözeltisine batırılmıştır. Bu numuneler üzerinde 0, 2, 4, 8, 16 ve 35. haftalarda basınç dayanımı testi ve doğrudan çekme testi yapılmıştır. Asit çözeltisi ve sülfat çözeltisi ile bozulan püskürtme betonunun basınç dayanımı ve yapışma mukavemeti, daldırma süresinin artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda numunelerin dayanımları, asit ve sülfata maruz bırakılma süresi arttıkça azaldığı görülmüştür.

Jolin (1999) püskürtme beton tabakasının yerleştirilmesinde ve stabilitesinde yer alan mekanizmaları açıklamak için tez çalışması yapmıştır. Karışım oranlarının ayrıntılı analizi ile birlikte, kuru karışım püskürtme betonunun atılabilmesini sağlamak için gereken mekanizmalar açıklanmıştır. Atılabilirlik ile ilgili özelliklerin yanı sıra, verim değeri, kohezyon ve sürtünme açısı gibi temel özellikler de belirlenmiştir.

(Pfeuffer ve Kusterle, 2001) püskürtme beton harçlarının kıvam özellikleri üzerine katkıların sağladığı, su-çimento oranı, kalınlaşma ve kohezyon iyileştirme ve su

azaltmanın etkisi araştırılmıştır. Harçla ilgili reolojik veriler (nispi akma gerilimi ve nispi plastik viskozite), özel ölçüm profiline sahip bir viskozimetre (Viskomat NT) kullanılarak elde edilmiştir. Püskürtme beton ile yapılan laboratuvar testlerinde geri sekme ve reolojik özellikler arasında bir korelasyon kurulmuştur.

Cengiz (2004) tokluk, süneklik, enerji yutma ve yük gibi performans özelliklerini değerlendirmek için çelik hasır (SM), çelik tel (SF) ve yüksek performanslı polipropilen fiberle (HPPF) güçlendirilmiş püskürtme beton paneller üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır. Avrupa püskürtme beton standardına (EFNARC) uygun panel testleri, aynı karışım tasarımlarına sahip 18 prizmatik numune üzerinde test yapılmış ve 28 gün kürlenmiş paneller çeşitli liflerle takviye edilmiştir. Deney sonuçlarına göre düşük modüllü lif olan HPPF'ler dahil tüm takviyelerin, eğilme duktilitesi, tokluk ve yük taşıma kapasitesine olumlu etki yaptığını göstermiştir. Fiberleri karşılaştırmak için yapılan bu çalışmada, geri sekme özellikleri karşılaştırıldığında püskürtme betonda polipropilen (HPPF) fiber kullanılmasının avantajlı olduğu sonucu elde edilmiştir.

Çakıroğlu (2007) yapı elemanlarının güçlendirilmesi için püskürtme beton kullanımı üzerine doktora tez çalışması yapmıştır. Çeşitli nedenlerden dolayı hasar görmüş betonarme kiriş elemanların güçlendirilmesinde alternatif bir metot olan püskürtme beton uygulanması ile ortaya çıkan davranışlar hakkında bilgi toplanması hedeflenmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların ışığında kiriş elemanların deneylerinden elde edilen verilerle yük taşıma kapasiteleri, yük-yer değiştirme eğrileri, moment-eğrilik ve enerji yutma kapasiteleri gibi değişkenler incelenmiştir. Kiriş elemanların mantolama ve püskürtme betonla güçlendirilmesi ile elde edilen dayanım ve davranışları karşılaştırılmıştır.

(Köken ve diğ., 2008) beton basınç mukavemeti 20 MPa olan atık betonlardan elde edilen geri dönüşüm agregalarının fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiş, bu agregalardan farklı karışımlarda beton üretmiştir. Yapılan çalışmada ilk karışımın tamamı geri dönüşüm agregasından, ikinci karışımın iri agregası geri dönüşüm agregası, ince agregası kırma taş kumu, üçüncü karışım ise tamamı kırmataş agregadan üretilmiştir. Bütün karışımlar aynı dozajda üretilerek birbirleriyle kıyaslanmıştır. Geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonlarda geri dönüşüm agregası oranı arttıkça beton basınç mukavemetinde azalma olduğu tespit edilmiştir.

(Arioğlu ve diğ., 2008) püskürtme beton ve çelik lifle güçlendirilmiş püskürtme beton ve yeraltı mühendislik yapılarındaki tasarım uygulama konularını ayrıntılı olarak ele almışlardır. Çalışmada, konular bilgi föyleri ve çözümlü problemler yardımıyla işlenmiştir.

Ayış (2010) püskürtme betonda kullanılan katkıların mekanik büyüklüklere etkileri ile çelik lifli püskürtme betonda lif tipi ve miktarının performansa etkisini araştırmıştır. Tez kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmada, püskürtme beton karışım tasarımı ile püskürtme hava basıncının; betonun yerleşimi, basınç dayanımı ve geri sıçrama miktarına etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda geri sıçrama miktarı ve beton basınç dayanımı açısından en iyi sonuç 4,5 bar hava basıncı ile elde edilmiştir. Çelik liflerin betona katılmasıyla daha yüksek basınç dayanımı elde edildiği görülmüştür. Ayrıca çelik liflerin 1 m³ betonda maliyete etkisi düşünöldüğünde ekonomik olmadığı, ancak malzeme, ekipman, işçilik maliyetleri birlikte düşünöldüğünde %23 daha ekonomik sonuç verdiği, ayrıca yaklaşık %50 oranında zaman tasarrufu sağladığı belirlenmiştir.

(Kaufmann ve diğ., 2013) çalışmalarında yaş karışım püskürtme betonda lif miktarı, dağılımı ve yönelimlerinin geri sekmeye olan etkisini incelemiştir. Makro-sentetik polimer liflerin ve çelik liflerin geri tepme davranışı, saha testlerinde ve laboratuvar deneylerinde incelenmiştir. Çalışmada yapay taş kabartmaların üzerine püskürtme beton püskürtölmüş ve lifin yanı sıra geri seken malzeme toplanarak analiz edilmiştir. Püskürtme betonda lif yönleneşmesi, X-ışını bilgisayarlı tomografi ile analiz edilmiştir. Plastik liflerin özellikleri düşük yoğunlukta olmasından dolayı özel morfolojik filtreleme ile analiz edilebilmiştir. X-ışını bilgisayarlı tomografisi, hem çelik hem de makro-sentetik polimer elyaflar için püskürtme yönüne dik lif yönünü ortaya çıkarılmıştır.

Çimen (2015) atık malzeme olarak kullanılmayan, geri seken malzemenin kilitli parke taşı üretiminde kullanılması üzerine tez çalışması yapmıştır. Çalışmada yalın, elyaf oranları sabit olmak üzere 5 kg/m³ polipropilen lifli ve 9 kg/m³ polipropilen lifli olmak üzere 3 seri halinde kuru karışım püskürtme beton karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlarla püskürtölen betondan geri seken malzemeyle toplam 30 kilitli parke taşı numunesi alınmıştır. Üretilen parke taşı numunelerinde boyut muayenesi, yarmada çekme dayanımı, aşınma dayanımı, su emme oranı tayini deneyleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda geri seken malzemenin kilitli parke taşı

üretiminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Böylece geri seken betonun hem çevreye olan zararı hem de ekonomik olarak kazanım sağladığı tespit edilmiştir.

Şentürk (2016) tarafından yapılan çalışmada püskürtme betonun yaklaşık maliyetinin hesaplanması için yazılım C# ile Microsoft Visual Studio ortamında bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program hazırlanırken püskürtme betonun uygulama yüzeyi, boşluk oranı, çevre sıcaklığı, malzeme ve işçilik maliyeti, makine ve ekipman giderleri, nakliye ve zemin etkileri maliyete olan etkileri göz önüne alınmıştır. Programdan elde edilen veriler sektördeki örnek verilerle karşılaştırılarak bilgisayar programının hem sahada yapılan örneklerle uyumlu olduğu hem de Bakanlığın birim fiyat analizine çok yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Küçüköztaş (2018) püskürtme betonda erken priz süresinin tayinin tespiti amacıyla %4 ve %5 priz hızlandırıcı katkıyla metro tünellerinde püskürtme beton uygulaması yapmıştır. Yapılan bu tez çalışmasında proktor penetrometre, schmidt çekici ve tek eksenli basınç deneylerinde kullanılmak üzere A ve B olarak adlandırılan panel numuneleri alınmıştır. Proktor penetrometre deneyi sonuçlarına göre, priz hızlandırıcı katkılı numuneler başta olmak üzere içerdikleri agrega, kum ve hızlandırıcı vs. miktarlarındaki farklılıklardan dolayı aynı zamanlarda farklı dayanım verdikleri görülmüştür. Schmidt çekici ile yapılan deneyler sonucunda numune alımından itibaren 2. saatte başlayan ve 24. saate kadar devam eden deneylerde, çekicinin yay enerjisinin boşaldığı gözlenmiş ve bu enerjinin geri dönerek bir geri sekme değeri vermediği ama püskürtme betonu aşırı ezerek enerjinin harcadığı görülmüştür. Basınç dayanımı deneylerinde ise, püskürtme betonun basınç dayanımı artışı haftalık bazda gözlenmiştir. Bu deneyler sonucunda erken yaş basma değerleri tespit edilmiş ve bu değerler ile tünel özelliklerine göre belirlenebilecek olan en uygun sürede kazı işlerine tekrar başlanabilmesi sonucuna varılmıştır.

Araz (2019) metro tünellerinde nihai (ikinci) kaplama olarak klasik beton ile donatılı püskürtme beton kullanımının proje süresi ve maliyete etkisini araştırmış ve kıyaslama yapmıştır. Püskürtme betonun alternatif bir yöntem olarak uygulandığı bu çalışmada, donatılı püskürtme beton ile tünelin nihai kaplaması yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda donatılı püskürtme betonun klasik dökme betonla yapılan kaplamaya göre süre ve maliyet açısından daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Alkan (2020) tez çalışmasında püskürtme uygulamasında geri seken malzeme miktarı deneysel uygulamayla topluluk öğrenmesi yöntemlerinden Adaboost algoritmasının veri kümesinde kullanılmak üzere elde etmiştir. Çalışmada iki adedi yalın olmak üzere silis dumanı ve uçucu kül %10 ve %20 oranlarında çimentoyla hacimce yer değiştirilerek ve polipropilen lif ise 5 kg/m^3 ve 10 kg/m^3 oranlarında ilave edilerek toplam 14 adet numune üretilmiştir. Panellere püskürtülen beton sonucunda geri seken malzeme toplanmış, tartılmış ve veri olarak kaydedilmiştir. Geri sekme sonuçlarına bakıldığında en fazla geri sekme yalın numunede gözlenmiştir. Yalın numuneyi %20 uçucu kül ikameli numuneler takip etmektedir. En düşük değerler silis dumanı ikameli numunelerde gözlenmiş olup özellikle silis dumanı miktarı arttıkça geri sekmenin azaldığı tespit edilmiştir.

Rasuly (2020) tez çalışmasında yığma (blok) tuğla duvarlar üzerinde daha önce denenmemiş bir yöntem olan “genişletilmiş çelik levha ve cam lif katkıli püskürtme beton ile güçlendirme” tekniği kullanmıştır. Böylece farklı kalınlıklarda genişletilmiş çelik levha kullanımının blok tuğla duvar dayanım ve davranışı üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Birisi referans, 5’i genişletilmiş çelik levhalar üzerine 30 mm cam lif katkıli püskürtme beton kullanılarak güçlendirilmiş numuneler olmak üzere, toplam 6 adet deney elemanı ele alınmıştır. Çalışmanın sonucunda, güçlendirilmiş numunelerin, büyük çekme gerilmeleri taşıyabilen cam lif katkıli püskürtme beton, çelik levhalar ve ankraj bulonları sayesinde büyük yük taşıma ve enerji sönümleme kapasitesine eriştiği, deney numunelerinde ani bir yük kaybı oluşmadığı, numunelerin deneyin sonuna kadar bütünlüklerini korudukları, süneklik ve rijitliklerinde büyük artışlar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Püskürtme Beton Tanım ve Özellikleri

Püskürtme beton çimento, su ve agrega karışımından oluşan harcın, hava basıncıyla yüksek hızla önceden hazırlanan yüzeye püskürtülmesiyle elde edilen beton olarak tanımlanmaktadır (Çakıroğlu ve diğ., 2009).

Amerikan Beton Enstitüsü tanımına göre; püskürtme harç veya betonun bir yüzeye yüksek hızda hava basıncıyla püskürtülmesidir (ACI, 1966).

Püskürtme beton çok iyi hazırlanmış Portland çimentosu, su ve kum karışımından oluşan harcın, basınca dayanıklı lastik veya özel imal edilmiş sac borularla kullanım yerine iletilen ve önceden hazırlanmış yüzeye basınç altında püskürtülen betondur. Uygulanacak püskürtme beton için makinenin karışım odasında, çimento ve agrega uygun ölçülerde bir araya getirilip karıştırıldıktan sonra, bu kuru karışım seyrek olarak ve basınçlı hava yardımıyla bir hortum içinde püskürtme ucuna iletilir. Meme veya tabanca olarak da adlandırılan bu uca gelen kuru karışıma basınçlı su eklenerek elde edilen beton yine basınçlı hava yardımıyla ve yüksek hızla betonlanacak yüzeye püskürtülür (Bekişoğlu, 1993).

Püskürtme beton; agrega, çimento, su ve priz hızlandırıcı katkı karışımının boru hattı içerisinde basınçlı havayla taşındığı, püskürtme ile yerleşen beton olarak tanımlanır. Standart betona göre kalıp gerektirmeden yerleştirilmesi, priz hızlandırıcı katkı yardımıyla taşıyıcılık görevini hemen yerine getirmeye başlaması gibi avantajları nedeniyle yeraltı mühendislik yapılarında vazgeçilmez hale gelmiştir. Püskürtme beton ayrıca baraj yapıları, şevler, hasarlı binaların onarımı ve güçlendirilmesi vb. alanlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır (Ayış, 2010).

Püskürtme beton, onarım veya yapım amacıyla önceden hazırlanmış olan betonun basınçlı hava yardımı ile yüksek hızla uygulama yüzeyi veya uygulama alanına püskürtülerek elde edilen betondur (TS 11747, 1995).

Püskürtme beton için, İngilizce de "gunite", "pneumatically applied mortar, concrete", "gunned concrete" gibi isimler, Almandada ve oradan dilimizde ise patent ismi olan "torkret" kullanılmıştır. Ancak son zamanlarda bunların yerini "shotcrete",

“Spritzbeton” sözcükleri almıştır. Türkçede de “Püskürtme Beton” adının kullanılması uygun ve bu tür betonların tümünü kapsayan bir ad olmaktadır (Aka ve Celep, 1978).

Püskürtme beton İngilizcede “spray concrete”, “gunned concrete” veya “shotcrete”, Türkçede ise “püskürtme beton” ismiyle literatüre girmiş, bu beton için yaygın olarak bu isimler kullanılmaktadır.

Püskürtme betonun normal betondan farklı olarak karışımın bir hortumun ağzından hava basıncı yardımı ile beton dökülecek yüzeye büyük hızla fırlatılması, çarpma sonucunda orada yapışıp kalması ve varsa içindeki priz çabuklaştırıcı katkının etkisi ile çok kısa sürede katılaşıp taşıyıcılık kazanmasıdır. Püskürtme betonun yaş ve kuru olmak üzere iki uygulama yöntemi vardır. Kuru yöntemde çimento, kum, nemli ve iri agrega susuz ortamda karıştırılarak basınçlı hava ile çıkış hortumuna basılır. Nozulda katkı malzemesi ve püskürtme suyu ile karıştırılarak 70-120 m/s bir hızla püskürtülür. Bu karışım uygulanacak yüzeye çarpınca uygulama yüzeyinde bir beton kabuk oluşur.

Püskürtme beton, çimento, su ve agrega karışımından oluşan harcın, hava basıncıyla yüksek hızla önceden hazırlanan yüzeye püskürtülmesiyle elde edilen, kuru sistem ve yaş sistem olarak uygulanan bir beton çeşididir (İnce ve diğ., 2005).

Yaş sistemde katkı malzemesi dışındaki bütün malzemeler bir plentte hazırlanarak hortum içinden geçer, hava veya pompa basıncı ile lansa sevk edilir. Katkı malzemesi ilave edildikten sonra ilave hava basıncı ile 35-45 m/s gibi bir hızla yüzeye püskürtülür (Topçu, 2006).

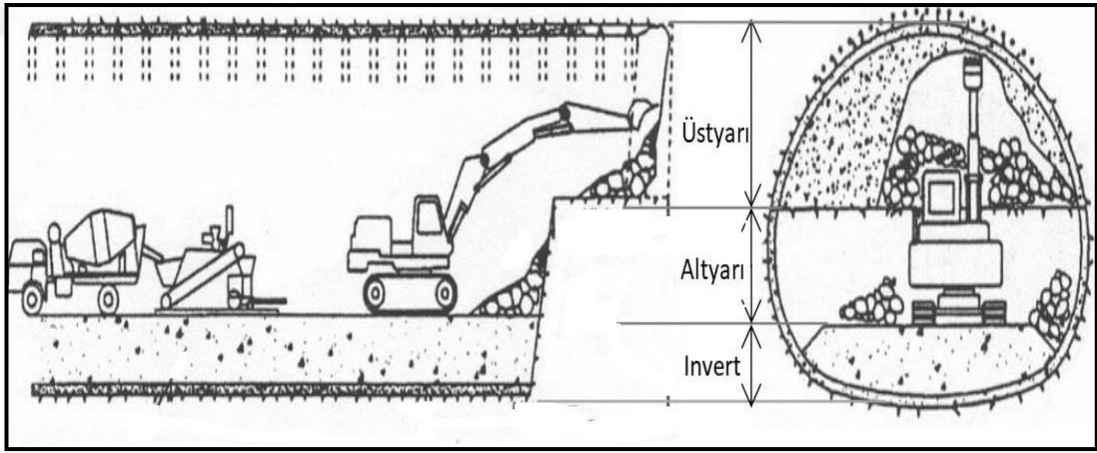
Püskürtme beton; agrega, çimento, su ve priz hızlandırıcı katkı karışımının boru hattı içerisinden basınçlı havayla taşındığı, püskürtme ile yerleşen beton olarak tanımlanır. Standart betona göre kalıp gerektirmeden yerleştirilmesi, priz hızlandırıcı katkıları yardımıyla taşıyıcılık görevini hemen yerine getirmeye başlaması gibi avantajları nedeniyle yeraltı mühendislik yapılarında vazgeçilmez hale gelmiştir.

2.2. Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM)

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi, tünel projelerinde delme veya patlatma yöntemi kullanılarak yapılan, sıralı kazı yöntemi olarak da bilinen modern tünel açma metodudur. Tünelde ilerledikçe karşılaşılan kaya türüne göre farklı teknikler ile tüneldeki deformasyonları optimize etmek için günümüzde sıkça uygulanan inşaat

yöntemlerinin başında gelmektedir. Bu teknik ilk olarak Avusturya'da 1957-1965 yılları arasında Ladislaus von Rabcewicz, Leopold Müller ve Franz Pacher'in çalışmalarına dayanarak ortaya çıkmıştır. Prof. L.v. Rabcewicz 1948 yılında patent için başvurduğu NATM kazı yöntemi, açıldığı kaya ortamına kendisini taşıması prensibine dayanan tünel açma yöntemi olarak literatüre geçmiştir.

Tünel inşaatında yer altında büyük boşluklar açılmakta, bu boşlukların duraylı kalması için hem çalışan sağlığı hem de ekonomik olarak önem taşımaktadır. Püskürtme betonun karakteristiğini daha iyi anlamak amacıyla çeşitli projelerde yaygın olarak uygulanan NATM (The New Austrian Tunnelling Method) mühendislik tünel açma metodu yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Tünel kazı adımları (Araz, 2016)

1910'lu yıllardan itibaren maden ve inşaat projelerinde kullanılmaya başlanan püskürtme betonun, özellikle 1960'lı yıllardan itibaren Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi'nin (NATM) geliştirilmesi ile kullanımı büyük ölçüde artmıştır. Günümüzde püskürtme betonun dünyada yılda yaklaşık 11 milyon m³ düzeyinde kullanılmaktadır. Tünel kazı destek sisteminin vazgeçilmez elemanı olan püskürtme beton, yıllarca hasır çelik ile birlikte kullanıldıktan sonra günümüzde gittikçe artan şekilde çelik lifler ile birlikte uygulanmaya başlanmıştır.

Bu kazı yönteminde tünel kesitini çevreleyen kayaç çevresinin ilk duraylılığının korunarak, boşluğu çevreleyen kayaçların yük taşımasını sağlaması hedeflenmektedir. Açılan boşluklarda tünelin çevresi boyunca deformasyonlar, gevşemeler ve oturmalar meydana gelebilir. Tünel inşasında zemini stabil tutmak için, oluşacak deformasyonlara, gerilmelere engel olmak gerekmektedir. Bu gerilmelerin azaltılması kazı sırasında tünel tahkimat işlemleriyle

gerçekleştirilmektedir. NATM tahkimat elemanları iksa, püskürtme beton ve kaya bulonlarıdır. Yapılan bu tahkimatlarla kazı esnasında yüklerin bir kısmı ana kayaya bir kısmı ise tahkimat elemanlarına taşıttırılır ve tünelin kendi kendini tutabilmesi sağlanmış olur. Böylece tünel, çevre kayalardan gelecek kütle ve baskıya dayanacak duruma gelmektedir.

Kazı sonrasında birincil destek elemanlarından olan püskürtme beton kazıdan hemen sonra oluşan gerilme ve deplasmanların bir kısmını karşılamaktadır. Böylece kaya kütlesi stabil hale getirilir ve sonraki kazı aşamasına geçilebilmesi sağlanmaktadır. Püskürtme beton kalınlığı kaya kütle sınıflamasına göre belirlenir ve 10–50 cm aralığında değişmektedir. Püskürtme beton teknolojisi yeraltı destekleme işlemlerine katkısı, duraylılığı artırması nedeniyle yeraltı mühendislik yapılarının önünü açmıştır. Daha sonra ikincil destek elemanları ile güçlendirilen tünel, betonarme taban betonu ve iç kaplama betonu yapılarak son halini alır.

Yer altı yapılarının duraylılığını sağlayan püskürtme beton, Yeni Avusturya Tünel Açma Yönetimi'nin vazgeçilmez bir ögesi olup, destekleme sisteminin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bu betonun amacı çatlakları kapatmak, yapıyı her türlü zararlı etkilere karşı koruyarak mukavemeti arttırmaktır. Püskürtme beton daha çok çatlak (kavlak) ve kabarık dökümlerin olduğu şevlerde, maden galerilerinde, barajlarda, tünel çevresi ve aynasında kullanması bu betonun önemli avantajlarındanır.

Püskürtme beton normal betona göre kalıp gerektirmeden kolayca uygulanabilmektedir. Çelik hasırlarla birlikte zemin-kaya parçalarını birlikte tutarak deformasyonu sınırlandırması, kırık ve çatlaklar arasına girerek kayayla havanın temasının kesilmesi, kayanın yapısını güçlendirmesi, priz hızlandırıcı katkıları yardımıyla çok kısa sürede taşıyıcılık görevini yerine getirmeye başlaması nedeniyle yeraltı mühendislik yapılarının vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir.

2.3. Püskürtme Betonun Kullanım Alanları

Püskürtme beton çoğunlukla tünel tahkimatı ve şev kaplaması gibi uygulama alanı başta olmak üzere, geniş bir alanda çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Beton işleri içinde, püskürtme beton uygulaması amacına göre birçok farklı alanda yaklaşık 100 yıldır uygulanmaktadır. Püskürtme beton kullanımı yeraltı ve yerüstü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Püskürtme beton yapıların yanı sıra şev stabilizasyonları, hidrogüç projeleri, köprü, baraj, tünel vb. gibi yapılarda da kullanım alanı bulmuştur. Bunlara örnek vermek gerekirse; Güney Kaliforniya'daki Littlerock Barajı'nın ön yüzü püskürtme beton ile kaplanmıştır. Barajın akıntı yönü üzerinde stabilitesi için çelik fiber içeren püskürtme beton kullanılmıştır. Skokie de ise bir lağım tünelinin onarımında kullanılmıştır. Ayrıca püskürtme beton köprülerin onarımında da sıklıkla kullanılmaktadır (Rutenbeck, 1999).

Püskürtme beton yer üstünde yol şevlerinde, çeşitli mühendislik işlerinde kaplama ve duraylılığı sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Püskürtme betonun kazı işlerinde yoğun kullanılmasının nedeni, kazı yapılan yüzeylere kazının hemen ardından uygulanabilir olmasıdır.

Yukarıda saydığımız örnekler püskürtme betonun uygulama alanlarının bir kısmını oluşturmaktadır. Diğer uygulanan yerler ise aşağıda sıralanmıştır.

- Boru ve kanalizasyonların onarımı
- Metro, tünel yapımı ve onarımı
- Şev stabilizasyonlarında kaya ve zemin desteği için
- Çok katlı otopark tamirleri
- Baraj ve köprü onarımı
- Hidrogüç projelerinde
- Silo tamirleri
- Sulama kanallarının kaplanması
- Su bakım tesislerinin alt yüzeylerinde
- Yüzme havuzları
- Tersanelerin yenilenmesi
- Tarihi demiryolu istasyonlarının yenilenmesi
- Eski yapıların yeni kullanım alanlarına adaptasyonu
- Depremden hasar görmüş binaların onarımı
- Yeni yapımlar için püskürtme beton kullanımı (Rutenbeck, 1999).

2.4. Püskürtme Beton Uygulama Sistemleri

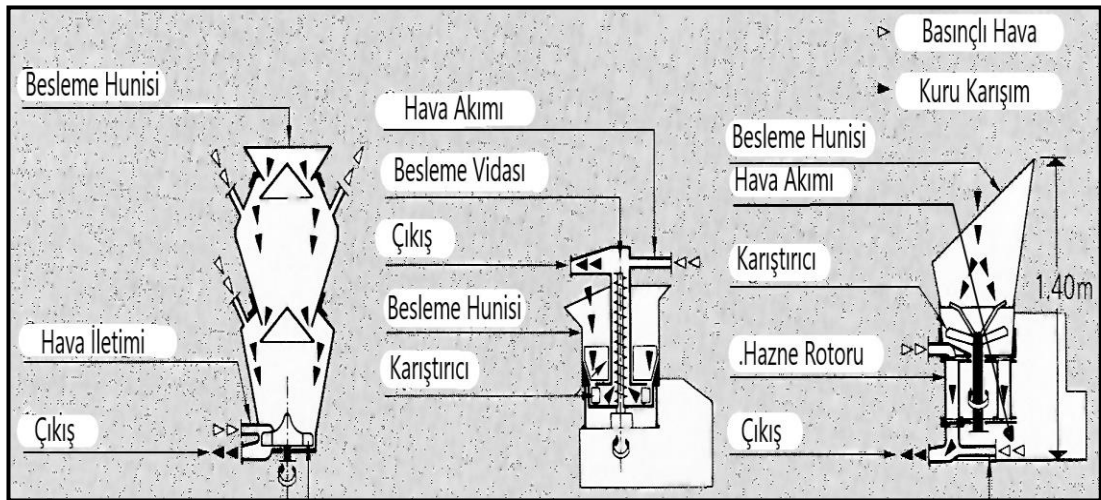
Püskürtme beton uygulamalarında iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Kuru karışım sisteminde; silindir hazneli ve tekerlek tipi olmak üzere iki çeşit makine mevcuttur. Yaş karışım sisteminde ise pistonlu, sıkıştırırmalı, pnömatik olmak üzere üç tip pompa makinesi vardır. İletim hatlarında aşınmaya daha dayanıklı olması bakımından sabit

olan kısımlarda çelik boru, püskürtme ucuna yakın olan kısımlarda ise esnek olması nedeniyle kauçuk hortumlar kullanılmaktadır. Püskürtme ucu, kuru yöntemde karışıma suyun ilave edildiği kısımdır. Kuru karışım sisteminde; püskürtme kapasitesi 0,6-11,5 m³/saat aralığında olup, bu sınırlar içerisinde kapasite, motorun gücü ile ayarlanabilmektedir. İletim borusu (hortum) çapı (25-75 mm) seçiminde iletim mesafesi, uygulama kapasitesi ve maksimum agrega çapı dikkate alınır. Yaş karışım sisteminde beton, pompa yardımıyla püskürtme ucuna iletilir. Püskürtme kapasitesi (2-15 m³/saat) pompa başında bulunan operatör tarafından kontrol edilir. Bu sistemde basınçlı hava gereksinimi ~1 m³/saat olup priz hızlandırıcı, basınçlı hava ile püskürtme ucunda verilmektedir (Doyuran ve Köksal, 2000).

2.4.1. Kuru sistem püskürtme beton

Kuru sistem püskürtme beton, tasarıma göre belirlenmiş belli oranda çimento ve çimentonun agregayı bağlaması için hafif nemlendirilmiş agregalardan oluşan karışım olarak nitelendirilmektedir. Bu karışım püskürtme beton makinesini kuru olarak beslemesi esasına dayanmaktadır. Karışım seyrek olarak, bir hortum içinde kompresörden gelen basınçlı hava yardımıyla püskürtme beton başlığına iletilir. Hortumun ucundaki kuru karışıma hidrasyon için, önceden su vanasından ayarlanan su ilave edilerek karışım ıslak hale getirilir. Böylece karışım püskürtme tabancasından yüksek hızla betonlanacak yüzeye püskürtülür.

Temel olarak kuru karışım işlemi üç farklı tiptedir ve bunların hepsi süspansiyonlu taşıma prensibine göre çalışır. Keşif sırasına göre bunlar çift hazneli sistem, vidalı sistem, döner çark sistemi olmak üzere sınıflandırılmaktadır. (Teichert, 2003)



Şekil 2.2. Çift hazneli, vidalı ve döner çark sistemlerinin çalışma prensibi (Teichert, 2003)

Günümüzde kullanımı gittikçe azalan çift hazneli sistem 1907'de Carl E. Akeley tarafından icat edilmiştir. Bu makinede alt bölmenin altındaki tahliye çıkışı ve üst üste düzenlenmiş iki bağlantılı bölme (odacık) bulunur. Üst bölmenin besleme açıklığı ve iki bölme arasındaki bağlantı, birbirinden bağımsız olarak çan şeklindeki valfler ile hava geçirmez şekilde kapatılabilmektedir. Alt hazne ile tahliye hattı aynı hava basıncındadır. İşlem kuru karışımın üst hazneye doldurulmasıyla başlar ve iki hazne arasındaki valf kapanır. Daha sonra, besleme bölmesi hava geçirmez şekilde kapatılır ve üst bölme tıpkı alt bölme gibi basınçlandırılır. İki hazne arasındaki valf açılır ve karışımın üstten alt hazneye akması sağlanır. Daha sonra, iki bölme arasındaki valf tekrar kapatılır ve giriş valfinin tekrardan açılması için üst bölmedeki basınç serbest bırakılır. Bu arada kuru karışım, pnömatik hareket eden besleme çarkı ile alt bölmeden boşaltılır ve boşaltma hattındaki hava akımı tarafından iletilir. Üst bölme aynı anda yeniden doldurulur ve bu döngü tekrarlanır. (Teichert, 2003)

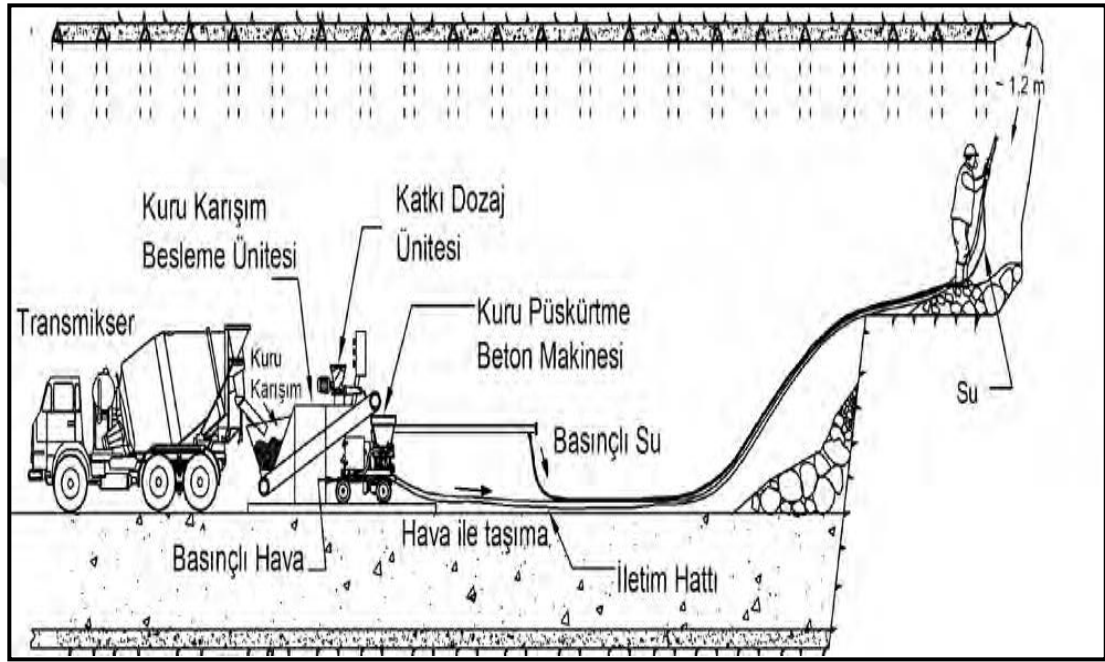
Vida tipi makine elektrikli veya pnömatik bir motorla hareket ettirilen ve dikey bir boru içinde dönen vida bulunur. Bu dönel vida beton karışımını basınçlı havanın bulunduğu hazneye taşır. Hazneye taşınan karışım basınçlı hava yardımıyla yüzeye püskürtülür.

II. Dünya Savaşı sonrası yıllarda kuru karışım püskürtme beton makinesi üzerinde çalışılarak döner çark (rotor) sistemi geliştirilmiştir. Rotor sistemli makineler üretilince vidalı tipteki makineler piyasada tercih edilmemiştir. Rotor sistemde kuru karışım, üstten bir besleme haznesinden beslenir. Karışım hazne içerisinde dikey dönme eksenine sahip bir rotora ve oradan tahliye hattına geçmektedir. Rotor dikey şekilde silindirik veya dairesel bölme odaları ile donatılmıştır. Rotor dönerken, her bölme sırasıyla besleme açıklığının altına gelir. Beton karışımı haznede hareket etmeye devam ederken, karıştırıcı yardımıyla besleme odalarına inmektedir. Karışımla doldurulmuş rotor odaları, basınçlı havanın yardımıyla tahliye hattına doğru ilerleyerek çıkış deliğinden (nozül) istenen yüzeye uygulanmaktadır.

Püskürtme tabancasında (nozül) verilen su, isteğe bağlı olarak miktarı ayarlanabilir. Eklenen kimyasal katkı sıvı ise püskürtme beton tabancasında suyla birlikte, toz ise karıştırma kazanına eklenerek püskürtme beton karışımına dahil edilir. Nemlendirilmiş agrega tozumanın önüne geçerken, karışımın fazla miktarda su verilmesi, uygulama yapılan yüzeye yapışmamasına, ayrıca betonda meydana gelecek bloklaşmadan dolayı iletim hattının tıkanması tehlikesi meydana gelebilir. Gereken durumlarda suya kimyasal katkı da eklenebilir.

Kuru püskürtme yönteminde uygulama ekonomisini etkileyen en önemli unsur geri sıçrama oranının yüksek olmasıdır. Geri sıçrama miktarı, karışımın özellikleri, uygulama yüzeyinin konumu ve operatörün deneyimine bağlı olarak %15-%35 arasında değişebilmektedir (Melbye, 2006).

Kuru sistem püskürtme betonda, beton kalitesi açısından su miktarı operatör tarafından ayarlanırken, yaş sistem püskürtme betonda su miktarı sabittir. Kuru sistemde su miktarının ayarlanması operatörün deneyimine bağlıdır.

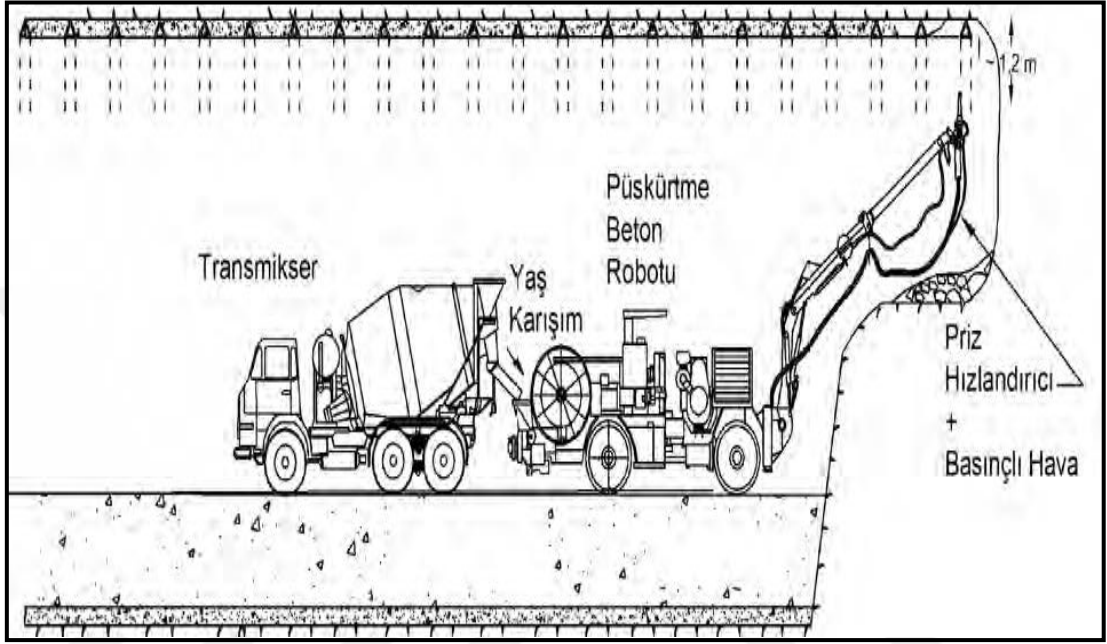


Şekil 2.3. Kuru karışım püskürtme beton uygulama yöntemi (Arioğlu ve diğ., 2008)

2.4.2. Yaş sistem püskürtme beton

Yaş karışım püskürtme beton sistemde genellikle beton üretim tesisinde çimento, agrega, su ve akışkanlaştırıcı katkı önceden karıştırılır. Hazırlanan bu yaş karışım transmikser aracılığıyla uygulanacak bölgeye sevk edilir. Püskürtme beton makinesinde basınçlı havayla hortumun içinden püskürtme tabancasının ucuna (nozül) iletilir. Burada yaş karışım basınçlı hava yardımıyla yüksek hızda betonlanacak yüzeye püskürtülür. Yaş karışım yönteminde priz hızlandırıcı katkılar genellikle sıvı olduğundan püskürtme ucunda ayrı hortum vasıtasıyla betona verilir. Püskürtme işlemi genellikle uzaktan kumandalı robot kollu makineler ile yapılmaktadır. Çünkü yaş karışımda püskürtme ucu insan gücüyle tutulup kontrol edilemeyecek kadar ağırdır.

İyi bir yapışma ve sıkışmanın sağlanması için verilen basınçlı havanın yeterli olması çok önemlidir. Basınçlı havanın düşük olması durumunda yapışma, geri sıçrama ve betonun basınç dayanımı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Püskürtme beton uygulamalarında püskürtme beton makinesinin kapasitesine bağlı olarak genellikle tabancada 2-6 bar basınçla 70-120 m/s bir hızla püskürtülmektedir.



Şekil 2.4. Yaş karışım püskürtme beton uygulama yöntemi (Arioğlu ve diğ., 2008)

2.4.3. Yaş ve kuru sistem püskürtme betonun karşılaştırılması

Püskürtme beton uygulamasına karar verilmesinde işe uygunluk açısından yaş veya kuru sistem püskürtme betondan birisi tercih edilmektedir. Kullanılan her iki yöntemin birbirleri ile karşılaştırılmasında iki yöntemin birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Ancak son yıllarda püskürtme beton kullanım miktarlarındaki eğilim incelendiğinde, yaş karışım metodunun daha fazla kullanıldığı görülmektedir. Yaş karışım püskürtme beton yönteminin tercih edilmesinde en önemli faktörlerden birisi katkı teknolojisindeki yeni nesil katkıların kullanıma girmesidir. Yeni tip katkıların üretilmesiyle püskürtme betondaki geri sıçrama miktarı ve işçi sağlığını olumsuz yönde etkileyen kimyasal katkıların zararlı etkileri azaltılmıştır. Günümüzde yaş karışım püskürtme beton yönteminin tercih edilmesinin önemli nedenlerinden birisi de büyük ölçekli işler için uygunluk ve püskürtme beton makineleri teknolojisindeki yeni gelişmeler bulunmaktadır.

Tablo 2.1. Kuru ve yaş sistem püskürtme betonun karşılaştırılması (Çakıroğlu, 2007)

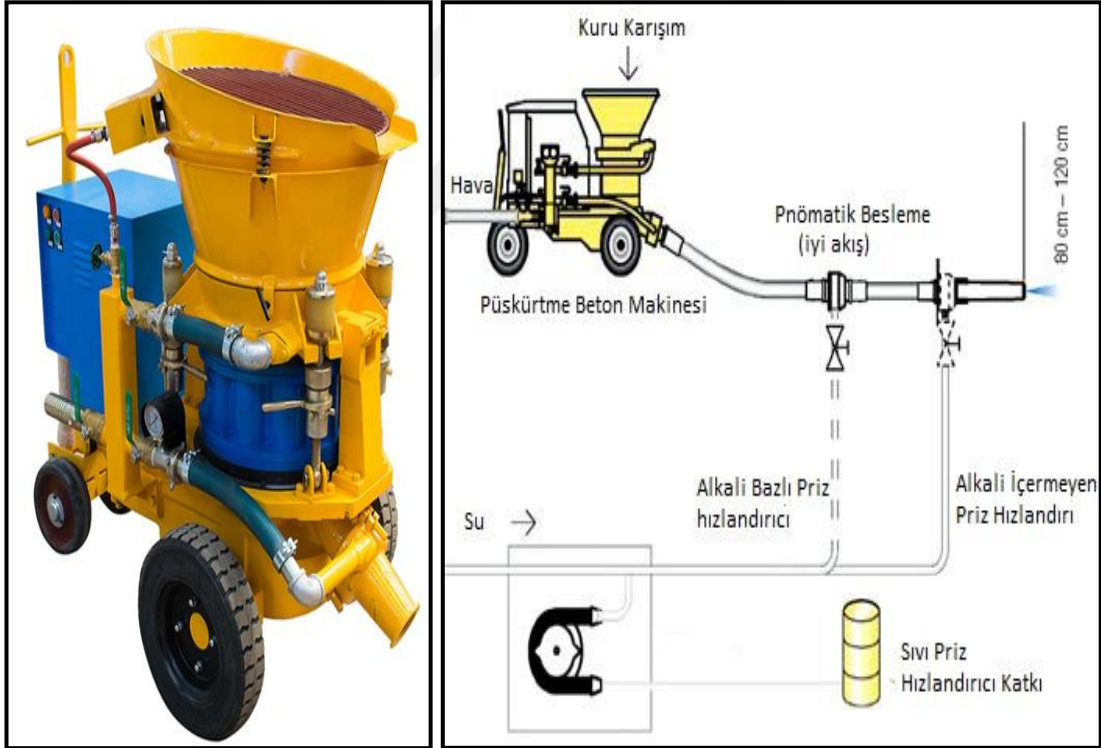
Faktör	Kuru Sistem	Yaş Sistem
Aderans dayanımı	Her iki sisteminde aderans dayanımı geleneksel betona göre önemli ölçüde yüksek olmasına rağmen yaş sistemin aderans dayanımı kuru sisteme göre daha yüksektir.	Yaş sistem püskürtme betonun aderans dayanımı daha yüksektir.
Uygulanma oranı	Kuru karışım püskürtme geri sekme vb. dezavantajlarından dolayı daha az oranda uygulanmaktadır. Ancak ekipmanları ucuz ve hafif olduğu için tercih sebebidir.	Yaş karışım püskürtme kuru karışıma nazaran kullanımı daha yaygındır.
Uygulama	Küçük ölçekli işler için elverişlidir.	Büyük ölçekli işler için elverişlidir.
Geri sekme	Özellikle lif kullanıldığında geri sekme yüksek olur.	Kuru karışım püskürtmeye göre daha az geri sekme olur. Bu nedenle püskürtme öncesi ve sonrasındaki granülometri dağılımında büyük farklar olmaz.
Toz oluşumu ve işçi sağlığı	Toz oluşumu yaş karışıma nazaran daha fazladır. Bu nedenle işçi sağlığı ile ilgili problemlere yol açması muhtemeldir.	Uygulama sırasında daha az toz oluşur. İnsan sağlığı için zararlı toz etkisi minimuma iner. Böylece iş verimi de artar. Çalışma koşulları daha elverişlidir.
Makine ve bakımı	Yatırım maliyeti az ve bakımı kolaydır.	Yatırım maliyeti fazla ancak ekipmanlar kolayca kirlenmediğinden dolayı temizliği ve bakımı kolaydır
Kalite kontrolü	Karışıma ilave edilen su miktarı operatör tarafından ayarlandığı için kalite büyük oranda buna bağlı olarak değişir.	Su miktarı santralde ayarlandığı için karışım daha üniformdur.
Personel (Operatörün deneyimi)	Su miktarının ayarı operatörün deneyimine bağlıdır. Bu nedenle operatörün deneyimli olması şarttır.	Su/çimento oranının ayarı makine ile olduğundan operatörün dayanımı kuru sisteme göre daha az önemlidir.

2.5. Püskürtme Beton Uygulama Yöntemleri

Kuru ve yaş karışım yöntemlerinde püskürtme makinelerinin uygulama açısından birbirine benzerken, çalışma prensipleri farklıdır. Yeraltında temelde iki tip kuru

karışım püskürtme makinesi kullanılmaktadır. Bunlar silindir hazneleri olan rotorlu ve pnömatik tip olmak üzere iki çeşittir (Mahar ve diğ., 1975).

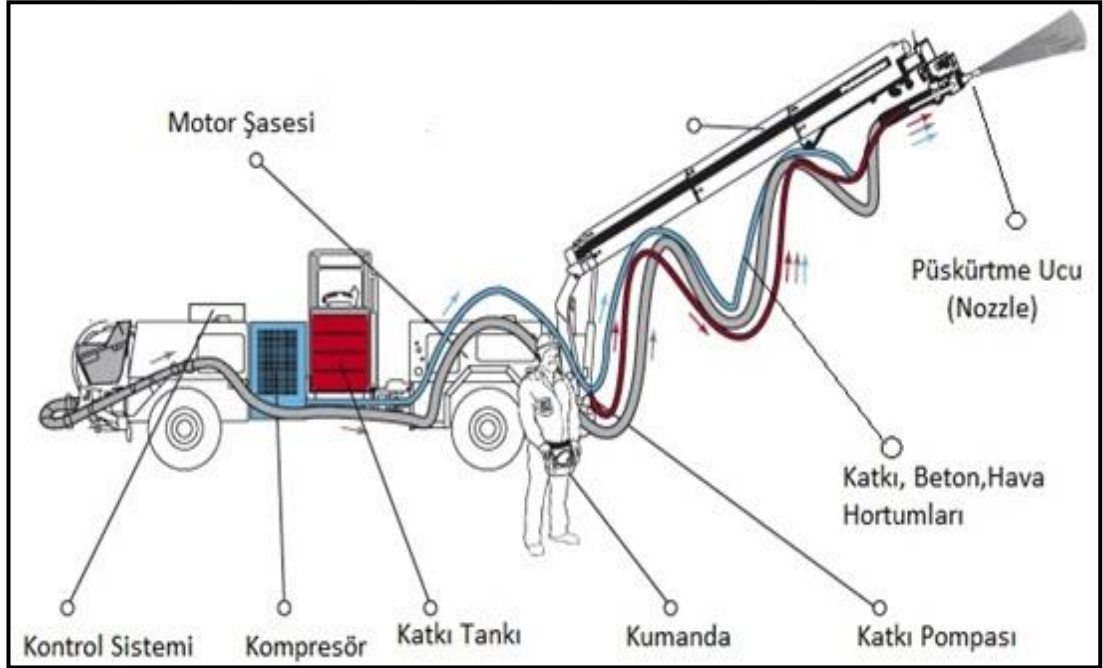
Rotorlu tipte olan makineler daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Konik biçimdeki malzeme haznesine doldurulan karışım bir karıştırıcı ile karışırken kendi ağırlığı ile rotordaki haznelere dolar. Dönen rotorun bir tarafında bulunan hazneler dolarken diğer taraftaki haznelerin içindeki karışım basınçlı hava ile iletim hattına doğru basınçla itilmektedir. Rotorun alt ve üst kısmında malzemenin ve havanın kaçmaması için kauçuk aşınma plakaları bulunur. Bu plakaların aşınarak sık sık değiştirilmesi bu yöntemdeki en önemli maliyet kalemlerinden birini oluşturmaktadır. Bu kauçuk plakalar arasına kayganlığı artırarak sürtünmeleri azaltmak için sürekli yağlama yapılabilir. Böylece rotor daha fazla sıkılabilmekte ve toz oluşumu azaltılabilmektedir (Arioğlu ve diğ., 2008).



Şekil 2.5. Rotor tip kuru püskürtme makinesi ve çalışma sistemi (URL-2)

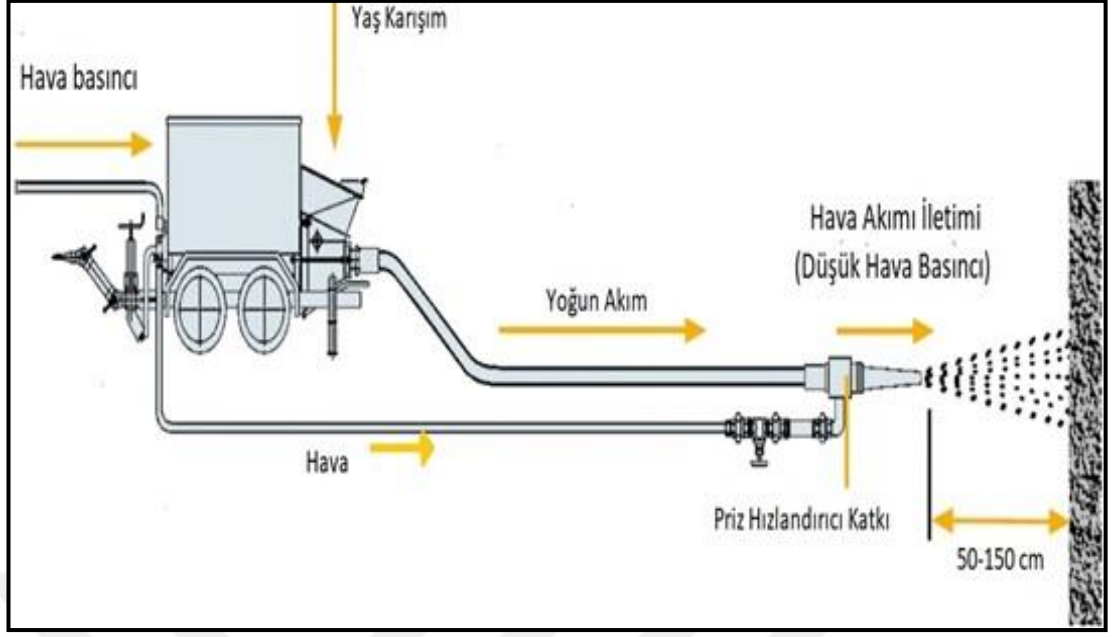
Yani kuru sistemde püskürtme beton konik şekilde beslenme hunisinden geçerek, rotorda bulunan hazneye dolan karışım basınçlı havayla boru hattına doğru itilir ve püskürtme ucuna kadar iletilir. Püskürtme ucunda verilen basınçlı su ile uygulanacak yüzeye beton püskürtülür.

Püskürtme beton uygulamasında karışım normal betonda olduğu gibi hazırlanarak beton pompasına beslenmekte ve pompa ile hidrolik olarak iletim borusundan püskürtme ucuna kadar iletilmektedir. Karışımın yüzeye püskürtülmesi için gerekli olan 7-15 m³/dk arasındaki debi ve 7 bar basınçtaki hava püskürtme ucuna verilmektedir. Bu yöntemde kuru püskürtme makinelerine benzer yapıda olan rotorlu tip makineler de kullanılmaktadır. Bu tip makinelerde karışım basınçlı hava ile iletilmektedir. Yaş karışım yönteminde karışıma ilave edilen priz hızlandırıcı katkıları sıvı halde olduğundan püskürtme ucunda ilave edilmektedir. Püskürtme işlemi genellikle uzaktan kumandalı robot kollu makineler ile yapılmaktadır. Başarılı bir uygulama için kullanılan makine kapasitesine bağlı olarak basınçlı hava debisinin 4-8 m³/dk'den fazla olması istenir. Robot kollu makinelerde ise basınçlı hava debisi 12 m³/dk mertebesinde olmalıdır (Şentürk, 2006).



Şekil 2.6. Yaş karışım püskürtme beton makinesi elemanları (URL-3)

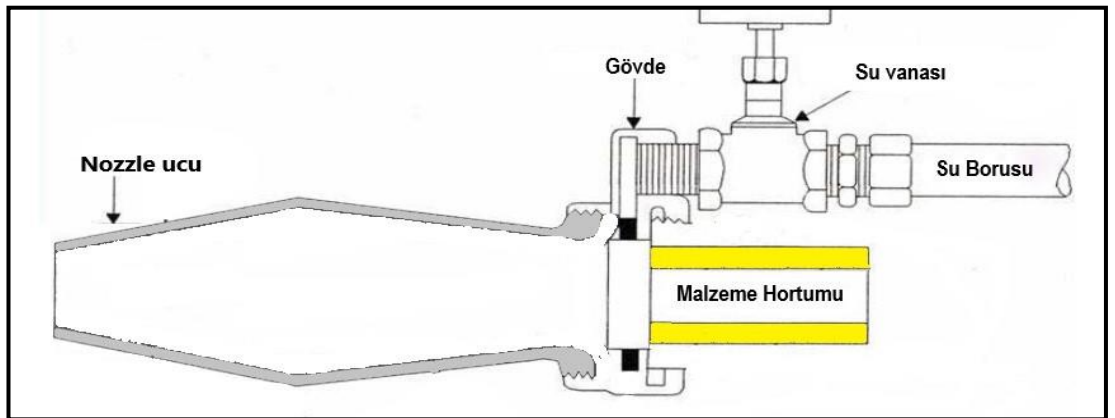
Uygulama başladığında, karışımın ve yerleştirmede tutarlılık olmayabilir. Püskürtmenin fiziksel özellikleri hem alt tabakaya, hortum ucunun yönüne hem de yerleştirme anında malzemenin çarpma hızına önemli derecede bağlıdır. Tabanca, uygulamaya göre değişmek üzere 0,50 m–1,50 m mesafede tutularak uygun sonuç alınabilir. Uzak tutulan tabanca donatısının arkasını yeterli betonla dolduramayacağı için, zayıf kesitler meydana gelir ve buralarda kalan malzeme ilerde beton yüzünde



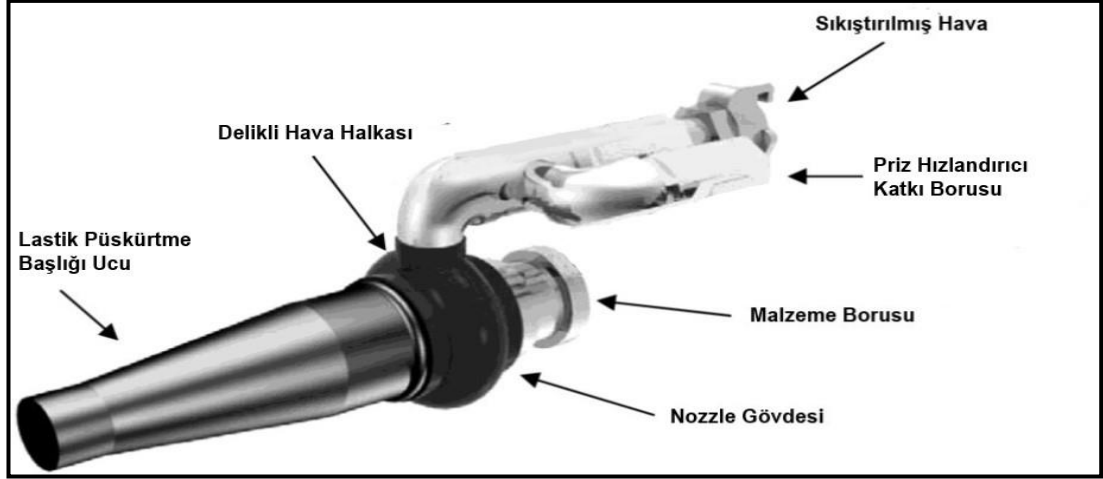
Şekil 2.7. Yaş karışım püskürtme beton makinesi çalışma sistemi (URL-4)

çatlaklara sebep olabilir. Fazla yakın tutulan tabancada ise, yüzeye yapışmadan sıçrayan beton fazla olur (Çakıroğlu ve diğ., 2009).

Püskürtme uçları püskürtme beton ekipmanlarının en önemli unsurlarındandır. Geri sıçramanın kontrol edilmesi, sıkışmanın iyileştirilmesi, yapışma dayanımı ve toz oluşumunun azaltılması üzerinde etkili rol oynamaktadır. Püskürtme ucu, kuru karışım püskürtme yönteminde karışıma suyun ilave edildiği kısımdır. Burada karışım suyu basınçlı olarak sprej şeklinde verilir. Verilen suyun sprej şeklinde verilmesi suyun iyi dağılması açısından önemlidir. Bazı uç sistemlerinde su karışıma püskürtme ucundan 3-4 m geride verilmekte böylece suyun daha iyi karışması sağlanmaktadır. Yaş karışım püskürtme yönteminde basınçlı hava ve hızlandırıcı püskürtme ucunda verilmektedir (Arioğlu ve diğ., 2008).



(a)



(b)

Şekil 2.8. Kuru ve yaş karışım yönteminde kullanılan tipik püskürtme uçları

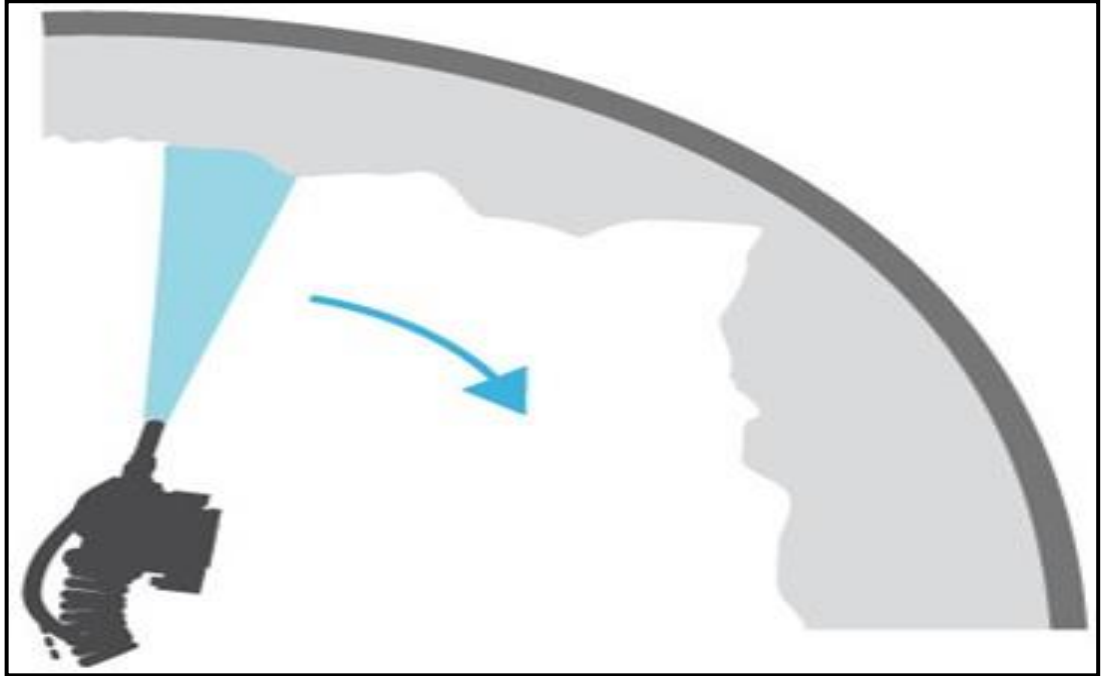
2.6. Püskürtme Beton Uygulamasından Dikkat Edilecek Hususlar

Püskürtme beton günümüzde yaygın olarak kullanılan, sağladığı önemli avantajlara rağmen bazı hususlara dikkat edilmemesi nedeniyle bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Dikkat edilmesi gereken şartlara uyulmadığı takdirde başarısız bir uygulama gerçekleşmektedir.

Püskürtme beton uygulamasında dikkat edilmesi gereken hususların başında yüzeye yapışmayan genellikle atık olarak bertaraf edilen geri sıçrayan betondur. Geri sıçrama miktarı karışımdaki bileşenlerin kalitesi ve oranına bağlıdır. Çimento, agregalar, mineral ve kimyasal katkıları, su-çimento oranı, betonun kıvamı uygulamanın başarılı olmasında doğrudan etkindir. Ayrıca püskürtme ucundaki hava basıncı, iletim ekipmanları, hortum çapı, operatörün deneyimi, uygulanan zeminin cinsi, tabaka kalınlığı, ortam sıcaklığı gibi etmenlere de bağlıdır. Püskürtme betonun başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

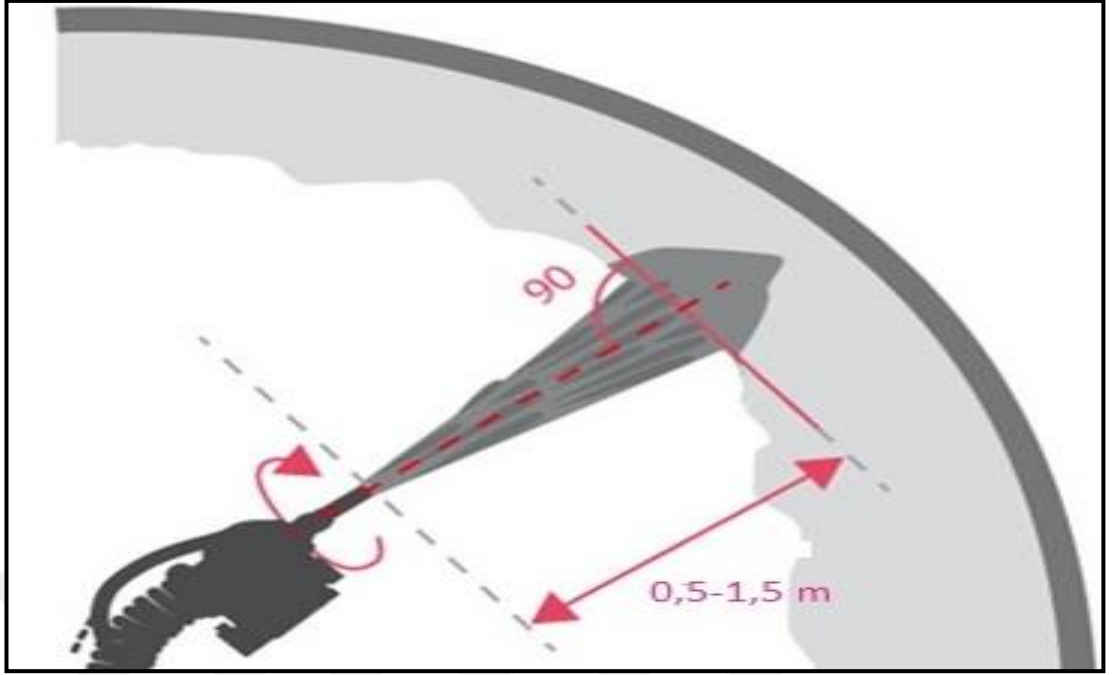
- Püskürtme beton uygulamasına başlamadan önce iletim hattında olası tıkanma olmaması, betonun kesintisiz ve sürekli pompalamaya hazır halde olması için, iletim hattının kayganlaştırıcı kimyasalla, çimento şerbetiyle veya yağlanması önemlidir. Böylece pompalama hattı boyunca çelik borularda ince bir tabaka oluşarak, betonun homojen ve kesintisiz olarak hareketi sağlanır. Uygulama bittikten sonra iletim hattının çevresinde biriken betonların belli bir zaman sonra prize geçmesi durumundan dolayı, hattın bir an önce yıkanması gerekir.

- Beton pompalanabilmesi ve geri tepme kaybını en aza indirmek için maksimum tane çapı 16 mm olmalıdır. 8 mm çaplı agrega miktarı tercihen %10'u geçmemelidir. Çünkü iri agrega taneleri sert bir yüzeye püskürtüldüğünde geri döner ve önceden yerleştirilmiş ilk kademe betona yapışması oldukça zorlaşmaktadır.
- Püskürtme betonun temiz yüzeye uygulanmasına dikkat edilmelidir. Bu nedenle yüzey üzerinde toz ve çamur partikülleri temizlenmelidir. Yüzey temizlenmesi basınçlı su veya basınçlı hava yardımıyla temizlenebilir. Yüzeyin suyla ıslatılmasıyla nemli bir yüzey elde edilir. Eğer püskürtme beton, zayıf bir zeminde uygulanacaksa öncelikle ince bir püskürtme tabakası uygulanmalı, daha sonra beton kalınlığı artırılmalıdır. Tünel çevresinden sürekli su akışı varsa, su uzaklaştırılmalıdır.



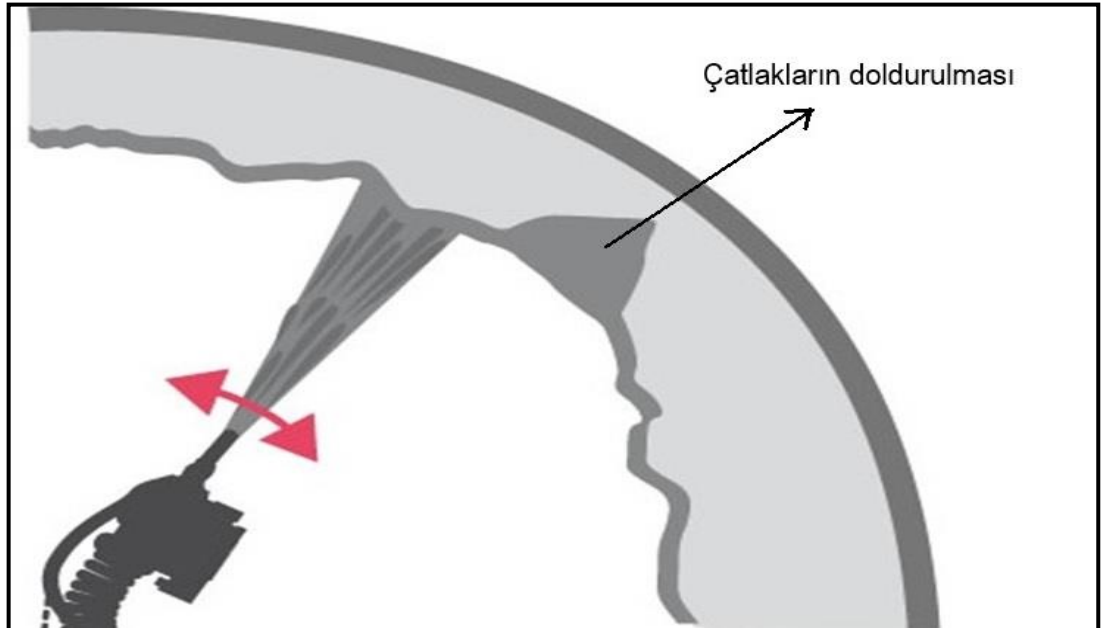
Şekil 2.9. Püskürtme beton uygulama öncesi yüzeyin yıkanması (URL-5)

- Püskürtülen betonun uygulanacak yüzeye dik tutulmalı, püskürtme mesafesi uygulamanın önemine göre ortalama 0,5-1,5 m arasında olmalıdır. Püskürtme tek bir noktaya değil, püskürtme başlığına dairesel hareketler yaptırılarak farklı bölgelere uygulanmalıdır. Böylece geri seken beton miktarının büyük ölçüde önüne geçilmiş olur.



Şekil 2.10. Püskürtme beton nozul açısı ve mesafesi (URL-6)

- Püskürtme beton uygulamasında öncelikle boşluk ve çatlaklar doldurularak yüzeyde ince bir tabaka elde edilmeli ve belli süre priz alması beklenmelidir. Daha sonra uygulama yüzeyinden birkaç defa geçilerek projede öngörülen katman kalınlığına ulaşılmalıdır. Düşey ve eğimli yüzeylerde püskürtme beton işlemine alt kısımdan başlanmalı, kademe halinde devam edip üst yüzeye doğru uygulamanın bitirilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.11. Püskürtme beton ilk tabaka betonun uygulanması (URL-7)

- Püskürtme betonda karşılaşılabilecek geri sekmenin azaltılması ve uygulamanın doğru yapılmasında diğer bir husus operatörün deneyimidir. Kuru karışımdaki su ayarı, püskürtme makinesin bakımı, püskürtme başlığındaki hava basıncının kontrolü, katkı yüzdesi ayarı gibi beton kalitesini etkileyen unsurlar operatör tarafından takip edilmelidir. Ayrıca beton öncesi ve sonrası makine bakım ve tamiratların yapılarak problemlerin en aza indirilmesi sağlanmalıdır.
- Püskürtme betonda geri tepmenin en az seviyede tutulmasında önemli kriterlerden biri de betondaki su-çimento oranının değeridir. Püskürtme beton karışımında en uygun su-çimento oranı kullanılmalıdır. Su-çimento oranını yüksek oranda düşüren kimyasal katkılar tercih edilmelidir.

2.7. Püskürtme Beton Bileşenleri

2.7.1. Agregalar

Agregalar, çeşitli büyüklükte tanelerden oluşan kırılmış veya kırılmamış, yapay veya doğal malzemelerdir.

Agregalar kaynaklarına göre genel olarak doğal agregalar (kum-çakıl, kırmataş) ve yapay agregalar (yüksek fırın cürufu, perlit) olarak iki kökene sahiptir. Doğal agregalar, dere, akarsu, göl, ova, deniz yatakları, çöl veya taş ocakları gibi doğadaki kaynaklardan elde edilir. Herhangi bir kimyasal işleme uğramaksızın elde edilen doğal agregalar konkasör denilen kırma makinelerinde kırılır ve yıkama işlemine tabi tutulur. Taş ocaklarında ise doğal kayaların yapılan patlatmalar sonucunda büyük bloklar elde edilir. Daha sonra bu iri kayalar kamyonlarla taşınır ve taş ocağı tesisinde konkasörler tarafından kırılır. Beton karışımına uygun hale getirmek amacıyla yapılan işlem sonucunda sektörlere göre çeşitli boyutlarda agrega elde edilir. Yapay agregalar ise endüstriyel işlem sonucunda yüksek sıcaklığa maruz kalmış yan ürün olarak ortaya çıkan kırılmış veya kırılmamış agregalardır. Sanayi ürünü olan bu agregalar yüksek fırın cürufu, uçucu kül agregası, genleştirilmiş perlit ve genleştirilmiş kil yapay agregalardır.

Agregalar mutlak hacim olarak betonun yaklaşık %75'ini oluştururlar ve betonun ana bileşenini oluştururlar. Kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620+A1'e uygun olmalıdır. Tane büyüklüğü 4 mm'den küçük olan agregalar ince agrega, tane büyüklüğü 4 mm'den büyük olan agregalar ise iri agrega olarak tanımlanır.

Agregaları boyutlarına göre ince agregaya (kıırma kum, kum), iri agregaya (çakıl) ve tüvenan (karışık) agregaya olmak üzere üçe ayrılır.

Püskürtme beton dayanımına etki eden özelliklerin başında agreganın kalitesi ve tane boyu dağılımı gelmektedir. Püskürtme betonun granülo-metrik dağılımı ve maksimum tane boyutu dikkate alındığında normal betonunkinden farklıdır. Püskürtme beton normal betondan farklı olarak en büyük dane çapı 16 mm ve karışımdaki agregaya yüzdeleri farklıdır. Püskürtme beton karışımında iri agregaya yüzdesinin ve tane çapı miktarının belli sınırları geçmesi durumunda, iletim hattında beton hareketini yavaşlatmaktadır. Bu durumda iletim hattında tıkanmalar meydana gelmesi söz konusudur. Uygulamanın başarılı olması için en büyük tane çapının 16 mm'den ve iletim hortum çapının 1/3'ünden büyük olmamasına dikkat edilmelidir. İletim hattında iç sürtünmeyi azaltıp, akışkanlık özelliği kazandırması için agregalar kübik veya yuvarlak olmalıdır. Agreganın yuvarlak veya kübik olmasıyla beton daha iyi bir biçimde yerleşir ve daha az boşluklu beton meydana gelir. Agreganın yassı ve uzun tanelerin fazla olması betonun kompazitesini (doluluk oranı) azaltır, beton dayanımını olumsuz etkiler.

Tablo 2.2. Püskürtme betonda kullanılan kum ve kaba agregaya özellikleri (Malmberg, 1993)

Kaba Agregaya	Özellikler	Referans Kaynak
Maksimum agregaya boyutu	16 mm	Japon Tünel Birliği (1991)
Kuru karışım shotcrete	Normal 10 mm (maksimum 20 mm)	Püskürtme Beton Birliği 1990
Islak karışım shotcrete	8 mm	Japon Tünel Birliği (1991)
	16 mm	Püskürtme Beton Birliği (1990)
Elekler arası maksimum miktar	> Toplam agreganın %30'u	Norveç Beton Birliği (1992)
Özgöl ağırlık	≥ 2,5 kg/dm ³	Japon Tünel Birliği (1991)
Su emmesi	≥%3	Japon Tünel Birliği (1991)
Yıkama kaybı	≥%1	Japon Tünel Birliği (1991)
Kil	≥%0,25	Japon Tünel Birliği (1991)
Kum	Özellikler	Referans Kaynak
İncelik modülü	2,8-3,2	Japon Tünel Birliği (1991)
Yüzey suyu	%4-%6	Japon Tünel Birliği (1991)

Tablo 2.2. (Devam) Püskürtme betonda kullanılan kum ve kaba agrega özellikleri (Malmberg, 1993)

	%2-%4 önerilen	AFTES (1992)
	%7 maksimum	AFTES (1992)
Özgül ağırlık	$\geq 2,5 \text{ kg/dm}^3$	Japon Tünel Birliği (1991)
Su emmesi	$\leq \%3$	Japon Tünel Birliği (1991)
Yıkama kaybı	$\leq \%5$	Japon Tünel Birliği (1991)

Püskürtme betonun dayanımını, durabilitesini ve ilk priz süresini etkileyen agregaların bazı özelliklerinin önceden bilinmesi gerekmektedir.

- Püskürtme beton dayanımı ve durabilitesi için her bir agrega tanesi sert, dayanıklı, boşluksuz, dona dayanıklı olmalı; kil, silt, mil, organik madde gibi aderansı olumsuz etkileyen zararlı maddeler içermemeli ve agregada genleşme yaparak yıllar içinde betonun bozulması ve çatlamasına sebep olan alkali silika reaksiyonu meydana getirecek aktif silisleri içermemelidir.
- Beton dayanımına etki eden agreganın mekanik dayanımını, aşınmaya karşı dirençlerinin belirlenmesi için Los Angeles Aşınma deneyi yapılmalıdır.
- Agregada içinde dağılmış halde bulunan veya agrega tanelerine yapışık halde bulunan 0,063 mm elek altı çok ince malzeme (kil, silt) içeriği beton priz sürelerine, beton geçirimsizliğine ve beton su ihtiyacının artmasına bağlı olarak mukavemet kaybına etki etmektedir. Zararlı kil minerallerinin tespiti için metilen mavisi deneyi yapılmalıdır.
- Püskürtme beton durabilitesi iklim koşullarından dolayı çeşitli çevresel etkilere maruz kalabilir. Yüksek sıcaklık ve düşük iklim koşulları betonun performansının zamanla azalmasına, proje ömrünü tamamlamadan ve dayanımını tamamen yitirmesine yol açabilmektedir. Beton agregasının arka arkaya donma ve çözülme etkisine maruz bırakılarak agregaların gösterdiği davranış belirlenmelidir.
- Agregada, donatının paslanmasına ya da betonun dayanımının bozulmasına neden olacak organik maddelerden arındırılmış olması gerekir. Betona zarar veren organizmaların tespiti amacıyla organik maddele tayini yapılmalıdır.
- Agregada taneleri üzerine sıkıca yapışmış olan, agrega tanesinin parçasıymış gibi yer alan kil tanecikleri, kil topakları olarak adlandırılır. Kil topakları, agregayla

birlikte bir bütün olarak değerlendirilmektedir. Agregada tanelerinin fazla miktarda kil toprakları içermesi durumunda püskürtme betonun karma suyu ihtiyacı artmaktadır. Bu durum sertleşmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır. Agregada kil topraklarının varlığı belirlenmelidir.

- Doğal agregaların birim ağırlıkları yaklaşık olarak 1500–1900 g/dm³ arasındadır. Agreganın birim ağırlığı ne kadar yüksekse beton içerisine giren agregada daha fazla ve taneler arasında boşluk daha azdır. Agregada taneleri arasında kusurlu tanelerin fazla miktarda olması, boşluğu artırdığından birim ağırlığını düşürür. Birim ağırlığı yüksek agregalarla üretilen betonun dayanımı, dayanıklılığı ve taşıma gücü daha fazladır. Beton yapımında kullanılan agreganın birim ağırlıkları önceden tespit edilmelidir.
- Genel olarak yoğunluğu fazla olan agregaların betonlardaki mukavemetinin yüksek olduğu bilinmektedir. Yoğunluğu 2,00 ile 3,00 g/cm³ arasında olan agregalar normal agregada (kireçtaşı, dolomit, bazalt), yoğunluğu 2,00 g/cm³'ten küçük olanlar hafif agregada (ponza, volkanik tüf, yüksek fırın cürufu), yoğunluğu 3,00 g/cm³ ten büyük olan agregalar (barit, manyetit, demir, limonit) ise ağır agregada olarak tanımlanır. Düşük yoğunluklu agregada betonun boşluklu ve dayanımının zayıf olmasına neden olur. Beton dayanımına etki eden agregaların özgül ağırlık testleri yapılmalıdır.

Jeolojide kayalar kökenlerine göre üç ana gruba ayrılır. Bunlar magmatik kayalar, sedimanter (çökel) kayalar ve metamorfik (başkalaşım) kayalardır. Magmatik, sedimanter ve metamorfik türdeki doğal kayaların kırmataş hammaddesi olarak günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 2.3. Kırmataş ham maddelerinin jeolojik sınıflandırılması (Lefond, 1985)

Grup	Genel Sınıflama	Kayaç	Yoğunluk (g/cm ³)
Magmatik	Plütonik	Granit	2,60
		Siyenit	2,70
		Diyorit	2,80
		Gabro	2,90
		Peridotit	2,90
	Volkanik	Riyolit	2,60
		Trakit	2,60
		Andezit	2,60
		Bazalt	2,80
		Diyabaz	2,90
Sedimanter	Kimyasal (Karbonatlı)	Dolomit	2,70
		Kireçtaşı	2,60

Tablo 2.3. (Devam) Kırmataş ham maddelerinin jeolojik sınıflandırılması (Lefond, 1985)

Sedimanter	Kırıntılı (Silisli)	Konglomera, kumtaşı, kuvarsit, arkoz, kiltası, şeyi, arjilit, çört, grovak	2,60
Metamorfik	Foliasyonlu	Amfibolit Şist, Gnays, Sleyt, fillit	3,00 2,80 2,70
	Foliasyonsuz	Mermer Kuvarsit	2,70 2,80

Püskürtme beton karışım hesabında yer alan bileşenlerin oranlarının bulunabilmesi için bilinmesi gereken agreganın özellikleri şunlardır:

- Granülometri bileşimi (tane çapı dağılımı)
- Birim ağırlık, özgül ağırlık
- Maksimum tane çapı
- Agreganın su emme kapasitesi
- Agreganın nemi

Elek analizi deneyiyle hesaplama sonucu elde edilen agreganın % geçen verileri granülometri eğrisinde gösterilebilir. Bulunan sonuçlar granülometri eğrisinde sınır değer eğrileri ile ideal eğrinin bulunduğu bölgede bulunursa agreganın tane büyüklüğü açısından idealdir. Agreganın alt sınır eğrisi ile üst sınır eğrisinin dışına çıkması durumunda hem uygulanabilirlik açısından hem de beton mukavemetine direkt etki etmektedir.

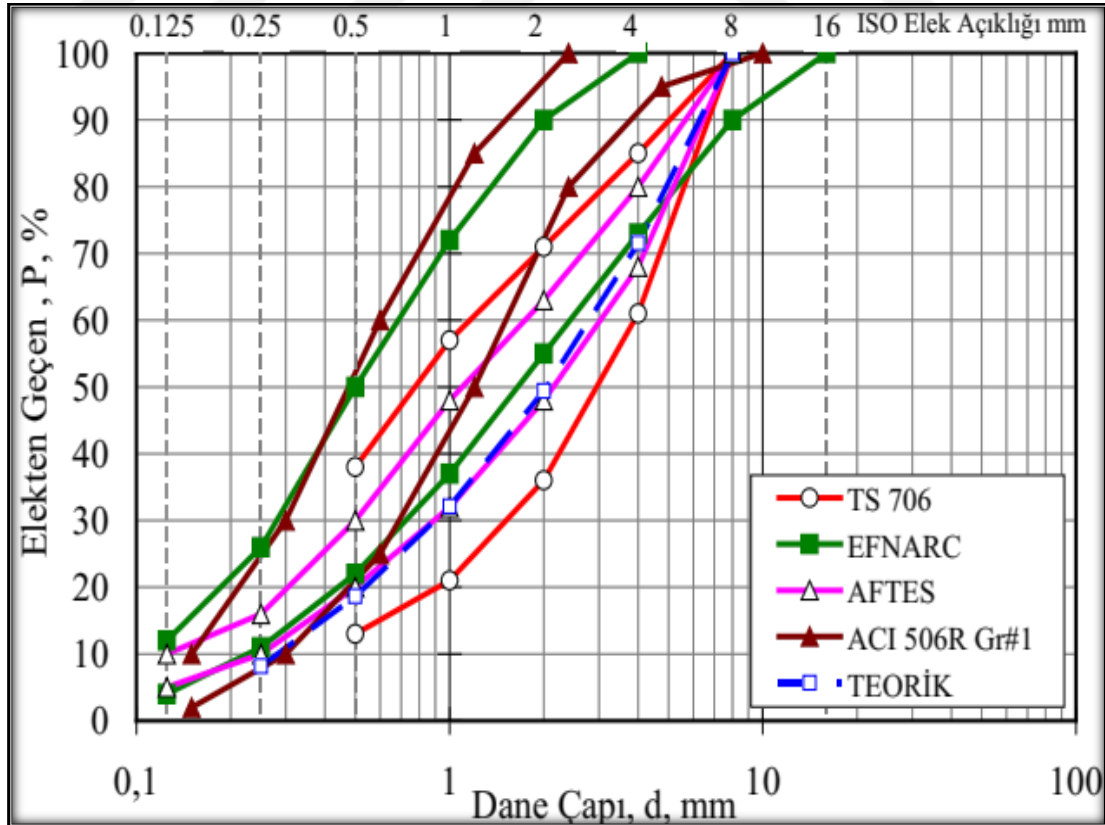
Tablo 2.4. Farklı kaynaklara göre agreganın granülometri önerileri (Malmberg, 1993)

Elek (mm)	Ağırlıkça Yüzde Geçen				
	Yaş Karışım		Kuru Karışım	Belirsiz	
	8	16	16	8	16
32	100 ⁽²⁾	100 ⁽³⁾	100 ⁽³⁾ 100 ⁽⁴⁾	100 ⁽⁵⁾ 100 ⁽⁶⁾	100 ⁽⁵⁾ 100 ⁽⁶⁾
16	100	85-100	80-100 85-97	100 100	100 100
8	90-100	70-100	56-100 66-81	100 100	60-88 71-88
4	73-100	58-99	40-100 46-66	61-85 68-80	36-74 51-69
2	55-90	42-78	28-58 20-50	36-71 48-63	21-62 38-52

Tablo 2.4. (Devam) Farklı kaynaklara göre agrega granülometri önerileri (Malmberg, 1993)

1	37-72	30-56	18-32 18-30	21-57 32-48	12-49 28-40
0,5	22-50	19-38	10-20 8-20	14-39 20-30	8-34 18-30
0,25	11-26	10-25	4-11 7-18	5-21 10-16	3-18 10-19
0,125	4-12 4-6 ⁽⁷⁾	8-15	3-10 3-10	3-9 5-10	1-9 7-10
(1) Muhtemel kuru karışım püskürtme (2) Norveç Beton Birliği (1992) (3) İsveç Beton El Kitabı (4) Amerikan Beton Enstitüsü (1983)			(5) DIN 1045 (6) AFTES (1992) (7) Japon Tünel Birliği (1991)		

Agrega, granülometri eğrisinde alt sınır eğrisinin altına inerse iri agreganın fazla olduğu, üst sınır eğrisinin üstüne çıktığı zaman ise agregada ince malzeme miktarının fazla olduğu anlaşılmaktadır. İnce agrega miktarının fazla olduğu betonlarda, beton karışımının su ihtiyacı ve çimento ihtiyacı fazla olmaktadır. Hem maliyet hem de dayanım açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır.

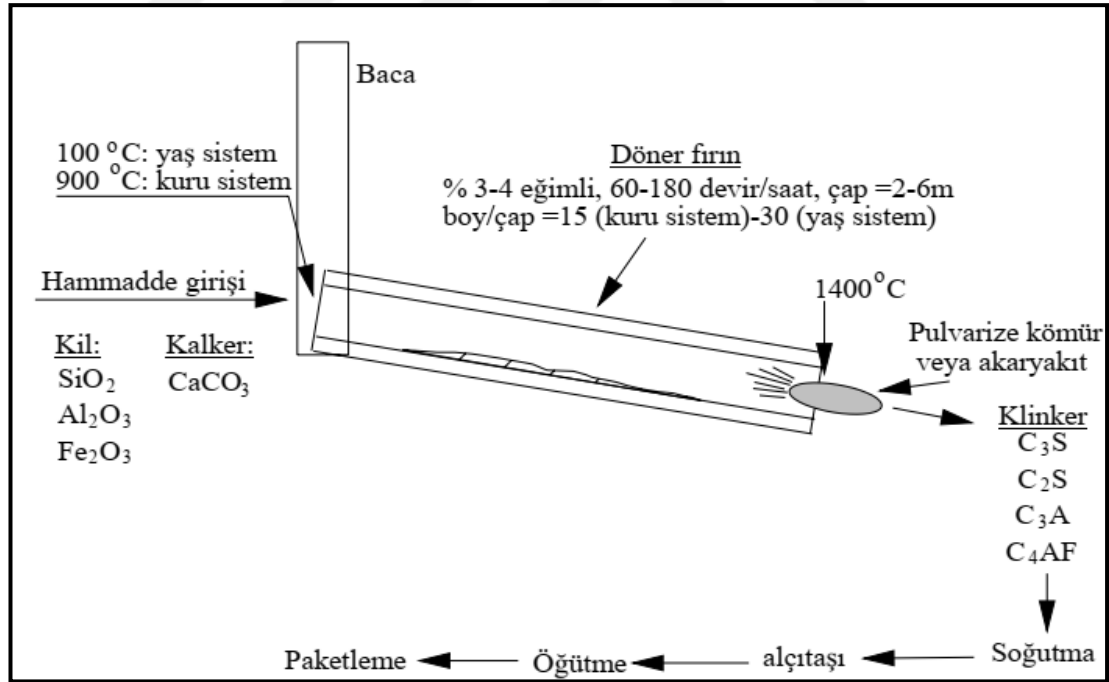


Şekil 2.12. Çeşitli standartlarda verilen agrega granülometrisi sınırları (Arioğlu ve diğ., 2008)

Agrega üst sınır limitin dışına çıkması durumunda ise iri agrega fazlalığından bahsedilir ve bu durumda betonda boşluklar meydana gelmektedir. Böyle bir durumda mukavemet kaybı söz konusu olmaktadır. Granülometrinin ideal bölgede kalmasıyla, betondaki boşluk oranı az olur, doluluk (kompasite) oranı yükselir, böylece optimum çimento kullanılarak ekonomik beton elde edilir. Dolayısıyla püskürtme betonda agreganın dane boyut dağılımı standartlarda belirtilen eğri sınırları içerisinde kalmasında dikkat edilmelidir.

2.7.2. Çimento

Çimento kelimesi, yontulmuş taş kırıntısı anlamındaki Latince "caementum" kelimesinden türemiştir. Portland çimento, killi ve doğal kalkerli kütlelerin konkasör denen kırıcılarda kırılıp, belirli oranlarda karıştırılıp öğütülmesiyle farin oluşur. Farinin 1400-1500 °C ısıda döner fırınlarda pişirilmesiyle klinker elde edilir. Çimentonun bir önceki safhası olarak adlandırılan klinker, yapısında yaklaşık %70 kalker %30 kil içerir. Çimentonun priz süresini ayarlamak için son olarak karışıma %3-%5 arasında alçıtaşı (CaSO_4) eklenerek Portland çimentosu elde edilir.



Şekil 2.13. Portland çimento üretim aşamaları (URL-8)

Çimento fabrikalarının üretim prosesinde fırın reaksiyonları sonucu 4 ana ürün oluşur. Bu ürünler C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF olmak üzere, hızlı priz alma eğilimi yüksek olan C_3A ürünüdür. Prize ilk başlayan C_3A olup, hızla prizle birlikte yüksek hidrasyon ısı açığa çıkarır. Bu priz alma durumu denetim altına alınmazsa, çimento tümüyle

katılır. Klinkere alçı taşının katılma sebebi C_3A 'nın priz hızını alçı taşı ile dengelemektir. Çimentoya alçı taşı katılmadığı zaman C_3A hızlı bir şekilde hidratasyon yaparak, daha ilk dakikalarda küçük kristalleri meydana getirir, betonda beklenen süreden önce sertleşir. Yüksek derecede ısının açığa çıkmasıyla oluşan bu olaya ani priz denir. Bu durum betonda kalıcı bir etki yaratır ve beton pompalanmasında güçlükler yaşatmaktadır.

Çimento içindeki alçıtaşının suyu kendine bağlaması sonucu ve geçici donma, sertleşme meydana gelir. Bu olaya yalancı priz denir. Çimento içerisindeki alçıtaşı miktarı sınırlı olduğundan tüm kütle sertleşmez. Yalancı priz durumuna geçen beton karıştırıldığında beton tekrardan kıvamlı hale gelir. Yalancı priz yapma özelliğine sahip çimentolarla dökülen betonlar çok çabuk sertleştiğinden, beton pompalamasında zorluklar çıkarabilir, iletim borularında tıkanıklık meydana getirmektedir.

Çimentonun dayanım özelliklerinden sorumlu olan ögeler, çimentonun içerisinde bulunan silisyum dioksit (SiO_2) ve kalsiyum oksitin birleşmesiyle oluşan silikatlar Alit(C_3S) ve Belit (C_2S)'tir. Alümina, kalsiyum oksitle birleşerek (C_3A) ve demir oksitle birleşerek (C_4AF) ürünleri oluşturur.

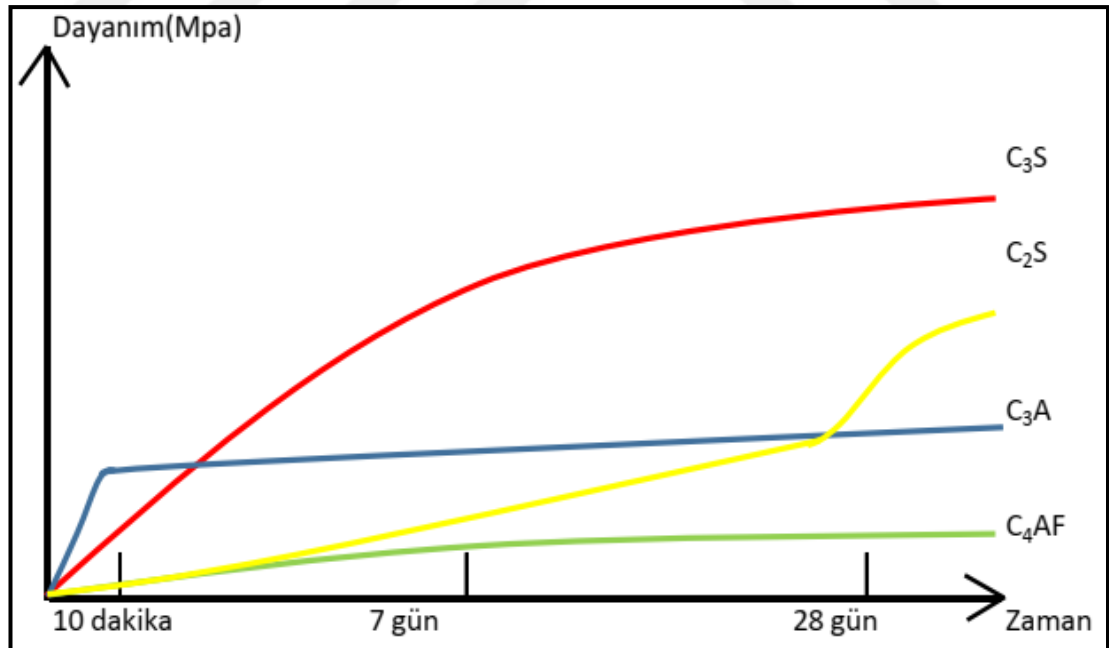
Tablo 2.5. Fırın reaksiyonları sonucu ortaya çıkan ürün bileşenleri

Fırın Reaksiyonları	Silikatlar		Alüminatlar	
	C_3S ($3CaO.SiO_2$) Alit	C_2S ($2CaO.SiO_2$) Belit	C_3A ($3CaO.Al_2O_3$) Alüminat	C_4AF ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O$) Ferrit
Tanımı	Trikalsiyum silikat	Dikalsiyum silikat	Trikalsiyum alüminat	Tetrakalsiyum alüminoferrit
Ağırlıkça (%)	45-80	0-25	5-13	3-15
Reaksiyon hızı	Orta	Yavaş	Hızlı	Orta
Hidratasyon ısı	Yüksek	Orta	Çok yüksek	Orta
İlk dayanım	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük
Nihai dayanım	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük

Tablo 2.5'teki sınıflamadan çimentonun ilk sertleşme sürecinde dayanımı ve nihai dayanımında baskın bileşenler C_3S ve C_3A önemli rol oynar. Çimentonun su ile

reaksiyona (hidratasyon) girmesi sonucu ısı açığa çıkar. Yüksek miktarda ısı açığa çıkmasının rol oynayan C_3S ve C_3A ürünleridir. C_3A bileşenin ilk dakikalarda ani priz etkisi oldukça yüksektir, C_3S bileşeni ise ilk haftada reaksiyon hızında etkilidir. Dolayısıyla C_3A ve C_3S oranının fazla olduğu erken yaş dayanımı ve sertleşmesi istenen püskürtme betonda Portland çimento tercih edilmektedir.

- Klinker kompozisyonunda alit (C_3S) betona mukavemet verir, hidratasyon sonucu kalsiyum silikat hidratları (C-S-H) oluşturur. Oranı arttırılırsa erken ve uzun dönem dayanımlar artar.
- Belit (C_2S) hidratasyon sonucu C-S-H jellerini oluşturur ve hidratasyon ısı düşüktür. Oranı arttırılırsa, uzun dönem dayanım artar.
- Alüminat (C_3A) betonu çabuk sertleştirir, oranı arttırılırsa, hidratasyon ısı yükselir ve alkaliler C_3A 'nın aktivitesini arttırdığından betonun erken yaşta mukavemetini artırır. Erken priz alması nedeniyle trafiğin yoğun olduğu büyük kütleli beton dökümü gerektiren yerlerde tercih edilmez.
- C_4AF arttırılırsa ısı ve dayanıma çok az etkisi vardır, aktifliği düşüktür.



Şekil 2.14. Fırın reaksiyonları sonucu ortaya çıkan ürünlerin zamana bağlı dayanımları

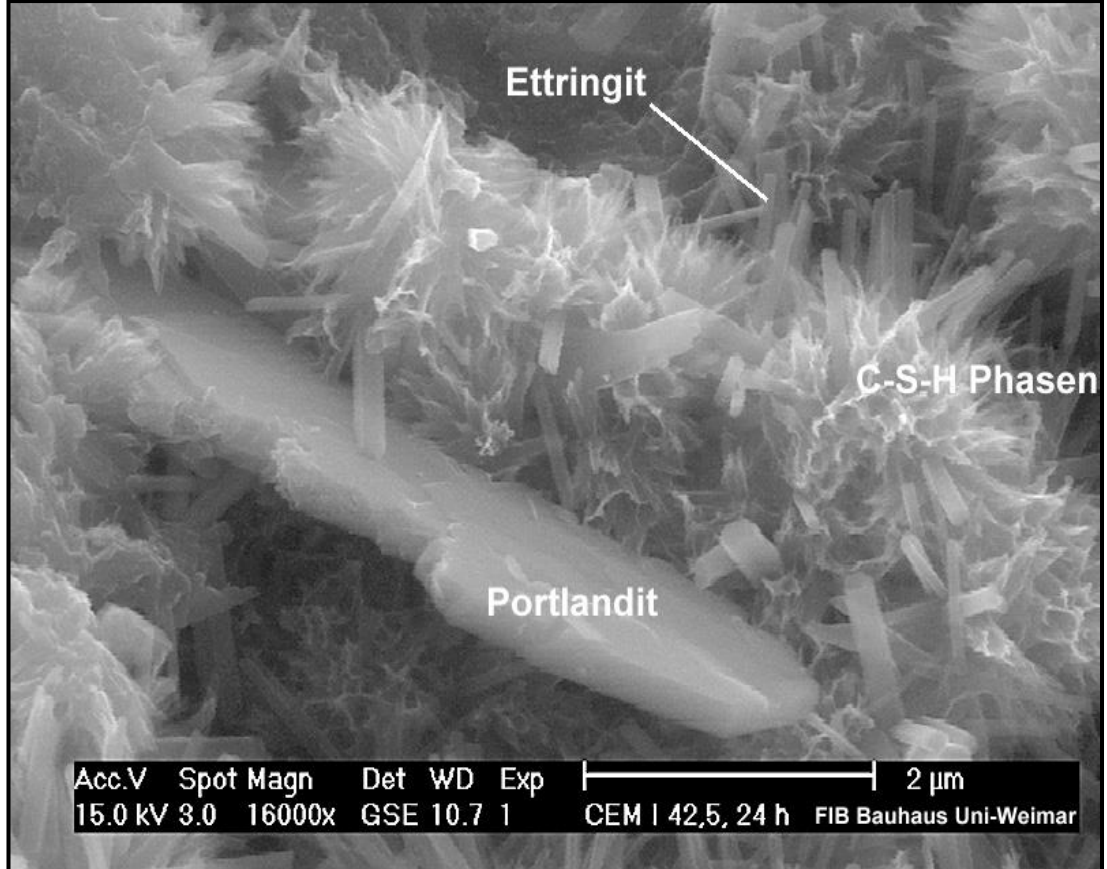
Portland çimentonun hidratasyonu sonucu aşağıdaki ürünler açığa çıkar ve bu ürünler beton dayanımı ve dayanıklılık özelliklerini etkilerler.

- Kalsiyum silikat hidrat (C-S-H jeli)
- Kalsiyum hidroksit (Portlandit)
- Etringit
- Monosülfat

Fiber yapıdaki C-S-H jelleri çimentoya bağlayıcılık özelliğini kazandıran, agrega ile bağ yaparak beton matrisini oluşturan ve dayanım kazanmasını sağlayan üründür. C-S-H jelleri hidrate ürünlerin yaklaşık %60'ını oluşturur.

CH (kalsiyum hidroksit) mekanik dayanımına etkisi olmayan, ancak beton içinde dayanıklılığı sağlayan üründür. Zayıf yapısı nedeniyle gerekenden fazlası istenmeyen bir üründür. Sönmüş kireç (CH) elektron mikroskobunda boyut olarak C-S-H jeline göre oldukça büyüktür. Hidrate olan ürünlerin yaklaşık %20'sini oluşturur.

Etringit (Candlot tuzu) C_3A 'nın alçıtaşı ile reaksiyonu sonucu ortaya çıkan, elektron mikroskobunda iğneler şeklinde görünür. Beton dayanımını etkilemeyen, daha çok priz süresi ile ilişkili olan bu ürün klinkere konulan alçıtaşının miktarına göre çimentonun priz süresinde değişiklik meydana gelmektedir.



Şekil 2.15. Portland çimentosunda hidratasyon ürünleri (Dahme, 2006)

Püskürtme betonda çimento seçiminde, ilk priz süresi ve genç yaşta sertleşmeyi sağlayan genellikle CEM I 42,5 tipi olup tünel inşaatlarında kullanımı oldukça yaygındır. TS EN 197-1 standardına göre çimentoları 5 ana grupta üretmek mümkündür. Bunlar;

- CEM I Portland Çimento
- CEM II Portland-Kompoze Çimento
- CEM III Yüksek Fırın Cürüflü Çimento
- CEM IV Puzolanlı Çimento
- CEM V Kompoze Çimento

Bu 5 çimento sınıfı yapısında bulunan bileşenlere bağlı olarak, TS EN 197-1 standardında, 27 farklı genel çimento, 7 farklı sülfata dayanıklı genel çimento ve 3 farklı düşük erken dayanımlı yüksek fırın cürüflü çimento ile 2 farklı sülfata dayanıklı düşük erken dayanımlı yüksek fırın cürüflü çimento olmak üzere kendi içinde sınıflara ayrılmıştır (KTŞ, 2013). Çimento dayanım sınıfı olarak ise çimentonun 28 günlük standart mukavemet değerleri 32,5;42,5;52,5 olarak üç grupta mekanik özellikleri incelenir. Geç dayanıma sahip olanlar L (low), normal dayanıma sahip olanlar N (normal), yüksek erken dayanıma sahip olanlar R (rapid) harfi ile simgelenir.

Püskürtme beton için çimentoların taşınması gereken genel özellikler Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Püskürtme betonda kullanılacak çimentonun özellikleri (Arıoğlu ve diğ., 2008)

Özellik	Değer	Kaynak
Priz başlangıcı	90 dk ≥ 60 dk ≥ 60 dk (42,5 N) > 45 dk (375 Priz sonu)	Avusturya Beton Birliği (2006) Japon Tünel Birliği (1991) TS EN 197-1 ASTM C 150
İncelik modülü	3500–4500 cm ² /g >2500 cm ² /g 2800 cm ² /g	Avusturya Beton Birliği (1990) Japon Tünel Birliği (1991) ASTM C 150

Tablo 2.6. (Devam) Püskürtme betonda kullanılacak çimentonun özellikleri (Arioğlu ve diğ., 2008)

Terleme	$\geq 20 \text{ cm}^3$	Japon Tünel Birliği (1991)						
C ₃ A içeriği	Mümkün olduğu kadar yüksek $\leq 3\%$ (Eğer betonla temasta bulunan suyun sülfat (SO_4^{2-}) iyonu içeriği $>400 \text{ mg/l}$) ise Betonla temasta bulunan suyun sülfat (SO_4^{2-}) iyonu içeriği $> 1000 \text{ mg/l}$ ise C ₃ A içeriği $\leq 1\%$ olmalı (Sülfata dayanıklı çimento kullanımı gerekir)	EFNARC (1999) Avusturya Beton Birliği (1990) Avusturya Beton Birliği (1990)						
SO ₃ içeriği Sülfat saldırısı	$\leq 4,5$ $\leq 4,5$ Betonla temasta bulunan suyun sülfat (SO_4^{2-}) iyonu içeriği $> 600 \text{ mg/l}$ ise; $\leq 3,5$	Avusturya Beton Birliği (2006) TS EN 197-1 Avusturya Beton Birliği (2006) TS EN 197-1						
Alkali içeriği	Na ₂ O eşdeğeri $\leq 1,5$ (Na ₂ O + 0,65 K ₂ O) $\leq 0,6$	Avusturya Beton Birliği (2006) TS EN 197-1 Japon Tünel Birliği (1991) ASTM C 150						
Sıcaklık	$\leq +70 \text{ }^\circ \text{C}$ (şantiye silosunda)	-						
Çimento basınç dayanımı (MPa)	Kür Süresi, Gün	1 saat	6 saat	1	2	3	7	28
	Avs. Bet. Birl.	$\geq 0,5$	1,5	12				$\geq 32,5$
	Jap.Tün Birl.						≥ 15	≥ 30
	ASTM C150				12		19	

Çimento tipi ne olursa olsun, özel uygulamalar dışında çimento miktarı; kullanılan agreganın maksimum dane boyutu (D_{max}), durabilite ve minimum çimento dozajı nedenleriyle, kuru sistemde 350 kg/m^3 'ten, yaş sistemde ise 400 kg/m^3 'ten az olmamalıdır. Çimento miktarı, kuru ve yaş sistemde 500 kg/m^3 'ü aşmamalıdır.

Betonda aranan özelliklerin 500 kg/m³ ile sağlanamaması halinde, çimento tipinin değiştirilmesi düşünülmelidir (KTŞ, 2013).

2.7.3. Su

Beton üretiminde kullanılan karışım suyu kuru haldeki çimento ve agregayı işlenebilir bir şekilde kıvamlı hale getirip, çimento ile reaksiyona girerek plastik haldeki kütlenin sertleşmesini sağlar. 1 m³ betonda kullanılan suyun miktarı doğrudan mukavemeti etkiler. Dolayısıyla betondaki su/çimento oranı önemlidir. Bu sebeple üretilen betona daha fazla kıvam kazandırmak amacıyla ilave yapılan su betonun mukavemetini düşürür.

Genel olarak içme suyu olarak kullanılan bütün sular betonda da kullanıma uygundur. Ancak, suyun içilebilir özellikte olması betonda kullanılacağı anlamına gelmemektedir. Betonda kullanılacak su, mümkün olduğunca temiz, içinde zararlı olabilecek miktarlarda klorür, sülfat, asit, şeker, organik madde, yağ, baz, tuz gibi maddeler içermemelidir. Ayrıca deneyleri yapılmak şartıyla, içme suyu olarak kullanılmayan betondan geri kazanılmış sular, kaynak suları, akarsular ve endüstriyel tesislerden atılan sular beton üretiminde kullanılabilir.

Betonda belirlenen miktarlar dışında fazladan kullanılan su çimento ile reaksiyona girmez, fazla suyun bıraktığı boşluklar dayanımı düşürmekte ve betonun servis ömrünü (durabilitesini) olumsuz etkilemektedir. Boşluklardan içeri giren zararlı mineraller beton ve donatıya zarar vermekte ve ömrünü kısaltmaktadır. Dolayısıyla betona verilebilecek en büyük zarar, fazladan su katılmasıdır.

TS EN 206'ya göre beton karma suyu TS EN 1008'e uygun olmalıdır. Suyun bünyesindeki klorür içeriği ile ilgili sınırlar Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7. Beton karışım suyunun ön muayenesi için incelenecek özellikler ve deney işlemleri (TS EN 1008, 2003)

	Özellik
Sıvı ve katı yağlar	Görünür izlerden (lekelerden) daha fazla olmamalıdır.
Deterjanlar	Herhangi bir köpük 2 dakika içerisinde kaybolmalıdır.
Renk	Beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan sular dışındaki sular: nitel olarak belirlenen renk, açık sarı veya daha açık olmalıdır.

Tablo 2.7. (Devam) Beton karışım suyunun ön muayenesi için incelenecek özellikler ve deney işlemleri (TS EN 1008, 2003)

Askıda katı madde	Beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan sular Beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan sular dışındaki sular: Çökelti miktarı en fazla 4 ml olmalıdır
Koku	Beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan sular: İçilebilir suyun sahip olduğu koku, hafif çimento kokusu ve suda yüksek fırın cürufu bulunması halinde hafif hidrojen sülfür kokusu haricinde herhangi koku bulunmamalıdır. Beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan sular dışındaki sular: İçilebilir suyun sahip olduğu koku haricinde herhangi koku bulunmamalıdır. Hidroklorik asit ilâve edildikten sonra herhangi hidrojen sülfür kokusu olmamalıdır.
Asitler	pH \geq 4 olmalıdır.
Organik madde	Sodyum hidroksit (NaOH) ilave edildikten sonra nitel olarak belirlenen renk, sarıya dönük kahverengi veya daha açık olmalıdır.

Betonarme yapıda kullanılan donatının korozyona uğramasının en önemli nedeni klorür iyonlarının varlığıdır. Betona klorür iyonları kimyasal katkılar, beton karma suyu, deniz suyu ve bu tuzların çözülmesiyle girebilmektedir. Klor iyonlarının beton karma suyunda bulunması, beton içerisine çatlaklar veya kılcal boşluklar ile betona girmeye başladığında korozyon reaksiyonu başlar. Reaksiyonun başlamasıyla klor etkisi betonda zamanla gelişir ve ilerlediği zaman beton korozyondan önlenemez. Bu durumda betondaki donatının taşıma gücü azalır ve beton yüzeyinde ve iç yapısında çatlaklar görülmeye başlar. Dolayısıyla suyun klorür içeriği Tablo 2.8’de verilen şartlara uygun olmalıdır.

Tablo 2.8. Beton karışım suyundaki klorla ilgili şartlar (TS EN 1008, 2003)

Karma suyunun kullanılacağı beton cinsi	En yüksek klorür içeriği (mg/l)
Ön gerilmeli beton veya şerbet	500
İçerisinde, donatı veya diğer metal bulunan beton	1000
İçerisinde, donatı veya diğer metal bulunmayan beton	4500

Klorun donatı üzerinde etkisi varken, sülfat hasarı beton matrisini etkilemekte ve iç yapıya hasar vermektedir.

Sudaki, zemindeki ve deniz suyundaki sülfat iyonları betonarme yapılarda bozulmaya yol açabilir. Sülfat saldırısının zararlı etkisi, sülfat iyonlarının sertleşmiş betondaki alüminli (C_3A) ve kalsiyumlu ($Ca(OH)_2$) bileşenlerle kimyasal reaksiyona girerek, hacmi çok artan etrenjit ve alçı oluşturmaktadır. Reaksiyon ürünleri, sertleşmiş betonda genleşme yaratarak agrega-çimento hamuru aderansının olumsuz yönde etkilenmesine, çatlak oluşumuna ve geçirimsizliğin artmasına yol açmaktadır. İleri derecedeki etkilenmelerde ise betonun tamamen dağılması söz konusudur. Sülfat saldırısı gibi dış kaynaklı iyon girişi sebebiyle oluşan kimyasal reaksiyonlarda çimentonun kimyasal bileşiminin kontrolü kadar, betonun geçirimsizliği de önem kazanmaktadır (Baradan ve diğ., 2002).

Özellikle yer altı yapılarında açılmış tünellerde yeraltı suyu akışı çoğu kez gözlenmektedir. Tünellerde ön destek elemanı olarak uygulanan püskürtme beton tabakasına, tünel cidarından gelebilecek suyun içerisinde sülfat iyonları bulunabilir. Sülfat saldırısı olarak nitelendiren bu iyonlar, betonda kimyasal reaksiyonlar meydana getirerek betonun dayanımını ve dayanıklılığı düşürmektedir. Beton boşluklu bir yapıya bürünerek geçirimsizliği artar, betonun dış yüzeyinde ve iç yapısında kırık ve çatlaklar meydana gelmektedir. Sülfat saldırısını önlemek için düşük C_3A oranına sahip sülfata dayanıklı çimento kullanmak, mineral katkı kullanmak ve beton karışımı için uygun su kullanmak gerekmektedir. Dolayısıyla betonda kullanılan suyun sülfat (SO_4^{2-}) içeriği 2000 mg/l'yi geçmemelidir.

Alkali-silika reaksiyonu (ASR) çimentodaki alkali hidroksitlerle agregada mevcut bazı mineraller (opal, çört, kalsedon, trimit, kristobalit ve kuvars gibi) arasında oluşan bir reaksiyondur. Reaksiyon sonucu oluşan alkali-silika jeli bünyesinde fazla miktarda su absorpsiyon ederek genişler, betonun şişmesine ve çatlamasına yol açar. Beton üretiminde düşük alkali içeren çimento kullanılsa bile, karma suyu ve agrega aşırı derecede reaktif ise, alkali silika reaksiyonu tehlikesi söz konusu olabilir. Bu yüzden TS EN 1008'deki alkali maddesine göre; betonda, alkali-reaktif agrega kullanılma ihtimali varsa, suyun alkali muhtevası 1500 mg/l'yi geçmemesi gerekmektedir.

Zararlı kirlenme maddesine göre ise, şekerler, fosfatlar, nitratlar, kurşun ve çinko için deneyler yapılabilmektedir. Fakat bunların varlığında priz süresine etkisi ve miktarı belirlenmelidir.

Tablo 2.9. Beton karışım suyunun zararlı maddeler ile ilgili şartlar (TS EN 1008, 2003)

Madde	En fazla miktar (mg/l)
Şekerler	100
Fosfatlar; P ₂ O ₅ olarak ifade edilen	100
Nitratlar; NO ³⁻ olarak ifade	500
Kurşun; Pb ⁺² olarak ifade edilen	100
Çinko; Zn ⁺² olarak ifade edilen	100

2.7.4. Kimyasal katkılar

Kimyasal katkılar, taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla agrega, çimento, su dışında düşük miktarlarda kullanılan, betona akışkanlık özelliği kazandırması, priz geciktirmesi, priz hızlandırması gibi farklı özelliklere sahip katkıları içerir.

Kimyasal beton katkılarının kullanılması beton üretimi için zorunluluk değil aksine kolaylık sağlar. Kimyasal katkı kullanımıyla iyi bir püskürtme beton uygulaması yapılarak yapının emniyeti sağlanır, hem de erken mukavemet şartlarını sağlayarak iş ilerleyişi bakımından sonraki işlere geçilmesine büyük katkısı olur. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımı beton bileşenlerin kalitesine bağlı olarak genellikle %0,5-%10 arasında kullanılmaktadır. Aşırı dozda kimyasal katkı kullanılması durumunda betonun ayrışmasına, alkali silika reaksiyonuna, hava sürüklemesine, dayanım kaybına, priz geciktirme veya hızlandırmasına, terleme ve kismaya yol açabilir. Kimyasal katkı maddeleri betonu iyileştiren ilaç gibi düşünülmemelidir. Kötü üretilmiş bir betonu kimyasal katkı ile düzeltilmesi mümkün olmamaktadır.

Kimyasal katkının avantajları şöyledir:

- Betonun erken yaşta dayanımını ve istenen mukavemete kısa sürede ulaşmasının sağlanması
- Katkisız betona göre daha az çimento kullanımı ve istenen dayanımın sağlanması
- Priz hızlandırıcı veya priz geciktirici katkı kullanarak priz süresini ayarlamak
- Donma-çözünme koşullarına karşı betonun dayanıklılığını arttırmak

- Betondaki su içeriğini arttırmadan, betonun kolayca karılabilmesi ayrışmaya uğramadan taşınabilmesi, yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi, pompalanabilmesi ve beton yüzeyinin düzeltilebilmesine olanak sağlaması
- Hidratasyon ısısını ayarlamak

Kimyasal katkı TS EN 934-2'ye göre aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar.

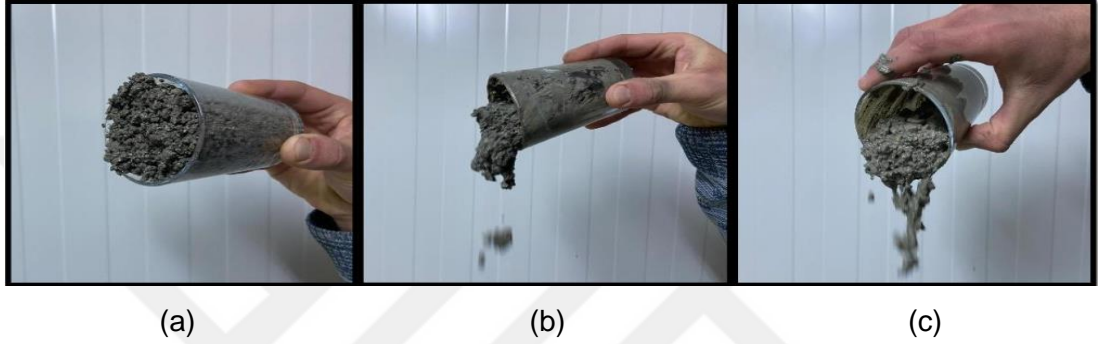
- Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkılar
- Yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkılar
- Su tutucu katkılar
- Hava sürükleyici katkılar
- Priz hızlandırıcı katkılar
- Sertleşmeyi hızlandırıcı katkılar
- Priz geciktirici katkılar
- Su geçirimsizlik katkısı
- Priz geciktirici/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkılar
- Priz geciktirici/yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkılar
- Priz hızlandırıcı/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkılar

2.7.4.1. Püskürtme betonda akışkanlaştırıcı katkılar

Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı betonun belli bir kıvamda tutarak daha az karışım suyu ile yapılmasını sağlayan kimyasal maddelerdir. Akışkanlaştırıcı katkı genel anlamıyla normal oranda su azaltıcı, yüksek oranda su azaltıcı ve bu katkıların birleşimi şeklinde kullanıma sunulmaktadır. %10'a kadar su azaltma performansı olan lignosülfonat esaslı kimyasallar normal akışkanlaştırıcı grubunda yer almaktadır. %25'e kadar su azaltma performansı olan fosfonat etoksiller, melamin formaldehit sülfonat ve naftalin formaldehit sülfonat esaslı kimyasallar ve %25'in üstünde su azaltma performansı olan polikarboksilat esaslı (ülkemizde hiper olarak isimlendirilen) kimyasal katkı yüksek oranda su azaltıcı grubunda yer almaktadır.

Akışkanlaştırıcı katkının görevi, betonda su miktarını daha az kullanıp taze betonun kıvamını arttırmayı hedeflemektedir. Katkı içermeyen taze beton referans alınır, kimyasal katkı ile üretilen beton daha az su ile daha akışkan bir kıvam elde edilmektedir. Böylece erken ve nihai basınç dayanımlarında artış sağlandığı görülmektedir. Akışkanlaştırıcı katkının kullanılmasıyla, betondaki su/çimento oranı düşer, kıvam artar, işlenebilirlik artar, su ve çimento miktarı azaltılarak ekonomik bir beton üretilmiş olmaktadır.

Kimyasal katkıların betondaki akıcılığa etkisini göstermek amacıyla Özgün Yapı laboratuvarında her biri 5 dm³ üç farklı püskürtme beton karışımı hazırlanmıştır. İlk karışım kimyasal katkı içermeyen, ikinci karışım çimento dozajının %1,2'sini içeren polikarboksilat-lignosülfonat kombinasyonlu (ülkemizde melez katkı olarak anılan) ve üçüncü karışım çimento dozajının %1,2'si ile üretilen polikarboksilat esaslı karışım görüntüleri Şekil 2.16'da gösterilmiştir. Üretilen harç karışımlarında kimyasal katkı kullanılmayan karışımda akıcılık gözlenmezken, en fazla akıcılığı sağlayan polikarboksilat esaslı katkı olmuştur.



Şekil 2.16. Kimyasal katkı içermeyen, melez esaslı katkı ve polikarboksilat esaslı katkının betonda kıvama etkisi

Polikarboksilat (ülkemizde hiper olarak anılan) esaslı kimyasal katkı ile üretilen beton harcının yüksek performanslı olduğu görülmüş, diğer harçlara göre daha fazla hareket kabiliyeti sağlamış ve daha akıcı bir kıvamda olduğu gözlemlenmiştir.

Akışkanlaştırıcı katkıların betona akışkanlık özelliği kazandırma ilkesi şu şekildedir. Kimyasal katkı molekülleri çimento tanelerine adsorbe olarak tutunur ve çimento taneciklerine negatif elektrostatik yük yüklerler. Böylece tüm tanecikler aynı yükle yüklenmiş olurlar. Çimento taneciklerinin etrafı aynı yükle yüklü olduğundan çimento taneleri birbirlerini iterler. Çimento ve agrega taneleri arasındaki sürtünme kuvveti azalır, betonun kıvamda artış gözlenir. Polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcılarda ise elektrostatik etkinin yanında sahip oldukları yan dalların çimento tanelerine yapışarak oluşturduğu fiziksel itki (sterik itki) de etkili olmaktadır ve bu yan dallar kümeleşmeyi önlemektedir. Sterik itkinin derecesi polimer zincirinin kısa ya da uzun olmasına, molekül ağırlığına, yan zincir yapısına ve çözeltinin koşullarına (sıcaklık, nem, pH) bağlıdır.

Akışkanlaştırıcı katkıların kullanım dozajı, püskürtme betonun bileşimine, basınç dayanım sınıfına, su/çimento oranı ve kıvam sınıfına bağlı olarak 2-10 kg/m³ arasında kullanılmaktadır.

Tablo 2.10. Akışkanlaştırıcı katkı özellikleri ve çalışma mekanizması

Su Azaltma Tipi	Kimyasal Yapı	Su Azaltma Potansiyeli	Etki
Normal su azaltıcı	Karbonhidrat/ Lignosülfonat	%5-%12	
Yüksek oranda su azaltıcı	Naftalen/ Melamin	%5-%30	
	Polikarboksilat	%10-%40	

2.7.4.2. Püskürtme betonda priz hızlandırıcı katkıları

Çimento esaslı püskürtme betonlarda, plastik halde olan karışımın oluşan hidrasyon reaksiyonları sonucunda katı bir hale gelmesine priz adı verilmektedir.

Püskürtme betonda priz hızlandırıcı katkı kullanılmasıyla yapılan işlem çimento ile su arasındaki hidrasyonun hızlandırılmasıdır. Ani priz yapıcı bu katkıları çok hızlı hidrasyon oluşumu sağlar ve sertleşme üzerinde etkili olur. Bu nedenle, iyi kalitede püskürtme beton elde etmek için, mümkün olduğunca düşük miktarda oldukça dengeli bir şekilde hızlandırıcı kullanmak gerekmektedir. Püskürtme betonun priz alması esnasında, yüksek miktarda hidrasyon ısı açığa çıkmaktadır. Hidrasyon ısı sayesinde püskürtme beton soğuktan dolayı zarar görmez. Çünkü çevreye göre

daha yüksek ısıda olan püskürtme beton, soğuk hava koşulları etkisinden korunmuş olur.

Büyük ölçekli projelerde, özellikle yeraltı tünel destekleme işlerinde priz hızlandırıcı kimyasal katkıların kullanımı oldukça yaygın ve avantajlıdır. Kullanılan priz hızlandırıcı sayesinde betonun ani sertleşmesiyle kaya-zemin biriminde olası kütle düşmeleri, kopma ve akımların önüne geçilmiş olur. Ayrıca katılaştıran beton, tünel çevresinden gelebilecek yüklere karşı koyarak deformasyonları önler ve ilk destek sağlanmış olmaktadır.

Priz hızlandırıcı katkı maddeleri püskürtme betonda, katkının tipi, cinsi ve kalitesine göre bağlayıcı malzemenin %3 ile %15 arasında aralıkta eklenirler. Priz hızlandırıcı katkı miktarı genellikle beton hacminin binde biri ya da binde ikisi kadardır.

Priz hızlandırıcı katkılar toz halinde veya sıvı halde kullanılabilir. Püskürtme beton makinesini başında genellikle elle eklenen toz katkının oranlanması oldukça güçtür. Fazla miktarda toz katkı eklenmesi durumunda, çevreye aşırı dozda katkı salınımı olur ve hem sağlık açısından hem de püskürtme betonun kalitesi açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Kuru karışım püskürtme betonun aksine ıslak karışım yönteminde betonun hızlı sertleşmesi için hızlandırıcı katkılar nozulda verilmektedir. ıslak karışımda, püskürtme ucundaki beton henüz havada macun kıvamındayken, priz hızlandırıcıların etkisiyle beton katı hale geçer ve betonun aşağı doğru düşmesini, çökmesini engeller.

Öte yandan betonun kalitesi ve insan sağlığı açısından, priz hızlandırıcı katkıların asidik veya bazik olması önem arz etmektedir. pH yüksekliği baziklik, yani maddenin alkali olduğu, pH düşüklüğü ise maddenin asidik yani alkali olmadığını gösterir. pH ölçeği 0-14 arasında değer almaktadır. pH değerinde 0'a yaklaştıkça asitlik özelliği, 14'e yaklaşıldığında ise baziklik özelliği artar.

Asidik		Nötr			Bazik(Alkali)	
0	3	5	7	9	12,5	14
Hidroklorik asit Sülfirik asit	Sirke	Kahve	Saf Su Sofra Tuzu	El sabunu	Beton	Sodyum Hidroksit
Keskin Metaller üzerinde aşındırıcı		Aşındırıcı ve tahriş edici değil			Kaygan Cilt ve gözlerde tahriş edici	

Şekil 2.17. pH ölçeği

Yeraltı işlerinde sıklıkla uygulanan püskürtme betonda kullanılan priz hızlandırıcı katkıları alkali içeren (sodyum alüminat) priz hızlandırıcılar, alkali içermeyen (alüminyum sülfat) ve sodyum silikat (camsuyu) priz hızlandırıcılar olmak üzere 3 kısma ayrılır.

- Alkali (alüminat) priz hızlandırıcılar

Alkaliler zehirlidir. pH 12'nin üzerinde, deri ve göz tahrişine neden olduğundan kişisel korunma ekipmanları kullanılmalıdır. Alkali priz hızlandırıcı kullanılan püskürtme betonda, operatör eldiven, maske ve gözlük takmalı ve cilt ile doğrudan temastan kaçınılmalıdır.

Alkali priz hızlandırıcılar sıvı formda olup, kuru ve yaş püskürtme betonda kullanılmaktadır. Alçı taşıyla reaksiyona girerek çimentonun priz hızını ani bir şekilde arttırmaktadır. Çimento ile reaksiyona girerek hidrasyon hızını artırır, çok iyi katılma ve sertleşme göstermektedirler. Özellikle aşırı dozda kullanım halinde, nihai dayanımı %30'a kadar azaltmaktadırlar. Ayrıca alkali priz hızlandırıcılar alkali silika reaksiyonu riskini de artırırlar. Tipik kullanım dozajı çimentonun ağırlıkça %3–%8'i arasındadır.

- Alkali içermeyen (alkali free) priz hızlandırıcılar

Alkali içermeyen ($\text{Na}_2\text{O} < \%1$) priz hızlandırıcılarıdır. Bu tür katkıları alkali ve silikat esaslı priz hızlandırıcılara göre daha az zararlıdır ve daha iyi bir çalışma ortamı sağlarlar. Hızlı priz kalitesine, iyi bir dayanım gelişimine sahiptirler. Priz hızlandırma işlemi çimentonun hidrasyonunu hızlandırması sonucu meydana gelmektedir. Bu tip priz hızlandırıcıları alkali priz hızlandırıcı içeren katkıları göre, betonun nihai dayanımı ve dayanıklılığı üzerinde daha olumlu etki yaparlar. Kalıcı püskürtme beton uygulamaları için her zaman alkali içermeyen priz hızlandırıcılarının kullanılması önerilmektedir. Tipik kullanım dozajı çimento ağırlığının %5–%12'i arasındadır.

- Silikat bazlı (Camsuyu) priz hızlandırıcılar

Sodyum silikat (Na_2SiO_3) bazlı olup, genellikle tüm çimento tipleriyle uyumludur. Yüksek oranda alkali (Na_2O) ve kostik (NaOH) içerir. pH değerleri 11'in üzerindedir. Uygulama sırasında deri ve göz tahrişine karşı kişisel korunma ekipmanı kullanımı gereklidir. Hızlı sertleşme gösterirler, ancak aşırı dozda kullanılması halinde nihai dayanımı %50'ye kadar düşürür, dayanıklılığı azaltmaktadırlar. Alkali-silika

reaksiyonu ve suda çözünebilen kısımların sızması riski vardır. Tipik dozaj aralığı çimentonun ağırlığının %6–%14'ü arasındadır. Çok yavaş dayanım gelişimi ve ekseninde tek seferde kalın tabaka inşa edilmesi zayıf ihtimaldir.

Priz hızlandırıcı katkı uygulamanın tipine, şartnameye, çimento uyumuna ve lokal şartlara bağlı olarak seçilmelidir.

Tablo 2.11. Alkali ve alkali olmayan kimyasal katkıların karşılaştırılması

Özellik	Alkali içerikli (alüminatlı) kimyasal katkılar	Alkali içerikli (silikatlı) kimyasal katkılar	Alkali olmayan kimyasal katkılar
Nihai dayanım	İyi	Kötü	Çok iyi
Erken priz alma	Çok iyi	Çok iyi	Normal
pH	12-14	11-13	3
Kullanım dozajı	%3-%8	%6-%14	%5-%12
Ribaunt (Geri Sekme)	Çok az	Normal	Az
Su geçirmezlik	İyi	Kötü	Çok iyi
Na ₂ O eşdeğeri	%20	%14	<%1
İş ve çevre sağlığı	Çok kötü	Kötü	İyi

Diğer taraftan alüminat (alkali) esaslı hızlandırıcılar yumuşak kayalarda sıkça tercih edilmektedir. Çünkü alüminat esaslı priz hızlandırıcı katkılar ilk andaki priz alma eğilimi yüksektir ve kısa süre içerisinde sertleşme gözlenmektedir. Diğer tercih nedeni ise, tünelden su akışının yoğun olduğu tünellerde püskürtme betonun hemen priz alması ve sertleşmesi istenmektedir. Bu durumda alkali esaslı priz hızlandırıcı kullanılmasıyla erken yaşta sertleşme sağlanarak, tünel çevresinden akan su miktarı azaltılmakta veya su akışının tamamen kesilmesine yardımcı olmaktadır.

İnşaat işlerinde aynı dozda kullanılan alkali ve alkali olmayan priz hızlandırıcı ile yapılan püskürtme beton uygulamaları düşünüldüğünde, genellikle alkali içeren kimyasal katkılı püskürtme betonun ilk priz alma ve sertleşmesi süreleri daha önde olduğu bilinmektedir. Bu durumu kanıtlamak için alkali (alüminat içerikli) katkı ve alkali olmayan (alüminyum sülfat) katkıyla Özgün Yapı laboratuvarında çimento ile priz deneyleri yapılmıştır. KTŞ (2013)'te belirtilen şartname limitleri dikkate alınarak yapılan bu deneyde, inşaat projelerinde sıkça kullanılan üç tip priz hızlandırıcı seçilmiştir. Bu priz hızlandırıcı katkıların çimento pastasında erken yaşta priz süresine etkisi ortaya konması hedeflenmiştir.

Tablo 2.12. Püskürtme beton için çimento pastasında priz süresi limit değerleri (KTŞ 2013 EK ARGE.M.BÇ.T.119, 2015)

Priz başlangıç süresi	<3 dakika	<5 dakika	>5 dakika
Priz bitiş süresi	<6 dakika	<10 dakika	>10 dakika
Değerlendirme	İyi	Kabul edilebilir	Kabul edilemez



Şekil 2.18. Vikat deneyi ile alkali ve alkali olmayan katkı priz süresinin karşılaştırılması

Yapılan deneylerde Tablo 2.13'te gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 2.13. Püskürtme beton çimento pastasında priz süresi testi

Deney	1.Deney	2.Deney	3.Deney
Çimento/tipi	Sançim Çimento Fabrikası Bilecik/ CEM I 42,5 R		
Su/çimento	0,30	0,30	0,30
Su-çimento miktarı (gr)	90-300	90-300	90-300
Priz hızlandırıcı tipi	Sika Sigunit L-25 (alkali içeren)	Ege Kimya Sureshot AF 30 (Alkali içermeyen)	Master Builders MasterRoc Sa 160 (Alkali içermeyen)

Tablo 2.13. (Devam) Püskürtme beton çimento pastasında priz süresi testi

Dozaj (%)*	%7	%7	%7
Priz başı	35 saniye	45 saniye	50 saniye
Priz sonu	3 dakika 55 saniye	8 dakika 25 saniye	8 dakika 45 saniye

* Ağırlıkça çimentonun yüzdesi

Yapılan vikat deneyinde alkali ve alkali olmayan priz hızlandırıcı katkıları şartname limitleri içerisinde kaldığı görülmüştür. Ancak alkali (Sigunit L-25) esaslı priz hızlandırıcı ile yapılan deneyde priz başı ve priz sonu süreleri daha önde olduğu görülmüştür. Bu durumda bu katkılara ait yapılan deneyde, alkali esaslı Sigunit L-25 katkısının püskürtme betonda ani priz ve erken yaşta sertleşmeye olumlu katkısı olduğu görülmüştür.

Alüminat esaslı priz hızlandırıcılar çimentonun hidratasyonu sırasında erken dayanımı sağlayan monosülfatların oluşumunu hızlandırır. Çimento ile karışmasını takiben 1. dakikada priz başlamakta, 3,5 dakikada tamamlanmaktadır. İlk 5-10 dakika içerisinde püskürtme beton dayanım kazanmaya başlar ve 0,5–2 saat içerisinde 1-2 MPa mertebesinde basınç dayanımına ulaşır. Alüminat bazlı hızlandırıcılar 5-10 dakika sonra dayanım kazanmaya başlar, 20-30 dakika sonra mukavemet yeterince yüksektir (>0,4 MPa) ve püskürtülen beton tabakası kendi ağırlığını taşıyacak güçtedir. Bu nedenle alüminat bazlı hızlandırıcıların, modifiye sodyum silikat veya cam suyu katkılara göre daha kalın tabakalar halinde uygulanabilmektedir. Tipik kalınlıklar 20-50 cm arasında değişebilir (Melby, 2006).

Tablo 2.14. Priz hızlandırıcı katkıların genel özellikleri (Malmberg, 1993)

Özellik / Şartname	Kaynak
Önerilen Miktar:	
Toz tipi:	%6-%8 Ortalama %6
Sıvı tipi:	%4-%6 %6-%8
Sodyum Silikat:	%10-%15
Belirtilmemiş:	%2-%5
Kuru Karışım:	%4-%7
Yaş Karışım:	%5-%10

Tablo 2.14.(Devam) Priz hızlandırıcı katkıların genel özellikleri (Malmberg, 1993)

İzin Verilen Miktar:		
Toz tipi:	≤%10	Avusturya Beton Birliği (1990)
Sıvı tipi:	≤%8	Avusturya Beton Birliği (1990)
Belirtilmemiş:	≤%3 (belgelenmiş deneyim) ≥ 5 yıl	SANCOT (1990)
Basınç Dayanımında Azalma:	≤%45 toz hızlandırıcılar ≤%30 sıvı hızlandırıcılar	Avusturya Beton Birliği (1990)
Uygunluk Testi		
Proktor Testi 10 dakikada	≥ 130N	EFNARC (1992)
Suda çözünebilir alüminat:	≤%0,6 püskürtme beton suya maruz kaldığında SO ₂ içeriği > 600 mg/l ise	Avusturya Beton Birliği (1990)

2.8. Püskürtme Betonda Deneyler

Püskürtme beton ile ilgili genel olarak yapılan kalite kontrol testleri aşağıdaki gibidir.

Yapılacak test ve kontroller:

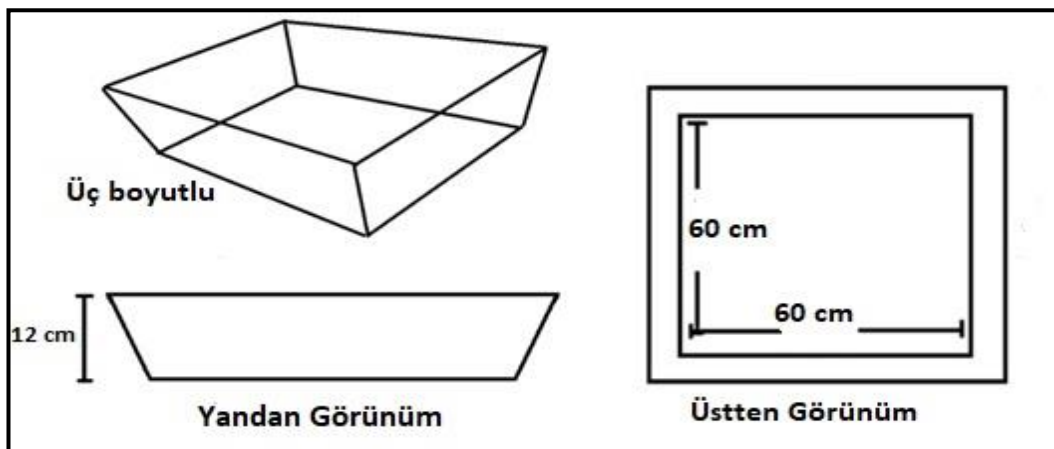
- Basınç Dayanımı
- Eğilmede-çekme deneyi
- Tokluk (enerji depolama kapasitesi) ve deformasyon kabiliyeti
- Karot değerlendirilmesi ve boşluk kontrolü
- Permeabilite
- Yoğunluk ve su emme
- Dayanım gelişim hızı
- Darbe dayanımı
- Aderans
- Arta kalan dayanım
- Geri sıçrama kaybı test sonuçlarının şartnameye uygunluğu
- Hava içeriği
- Lif miktarı
- İlk ve son priz süreleri
- Farklı kimyasal katkıların birbiriyle uyumu testi
- Priz hızlandırıcı kimyasal katkı-çimento uyum testi

- Kimyasal-mineral katkıların uyumluluk testi
- Porozite
- Püskürtme beton yüzey düzgünlük kontrolü
- Beton sıcaklık kontrolü
- Beton slump kontrolü
- Beton kür koşulları ile kullanılan kür maddelerinin ve kür uygulamasının uygunluğu
- Hava koşullarının (sıcak-soğuk) püskürtme beton uygulaması için uygun olup olmadığı, alınan önlemlerin uygun ve yeterliliği
- Püskürtme betonun kalınlık kontrolü yapılıp, şartnameye uygun kalınlığın gerçekleştirilmesi (KTŞ, 2013)

2.8.1. Panel numune alınması

Püskürtme betonun dayanımının belirlenmesi için tecrübeli bir operatörün nozul yardımıyla beton püskürtülmesi sonucu test panelleriyle numune alınır.

Beton paneller düşey konumda yerleştirilmiş kalıplara dik doğrultuda püskürtme yapılarak hazırlanır. Test panellerine beton püskürtülürken, gerçek uygulamada uyulması gereken tüm hususlara (açı, mesafe, tabaka kalınlıkları, basınç, sıcaklık vb.) aynen uyulmalıdır. Püskürtülen beton panele iyice yerleştirilmeli, yeterli sıklıkta olması sağlanmalı, girintili-çıkıntılı yüzey bozuklukları olmamasına dikkat edilmelidir. Robot (püskürtme beton makinesi) ile püskürtmede ve elle püskürtmede test panellerin ebatları 600×600 mm, panoların derinliği ise 120 mm (püskürtülen betonların kalınlığı) olmalıdır (KTŞ, 2013).



Şekil 2.19. Püskürtme beton numune kalıbı örneği

Ribaunt nedeniyle püskürtülen betonun deney paneline birikmemesi için, panel püskürtülen yüzeyle 45° açı yapacak şekilde konumlandırılmadır.

Püskürtme beton panel kalıbıyla ilgili çeşitli ölçülerde örnekler bulunmaktadır. Tablo 2.15'te farklı boyutlardaki panel kalıpları gösterilmiştir.

Tablo 2.15. Püskürtme beton test panelleri boyutlarına örnekler (Malmberg, 1993)

Test panellerinin önerilen boyutları	Referans kaynak
500 x 500 x 150 mm	Japon Tünelcilik Derneği (1991)
500 x 500 x 120 mm	Pöllä (1991) DIN 18551 (1992)
600 x 600 x 100 mm	Skurdal (1989)
400 x 600 x 200 mm	Avusturya Beton Birliği (1990)
600 x 600 x 120 mm	Norveç Beton Birliği (1992)
650 x 650 x 100 mm	JCI (1991)
750 x 750 x 150 mm	SANCOT (1991)
600 x 600 x 100 mm 750 x 750 x 100 mm	Püskürtme Beton Derneği (1990)
450 x 450 x 100 mm 750 x 750 x 100 mm	Specification for Lesotho Highlands Project (1991)
(n x 125 + 100) x 550 mm	CBI (1990)
800 x 800 x 160 mm	EFNARC (1992)
Yüzey alanı > 0,25 m ² Kalınlık > 150 mm	AFTES (1992)



Şekil 2.20. Püskürtme betonda panel numune örneği

Beton paneller, püskürtmenin ardından 18 saat kımıldamamalı ve karot alınacak zamana kadar polietilen örtü ve ıslak telis ile yüzeyi kaplanarak $20\pm^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmelidir (KTŞ, 2013). Alınan panel numunesi laboratuvara getirildikten sonra karot kesme makinesiyle silindir numuneler hazırlanmalıdır. Kesilme işlemi yapılan silindir numuneler daha sonra taş kesme makinesiyle baş kısımları düzeltilmelidir. Karotların baş kısmının düzgün olması için gereken özen gösterilmesine rağmen çoğu zaman karot yüzeylerinde istenilen düzgünlük sağlanamamaktadır. Baş kısımları düzgün olmayan karotların basınç dayanım testi sonuçları normal koşullardaki dayanımı yansıtmamaktadır. Başlıklama yapılmayan karot numunelerinde yapılan testlerde, cihazdan gelen yük karot yüzeylerine muntazam dağılmadığından düşük dayanım sonuçları ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden karot numunelerine başlıklama yapılmalı, başlıklama yapılan numuneler daha sonra su kaybını önlemek için dış ortamda bekletilmeden 20°C sıcaklıktaki kür havuzunda deney gününe kadar bekletilmelidir. Günü gelen karot numunelerin basınç dayanım testi yapılmalıdır.



(a)

(b)

Şekil 2.21. Karot kesme makinesiyle hazırlanan silindir numunenin baş kısmının düzeltilmesi

Basınç dayanımı EN 4012'ye göre belirlenmelidir. Basınç dayanımı ölçümü için karotlar 1, 7, 28 ve 90 gün sonra kontrol ve test beton panellerinden alınmalıdır.

Karotlar sırasıyla 100 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde olmalıdır. (EFNARC, 1996).

Püskürtme beton için yapılan basınç dayanım testinde, alınan karotlar püskürtme beton kalınlıklarını ve betonun tüm özelliğini karakterize etmelidir. Alınan karotlar dikkatlice incelenip betonda segregasyon, sıkışma yetersizliği, boşluk uygunsuzluğu, agregaların ve varsa liflerin homojen dağılıp dağılmama durumu, gözle saptanabilen yüzey bozuklukları vb. olumsuzluklar tespit edilip kaydedilmelidir. Püskürtme betonda priz hızlandırıcı kimyasal katkı kullanıldığında 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı testleri yapılacaktır (KTŞ, 2013).

Tablo 2.16. Farklı referanslara göre basınç dayanımı gereksinimlerine örnekler (Malmberg, 1993)

Püskürtme Beton Yaşı	Basınç Dayanımı (MPa)	Referans Kaynak
8 saat	5	Wood (1992)
1 gün	5	Japon Tünel Birliği (1991)
	8*	AFTES (1992)
	10	Morgan (1992), SANCOT (1991), Wood (1992) EFNARC 1992
3 gün	20	Wood (1992)
7 gün	17*	AFTES (1992)
	25	EFNARC (1992)
	30	Morgan (1991), Wood (1992)
28 gün	18	Japon Tünel Birliği (1991)
	25**	AFTES (1992)
	30	JCI (1991), EFNARC (1992)
	35	Stockholm Şehir Sokakları ve Trafik yönetimi (1990)
	35***	Maidl (1992)
	40*	Maidl (1992)
	40	Morgan (1991), SANCOT (1991)
	40	İsveç Demiryolları Böl. (1991) Specs. for Lesotho Highlands Project (1991) Wood (1992)
45	İsveç Demiryolları Böl. (1991)	

* Aritmetik ortalama, **Karakteristik dayanım, ***Tek değer

Tablo 2.17. (Devam) Püskürtme panellerinden kesilmiş numuneler üzerinde test edilen püskürtme beton için mukavemet sınıfları (Malmberg, 1993)

Dayanım Sınıfı	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
Karakteristik Dayanım							
Silindir	20	25	30	35	40	45	50
Küp	25	30	37	45	50	55	60

Yapıdaki betonu karakterize etmesi amacıyla boy/çap oranı, 1,0'dan farklı olarak alınan karot numuneleri başlık yapıldıktan sonraki boy/çap=1,0 olacak şekilde kesilerek düzeltildikten sonra basınç dayanım testine tabi tutulacaktır. Test sonuçları, test numunelerinin alındıkları ve kür işlemine göre Tablo 2.18'deki belirtilen çizelgedeki değerlere uygun olacaktır (KTŞ, 2013).

Tablo 2.18. Püskürtme beton için basınç dayanım sınıfları ve kalite kontrol kriterleri (KTŞ, 2013)

Beton Sınıfları Karakteristik Basınç Dayanımı (f_{ckp}) (MPa)		Püskürtme betondan alınacak karot numunede dayanım yönünden (28 günlük) aranacak kalite kontrol kriterleri		
		Karot Numune Boy (H)= 100 mm, Çap (D)= 100 mm silindir		
Basınç dayanım sınıfları	D= 150 mm, H= 300 mm, Silindir	A= 150 mm Küp	Bireysel minimum dayanım (MPa)	3 adet numuneden oluşan grubun ortalama minimum dayanımı (MPa)
C 20/25	20	25	19,0	21,5
C 25/30	25	30	22,5	25,5
C 30/37	30	37	28,0	31,5
C 35/45	35	45	34,0	38,5
C 40/50	40	50	37,5	42,5
C 45/55	45	55	41,5	47,0
C 50/60	50	60	45,0	51,0

Basınç dayanımı testlerinin sıklığı ve hangi yaşlarda yapılacağı; projeci ve/veya kontrollük tarafından işin cinsi, betonda istenen dayanım kazanma hızı, betonda aranan diğer karakteristik ve performans özellikleri, kullanılan teknoloji, deneyim ve şantiye koşulları göz önüne alınarak idare veya mühendis tarafından belirlenecektir (KTŞ, 2013).

2.8.2. Proktor penetrometre ve erken yaş dayanımı testi

Püskürtme betonla ilgili basınç deneyi 1 gün sonra karot alınabildiğinden erken dayanım değerleri karotlar üzerinde belirlenememektedir. Bu deneyler erken püskürtülmüş malzeme üzerinde proktor penetrometre ve çivi tabancası kullanılarak belirlenmektedir. Proktor penetrometre testinin amacı test panellerine püskürtülen püskürtme betonun penetrasyona karşı direnç sonucu sertleşme hakkında bilgi edinmek ve 0,2-1,2 MPa aralığındaki dayanım gelişmesini tespit etmektir.

Tünel ve madencilik uygulamalarında genellikle erken dayanım değerleri (2, 5, 10 ve 30 dakikalık, 1, 12, 24 saatlik) tanımlanır. Püskürtme betonların erken dayanımların tespiti aşağıdaki iki farklı metotla tespit edilmektedir (KTŞ, 2013).

Test panellerine ve/veya tabii zemine uygulanan püskürtme beton numunelerine ASTM C 403-95'de tanımlanan tipte 9 mm çapında dalma iğnesi olan Proktor Penetrometresi kullanılarak penetrasyon testi yapılarak betonun erken yaşlardaki dayanım kazanma hızı belirlenir. Çapı 9 mm olan penetrasyon iğnesinin tek ve sürekli bir kuvvet etkisiyle hareketi sonucunda 15 mm'lik batma gerçekleştiğinde elde edilen kuvvet ve/veya basınç gerilmesine göre uygunluğuna karar verilir. Ölçülen penetrasyon direnci, püskürtme betonuna ait priz alma ve erken mukavemet gelişiminin bir göstergesi olacaktır. Püskürtmeden sonra geçen zamana bağlı olarak gereken minimum penetrasyon direnci değerleri aşağıda belirtildiği gibi olmalıdır (KTŞ, 2013).



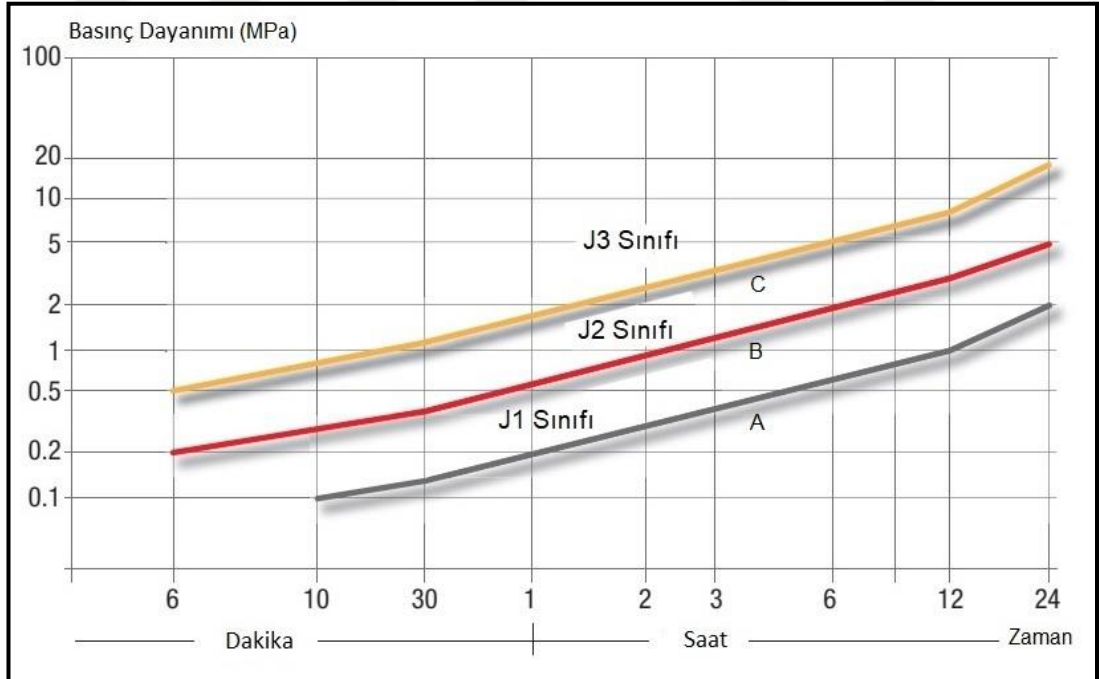
Şekil 2.22. Püskürtme betonda proktor penetrometre testi

- 2 dakika sonra: Minimum 260 N
- 5 dakika sonra: Minimum 380 N
- 10 dakika sonra: Minimum 450 N

Penetrasyon iğnesi püskürtme betonu içerisine tek ve sürekli bir hareketle, yaklaşık 15 mm'lik bir derinliğe kadar itilecektir. Her bir durumda 60 saniyelik bir sürede alınacak 4 deney okumalarının ortalama değeri, gerekli direnci sağlamalıdır(KTŞ, 2013).

Püskürtme betonun erken yaş dayanım gelişimi, TS EN 14887-1'de J1, J2, J3 olarak gösterilen erken yaş dayanım sınıfları olarak birbirinden ayrılmıştır.

Genç püskürtme beton, aynı zamanda önemli erken dayanım gelişim aralıklarına göre sınıflandırılabilir. Sınıflandırma, seçilen imalat yöntemi ve gereklerine göre tipik sertleşme hızının ortalama değerine bağlıdır. Genç püskürtme betonun dayanım gelişimi belirlendiğinde J1, J2 veya J3 erken dayanım sınıfları uygulanmalıdır. Erken dayanım sınıfı J1, eğri A ve B eğrisi arasında, J2, B eğrisi ve eğri C eğrisi arasında, J3 ise C eğrisi üzerinde kalan alanda en az 3 veri noktasına (zamana göre değişen basınç dayanımı) göre tanımlanır (TS EN 14487-1, 2006).



Şekil 2.23. Püskürtme betonunun erken mukavemet sınıfları (TS EN 14487-1, 2006)

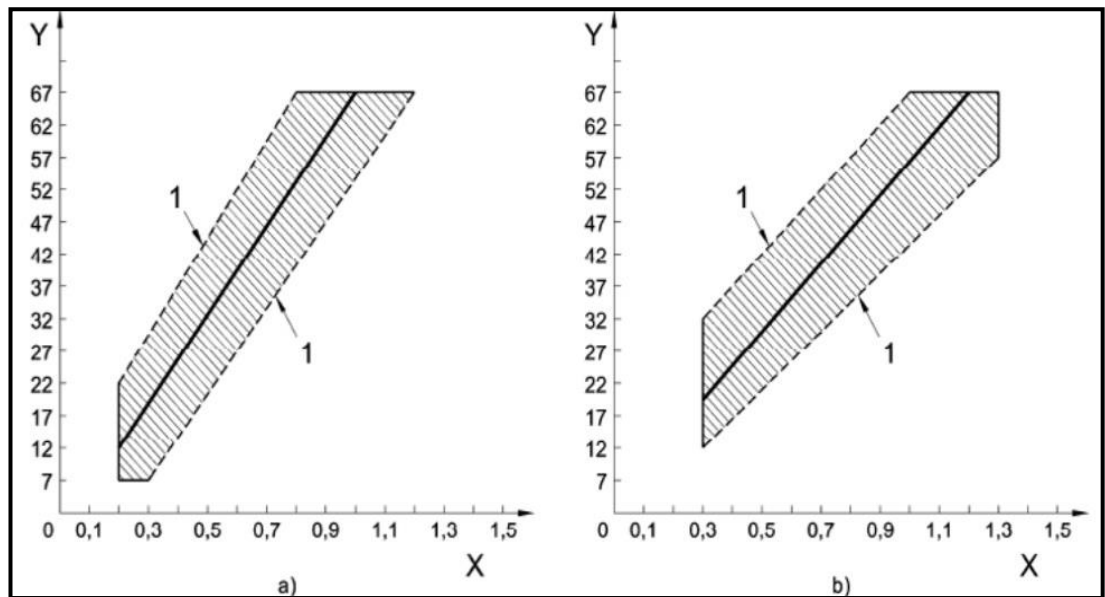
Yukarıdaki diyagram J1, J2, J3 sınıflarına göre püskürtme betonun erken yaşlardaki mukavemet değerlerini göstermektedir. J1 sınıfındaki püskürtülmüş beton, kuru bir

tabaka üzerinde ince katmanlar halinde uygulama için uygundur. J2 sınıfındaki püskürtme beton, kısa sürede daha kalın tabakaların elde edilmesi gereken uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu tip püskürtülmüş beton tünel eksen bölgelerine uygulanan zor koşullar için uygundur. Tünellerden gelen hafif su akışı, ayna dalgisi ve patlatmadan sonraki iş adımlarının gerektiği durumlar da buna örnektir. J3 sınıfı püskürtme beton, oldukça zayıf, kırılabilir veya güçlü su akışı olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Hızlı destekleme işlerinin gerektiği durumlarda, uygulama sırasında daha fazla toz ve geri tepme meydana gelmektedir. Bu nedenle J3 sınıfı püskürtülmüş beton sadece özel durumlarda kullanılmaktadır.

Erken yaş dayanımı tayininde penetrasyon testi, çivi saplama ve çekip çıkarma testi yapılarak ilk 24 saate kadar olan mukavemet değerleri bulunmakta ve diyagram üzerinde hangi aralıkta olduğu doğrulanmaktadır. Sonrasında püskürtme panelinden alınan karotlar üzerinde mukavemet testi yapılır.

Taze betonun dayanım gelişimi TS EN 14488-2 standardına göre belirlenir. Çapı 3 mm olan bir iğneye sahip penetrometre cihazı ile (0-1,2) N/mm² 'ye kadar olan mukavemet gelişimleri tespit edilir. Penetrasyon derinliği yaklaşık 15 mm olmalıdır. Belirlenen penetrasyon direnç kuvveti, boy/çap oranı=1,00 olan, 10 cm çaplı karot numunesine tekabül eden basınç mukavemetine Şekil 2.24'teki formülle dönüştürülebilir (KTŞ, 2013).

$U = (Pr-30)/550$ (N/mm²) olarak bulunur.



Şekil 2.24. Penetrasyon iğnesi için örnek kalibrasyon eğrisi (KTŞ, 2013)

Burada;

X: Basınç Mukavemeti (MPa)

Y: Penetrasyon Yük Okumaları

1: Güvenlik limitleri

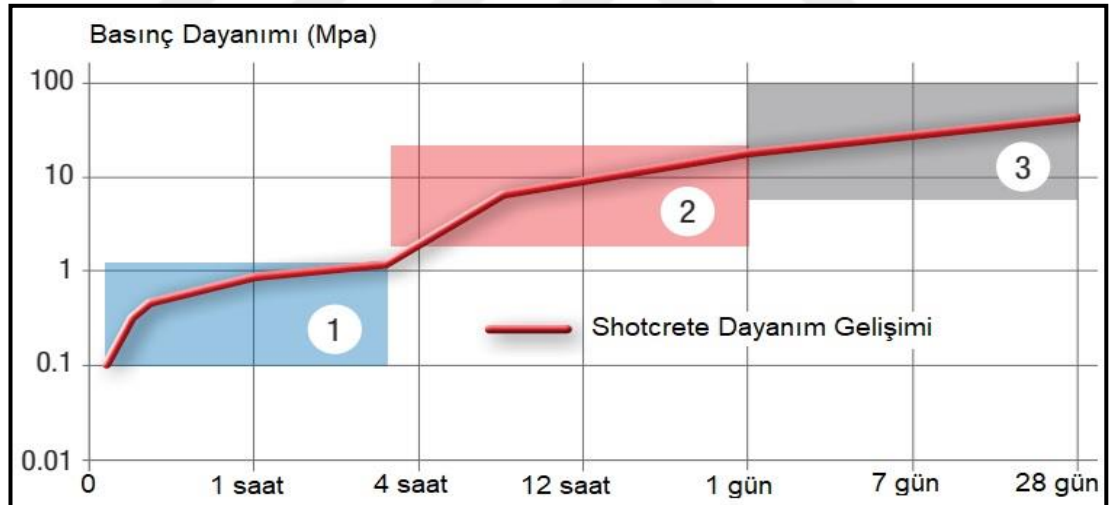
U: $d = 10 \text{ cm}$, $h = 10 \text{ cm}$ karot numunesinin N/mm^2 cinsinden basınç dayanımı

Pr: Penetrometrede Newton cinsinden okunan penetrasyon direnç kuvveti

a) Maksimum tane çapı 8 mm olan agregaya ait penetrometre kalibrasyon eğrisi

b) Maksimum tane çapı $\leq 16 \text{ mm}$ olan agregaya ait beton için penetrometre kalibrasyon eğrisi (KTŞ, 2013).

Püskürtme betonda erken yaş mukavemetinin saptanmasında diğer bir deney ise çivi saplama ve çekip çıkarma metodu tayini ile yapılmaktadır.



(a)

	Gelişim	Metot	Ekipman	Dayanım	Zaman
1	Başlangıç dayanımı	Penetrasyon iğnesi	Penetrometre	$\leq 1,2 \text{ MPa}$	0-3 saat
2	Erken dayanım	Çivi saplama	Çivi saplama ve çekip çıkarma yöntemi	3-16 MPa	3-24 saat
3	Nihai dayanım	Karot alma	Basınç test makinesi	5-100 MPa	1-28 gün

(b)

Şekil 2.25. Püskürtme betonun basınç dayanım gelişimi (KTŞ 2013 EK ARGE.M.BÇ.T.113, 2014)

Çivi saplama deneyindeki amaç test panellerine püskürtülen püskürtme betonun 3-16 MPa arasındaki dayanım gelişimini tespit etmektir. Bu metotta, püskürtme betona bir çivi saplanır ve çivinin penetrasyon derinliği ölçülür. Daha sonra bu çivi betondan çıkarılır ve çekip çıkarma yükü ölçülür. Penetrasyon derinliği ve çekip çıkarma yükü oranı, cihaz üreticisi tarafından oluşturulmuş dönüşüm eğrisinden faydalanarak mukavemet değerinin bulunması için kullanılmaktadır. Betona aralarında 8 cm kalacak şekilde beton çivi saplama tabancasıyla saplanan çiviler çekip çıkarma cihazı kullanılarak çıkartılmaktadır. Cihaza ait dönüşüm eğrisi kullanılarak dayanım değerleri bulunmaktadır.

3 ayrı yöntemle tespit edilen değerler Şekil 2.25'te gösterilen erken yaş mukavemet gelişimini gösteren diyagramda kullanılmaktadır.

2.8.3. Püskürtme betonda ribaunt (geri sıçrama kaybı, seken beton)

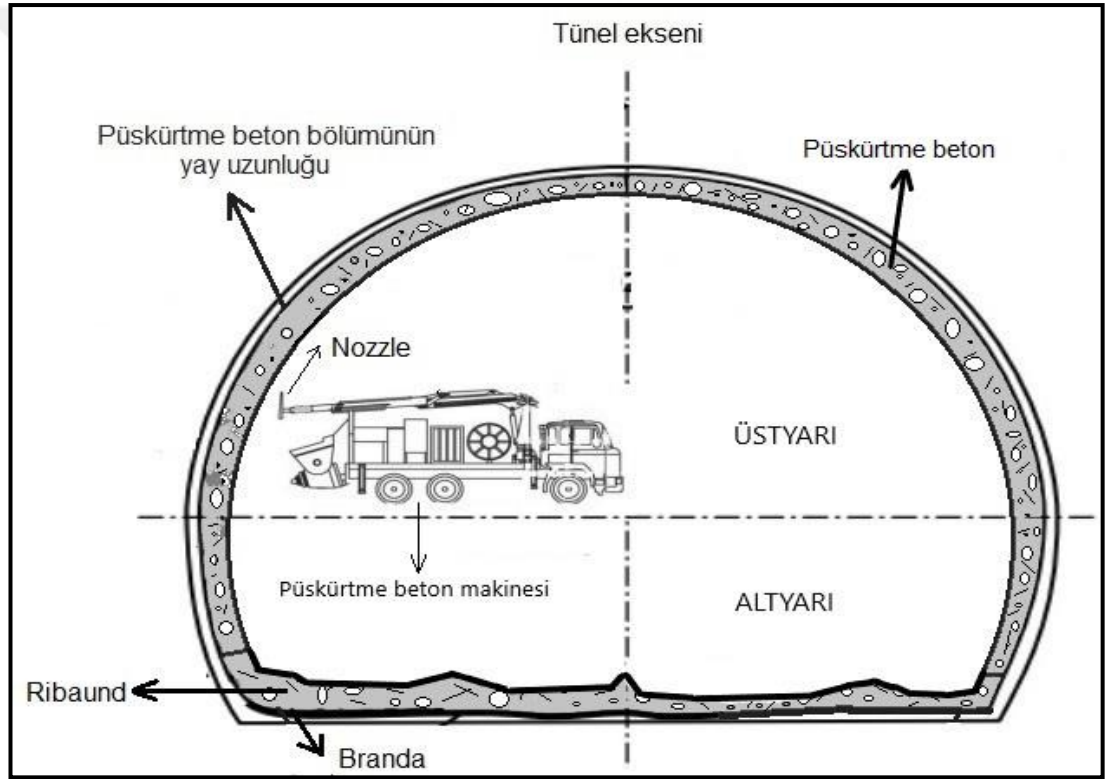
Ribaunt yüzeye püskürtülen ancak yapışmayarak geri sıçrayan püskürtme beton miktarıdır. Dökülme ise betonun uygulanan yüzeye yapışmaması nedeniyle blok halinde aşağı düşmesidir.

Püskürtme beton işlemi sırasında geri sekmeyi azaltmak en zor işlerden biridir. Etkisi çok yüksektir ve kontrolü son derece zordur. Geri sekmede en önemli faktörler operatörün nozulu doğru kullanma ile doğrudan ilişkisi vardır. Teknik beceri ve deneyim isteyen bu durumun ribaunt miktarına etkisi oldukça yüksektir. Projelerde tünellerin uzunluğu dikkate alındığında geri seken beton büyük bir ekonomi oluşturmakta ve pasa olarak taşınması oldukça yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Çünkü her sıçrayan betondan elde edilen atıklar yapılacak işin iki kat daha artması anlamına gelmektedir.

Püskürtme betonun ana amacı; yoğun ve sıkıca yapışan beton katmanlarını mümkün olabilen en az geri sıçrama kaybı ile elde etmektir. Geri sıçrama kaybını etkileyen püskürtme açısı ve gücüne etki eden birçok etken vardır. Nozulden çıkan malzemenin hızı genelde değişken olmadığından, çarpma gücü nozul ile nozul yüzeyi arasındaki mesafeye ve geliş açısına bağlıdır. Eğer mesafe çok kısa ise zeminde katman oluşturmak mümkün değildir. Eğer mesafe çok fazla ise, çarpma hızı çok zayıf olacak, dolayısıyla düzgün bir yapışma ve sıkışma sağlanmayacaktır. Nozul operatörünün bu mesafeyi uygun bir şekilde ayarlaması çok önemlidir. Ayrıca, püskürtülen beton nozulun ucundan kesintisiz ve sabit akışla çıkmalıdır. Herhangi bir nedenle beton akışı aralıklı olarak kesintiye uğrarsa, nozul operatörü, beton akışı

tekrar sabitleninceye kadar çalışılan alana püskürtme işlemini uygulamamalıdır (KTŞ, 2013).

Geri seken beton miktarının bulunması püskürtülen beton bölgesine serilen brandalarla tespit edilmektedir. Püskürtme beton uygulaması bittikten sonra atık betonun kolaylıkla taşınabilmesi için, brandalar parçalar halinde serilmelidir. Geri seken betonun zemine düşmesini önlemek için her branda parçası birbirine bindirilmelidir. Brandanın uzunluğu tünel çapı uzunluğu kadar, genişliği ise geri seken beton partiküllerinin uzak noktalara gitme olasılığı düşünülerek, 8-15 metre uzunluğunda olmasına dikkat edilmelidir. Ribaunt takibi örneği Şekil 2.26'da gösterilmiştir.

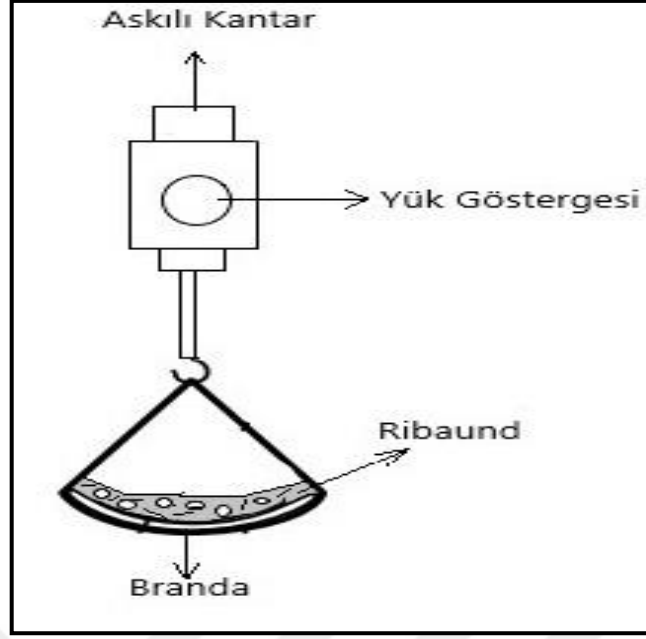


Şekil 2.26. Tünelde ribaunt takip örneği

Püskürtme beton işlemi bittikten sonra branda üzerinde toplanan geri seken beton miktarı tartılarak ölçümü Şekil 2.27'deki gibi yapılmaktadır.

Ribaundu etkileyen faktörler şunlardır:

- Agregaların tipleri ve miktarları



Şekil 2.27. Tüneldən alınan geri seken betonun miktar ölçümü

- Püskürtme beton karışım tasarımı (agrega, su, çimento, agrega, lif, gradasyon eğrisi)
- Püskürtme nozulunu kullanan operatörün deneyim ve tecrübesi
- Püskürtme betonun kuru ya da ıslak karışım olması
- Uygulamadaki tabaka kalınlığı
- Püskürtme betonun uygulandığı kısım (yukarı, aşağı, yatay)
- Püskürtme beton makinesi parametreleri (hava basıncı, nozul)
- Püskürtme beton priz hızlandırıcı tipleri ve miktarları
- Agregası, kimyasal ve mineral katkı, çimento tipi ve miktarı
- Su/çimento oranı ve beton kıvamı
- Karışım sıcaklığı
- Yüzey pürüzlülük faktörü

Genellikle belirli bir çimento/su miktarı oranı, beton kohezyonu ve pompalanabilirlik özellikleri göz önüne alınarak uygulamanın başından sonuna kadar betonun kıvamı 100-200 mm arasında olması istenir. Farklı beton paçalarının slump (çökme) değerleri arasındaki sapma ± 30 mm'yi aşmamalıdır. Geri sekme kaybı az olan iyi bir püskürtme beton uygulaması için püskürtme beton karışımlarının $+10$ °C ile $+25$ °C sıcaklıkları arasında tutulması tavsiye edilmektedir. Taze beton sıcaklığı ise hiçbir koşulda $+5$ °C'nin altına inmemeli ve $+32$ °C'nin üzerine çıkmamalıdır. Çevre (ortam)

sıcaklığı +5 °C'nin altına indiğinde hiçbir şekilde beton uygulaması yapılmamalıdır (KTŞ, 2013).

Püskürtme işlemi sırasında geri tepme miktarları değişmektedir. İlk birkaç dakikada geri sıçrayan genellikle iri agregalardır. Bu agregalar çok yüksek basınçla geri sıçrar ve çalışan personelin vücuduna gelmesi durumunda yaralanmalar meydana getirebilmektedir. Genellikle dikey olarak yukarı doğru yapılan uygulamalarda kuru püskürtülmüş beton %20-%30, ıslak karışım için %2-%15 ile geri tepme öngörülür. Günümüzde, geri seken beton farklı işler için kullanılabilir beton haline getirilmiştir. Düzgün olarak püskürtülmüş, içine yabancı maddeler bulunmayan geri tepen beton sorun olmadan tekrar başka işler için kullanılabilir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Uygulama Alanı ve Uygulama Alanının Jeolojisi

Çalışma kapsamında püskürtme beton uygulamaları "Sapanca-Geyve Yüksek Hızlı Tren Projesi" T2 çıkış ve T2 giriş tüneline beton geri sekmesinin en iyi gözlemlenebileceği tünelin üst yarı ikinci kademesinde gerçekleştirilmiştir. Tünel güzergahındaki jeolojik birimleri Pliyosen yaşlı az tutturulmuş Örencik formasyonu ve Üst Kretase yaşlı metamorfik kaya topluluğu oluşturur (Şimşek ve diğ., 2019).

Metamorfik kaya topluluğu genelde metakırıntılılar, metavolkanitler, metakarbonatlar ve metaofiyolitlerden oluşmuştur. Farklı litolojik kökenli bu metamorfik birimler yanal ve düşey geçişler gösterdiği gibi yer yer blok ve/veya mercekler şeklinde izlenmektedir. Metakırıntılılar; metakumtaşı, metaçamurtaşı, kuvarsit, kuvarslı şist, metaçakıldaşı, metavolkanitler; metatüf, metabazalt, metalav metakarbonatlar ise rekristalize kireçtaşı ve mermer ile temsil edilmektedir. Gri, yeşilimsi gri, kahverengi, kırmızı renklerdeki metakırıntılı birimlerde laminalanma ve derecelenme gibi birincil sedimanter yapılar da izlenebilmektedir. Yeşil ve gri renklerdeki kuvarsit ve kuvarslı şistler oligoklas+kuvars, serisit+kuvars, oligoklas+serisit parajenezlerine sahip olup, milonitik özelliktedir. Şistler ise kalsit+kuvars+serisit, tremolit+oligoklas+serisit, biyotit+oligoklas+kuvars, epidot+kuvars, epidot+oligoklas parajenezleri gösterir (Timur ve Aksay, 2002). Rekristalize kireçtaşı ve mermerler ince-kalın tabakalı, masif görünümlü ve koyu gri renklidir. Metaofiyolitler ise ince ve kalın düzeyler halinde yer alan olistostromal çakıldaşları, metaserpantinit, metagabro, yer yer amfibolit şist litolojilerinden oluşur. İstif içerisinde önemli boyutlara ulaşan serpantinit dilimleri bulunmaktadır. Grimsi yeşil ve günlenme rengi kahverengi olan tüfler, üst düzeylere doğru mor ve yeşil renkli bazaltik tüfler ve kırmızı renkli çamurtaşı ve radyolarit gibi çökel ara katkıları kapsar. Birimin yaşı deneştirme ile Geç Kretase olarak verilmiştir (Timur ve Aksay, 2002).

T2 tünel giriş portalı ile km 130+560 arasında Örencik formasyonuna ait zemin niteliğinde göreceli güncel, çakıllı kil ve kum birimlerinden oluşmaktadır. T2 Tüneli km 130+560 çıkış portalı arası ise metakırıntılılar, metaserpantinit ve amfibolit şist birimlerinden geçmektedir. Bu çalışma kapsamında değerlendirilen püskürtme beton

uygulamaları metakırıntılılar ve metaserpantinitle düzeylerinin yüzeylendiği tünellerin üst yarı kazı yüzeylerinde uygulanmıştır.



Şekil 3.1. T2 tüneli kazı aynasında metamorfik istife ait metakumtaşı düzeylerinin görünümü



Şekil 3.2. T2 tüneli kazı aynasında metamorfik istife ait metaçamurtaşı düzeylerinin görünümü



Şekil 3.3. T2 tüneli kazı aynasında metamorfik istife ait metaofiyolit düzeylerinin görünümü

3.2. Malzeme Özellikleri ve Agrega Ocaklarının Jeolojisi

Kireçtaşı kırmataş ocağı Bilecik, Osmaneli, Düzmeşe köyünün batısındadır. Ocakta işletilen kaya topluluğunun egemen litolojisi Paleosen yaşlı siltli biyosparit-biyomikrit düzeylerinden oluşmaktadır. Beyaz, grimsi beyaz renkli kireçtaşı orta-kalın katmanlı, içerisinde alg ve mercan fosilleri biyozonları vardır (Bargu, 1982). Birim Bargu (1982) tarafından Yağhane kireçtaşı olarak adlandırılmış ve kalınlığı 66 metre olarak ölçülmüştür. Aynı birim Eroskay (1964) çalışmasında Selvipınar kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Kireçtaşı ocağına ait işletmenin ayna görünümü Şekil 3.4'te verilmiştir.

Demirtaş agrega firmasının işlettiği ocakta kayanın litolojik özelliklerini belirlemek amacıyla ilgili firma tarafından Maden Tetkik Arama (MTA) kurumuna petrografik analizler yaptırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda makroskobik tanımlamada, rengi beyaz (N9 Geolocigal Rock-Color Chart 2009), dokusu breşik/parçalı, tane büyüklüğü ince-orta tanelidir. Mikroskobik tanımlamada, dokusu parçalı, bileşenleri fosil ve kavkı izleri, hamur (çimento) ve 3 santimetreye kadar ulaşan genişliğe sahip bileşenler vardır. Fosil kavkuları genellikle mikritik boyutta ve yer yer de spartik boyutta karbonatlaşmış, tane büyüklükleri 160-3200 mikrometre arasında değişmekte, hamuru mikro-kriptokristalen karbonat çamuru (mikrit), dolgular ise mezokristalen karbonat dolgudur. Yapılan makro ve mikroskobik incelemelerde

örneğin, kayacı kesen damarlar sonucu parçalı/breşik bir dokuya sahip olduğu görülmektedir. Örnekte yeniden kristallenmeler (rekristalizasyon) sonucu karbonat mineralleri oluşmuş ve örneğe yayılmış durumdadır. Özellikle damarlar içerisinde, oldukça yaygın olarak basınç ikizli karbonat mineralleri izlenmektedir. Kayaç fosilli kireçtaşı olarak tanımlanmıştır (EK-D).



Şekil 3.4. Osmaneli, Düzmeşe kireçtaşı kırmataş ocağı işletme aynasının görünümü

Dolomit kırmataş ocağı Sakarya, Ferizli, Akçukur mahallesinin batısındadır. Birim Orta Devoniyen yaşlı gri, koyu gri, kırılma yüzeyi mavimsi koyu gri renkli, kalsit damarlı dolomit, dolomitik kireçtaşı düzeylerinden oluşmaktadır. İstif alt seviyelerde laminalı, üste doğru ise orta-kalın tabakalıdır. Birim Kipman (1974) tarafından Kabalak formasyonu Kurudere dolomitli kireçtaşı üyesi olarak adlandırılmış ve kalınlığı 1460 metre olarak belirlenmiştir. Dolomit ocağına ait işletmenin aynasının görünümü Şekil 3.5'te verilmiştir.

Dalbay Taş İmalatı firmasının işlettiği ocaktaki kayanın litolojik özelliklerini belirlemek amacıyla ilgili kurum tarafından Maden Tetkik Arama (MTA) kurumuna kalitatif, mineralojik, petrografik incelemeler yaptırmıştır. Makroskobik incelemede, rengi orta gri (medium gray N5, Geolocigal Rock-Color Chart, 2009), dokusu masif, tane büyüklüğü ince tanelidir. Mikroskobik incelemede ise doku öz şekilli, yarı öz şekilli, öz şekilsiz, homojen dağılımlı, az sayıda, kısa-devamsız ve kısa süreksizlikler gözlenmektedir. Kaya, sıkı istiflenmiş, küçük taneler çoğunlukla eğri, girintili-çıkıntılı sınırlara sahip, genellikle öz şekilsiz, orta tane boyutunda olan kristaller ise

genellikle öz şekilli-yarı öz şekilli ve daha düzgün poligonal sınırlara sahip dolomit minerallerinden oluşmaktadır. Az miktarda kalsit içeren kaya, dolomit olarak tanımlanmıştır (Ek-F).



Şekil 3.5. Ferizli, Akçukur dolomit kırmataş ocağı işletme aynasının görünümü

Dere agregalarının temin edildiği Sezerler kum-çakıl ocağı Sakarya nehrinin taşkın ovası alüvyal çökellerinden oluşmaktadır. Sakarya'nın Arifiye Boğazköy Mahallesi kuzeyinde Sakarya Nehri batı kıyısındaki ocak ağırlıklı olarak metamorfik ve bazik-ultrabazik magmatik kaya kökenli çakıl ve kum boyutundaki kırıntılılardan oluşmaktadır. T2 tünel şantiye sahasına yaklaşık 2 km uzaklıktaki ocakta yıkama ve eleme tesislerinden değişik boyut ve granülometrede kum, çakıl ve kum çakıl karışımı dere agregası üretilmektedir. Dere agregası ocağına ait işletmenin ayna görünümü Şekil 3.6'da verilmiştir.

Sezerler agrega firmasına ait agreganın Maden Tetkik Arama (MTA) kurumuna yaptırdığı testlerden, makroskobik inceleme sonucunda kayacın rengi koyu sarımsı yeşil (10 GY 4/4), dokusu masif, tane büyüklüğü orta-küçük taneli olduğu bulunmuştur. Mikroskobik incelemede dokusu çok yönlü, bileşenleri, amfibol grubu mineraller, feldspat grubu mineraller, kuvars mineraller ve opak mineraller tespit edilmiştir. Amfibol grubu mineralleri, orta-küçük taneli, hipidiyomorf-idiyomorf

levhamsı- altıgen şekilli kristaller halinde, feldspat mineralleri (plajiyoklaz/albit) küçük taneli, hipidiyomorf-allotriyomorf levhamsı şekilli kristaller halinde, kuvars mineralleri ise küçük taneli, allotriyomorf kristaller halindedir. Tali bileşenlerden opak mineraller küçük taneli, allotriyomorf kristaller halinde homojen olarak dağılmıştır. Kayaç amfibolit çakılı olarak tanımlanmıştır (EK-E).



Şekil 3.6. Arifiye, Boğazköy kum-çakıl ocağının görünümü

Üç farklı kökenli agregalardan birincisi Bilecik İli, Osmaneli ilçesi, Düzmeşe Köyü mevkiinde bulunan Demirtaş agrega firmasına ait kireçtaşı kırmataş ocağından, ikincisi Sakarya İli, Ferizli ilçesinde Akçukur mahallesinde bulunan Dalbay Taş İmalatı firmasına ait dolomit-dolomitik kırmataş ocağından alınmıştır. Son olarak dere agregası ise Sakarya İli, Adapazarı ilçesi, Yağcılar Mah. Kalealtı civarında bulunan Sezerler firmasına ait kum-çakıl ocağından temin edilmiştir.

Bu çalışmada beton üretiminde Sançim Bilecik Çimento firmasından CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ait analiz raporu EK-A'da gösterilmiştir. Agregalar olarak 0-4 mm kırma kum ve 4-11,2 kırmataş agregası kullanılmıştır. Beton karışım suyu olarak, Sakarya Büyükşehir Belediyesi Arifiye ilçesi Akçay köyü içme suyu şebekesinden temin edilen su kullanılmıştır. Katkı maddelerinden akışkanlaştırıcı katkı olarak Ege Yapı Kimyasalları firmasına ait Plastol 502-B adlı polikarboksilat-lignosülfonat kombinasyonlu akışkanlaştırıcı kullanılmış olup analiz raporu EK-B'de detaylıca verilmiştir. Tünel mekanında kullanılmak üzere Eucon Sureshot AF 30 adlı

alkali içermeyen yüksek performanslı sıvı priz hızlandırıcı kullanılmıştır. Priz hızlandırıcı katkının analizi ile ilgili bilgiler EK-C'de gösterilmiştir.

3.3. Yöntem

Çalışma kapsamında, kırma-eleme tesislerinde üretilen agregaların standartlara uygunluğu için TS 706 EN 12620+A1'e uygun olarak agregaların özelliklerini tespit amacıyla aşağıda belirtilen test ve analizler yapılmıştır.

3 ayrı ocaktan alınan standarda uygun olarak kireçtaşı, dolomit ve dere agregası ocağından alınan numuneler, numune küçültme, numune azaltma TS EN 932-2'ye göre yapılmış ve boyutlarına göre ince (0-4 mm) ve iri (4-11,2 mm) agrega olarak sınıflandırılmıştır. Agregaların uygunluğu, TS 706 EN 12620+A1 (2009) standardına göre incelenmiş, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Tablo 3.1'de belirtilen test ve analizler yapılmıştır.

Tablo 3.1. TS 706 EN 12620+A1 standardına göre agregalarına yapılan test ve analizler

Test/Analiz	Uygulanan Standart	Kaynak
Numune Alma	TS EN 932-1	TSE, 1997
Laboratuvar numunelerin azaltılması metodu	TS EN 932-2	TSE, 1999
Tane büyüklüğü dağılımının tayini Eleme yöntemi	TS EN 933-1	TSE, 2012
Çok ince malzeme muhtevası	TS EN 933-1	TSE, 2012
İnce tanelerin tayini Metilen mavisi deneyi	TS EN 933-9+A1	TSE, 2014
Tane şekli tayini yassılık indeksi	BS 812-105.1	BS, 1989
Parçalanma direncinin tayini (Los Angeles metodu)	TS EN 1097-2	TSE, 2010
Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini	TS EN 1097-6	TSE, 2013
Gevşek ve sıkışık yığın yoğunluğunun tayini	TS EN 1097-3	TSE, 1999
Sodyum sülfat deneyi	ASTM C88-5	ASTM, 2010
Renk yöntemiyle Organik madde tayini deneyi	TS EN 1744-1+A1	TSE, 2013
Kil toprakları ve ufalanabilir taneler deneyi	ASTM C 142	ASTM, 2010

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Agrega Test ve Deneyleri

4.1.1. Tane büyüklüğü dağılımının tayini-Eleme yöntemi

Granülometri, agregada içinde boyutları belirli limitler içinde kalan tanelerin hangi oranlarda olduğunu ortaya koymaktadır. Bu amaçla, agregada kullanılmadan önce granülometrik dağılımın tespiti için elek analizi deneyi yapılmakta ve belirlenen limitler içinde kalıp kalmadığı kontrol edilmektedir.

Elek analizi deneyi, malzemenin bir seri eleme işlemi yardımıyla azalan büyüklüğe sahip farklı tane boyutları halinde bölünmesi ve ayrılmasından oluşmaktadır. Elek göz açıklıklarının büyüklüğü ve eleklerin sayısı, talep edilen işin hassasiyet derecesine ve numunenin cinsine uygun olarak seçilir. Eleme işlemi, önce numuneyi yıkama işlemi daha sonra kuru elemekten oluşmaktadır.

Dolomit, kireçtaşı ve dere agregasına ait numunelerle elek analizi yapılmış, yüzde geçen ve granülometri eğrisi Tablo 4.1’de gösterilmiştir.



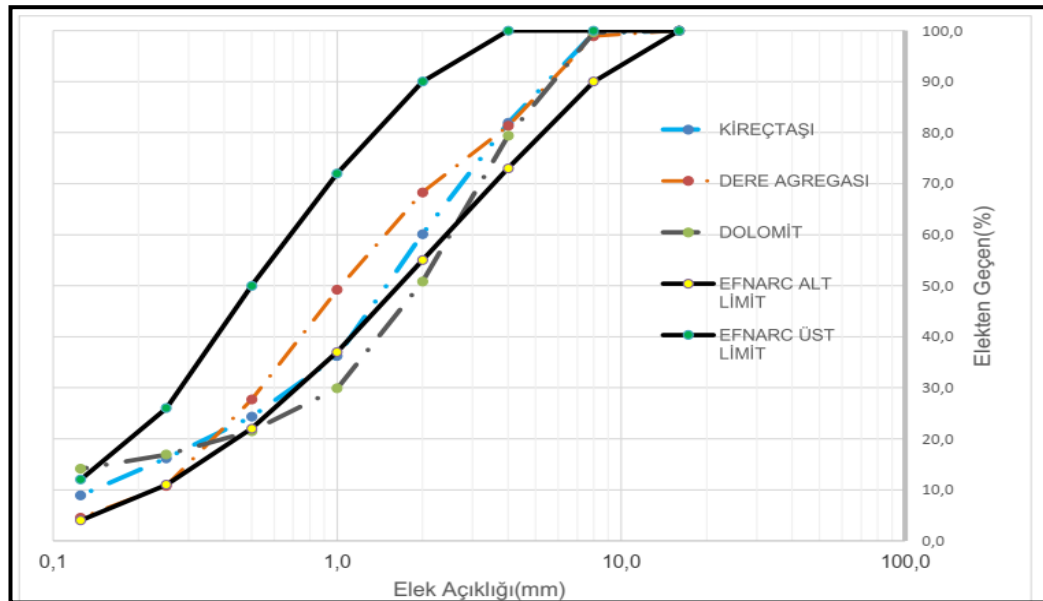
Şekil 4.1. Elek analizi uygulanan üç agrega tipinin makroskobik görünümü

Tablo 4.1. Kırma agregalara ait % geçen oranların karşılaştırılması

Kayaç Kökeni	Kireçtaşı		Dere agregası		Dolomit	
	0-4 (mm)	4-11,2 (mm)	0-4 (mm)	4-11,2 (mm)	0-4 (mm)	4-11,2 (mm)
Agrega boyutu						
Elek göz açıklığı (mm)	%Geçen		%Geçen		%Geçen	
16	100		100		100	
11,2	97,4		94,0		97,9	
8	74,4		76,0		69,4	
4	98,3	8,0	95,9	15,7	96,0	4,8
2	73,1	1,5	83,1	1,9	61,8	1,1
1	44,2		60,1		36,5	
0,5	29,7		33,9		26,3	
0,25	19,8		13,2		20,7	
0,125	14,3		5,5		17,2	
0,063	10,9		3,3		13,7	

Beton üretiminde kullanılacak karışım agregasının granülometrisi ideal granülometri eğrisiyle uyuşması durumunda kompozite yüksek olmaktadır. Granülometri eğrisinin ideal bölgede kalmasıyla işlenebilirliği yüksek, daha az boşluklu, segregasyona uğramamış beton elde etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca tane boyutu küçük olan agregaların miktarı arttıkça toplam yüzey alanı artacağından betonun su ihtiyacı fazla olur ve beton dayanımında düşüş gözlenmektedir.

Proje kapsamında hali hazırda kireçtaşı ile üretimi yapılan 1 m³ püskürtme beton tasarımıyla ilgili detaylı bilgiler EK-G'de detaylıca verilmiştir. Kırma agregalarla yapılan elek analizi sonucu Şekil 4.2'deki granülometri eğrisi elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Püskürtme beton karışımı için kırma agregalara ait granülometri eğrisi

Elek analizi sonucunda kireçtaşı, dere agregası ve dolomit agregalarına ait granülometri eğrileri çizilmiştir. Eğri sınırları EFNARC (1996) püskürtme beton için belirlenen limit değerleri dikkate alınmıştır. Dere agregası ve kireçtaşı agregasına ait granülometri eğrisi standart içerisinde kalırken, dolomit agregasına ait granülometri eğrisi alt sınırın dışına çıkmıştır. Dere malzemesi ve kireçtaşı ile üretilen püskürtme betonda yapılan uygulama başarıyla gerçekleştirilmiş, beton iletiminde zorluk yaşanmadan uygulama tamamlanmıştır.

Dolomit agregasının granülometri eğrisindeki alt sınırının dışına çıktığı, iyi bir tane dağılımına sahip olmadığı, 0,50-2,50 mm agrega yüzdesinin fazla olduğu tespit edilmiştir. 0,50-2,50 mm aralığındaki agrega yüzdesinin fazla olması püskürtme işlemi esnasında etkisini göstermiş, püskürtme beton makinesinin betonu iletmeye aşırı zorlandığı görülmüştür. Püskürtme beton makinesinin arıza vereceği konusunda endişe duyulmuş, beton iletiminde zorlanma yaşanmasına rağmen püskürtme işlemi son ana kadar devam ettirilmiştir. Bu gradasyonla üretimi yapılacak püskürtme beton uygulanabilirlik açısından avantajlı değildir. Püskürtme işleminin başarıya ulaşması için 0,50-2,50 mm agrega oranının azaltılması veya alternatif olarak çimento miktarının artırılması gerekmektedir. Çimento miktarının artırılmasıyla betonun hareket kabiliyetinin artacağı düşünülmektedir. Diğer taraftan 0,50-2,50 mm agrega oranının azaltılmasıyla ideal granülometriye ulaşmış beton karışımında uygulanabilirlik sağlanmış olacaktır.

4.1.2. Çok ince malzeme muhtevası ve incelik modülü

Kırma kum içinde bulunan 0,063 mm elek altı yıkanabilir maddelerin (kil, silt ve ince taş unu) miktarı beton kalitesi anlamında büyük önem taşımaktadır. Kil ve siltin beton agregasında fazla miktarda bulunması agrega ve çimento matrisi arasındaki aderansı zayıflatmaktadır. Çok ince malzeme muhtevası artışına bağlı olarak agreganın özgül yüzey miktarı da arttığından betonda karma suyu miktarı artmaktadır. Dolayısıyla dayanıklılık ve dayanım yönünden kalitesiz bir beton elde edilmektedir. Kil ve siltin su emme özelliğinin yüksek olması nedeniyle hacimsel olarak genişleme ve büzülme meydana gelmektedir. Bu durum çekme gerilmelerinin artmasına sebep olmaktadır.

TS 706 EN 12620+A1 (2009) standardında ince agregada bulunan çok ince malzeme muhtevasının %3'ten az olması halinde ince malzeme zararsız kabul edilmekte, çok ince malzemenin %3'ün üzerinde olması halinde ise metilen mavisi deneyi veya kum eşdeğerliği deney sonuçlarının belirlenen sınır değerlerini

sağlaması gerektiği belirtilmiştir. Bu testin yapılma amacı agrega kalitesinin beton performansında meydana gelecek beton dayanımlarında düşüş, beton priz sürelerinin uzaması, beton geçirimliliğinde artma gibi etkilerin önüne geçmektir.

Çok ince malzeme muhtevası Denklem (4.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f = [(m_1 - m_2) / m_1] * 100 \quad (4.1)$$

f: Çok ince malzeme muhtevası (%)

m_1 : Deney numunesinin ilk kuru kütlesi (g)

m_2 : 63 μ m göz açıklıklı elekte yıkanan numunenin kuru kütlesi (g)

Tablo 4.2. Kıрма agregalara ait numunelerin çok ince malzeme muhtevası değerleri

Agrega Sınıfı	0,063 mm Elekten Geçen Malzeme (%)	Kategori f	Kireçtaşı f (%) - Kategori	Dolomit f (%) - Kategori	Dere agregası f (%) - Kategori
İnce agregalar (0-4 mm)	≤3	f_3	9,53 - f_{10}	12,22 - f_{16}	2,54 - f_3
	≤10	f_{10}			
	≤16	f_{16}			
	≤22	f_{22}			
	>22	f_{beyan}			
İri agregalar (4-11,2 mm)	≤1,5	$f_{1,5}$	1,25 - $f_{1,5}$	1,10 - $f_{1,5}$	1,87 - f_4
	≤4	f_4			
	>4	f_{beyan}			

Kırmataş agregalarının çok ince malzeme muhtevası, ilgili kategoriye uygun olarak ince agregalara için kireçtaşı için f_{10} , dere agregası için f_3 , dolomit için f_{16} , iri agregalarda ise kireçtaşı ve dolomitte $f_{1,5}$, dere agregasında f_4 bulunmuştur.

Elek analizi deneyi sonucu her elek üzerinde kalan agregaların kümülatif ağırlık yüzdelerinin toplamının yüze bölünmesiyle incelik modülü bulunmaktadır. İncelik modülü, agreganın inceliği veya kabalığı hakkında genel bir fikir vermesine rağmen, agreganın tane dağılımı hakkında bilgi vermemektedir. Agrega taneleri küçüldükçe incelik modülü azalır, taneler irileştikçe incelik modülü büyür.

İncelik modülü, malzemenin dokusu ve tekdüzeliğinin yanı sıra gradasyon eğrisini hakkında da yorumlamaya yardımcı olmaktadır. Düşük bir incelik modülü, numunedeki agrega tanelerinin ortalama olarak daha ince olduğu anlamına gelmektedir. İnce agrega fraksiyonunun incelik modülü aynı zamanda işlenebilirlik, büzülme, gözeneklilik, geçirgenlik, mukavemet ve çatlama eğilimi gibi hem plastik

hem de sertleştirilmiş betonun özelliklerinin önemli bir belirleyicisidir. Daha yüksek bir incelik modülü değeri sert bir karışım oluştururken, ayrışmaya eğilimli, uygun şekilde yerleştirilmesi ve bitirilmesi zor olan iri agregayı göstermektedir. Düşük incelik modülü, ek çimento gerektirir ve betonun su ihtiyacını artırmaktadır. Düşük incelik modülüne sahip agregalarla üretilen betonların yerleştirilmesi ve bitirilmesi kolay olurken, daha pahalı ve erken yaşta çatlama potansiyeli yüksektir. Çoğu beton karışımı için, 2,5 ile 3,0 arasındaki incelik modülüne sahip agregalarla üretilen betonların yerleştirilmesi, bitirilmesi kolay ve çatlama olasılığı daha az olmaktadır.

İri olarak sınıflandırılmış olan ince agregalar C harfi, orta olarak sınıflandırılanlar M harfi ve ince olarak sınıflandırılanlar ise F harfi ile gösterilir. İncelik modülü için; C, M veya F harflerinden sonra F harfi ilave edilir. Mesela, ince tane büyüklüğü dağılımı için FF kullanılır (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

Tablo 4.3. İncelik modülüne bağlı olarak irilik veya incelik (TS 706 EN 12620+A1, 2009)

İncelik modülü		
CF	MF	FF
4,0-2,4	2,8-1,5	2,1-0,6

Yapılan deney sonuçlarına göre kireçtaşı ince agregasında incelik modülü 3,21, dolomit kayası ise 3,42 ve dere kumunda 3,08 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre her üç agrega da şartname limitleri içerisinde olduğu görülmüştür

4.1.3. İnce tanelerin tayini-Metilen mavisi (leke) deneyi

Metilen mavisi deneyi beton agregası olarak kullanacağımız kumun 0,075 ya da 0,063 mm altında kalan killi malzemelerin varlığı hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır. Deneyin ana amacı deney çözeltisinde bulunan kil minerallerinin ne kadar boya çözeltisini adsorpsiyon ettiğini tespit etmektir. 0-2 mm aralığındaki agregaya yapılan bu deneyde metilen mavisi çözeltisinin kil, silt gibi maddeler tarafından emilip bu malzemeler doygun hale geldiklerinde ise bünyesine metilen mavisi boyası alma özelliği sona ermektedir. Agregada ince malzeme (silt, kil vb.) miktarının fazla olması durumunda karışımın metilen mavisi çözeltisi ihtiyacı artmış olacak ve deney sonucunu olumsuz etkileyecektir.

TS EN 933-9+A1 standardına göre yapılan bu deneyde diğer ifadeyle ince agrega içerisindeki kirlilik tespit edilmektedir. TS EN 933-9+A1 standardına göre yapılan bu

deneyde kireçtaşı kökenli ve dere malzemelerinden üretilen beton agregaları için KTŞ (2013)'te metilen mavisi sınır değeri (MB) 1,5 üst limit olarak kabul edilir ve bu değerin üstündeki malzeme killi kabul edilir.



Şekil 4.3. Kireçtaşı agregasında yapılan metilen mavisi deneyi

Tablo 4.4. Beton agregaları için metilen mavisi değerleri (KTŞ, 2013)

Deney adı	Agrega Kökeni	Tane Büyüklüğü (mm)	KTŞ (2013) Şartname Limitleri
Metilen mavisi (MB)	Kireçtaşı, dolomit, dere malzemesi, kumtaşı vb.	0-2	≤1,5
	Magmatik kökenli	0-2	≤2,00

Beton içindeki ince taneli kil minerallerin fazla olması, betonda kuruma sonucunda çatlama, kıvam kaybı meydana gelmektedir. Gerekenden fazla su kullanımından

dolayı dayanım kaybı, beton prizinin geç olması ve sertleşmede gecikme şeklinde olumsuzluklara neden olmaktadır.

Kireçtaşı, dolomit, dere agregası ile yapılan metilen mavisi deneylerinde kil varlığının tespit için yapılan üç ayrı deneyde, kireçtaşıyla yapılan çözeltide 7 ml, dolomit agregasında 5 ml, dere agregasında ise 25 ml metilen mavisi boyası eklenmesi yeterli olmuştur. Deney sonuçları kireçtaşında 0,35, dolomit agregasında 0,25 ve dere agregasında 1,25 olarak metilen mavisi değeri bulunmuştur.

Tablo 4.5. Kıрма agregalara ait numunelerin metilen mavisi değerleri

Agrega	Deneye Giren Numune Miktarı (g)	İlave Edilen Metilen Mavisi (ml)	Metilen Mavisi Değeri (MB)	KTŞ (2013) Metilen Mavisi Sınır Değeri
Kireçtaşı	200	7	0,35	≤ 1,5
Dolomit	200	5	0,25	
Dere kumu	200	25	1,25	

Metilen mavisi sınır değeri (MBS)≤1,5 olmasından dolayı bu agregaların kirli olmadığı, kabul edilir sınırlar içinde olduğu görülmektedir.

4.1.4.Tane şekli tayini-Yassılık indeksi

Bu deneyin amacı agregaya yığındaki toplam kütle içerisindeki yassı tanelerin miktarı hakkında fikir edinmektir. Yassılık indeksi deneyiyle toplam yığıni temsilen yassı olan agregaya oranı bulunur.

Betonda agregaların geometrik şekillerinin yassı olmaları yerine yuvarlak ya da köşeli olması istenmektedir. Köşeli agregaların (kırmataş) yüzeyleri pürüzlüdür, şekil olarak düzgün, küresele yakındırlar ve betonda kullanılmaları avantaj sağlamaktadır. Yassı agregalar genellikle eni boyundan büyük, uzun ve düz bir şekle sahiptirler. Yassı agregaya taneleri kusurlu taneler olarak ifade edilirler, toplam agregada belli miktarları geçmesi istenmemektedir. Beton karışımında bulunan yassı taneler, ince ve uzun olduğundan dolayı yüke maruz kaldıklarında genellikle ya kırılırlar ya da çimentodan sıyrılma özelliği göstermektedirler. Bu nedenle yassı tane miktarı çok fazla olan betonlarda ciddi riskler vardır. Özellikle ulaşım güzergahlarında tekrarlı yüklere maruz kalan betonlarda, yassı tanelerin çimento hamurundan sıyrılması muhtemeldir. Bu durumda beton dayanıklılığı yıllar içerisinde ilksel halini kaybetmektedir.

63 mm–6,3 mm elek aralığındaki agregalara uygulanan bu deneyde bir agreganın yassı kabul edilebilmesi için deneye alınan herhangi bir agreganın kalınlığının, nominal boyutunun 0,6'sından küçük olması gerekmektedir. BS 812-105.1 standardı esas alınarak yapılan bu deneyde yassılık şablonu yardımıyla deney yapılmıştır. Agregalar yassılık indeksi şablonundan teker teker geçirilir ve her fraksiyon için şablonda geçen agreganın miktarı tespit edilip deneydeki toplam miktara oranlanmasıyla yassı dane yüzdesi bulunur. Her fraksiyona ait yassı dane yüzdesi, o fraksiyonun düzeltilmiş gradasyon yüzdesi ile çarpılarak, gerçek yüzde hesaplanır. Her fraksiyona ait düzeltilmiş yassı dane yüzdesinin toplamı, malzemenin yassılık indeksini verir.



Şekil 4.4. Dolomit agregasında yapılan yassılık indeksi deneyi

3 tip agregaya ait yapılan deney sonuçları Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Kırmataş agregalara ait yassılık indeksi değerleri

Numune Tipi	Agrega Boyutu (mm)	Deneye Giren Toplam Malzeme Miktarı (g)	Yassı Malzeme Miktarı (g)	Yassılık İndeksi Değeri (%)	Esas Granülometriye Göre Düzeltilmiş Yassılık İndeksi Değeri (%)
Kireçtaşı	4-11,2	4080	538,7	13,6	4,47
Dolomit		3280,5	269,5	13,9	10,83
Dere agregası		4718	399,5	8	6,38

4.1.5. Parçalanma direncinin tayini

Agreganın aşınmaya karşı dayanıklılığı ortaya çıkarmak için TS EN 1097-2 standardına göre yapılan bu deney, 5000 gr agreganın içinde 11 adet çelik bilye bulunan tamburun dakikada 30-33 devir yapacak şekilde 500 devir dönmesi sonucunda oluşan aşınma oranının bulunmasıdır. 500 devir sonunda tamburdan çıkarılan numune 1,6 mm çaplı kare gözlü elekten alta geçen miktarın %'si hesaplanmaktadır.



Şekil 4.5. Los Angeles aşınma deneyi aşamaları

Kireçtaşı, dolomit ve dere malzemesi agregalarında yapılan Los Angeles Aşınma dayanımı sonuçları Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Kırmataş agregalara ait aşınma dayanımı değerleri

Agrega tipi	Agrega Boyutu (mm)	İlk Ağırlık (g)	1,6 mm'lik Elekte Kalan	Aşınma Oranı (%)
Kireçtaşı	4-11,2	5000	3700	26,00
Dolomit		5000	3822	23,56
Dere agregası		5000	3931	21,38

4-11,2 mm boyutlu agregalarda yapılan üç adet aşınmaya karşı dayanıklılık deneyi yapılmış olup, aşınma oranları kireçtaşı agregasında %26,00 dolomit agregasında %23,56 ve dere agregasında %21,38 olarak bulunmuştur. KTŞ Kısım 308 beton işleri bölümünde beton agregalarının parçalanma direncinin tayini (Los Angeles metodu) 500 devir sonucunda kaybın %35'ten az olması istenmektedir (KTŞ, 2013). Üç tip agregada da sınır değerlerin altında ve beton üretiminde kullanılabilir özelliktedir.

4.1.6. Sıkışık ve gevşek yığın yoğunluğu tayini

Agreganın gevşek ve sıkı durumlarındaki işgal edeceği hacmi hesaplamak için bu deney yapılmaktadır. Hacim kabında yapılan deneyde net ağırlığın kabın hacmine bölünmesiyle elde edilmektedir.

Deneyde, yığın yoğunluğu tayini için deney numunesi $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde kurutulduktan sonra boş ve temiz bir kaba kürekle alınarak tamamen doldurulmalıdır. Doldurma işlemi sıkışık yığın yoğunluğun tayininde 3 kademe şişleme yapılmak suretiyle gerçekleştirilir. Doldurma işlemi tamamlandıktan sonra üst yüzeyi düzgün hale getirmek için düzeltme işlemi yapılmalıdır. Sıkışmayı önlemek için cetvel kullanılarak veya elle düzeltilmelidir. Ölçü kabının üst yüzeyinden taşan agregalar uzaklaştırıldıktan sonra dolu numune kabı tartılıp not edilmelidir. Daha sonra yapılan hesaplamalarla agreganın sıkışık ve gevşek yığın yoğunluğu hesaplanmaktadır.

Agrega gereğinden fazla ağır olursa betonun birim ağırlığı da artar ve birim alana gelen yüklerde de artış meydana gelmektedir. Agregada gereğinden hafif olursa betonda dayanımı düşüreceğinden hafif agregada da istenmemektedir. Agreganın gevşek ve sıkı birim ağırlıkları arasında büyük fark olması, agregaların aralarındaki boşlukların olduğunu gösterir. Var olan bu boşlukların ince malzeme ihtiyacının fazla olması, bu boşlukların çimento, cüruf veya filler malzemesini ile doldurulması

gerektiğini göstermekte ve ekonomik bir beton üretilmiş olmamaktadır. Bu yüzden agreganın sıkı birim ağırlığı sürekli takip edilmelidir. Agregaların sıkışık ve gevşek yığın yoğunluğu tayini deneyi, TS EN 1097-3 standardına göre yapılmıştır. Testler üç numune üzerinde tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.8.'de verilmiştir



Şekil 4.6. Kırmataş agregaların gevşek ve sıkışık birim ağırlığı tayini

Tablo 4.8. Kırmataş agregalarına ait sıkışık ve gevşek birim ağırlık değerleri

Agrega Sınıfı (mm)	Gevşek yığın yoğunluğu (kg/dm ³)			Sıkışık yığın yoğunluğu (kg/dm ³)		
	Kireçtaşı	Dolomit	Dere agregası	Kireçtaşı	Dolomit	Dere agregası
0-4 mm	1,637	1,904	1,508	1,865	1,932	1,640
4-11,2 mm	1,434	1,464	1,419	1,555	1,563	1,496

Genel olarak agreganın birim ağırlığının 1300–1900 kg/dm³ arasında olması istenmektedir. Elde edilen sıkışık yığın yoğunluğu sonuçları, agregaların beton yapımında kullanılabilir olduğu göstermektedir. Ayrıca sıkışık yığın yoğunluğu değeri ne kadar yüksek ise, agreganın basınç dayanımı da o kadar yüksek olmaktadır (Yılmaz ve diğ., 2011).

4.1.7. Kil topakları ve ufalanabilir taneler deneyi

Kil topakları ifadesi agregata taneleri üzerindeki yüzeylere sıkıca yapışmış olan ve betonun karıştırma işleminde agregata tanelerinden ayrılmayan adeta agregata

tanenin parçasıymış gibi olan kil taneleri kil toprakları ve ufalanabilir taneler olarak isimlendirilmektedir. ASTM C142 standardına göre yapılan bu deneyde ince ve kaba agregada olmak üzere iki grupta incelenmiştir. İnce agregada deney numuneleri 1,18 ile 4,75 mm elekler arasında alınırken, kaba agregada 4,75-9,5 mm elek aralıkları arasında alınmıştır. 1,18 ile 4,75 arasında elde edilmiş ince agregadan 500 gram numune, 4,75-9,5 mm elek aralıklarında elde edilen kaba agregadan 1000 gram numune ayrı ayrı kaplarda su içerisinde 24 saat bekletilmiştir.



Şekil 4.7. Kil toprakları ve ufalanabilen tane deneyi için hazırlanan agregalar

Numuneler suda bekletildikten sonra ince agregada 850 mikron çaplı elekten, kaba agregada ise 2,36 mm çaplı elekten su altında yıkanmış ve elenmiştir. Böylece agregaların etrafındaki kil toprakları ve ufalanabilir tanelerden arındırılmıştır. Elek üstünde kalan malzeme tekrar 110 ± 5 °C'lik sabit ağırlığa gelinceye kadar 24 saat boyunca etüvde kurutulduktan sonra tartılmış ve son kuru ağırlık kaydedilmiştir.

Kil topraklarını fazla miktarda içeren agregalarla yapılan betonlarda geç sertleşme ve karma suyu ihtiyacının arttığı bilinmektedir. Artan bu su ihtiyacından dolayı sertleşmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır. Ayrıca yüksek miktarlarda kil toprağı içeren agregalarla üretilmiş betonların yüzeyinde çukurlar oluşmakta ve betonun görünümü bozulmaktadır. Türk standartlarında, kil toprakları

ve ufalanabilir taneler deneyi hakkında bir standart bulunmamaktadır. ASTM C142 standardında kil topaklarıyla ilgili, ince agregada bulunabilecek kil topaklarının maksimum $\leq 1,0$, kaba agregada ise $\leq 0,50$ olarak kabul etmektedir.

Tablo 4.9. Kırmataş agregalarında kil topakları ve ufalanabilir tane deney sonuçları

Agrega Tipi	Agrega Boyutu (mm)	Kil Topağı (%)	Esas Granülometriye Göre Düzeltilmiş Kayıp (%)	Yıkama Sonrası Kayıp Şartname kriteri (%) ASTM C-142
Kireçtaşı	0-4	0,58	0,32	$\leq 1,0$
	4-11,2	0,33	0,20	$\leq 0,5$
Dolomit	0-4	0,46	0,25	$\leq 1,0$
	4-11,2	0,45	0,38	$\leq 0,5$
Dere agregası	0-4	0,74	0,29	$\leq 1,0$
	4-11,2	0,55	0,37	$\leq 0,5$

4.1.8. Tane yoğunluğu ve su emme tayini

Tane yoğunluğu, belli kütledeki agreganın, hacme bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Deney numunesindeki ağırlığın saptanması, doygun ve yüzeyi kurutulmuş (doygun kuru yüzey ağırlık) haldeki agreganın tartılması ile elde edilmektedir. Etüvde kurutulduktan sonra tartılan agreganın su emme yüzdesi bulunmaktadır. Agreganın hacmi ise, tel sepet metodundaki kütle indirgemesi veya piknometre deney metodundaki tartımlar yoluyla tayin edilmektedir.



(a)

(b)

Şekil 4.8. İnce ve kaba agregada özgül ağırlık tayini

Betonda kullanılan çimento, su ve agregaların özgül ağırlıkları bilinmektedir ve bu malzemelerin 1 m³ betonda hacimleri hesaplanabilmektedir. Agreganın da tane yoğunluğu (özgül ağırlık) değeri betonda yer alan agrega miktarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Böylece 1 m³ betonda yer alması gereken su, çimento ve agrega miktarları hesaplanmaktadır. Düşük özgül ağırlığa sahip agregalar sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlığa sahip agregalar ise kaliteli beton üretimine uygun agregayı tanımlamaktadır. Agregaların yüksek tane yoğunluğu değerlerine sahip olması, boşluksuz ve sağlam olarak değerlendirildiğinden dayanıklı olduğu söylenebilir ve beton yapımında kullanılabilir. Normal agreganın özgül ağırlığının 2,55–2,70 g/cm³ arasında olması gerekmektedir.

Beton karışım hesabında genellikle, agrega nemli durumdayken yani doymun kuru yüzey ağırlığı dikkate alınmaktadır. Beton üretileceği zaman, agrega hava durumuna göre kuru veya ıslak olabilir. Agregaya ıslak durumdayken, agrega tanelerin etrafında su bulunuyorsa beton karışım hesaplarında daha önceden hesaplanmış su miktarına göre daha çok su bulunacaktır. Böyle bir durumda, su/çimento oranı artacağından, betondan dayanım düşüşleri gözlenecektir. Çok sıcak hava şartlarında ise agrega tamamen kuru durumuna geçebilmektedir. Böyle bir durumda agrega taneleri, beton karışımı için kullanılan sudan bir miktarını emebilmektedir. Bu durumda da betonda kıvam kaybı sonucu işlenebilirliği düşürmektedir. Değişen hava koşullarında agrega stok sahası sık sık kontrol edilmeli ve nem tayini yapılarak beton tasarımına nem oranı girilmelidir.

TS EN 1097-6'ya uygun olarak gerçekleştirilen deneylerde özgül ağırlık ve su emme değerleri; iri ve ince agregalar için Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Kırmataş agregalarında özgül ağırlık ve su emme deneyi sonuçları

Agrega Tipi	Agrega Boyutu (mm)	Doymun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Su Emme Yüzdesi (%)	KTŞ (2013) Şartname Limitleri	
				Doymun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Su Emme Yüzdesi (%)
Kireçtaşı	0-4	2,637	1,55	> 2,55	< 3
	4-11,2	2,661	0,67		
Dolomit	0-4	2,745	1,41		
	4-11,2	2,821	0,29		
Dere agregası	0-4	2,612	1,52		
	4-11,2	2,669	0,71		

Özgül ağırlık ve su emme yüzde değerleri kireçtaşı, dolomit ve dere agregası için standardın öngördüğü değerler içinde yer almaktadır.

4.1.9. Renk yöntemiyle organik madde tayini

Organik madde tayini agregada yabancı organik madde bulunup bulunmadığını tayin etmek amacıyla yapılmaktadır. Agregada içerisinde küçük parçacıklar halinde dağılmış olan çürümüş bitki köklerindeki, humuslu topraklardaki ve organik maddelerdeki asit ve türevleri, beton yapımında çimentonun ilk andaki prizini yavaşlatmaktadır. Organik maddelerin miktarı çok fazla olduğunda, betonun katılma süresi oldukça uzun sürmektedir. O nedenle, organik maddeler betonun ilk günlerdeki dayanımı başta olmak üzere, beton dayanımını ve dayanıklılığını olumsuz etkilemektedir. Gevşek veya sıkışmış halde bulunan kayalarda görülebilen (kumtaşı, kireçtaşı, dolomit, kuvarsit, arkoz, kilitaşı vb.) organik maddeler genellikle zayıf asit karakterindedir. Agregalarda organik madde içeriğinin bulunmasıyla ilgili yapılan test, aslında basit bir asit-baz reaksiyonudur. Oluşan bu renk değişimiyle agregada organik madde varlığından söz edilmektedir.

Organik madde tayini, önceden hazırlanmış olan düşük konsantrasyonlu, içerisinde 970 gr su ve 30 gr sodyum hidroksit bulunan çözeltinin, organik maddenin (humus) NaOH (sodyum hidroksit) ile reaksiyona girmesiyle meydana gelen renk değişimidir. Oluşan bu rengin derecesine göre yorum yapılmaktadır. Deneyde bir cam şişeye, 80 mm yüksekliğe kadar %3'lük NaOH çözeltisi koyulur. Takiben çözelti ve agregada yüksekliği 120 mm oluncaya kadar deney numunesi parçası eklenir. Hava kabarcıklarının çıkması için şişe çalkalanır. Şişenin tapası kapatılır ve 1 dakika boyunca kuvvetlice çalkalanır ve 24 saat beklemeye bırakılır. 24 saat sonra takip edilen bu çözeltide hiç ya da çok hafif renklenme varsa, agregada humus ihtiva etmiyordur. Güçlü bir renk varsa, genellikle humus muhtevasının yüksek olduğuna işaret etmektedir.

Organik madde varlığının tespit edilmesi amacıyla kırma agregalarda organik madde tayini testi yapılmıştır. Yapılan deneyde kireçtaşı ve dolomit numunesinin üzerinde oluşan renk, renksiz sayılabilecek bir değişim göstermiş, dere malzemesiyle yapılan deneyde oluşan renk ise hafif sarı renkte değişim göstermiştir. Şişede bulunan renk çözeltisi ASTM C40 (Hellige Color Plate) standardında kullanılan renk skalasıyla mukayese edilmiştir.



Şekil 4.9. Kırmataş agregalarına ait organik madde deneyi

Deney sonuçları renk skalasına göre 0-1'den 4-5'e doğru artan sınıflandırmaya göre değerlendirilmektedir. Renk miktarının koyulaşması artan organik madde miktarının da arttığını ifade etmektedir.

Tablo 4.11. Artan organik madde miktarına göre agregaların sınıflandırılması

Referans Renklere Göre İnce Agreganın Sınıflandırılması	
0-1	Çok iyi
1-2	İyi
2-3	Orta
3-4	Kötü
4-5	Çok kötü

Tablo 4.11'e göre kireçtaşı ve dolomit agregaları 0-1 referans değerler arasında çok iyi kategorisinde, dere agregası 1-2 referans değerler arasında iyi kategorisinde yer almaktadır. Bu agregalar, organik madde bakımından beton yapımına uygun olduğu görülmektedir.

Agregada bulunan organik maddelerin suyu itmesinden dolayı (hidrofobi) çimentodaki hidrasyonun oluşmasına engel olur. Agregaların yüksek miktarda organik madde içermesi, püskürtme betonda ilk priz sürelerinde ve erken yaş döneminde beton sertleşmesinde gecikme, nihai mukavemetlerde düşüş meydana

getirmektedir. Ayrıca agrega içerisinde sülfat, klorit, karbonat ve fosfat tuzları gibi maddeler de bulunabilir. Çiçeklenmeye ve korozyona neden olabilir.

Karayolları Teknik Şartnamesi (2013), beton işlerinde kullanılacak agregaların organik madde tayininde oluşacak rengin standart renkten koyu olmaması gerektiğini belirtmiştir. Renk mukayesesi metoduyla organik madde denemelerine tabi tutulan agregalar, standart referans renginden daha koyu renk verdiği takdirde, harç yapma kabiliyeti denemesine tabi tutulurlar. Organik madde miktarı fazla olan ince agrega ile hazırlanan 7 ve 28 günlük mukavemetleri, mukayese harcı ile hazırlanan küplerin mukavemetlerinin %95'ini sağlıyorsa, bu agregada kullanılabilir, aksi takdirde reddedilir (KTŞ, 2013) .

4.1.10. Agregaların Na₂SO₄ çözeltisi ile don deneyi

Bu test, agregaların donma ve çözülmeye karşı dayanımlarının belirlenmesinde çabuklaştırılmış bir deneydir. Hava değişimlerinin yaşandığı soğuk iklimlerde üretilen betonun donma etkisiyle yüzeyinin soyulmaması ve betonun parçalanmaması gerekmektedir. Betonun dona dayanıklılığında en önemli faktör agreganın kalitesidir. Bu nedenle donma riskinin olduğu yerlerde betonlarda kullanılacak agreganın dona karşı dayanıklı olması istenmektedir. Agregada üzerine uygulanan don deneyiyle agreganın sağlamlık ve dayanıklılık hakkında da bilgi edinilmiş olur.

Agregaların sodyum sülfat (Na₂SO₄) çözeltisine daldırılması ve takiben etüvde kurutulmasıyla yapılan döngüden agregaların dona karşı dirençlerini değerlendirilmektedir. Agregaların sodyum sülfata karşı dayanıklılık tayini ASTM C88-5'e göre yapılmıştır.

Deney için en az 250 gr sodyum sülfat tuzu 1 lt suya konularak bir çözelti hazırlanır. 4,75 mm kare göz açıklıklı elek üzerinde malzeme yıkanır ve 110±5 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa kadar kurutulur. Daha sonra püskürtme betonda kullanılan iri agrega boyutu olan 4-11,2 malzeme elek analiziyle uygun olarak tane sınıflarına ayrılır. Sınıflandırılan her bir agrega, tane sınıfından standartta verilen 4,75 ile 9,5 mm iri agrega için 300 gram alınır ve deney için kaplara konulur. Hazırlanan 4,75-9,75 mm arasındaki 300 gram numune, tel sepetin içine konulmuş ve üzeri en az 10 mm çözelti ile örtülecek şekilde sepet ile birlikte içinde sodyum sülfat çözeltisi bulunan kovaya daldırılmıştır. 16-18 saat arasında agrega çözeltide bekletilmiştir. Daldırma süresinin sonunda numune çözeltinin içinden çıkarılmış ve çözeltinin

süzülebilmesi için 15 dakika bekletilmiştir. Daha sonra 110±5 °C sıcaklıkta 4-6 saat arasında etüve konularak kurutulmuştur.

Tablo 4.12. Don deneyinde elek çaplarına göre iri agrega deney numunesi miktarı (ASTM C88-5, 2010)

Tane Sınıfı Anma Çapları (mm)		Deney Numunesi Miktarı (g)	
4,75-9,50		300	
9,50-19,00	9,50-12,50	1000	330
	12,50-19,00		670
19,00-37,50	19,00-25,00	1500	500
	25,00-37,50		1000
37,50-63,00	37,50-50,00	5000	2000
	50,00-63,00		3000
63,00-75,00		7000	
75,00-90,00		7000	
90,00-100,00		7000	

Numune etüvden çıkarıldıktan sonra 20°C ye kadar soğutulmuş ve bir süre doğal hava sıcaklığında bekletilmiştir. Tekrar çözelti kovasına daldırılan numune, bu şekilde 5 defa daldırma ve kurutma işlemi yapılarak tekrarlanmıştır. Son döngünün arkasından kurutulup soğutulan deney numunesi, sodyum sülfat çözeltisinden tamamıyla arınıncaya kadar yıkanmıştır. İşlem sonunda agrega kurutulduktan sonra 4,75-9,5 mm arası agrega için şartname belirtilen 4 mm göz açıklığı olan elekten elenmiştir. Eleme sonunda 4 mm gözlü elekten ayrılan bu tanelerin miktarı, deneye tabii tutulan agrega miktarının (iri agregada) %18'inden az ise malzemenin donmaya dayanıklı olduğu kabul edilir.

Tablo 4.13. Don kaybını belirlemede kullanılacak elekler (ASTM C88-5, 2010)

Tane Boyutu Anma Çapları (mm)	Don Kaybını Belirlemede Kullanılacak Elek Göz Açıklığı (mm)
4,75-9,50	4
9,50-19,00	8
19,00-37,50	16
37,50-63,00	31,50
63,00-75,00	50
75,00-90,00	63
90,00-100,00	75

4-11,2 kırma agregalarla alınan yaklaşık 300 gram numunenin 5 döngü sonunda kalan ağırlıkları Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Kırma agregalara ait don deneyi sonucu ağırlıkları

Tablo 4.14. Kırma agregaların don kaybı değerleri

Agrega Tipi	Agrega Boyutu (mm)	İlk Ağırlık (g)	4 mm Elek Üstünde Kalan	Kütle Kaybı (%)	ASTM C88 Şartname Limitleri (%)
Kireçtaşı	4-11,2	298,41	298,01	0,1	<18
Dolomit		299,16	297,30	0,6	
Dere agregası		297,73	286,96	3,6	

Kireçtaşı, dolomit, dere çakılı agregalarında numunenin donma ve çözülmeye karşı kütle kaybı değeri kireçtaşında %0,1, dolomitte %0,6, dere agregasında ise %3,6 olarak bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre üç tip agregaya da don kaybı %18'in altında olduğu için şartname limitleri içerisinde.

4.2. Püskürtme Betonda Saha ve Beton Deneyleri

Sakarya'da yapımı devam etmekte olan Ankara-İstanbul Yüksek Hızlı Tren Projesi Doğançay II. Kısım Doğançay-Sapanca arası hızlı tren projesi kapsamındaki tünellerde saha deneyleri gerçekleştirilmiştir. Testler 19.11.2020-12.12.2020 tarihleri

arasında, Özgün Yapı A.Ş. şantiyesindeki Tünel 2 çıkış ve Tünel 2 giriş tünellerinde gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Püskürtme beton tasarımı

Püskürtme beton tasarımında bileşim oranlarının belirlenmesi mühendislik özellikleri açısından, ekonomik açıdan, iş sağlığı ve güvenliği açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Doğru yapılan tasarım sonucu hem beton kalitesinde hem de iş akışında süreklilik olmaktadır.

Devam etmekte olan tünel inşaatında püskürtme betonlar, Özgün Yapı firmasının beton santrali tesisinde üretilmektedir. Deneysel çalışmanın başlangıç aşamasında mevcut üretimde uygulanmakta olan tasarımla gerçekleştirilmiştir. EFNARC (1996) gradasyon limitleri referans alınarak ilk olarak kireçtaşı agregasıyla üretilen püskürtme beton saha testleri yapılmıştır. Kireçtaşı agregasıyla yapılan çalışmadan sonra dere agregasıyla üretilen püskürtme beton testleri, son olarak dolomit agregasıyla üretilen püskürtme beton çalışmaları tamamlanmıştır. Agregalarla üretilen karışımlara ait beton tasarımlarına sırasıyla, kireçtaşıyla üretilen püskürtme betona Tasarım 1 (T-1), dolomit ile üretilen püskürtme betona Tasarım 2 (T-2) ve dere agregasıyla üretilen püskürtme betona Tasarım 3 (T-3) şeklinde isimlendirme yapılmıştır.

Karışım tasarımına ait 1 m³ betonda kullanılan bileşenler ve miktarları Tablo 4.15'te verilmiştir.

Tablo 4.15. Deneysel olarak kullanılan püskürtme beton karışım bileşenleri

Agrega tipi	T-1 (Kireçtaşı)	T-2 (Dolomit)	T-3 (Dere agregası)
Malzemeler	kg/m³		
İnce agrega (0-4 mm)		1400	
Kaba agrega (4-11,2 mm)		312	
Su		190	
Çimento		420	
Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı		5,04	
Toplam ağırlık		2326,9	

Bu çalışmada püskürtme betonlarda su/çimento oranı 0,45 seçilmiştir.

Düzgün püskürtme beton uygulamasında, su/çimento oranının 0,50 değerinin altında olması beklenebilir. Yerindeki su/çimento oranı genellikle 0,35 ila 0,50 aralığında olur (TS EN 14487-1, 2006).

4.2.2. Agregalarla üretilen beton karışımlarında deneylerin yapılışı

Kireçtaşıyla üretilen beton 18.11.2020 tarihinde T2 çıkış tüneline, dere malzemesiyle üretilen beton 22.11.2020 tarihinde T2 çıkış tüneline ve dolomitli üretilen beton uygulaması 07.12.2020 tarihinde T2 giriş tüneline gerçekleştirilmiştir. Deney için planlanan 4 m³ püskürtme beton karışımı kireçtaşı, dolomit ve dere malzemesiyle ayrı günlerde beton santralinde üretimi yapılmıştır. Hedef üretim miktarı olarak 4 m³ beton miktarı seçilmiştir. Çünkü 4 m³ ile 12 m³ arasında üretilen betonlarda geri geri seken beton miktarı da artmaktadır. Bu duruma paralel olarak, fazla miktardaki geri seken betonun toplanması ve taşınmasında zorluk yaşanmaktadır.

Üretimi tamamlanan püskürtme betondan el arabasıyla numune alınmıştır. Numuneye slump deneyi yapıldıktan sonra, transmikser deneyin yapılacağı tünele geçmiştir.



Şekil 4.11. Çökme deneyi ölçümünden görünüm

Tünel içerisinde deneyin yapılacağı üst yarı kazı aşamasında püskürtme beton numunesinin alınacağı paneller, yaklaşık 45° konumda sabitlenerek hazırlanmıştır. Santral üretim tesisinden T2 çıkış tüneline gelen transmikslerden alınan numuneden betonun sıcaklığı ölçülmüştür. Beton sıcaklığı 15 °C ölçülen beton daha sonra püskürtme beton makinesine aktarılmıştır. Uygulama esnasında geri seken beton miktar tespiti için uygulama mekanına brandalar serilmiştir.



Şekil 4.12. Ribaunt takibi için tünel zemine serilen branda

Beton ve tünel ortam sıcaklıkları ve slump kontrolleri yapılan betonlar, tünelin üst yarı kazı aşamasındaki ikinci kat çelik hasır montajı yapıldığı rauntta uygulanmıştır (Şekil 4.13). Geri sekmenin en çok yaşandığı tünel eksen ve eksene yakın kısımlarda püskürtme işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Uygulama bittikten sonra brandalar toplanıp geri seken beton miktarı ölçülmüştür (Şekil 4.14).

Ayrı ayrı üretilen üç püskürtme betondan geri seken beton miktarları tartılmıştır. T-1 tasarımıyla gerçekleştiren uygulamada geri seken püskürtme beton miktarı 286 kg, T-2 tasarımıyla gerçekleştirilen uygulamada geri seken beton miktarı 317 kg, T-3 tasarımıyla gerçekleştiren uygulamada 335 kg ribaunt miktarı tespit edilmiştir.



Şekil 4.13. Tünel tavan kısmında ikinci kademeye uygulanan püskürtme beton



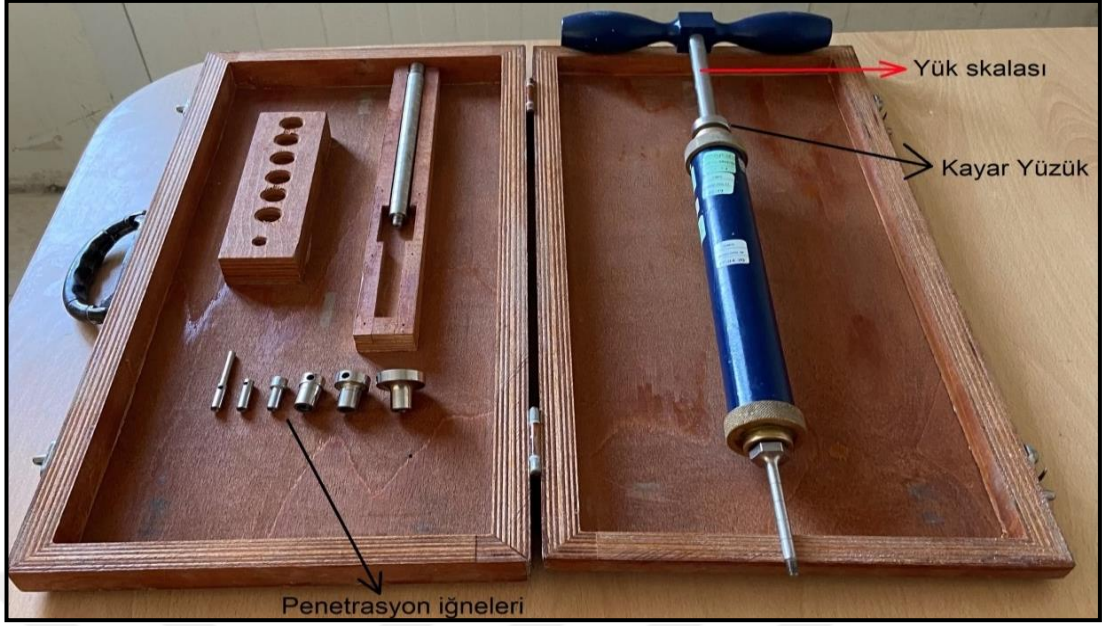
(a)



(b)

Şekil 4.14. T-1 tasarımına ait geri seken beton miktarının toplanıp tartılması

Püskürtme beton nozulu panele dik konumda ve panele olan mesafesi 1,00-1,50 m mesafede olacak şekilde ayarlandıktan sonra beton püskürtülmüştür. Testler 60x60x12 cm boyutlarındaki panel üzerinde gerçekleştirilmiş ve proktor penetrometre testleri yapılmıştır.



Şekil 4.15. Denejde kullanılan yay tipi proktor penetrometresi

Denejde kullanılan proktor penetrometre, yay yükleme sistemli aparatından oluşur ve yük skalası 10 lbf ile 150 lbf aralığı arasında, 2 lbf aralıklarla bölümlendirilmiştir. Penetrometre 4-6,4-9,07-14,25-20,22-28,55 mm çaplı 6 adet değiştirilebilir paslanmaz çelik iğne setinden oluşmaktadır. Piston kolu üzerinde ulaşılan yükü gösteren kayar yüzük bulunmaktadır.

Penetrometre cihazıyla ölçülen ilk priz süreleri, beton kalitesi üzerinde dikkat çekici parametrelerin başında gelmektedir. Arazinin ya da numunenin penetrasyonu hakkında yaklaşık bilgiler edinebilmek için kullanılmaktadır. Test panellerine ASTM C 403-95'de tanımlanan tipte 9 mm çapında olan proktor penetrometre iğnesi kullanılarak püskürtme betonun batmaya karşı gösterdiği direnç, betonun erken yaştaki dayanım kazanma hızı belirlenmiştir.



(a)

(b)

Şekil 4.16. Püskürtme betondan panel numune alınması ve penetrometre testi

Çapı 9 mm olan penetrasyon iğnesiyle yapılan deneyde, panel numunesine 15 mm batması sonucu kuvvet değerleri elde edilmiştir. Her bir deney için 60 saniyelik bir sürede alınacak 4 deney okuması yapılmıştır. Bu değerlerin ortalaması KTŞ (2013) Kısım 351'de belirtilen minimum penetrasyon direnci şartname değerleri dikkate alınmıştır. Proktor penetrometre sonucu 2. dakikada, 5. dakikada, 10. dakikada ayrı ayrı yapılan okuma değerleri Tablo 4.16'da gösterilmiştir.

Tablo 4.16. Kıрма agregalarla üretilen betonların penetrometre test sonuçları

Zamana bağlı direnç	Penetrometre cihazında okunan 4 deney okuması ortalama değerleri						KTŞ (2013) sınır değerleri (N)
	2 dakika sonra		5 dakika sonra		10 dakika sonra		
T-1 Tasarımı	65 lbf	290 N	94 lbf	418 N	115 lbf	511 N	2 dakika sonra ≥260 N
T-2 Tasarımı	62 lbf	276 N	91 lbf	405 N	108 lbf	480 N	5 dakika sonra ≥380 N
T-3 Tasarımı	60 lbf	267 N	78 lbf	347 N	89 lbf	396 N	10 dakika sonra ≥450 N
lbf: Pound kuvvet N:Newton							

Deney sonuçlarına göre T-1 ve T-2 tasarımıyla üretilen betonların ilk priz süreleri şartname ölçütlerini sağlarken, T-3 tasarımıyla üretilen betonun ilk priz süresi 2. dakikada şartname ölçütlerini sağlamış ancak 5. ve 10. dakika şartname ölçütlerini sağlamadığı gözlenmiştir.

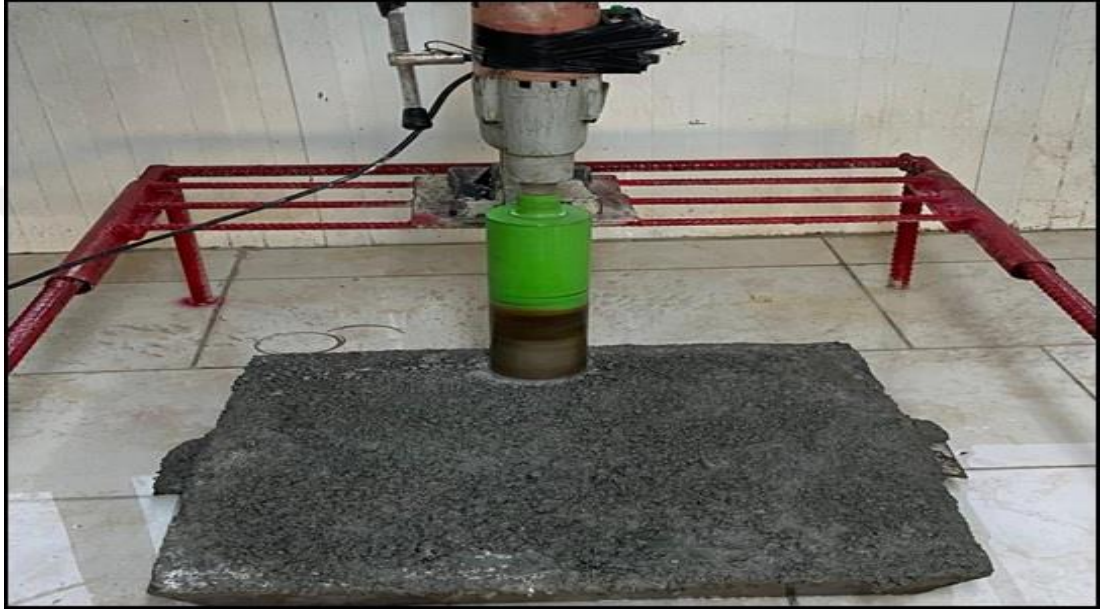
Sahada yapılan deneylerde kullanılan püskürtme basıncı 4-5 bar arasında gerçekleştirilmiş ve priz hızlandırıcı yüzdesi %7-%9 arasında verilmiştir.

Tablo 4.17. Püskürtülen betonun nozuldaki basıncı ve diğer parametreler

Karışım Tasarımı	Püskürtme beton basıncı	Slump değeri (cm)	1 m ³ betonda kullanılan akışkanlaştırıcı*		1 m ³ betonda kullanılan priz hızlandırıcı *
			bar	cm	
T-1	4-5	18	1,2	5,04	7,8
T-2		19	1,2	5,04	8,4
T-3		16	1,2	5,04	8,6

*Ağırlıkça Çimento

Tünel ortamında örtü örtülmüş vaziyette bulunan ve hareket ettirilmeyen paneller, üretimden 19 saat sonra, laboratuvara getirilerek her bir panelden ayrı ayrı 9 adet 10 cm çapında, 10 cm boyunda silindir karot numunesi kesilmiştir. Hazırlanan numuneler nemini muhafaza etmesi için beton kür havuzlarında 22 °C sıcaklıkta bekletilmiştir. Kalite kontrol laboratuvarında karotların birim ağırlıkları hesaplanmıştır. Panellerden kesilen karot numunelerinin görünümü Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.17. Betonla doldurulmuş panellerden kesilen karot numunelerinin görünümü

Alınan karotların dayanımı 15 cm'lik küp numune dayanımına eşdeğerdir. Standart karot numunelerinin basınç dayanımlarının belirlenmesinde karot yüzeyinin olası eğriliğinden kaynaklanan mukavemet kayıplarının önüne geçmek için numunelere başlık yapılması gerekmiştir.



(a)

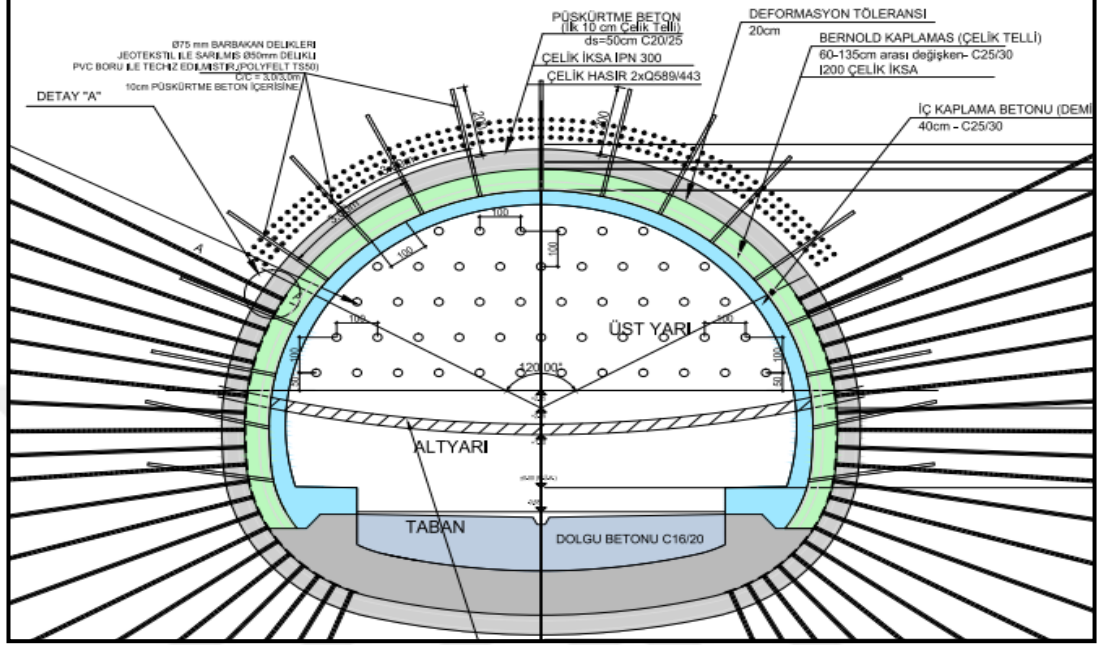


(b)

Şekil 4.18. Karot numunelerinin başlıklı hali ve test sonucu görüntüsü

Günümüzde yaygın olarak kullanılan kükürt-grafit başlık yapılmasıyla doğru basınç dayanım değerleri bulunmaktadır. Panelden kesim sonrasında karotların alt ve üst yüzeylerine sülfür-grafit başlık yapılmıştır.

Silindir numuneler günü geldiğinde, 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanım testleri yapılmıştır. Beton sınıfı olarak Sapanca-Geyve yüksek hızlı tren hattı altyapı T2 girişteki projede belirtilen püskürtme beton dayanım sınıfı referans alınmıştır.



Şekil 4.19. Tünel 2 giriş tarafı ana tünel tip kesit detayları

Basınç test sonuçlarında 1, 7 ve 28 günlük testler için 3'er adet numune basınç testleri yapılmış olup, Tablo 4.18'de dayanım sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.18. Kırmataş agregalarla üretilen püskürtme betonların ribaunt ve basınç mukavemetlerine ait sonuçlar

Deneme	T	L	R	ρ	N	M_1	M_7	M_{28}	M_{ort}
1.Deney 18.11.2020	T-1	Kireçtaşı	71,50	2,23	1.karot	9,44	17,20	24,68	23,93
					2.karot	10,88	16,71	23,85	
					3.karot	11,92	17,39	23,27	
2.Deney 07.12.2020	T-2	Dolomit	79,25	2,35	1.karot	11,82	19,23	27,03	25,96
					2.karot	10,90	18,74	25,73	
					3.karot	10,12	19,26	25,12	
3.Deney 22.11.2020	T-3	Dere agregası	83,75	2,09	1.karot	8,99	12,87	17,23	17,18
					2.karot	8,15	12,86	17,82	
					3.karot	8,74	13,90	16,56	
T:Tasarım kodu					M_1 :1 günlük basınç mukavemeti (N/mm ²)				
R:Ribaunt (kg/m ³)					M_7 :7 günlük basınç mukavemeti (N/mm ²)				
L:Betondaki agregası kökeni					M_{28} :28 günlük basınç mukavemeti (N/mm ²)				
N:Numune					M_{ort} : 3 karot numunesinin ortalama basınç değeri (N/mm ²)				
ρ : Yoğunluk (g/cm ³)									

28 günlük basınç dayanımı test sonuçlarına göre T-1 ve T-2 tasarımıyla üretilen betonların şartname ölçütlerini sağladığı, T-3 tasarımıyla üretilen betonun şartname ölçütlerini sağlamadığı tespit edilmiştir. En az ribaunt miktarı T-1 tasarımıyla üretilmiş betonda, en fazla ribaunt T-3 tasarımıyla üretilmiş betonda tespit edilmiştir.

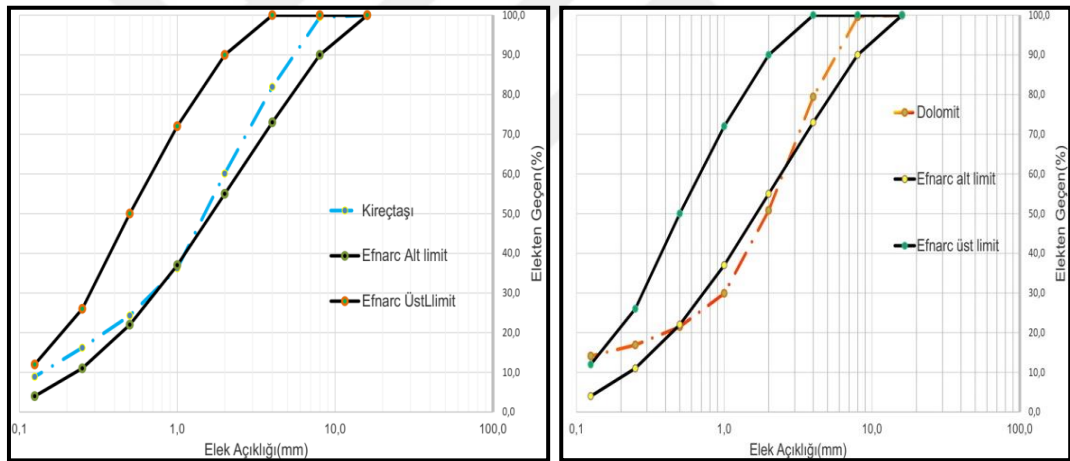


5. VERİ ANALİZİ

Bu kısımda Bölüm 4'te yapılmış mekanik ve fiziksel deney sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar şartname ölçütleriyle karşılaştırmalı olarak tablo, eğri ve grafiklerle gösterilmiştir.

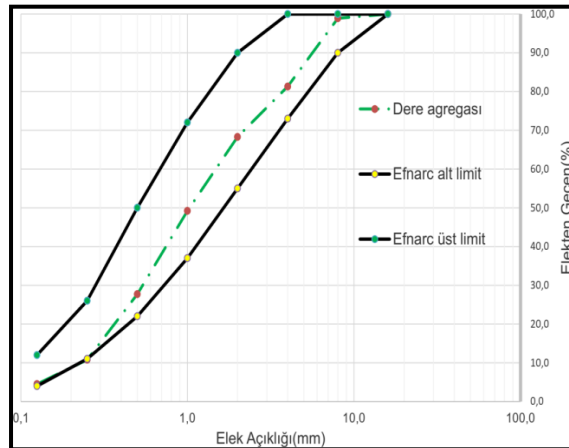
5.1. Granülometri Eğrisi

Yapılan elek analizi deneyi sonucu 3 agregaya ait gradasyon eğrisi çizilmiştir. Püskürtme beton gradasyon eğrisinde, dere agregası ve kireçtaşı agregası granülometri eğrisi içerisinde kalırken, dolomit agregasına ait eğri, alt sınırın dışına çıkmıştır.



(a)

(b)



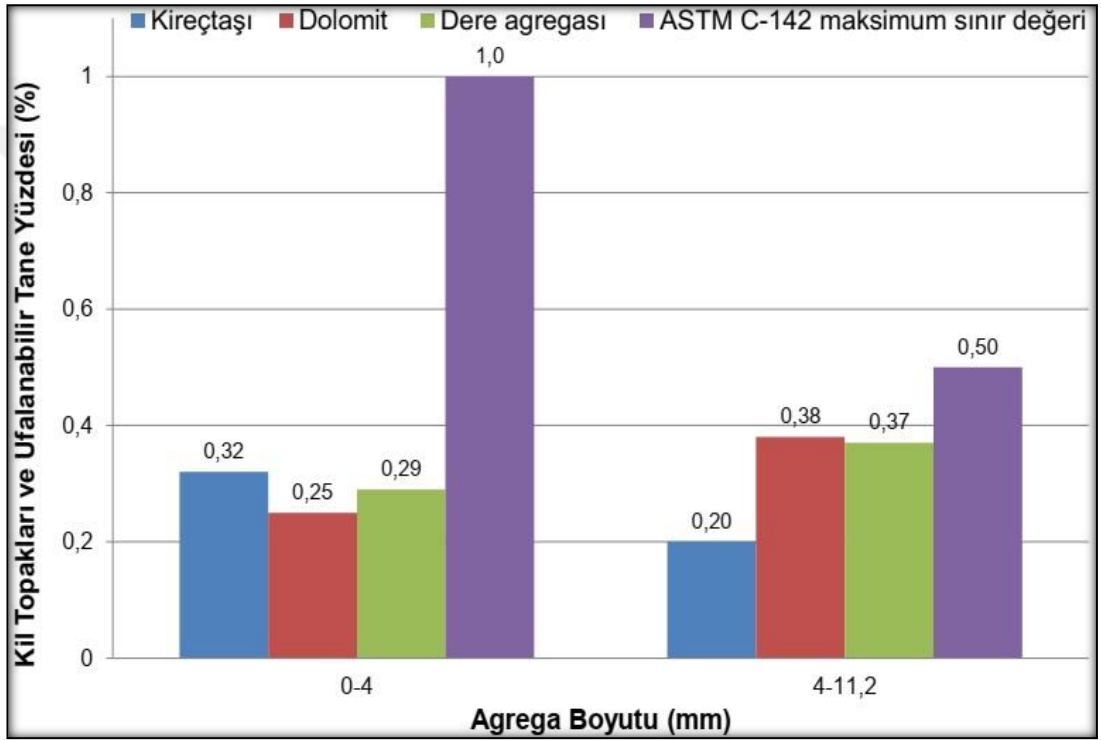
(c)

Şekil 5.1. Agregaların granülometri eğrisi

Püskürtme işlemi dere agregası ve kireçtaşı ile üretilen betonda başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Dolomit agregasının iyi bir tane dağılımına sahip olmadığı, iri agrega oranının fazla olmasından dolayı beton iletiminde güçlük yaşanmıştır.

5.2. Kil Topakları ve Ufalanabilir Tane Yüzdesi

Kireçtaşı ince agregasında kil topakları %0,32, iri agregasında %0,20, dolomit ince agregasında %0,25, iri agregasında %0,38 dere kumunda %0,29, iri agregasında %0,37 olarak bulunmuştur.



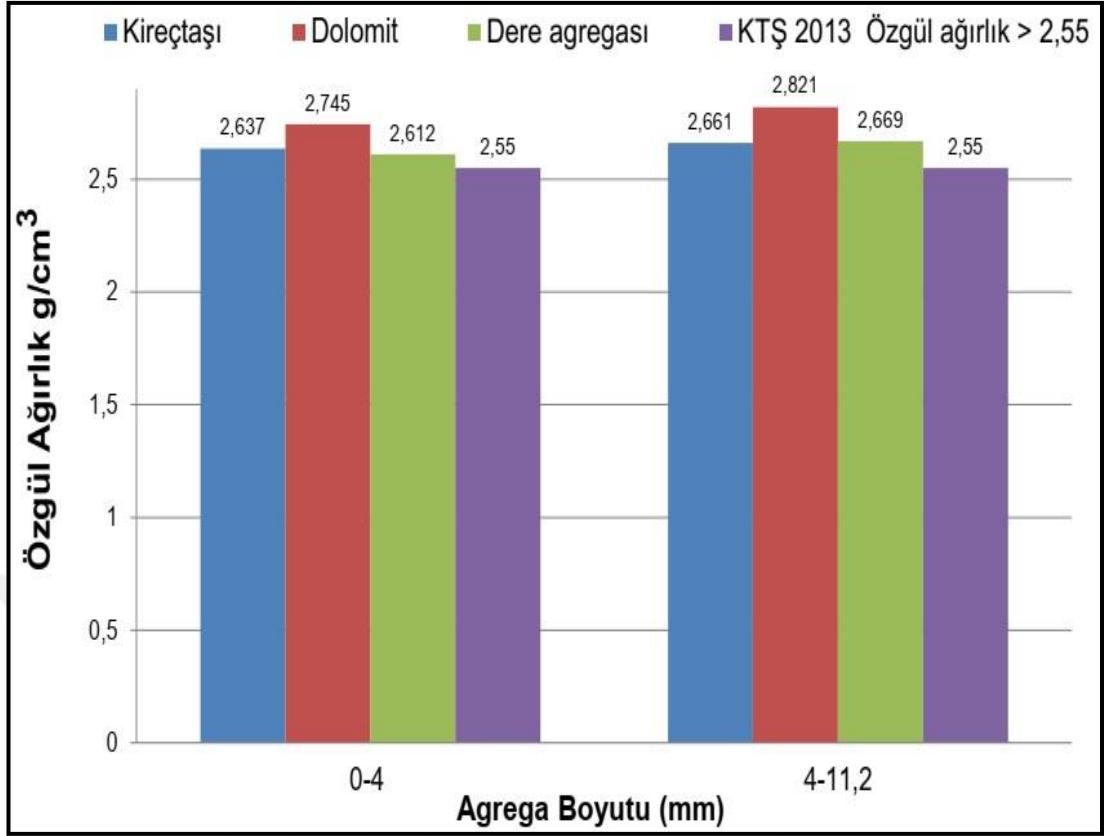
Şekil 5.2. Agregaların kil topakları ve ufalanabilir tane yüzdesi

Deneyler sonucunda, numunelerin standart değerler arasında kaldığı tespit edilmiştir.

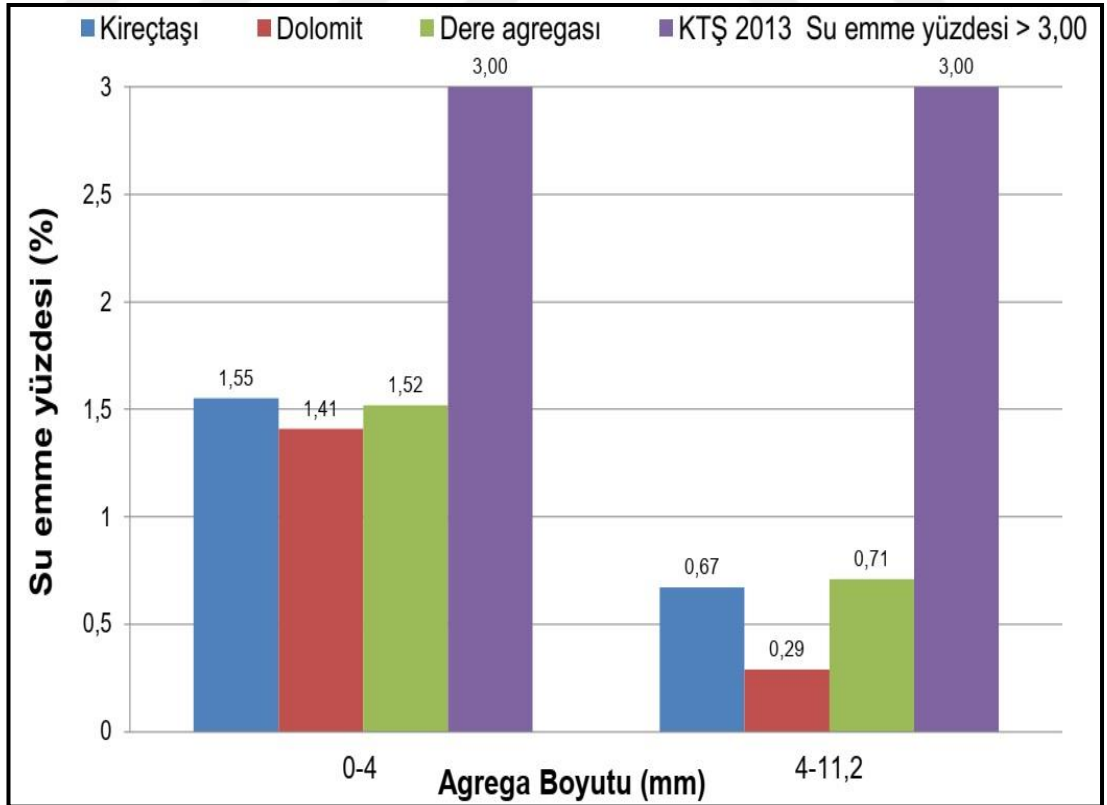
5.3. Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı

Kireçtaşı ince agregasında özgül ağırlık $2,637 \text{ g/cm}^3$, iri agregasında $2,661 \text{ g/cm}^3$, dolomit ince agregasında $2,745 \text{ g/cm}^3$, iri agregasında $2,821 \text{ g/cm}^3$, dere kumu ince agregasında $2,612 \text{ g/cm}^3$, iri agregasında $2,669 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur.

Kireçtaşı ince agregasında su emme yüzdesi %1,55, iri agregasında %0,67, dolomit ince agregasında %1,41, iri agregasında %0,29, dere kumu ince agregasında %1,52, iri agregasında %0,71 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.3. Agregaların özgül ağırlık değerleri



Şekil 5.4. Agregaların su emme yüzdesi

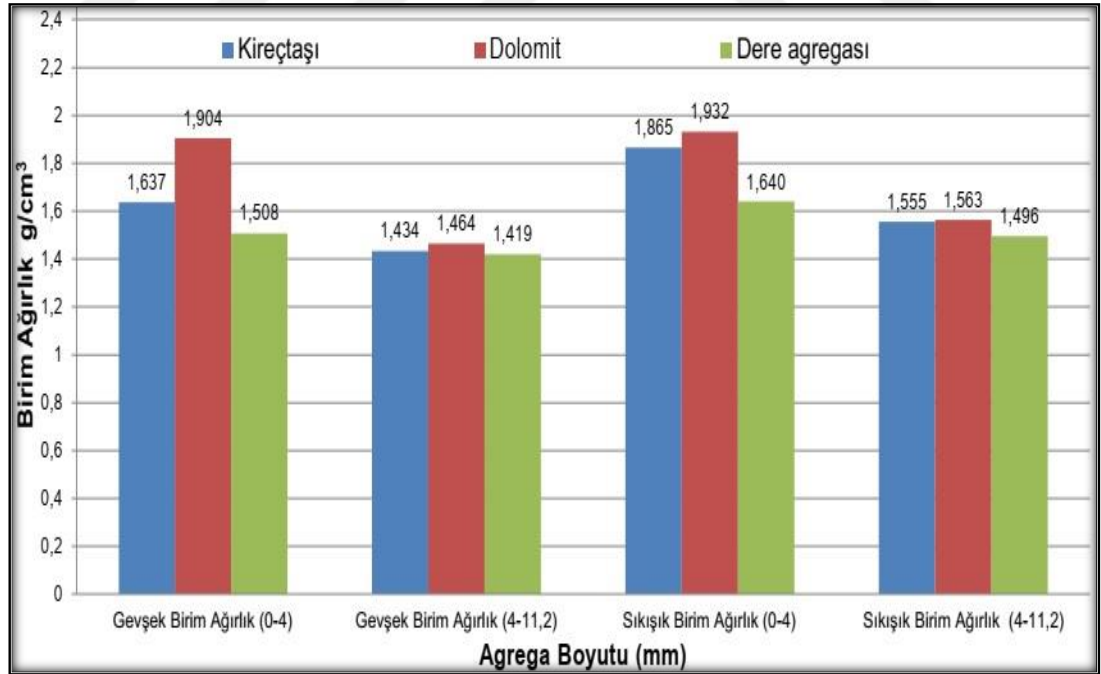
Deneylerde kullanılan numunelerin özgül ağırlıkları öngörülen limit değerler içerisinde yer aldığı belirlenmiştir. En yüksek özgül ağırlık değerleri dolomit agregasında bulunurken, en düşük özgül ağırlık değerleri dere agregasında tespit edilmiştir.

İnce ve kaba agregalar için yapılan su emme deneylerinde 3 tip agrega limit değerlerin içinde olduğu görülmüştür.

5.4. Gevşek ve Sıkışık Birim Hacim Ağırlıkları

Gevşek birim ağırlık kireçtaşı ince agregasında $1,637 \text{ g/cm}^3$, iri agregasında $1,434 \text{ g/cm}^3$, dolomit ince agregasında $1,904 \text{ g/cm}^3$, iri agregasında $1,464 \text{ g/cm}^3$, dere malzemesi ince agregasında $1,508 \text{ g/cm}^3$, iri agregasında $1,419 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur.

Sıkışık birim hacim ağırlık kireçtaşı ince agregasında $1,865 \text{ g/cm}^3$, iri agregasında $1,555 \text{ g/cm}^3$, dolomit ince agregasında $1,932 \text{ g/cm}^3$, iri agregasında $1,563 \text{ g/cm}^3$, dere malzemesi ince agregasında $1,640 \text{ g/cm}^3$, iri agregasında $1,496 \text{ g/cm}^3$ bulunmuştur.

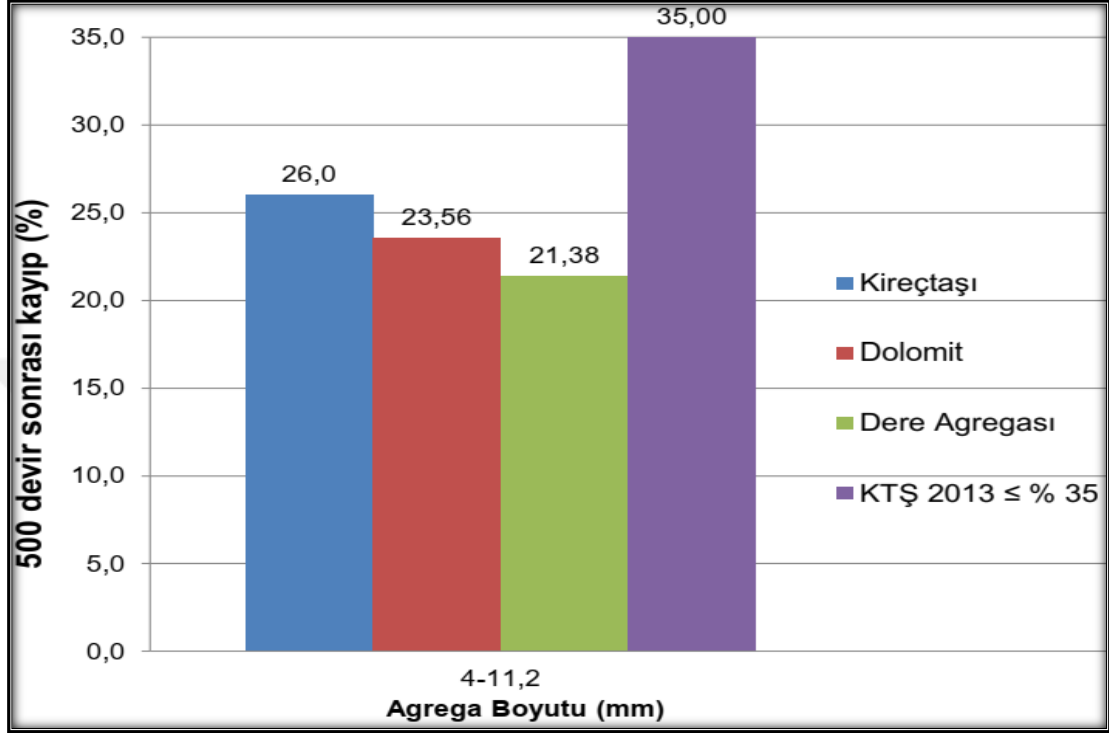


Şekil 5.5. Agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlıkları

Deney sonuçlarına göre dolomit kökenli agrega numunelerinin kalker ve dere malzemesi agregalarına göre, gevşek ve sıkışık birim ağırlıklarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

5.5. Los Angeles Aşınma Deneyi (500 devir sonunda)

Yapılan testlerde, kireçtaşı agregasında %26,00 aşınma, dolomit agregasında %23,50 aşınma, dere agregasında %21,38 aşınma tespit edilmiştir.



Şekil 5.6. Agregaların Los Angeles Aşınma dayanımı değerleri

Test sonuçlarına göre bütün agregaların şartname limitleri içerisinde kaldığı ve dayanıklı malzeme oldukları görülmektedir.

5.6. Organik Kökenli Maddeler

Yapılan deneylerde üç agrega tipinin de şartname limitleri içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Dere agregası numunesinin üzerinde oluşan eriyik hafif sarı sayılabilecek bir değişim gösterirken, kireçtaşı ve dolomit agrega numunesi üzerinde oluşan eriyiğin renksiz olduğu saptanmıştır.

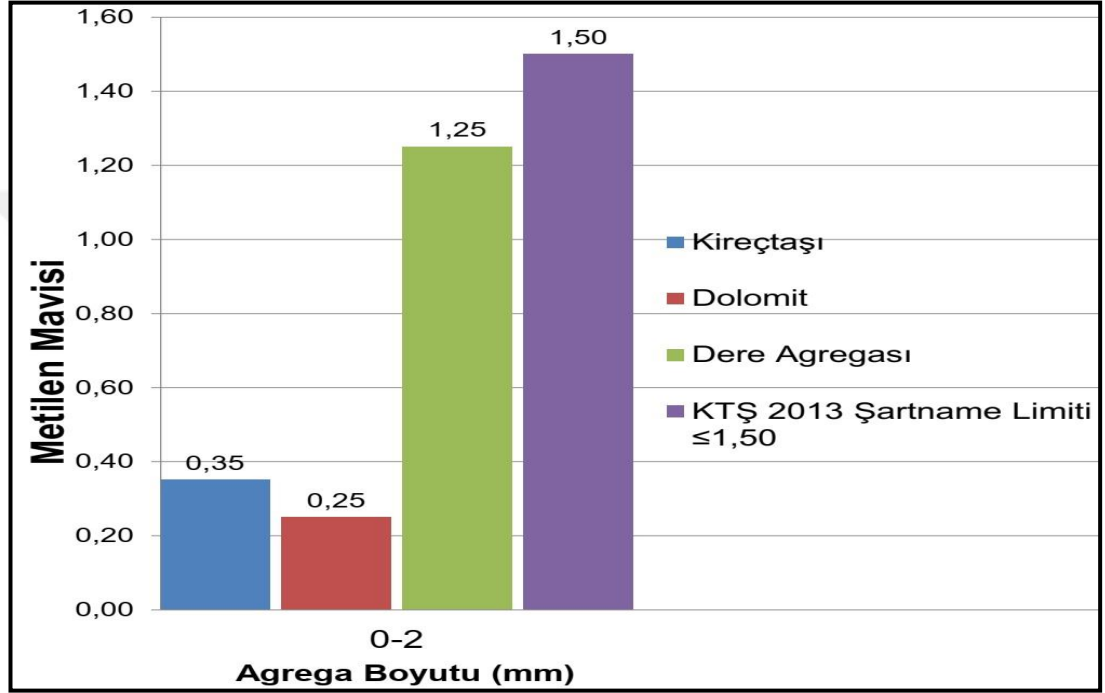
Tablo 5.1. Kırmataş agregalarına ait organik madde tayini sonuçları

Kayaç	Test Sonucu	Referans Renklere Göre İnce Agreganın Sınıflandırılması (ASTM C-40)	
Kireçtaşı	0-1	0-1	Çok iyi
		1-2	İyi
Dolomit	0-1	2-3	Orta
		3-4	Kötü
Dere agregası	1-2	4-5	Çok kötü

Üç tip agregada yapılan deney sonuçlarına göre şartname ölçütlerini sağladığını, bu agregaların püskürtme betonda kullanılabilir özellikte olduğu görülmektedir.

5.7. Metilen Mavisi Deneyi

Metilen mavisi deney sonuçlarına göre kireçtaşı agregasında 0,35 ve dolomit agregasında 0,25, dere kumu agregasında 1,25 metilen mavisi değeri tespit edilmiştir.

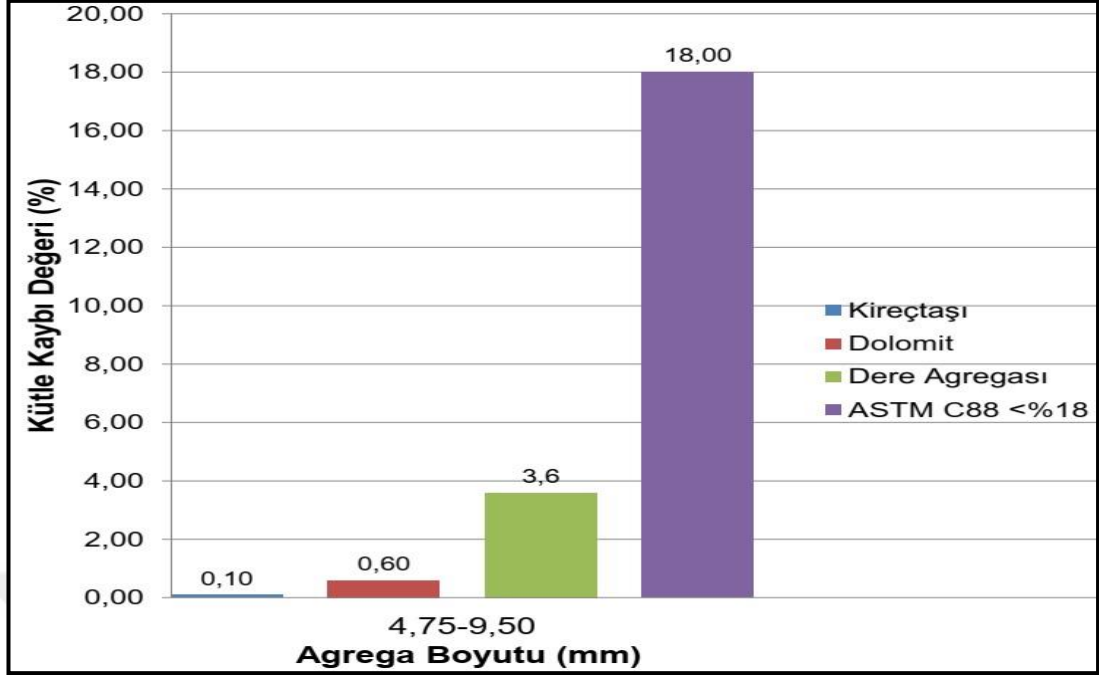


Şekil 5.7. Agregaların metilen mavisi değerleri

Deney sonuçlarına göre dolomitte çok az veya hiç, kireçtaşı ve dere agregasında az miktarda kilin varlığından söz edilebilir. Deneyler sonucunda bütün numuneler standart değerler içinde kaldığı belirlenmiştir.

5.8. Donma-Çözölmeye Karşı Kütle Kaybı

Kireçtaşı, dolomit ve dere agregası yapılan deneylerde donma ve çözölmeye karşı kütle kaybı değeri kireçtaşında %0,1, dolomitte %0,6, dere agregasında ise %3,6 olarak bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre en yüksek değeri %3,6 ile dere agregasında, en düşük değeri ise %0,1 ile kireçtaşında bulunmuştur. Buradan kireçtaşı ve dolomit kökenli agregaların donma dayanıklılığı dere malzemesi agregasına göre daha iyi sonuç verdiği görölmüştür. Ancak üç tip agreganın da kütle kaybı değeri %18'in altında olduğu için şartname limitleri içerisinde yer almaktadır.

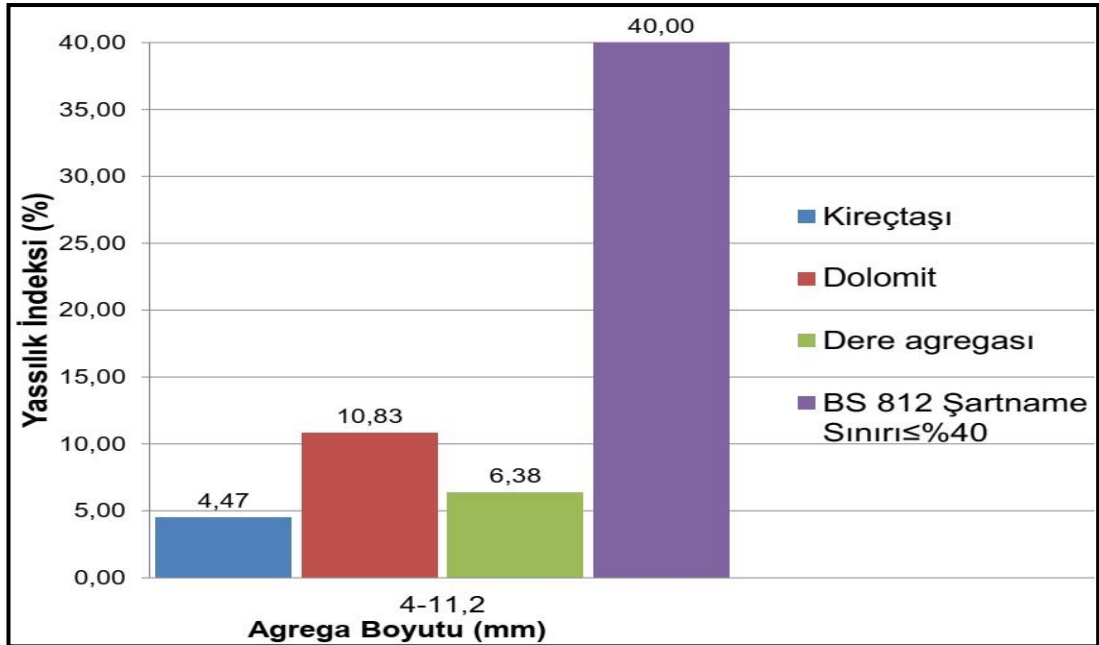


Şekil 5.8. Agregaların donma ve çözölmeye karşı kütle kaybı değeri

5.9. Yassılık İndeksi

Betonda yoğun olarak bulunan uzun ve yassı taneler, betonda işlenmeyi zorlaştırmakta, beton basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir.

Yapılan deney sonuçlarına göre kireçtaşı agregasında %4,47, dolomit agregasında %10,83, dere malzemesi agregasında %6,38 yassılık indeksi değeri bulunmuştur.



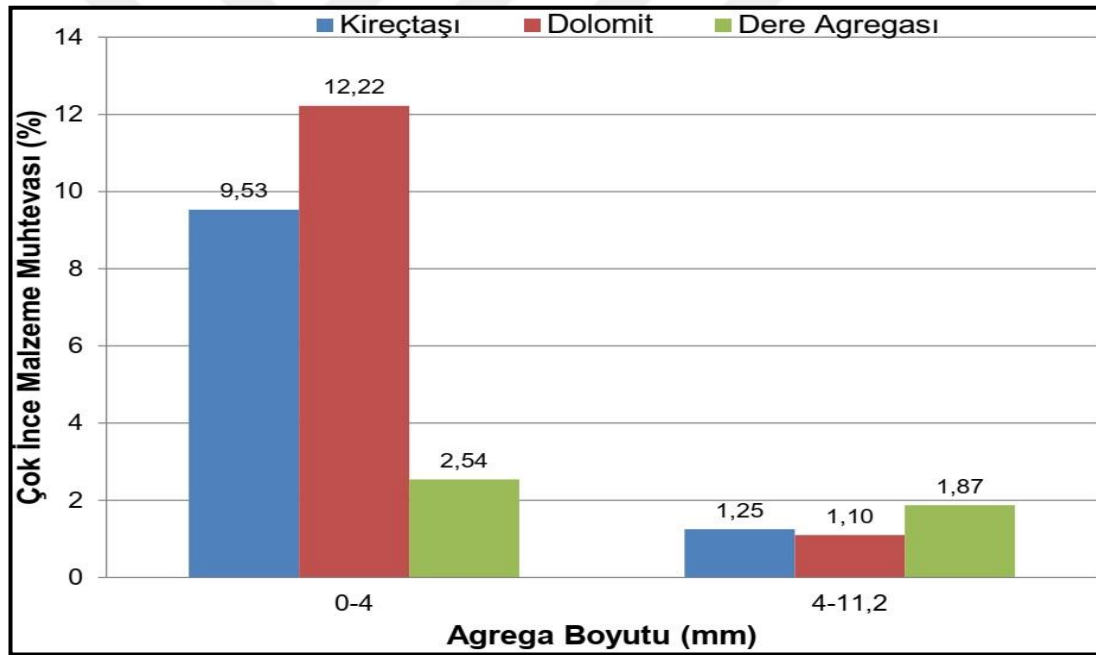
Şekil 5.9. Agregaların yassılık indeksi değeri

Agregaların yassılık indeksleri, kırılmamış çakıllarda en fazla %50, kırma çakıl ve kırmataşlarda en fazla %40 olmalıdır (BS 812, 1992).

Yassı tanelerin varlığı dolomit agregasında, kireçtaşı ve dere agregasına göre yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. Test yapılan bütün deney numuneleri standartların vermiş olduğu sınırların içinde kaldığı görülmektedir.

5.10. Çok İnce Malzeme Muhtevası ve İncelik Modülü

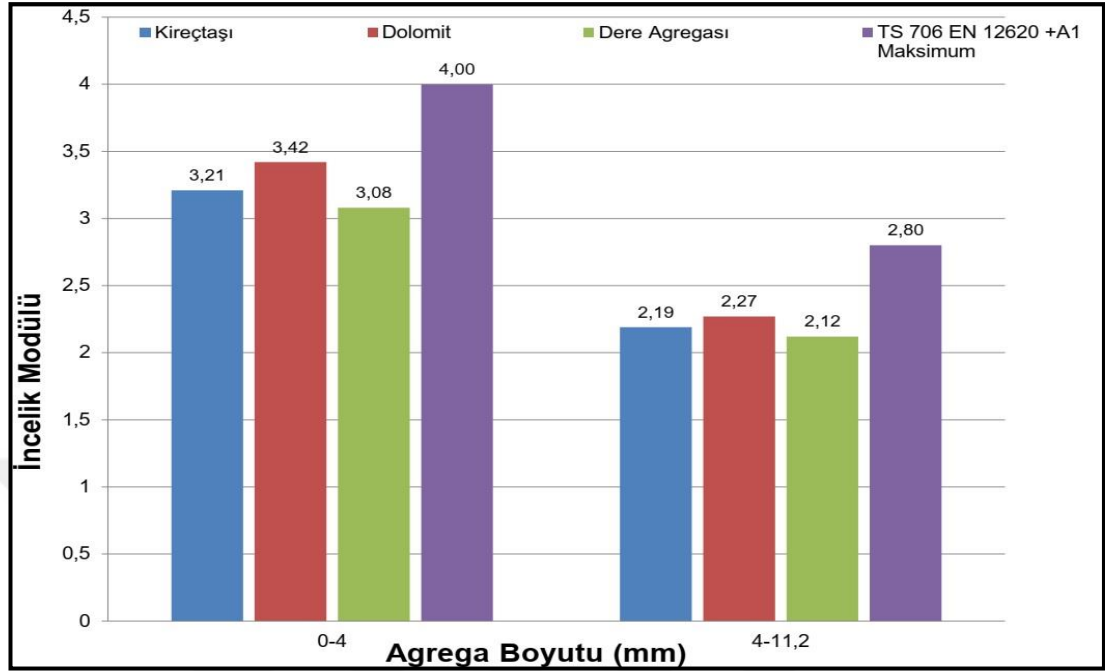
Çok ince malzeme muhtevası kireçtaşı ince agregasında 9,53, iri agregasında 1,25, dolomit ince agregasında 12,22, iri agregasında 1,10, dere kumu ince agregasında 2,54, iri agregasında 1,87 olarak bulunmuştur. Yapılan deneyde ince agregada bulunan çok ince malzeme muhtevası kireçtaşı ve dolomit ince agregasında %3'ün üzerinde bulunmuştur.



Şekil 5.10. Agregaların çok ince malzeme muhtevası değerleri

TS 706 EN 12620+A1 (2009) standardında ince agregasında çok ince malzemenin %3'ten az olması gerektiği belirtilmiştir. Çok ince malzemenin %3'ten fazla olmasından dolayı kireçtaşı ve dolomit agregasıyla metilen mavisi deneyleri yapılmıştır. Yapılan iki ayrı deney sonrasında kireçtaşı ince agregasında ilk test sonucu 0,25 ve ikinci test sonucu 0,35, dolomit ince agregasında birinci ve ikinci test sonucu 0,25 bulunmuştur. Bu sonuçlara göre kireçtaşı ve dolomit agregalarında yüksek oranda bulunan çok ince malzemenin içeriği kil olmadığı, kayaların kendi kökenlerinden gelen partiküller olduğu ispatlanmıştır.

3 ayrı agregayla yapılan incelik modülü testinde Şekil 5.11'deki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.11. Agregaların incelik modülü değerleri

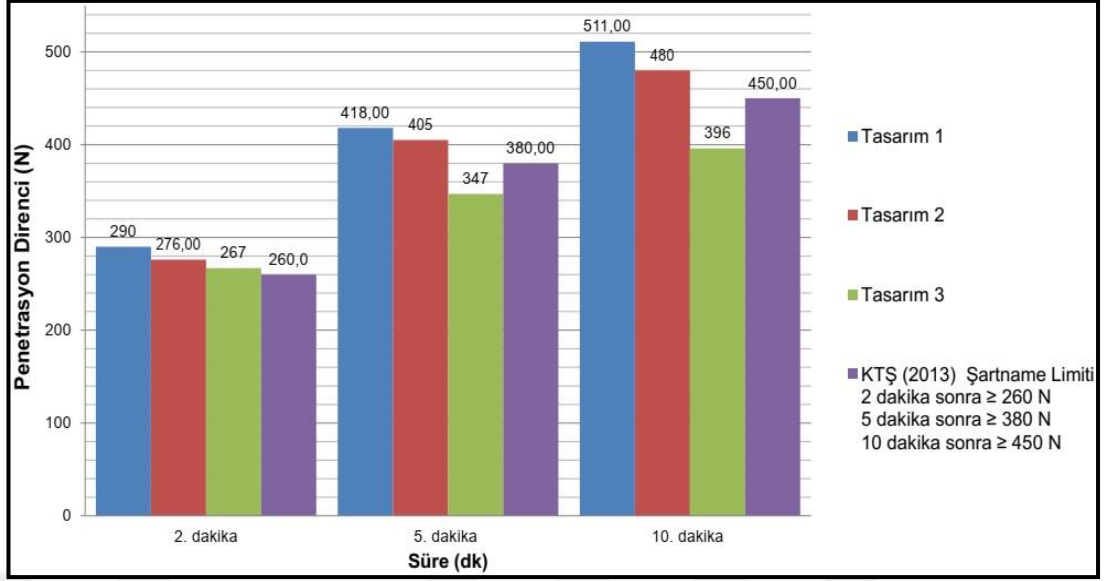
Kireçtaşı ince agregasının incelik modülü 3,21, iri agregasının incelik modülü 2,19, dolomit ince agregasının 3,42, iri agregasının 2,27 dere kumunun incelik modülü 3,08, iri agregasının incelik modülü 2,12 olarak bulunmuştur.

Kireçtaşı, dolomit ve dere ince agregalarına ait incelik modülü CF grubunda, iri agregaların incelik modülü ise MF grubunda yer almaktadır. Tüm agregaların incelik modülü şartname limitleri içerisinde.

5.11. Beton Deneyleri

5.11.1. Proktor penetrometre deneyi

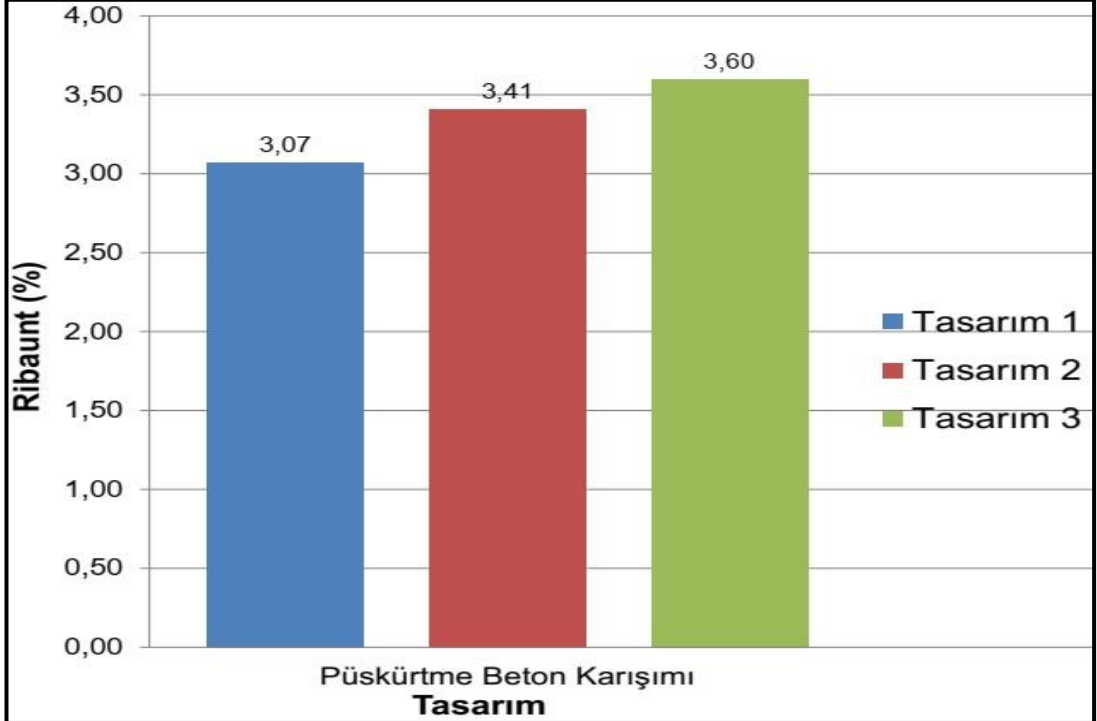
Tünel uygulamalarında püskürtme betonun yapıştığı yüzeyde kalmasında önem arz eden kuşkusuz ilk priz süreleridir. Bu amaçla yapılan proktor penetrometre testlerinde kireçtaşı ve dolomit agregaları 2. dakika, 5. dakika, 10. dakikada püskürtme betonun ilk anda gereken sertliği sağladığı ve priz sürelerini karşıladığı görülmektedir. Dere agregasıyla üretilen püskürtme betonda 2. dakikada şartname değerini sağladığı ancak 5. ve 10. dakikada gereken priz alma süresini karşılamadığı görülmüştür. Ölçülen proktor penetrometre değerleri Şekil 5.12'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Püskürtme betonda ölçülen proktor penetrometre değerleri

5.11.2. Ribaunt (geri seken beton)

Kireçtaşı, dolomit ve dere agregasıyla ayrı ayrı üretilen 4 m³ püskürtme betonlarından geri seken beton miktarları tartılmıştır.



Şekil 5.13. Püskürtme betondan geri seken beton yüzdeleri

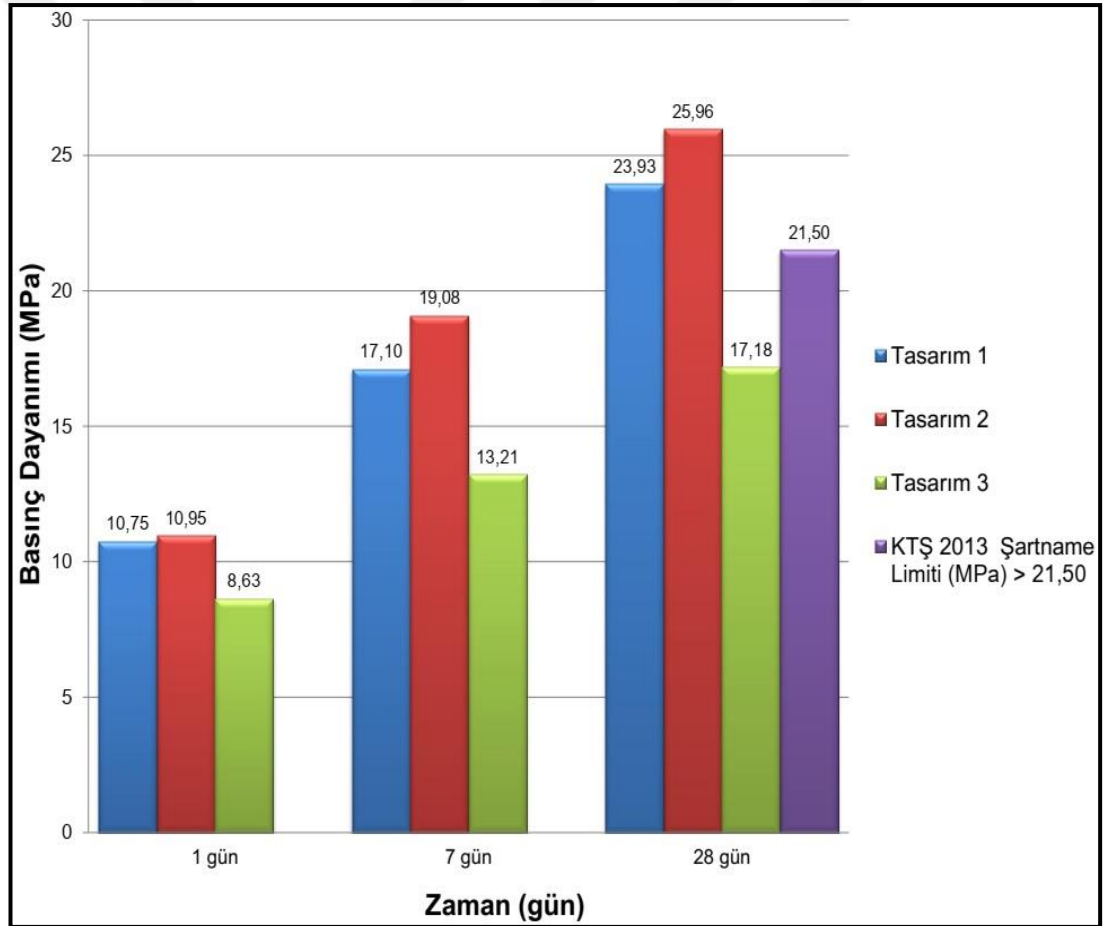
Kireçtaşı agregasıyla gerçekleştiren püskürtme beton uygulamasında geri seken beton miktarı 71,50 kg/m³, dolomit agregasıyla gerçekleştirilen püskürtme beton

uygulamasında geri seken beton miktarı $79,25 \text{ kg/m}^3$, dere agregasıyla gerçekleştiren püskürtme beton uygulamasında $83,75 \text{ kg/m}^3$ geri seken beton ölçülmüştür. 3 tasarımdaki püskürtme beton ribaunt yüzdeleri Şekil 5.13'teki grafikte gösterilmiştir.

T-1 tasarımıyla uygulanan püskürtme betondaki ribaunt yüzdesi, T-2 ve T-3 tasarımındaki ribaunt yüzdesine göre daha az olduğu tespit edilmiştir.

5.11.3. Beton basınç deneyleri

420 kg/m^3 çimento dozajıyla üretilen püskürtme beton panellerinden kesilen karot numunelerinde basınç deneyleri yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına ait grafik Şekil 5.14'te gösterilmiştir.



Şekil 5.14. Püskürtme betondan kesilen karotların basınç dayanımları

1, 7, 28 günlük basınç dayanımı sonuçlarında dolomit kökenli agregalar, kireçtaşı ve dere agregalarıyla üretilen betonlara göre daha yüksek mukavemet vermiştir. Dere agregasıyla üretilmiş püskürtme panellerden kesilen karot mukavemetleri şartname ölçütlerini sağlamadığı görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Sakarya İlinde halen faaliyette olan Yüksek Hızlı Tren hattı altyapı inşaatında devam eden püskürtme beton üretiminde kullanılmak üzere 3 farklı agregaya ocağından alınan agregaya numuneler üzerinde yeterlilik deneyleri yapılmıştır. Bu agregaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla, agregaya numuneleri üzerinde incelemeler yapılmıştır. Araştırmada incelenen agregaya ocakları ve bu agregaya ocaklarından elde edilen püskürtme beton karışımları şu şekilde sembolize edilmiştir.

Bilecik İlinin Osmaneli ilçesi bulunan Demirtaş Agregaya kırma kireç taşıyla üretilen püskürtme beton T-1,

Sakarya İlinin Ferizli ilçesinde bulunan Dalbay Agregaya kırma dolomit taşıyla üretilen püskürtme beton T-2,

Sakarya İli, Adapazarı ilçesinde bulunan Sezerler Agregaya dere agregasıyla üretilen püskürtme beton T-3,

Bu ocaklara ait agregaya numuneleri kullanılarak, püskürtme beton deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen beton numunelerde, su/çimento oranı 0,45 olarak sabit alınarak; betonlardaki basınç dayanım değerleri ile agregadaki değişimlerin, betonun özellikleri üzerinde oluşturduğu etkileri araştırılmıştır. Araştırmada söz konusu agregaya numuneleri üzerinde yapılan bu incelemelerde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Günümüzde kadar Sakarya ve Bilecik yöresinde, beton üretiminde kullanılan beton agregalarıyla ilgili karşılaştırmalı bu çalışmanın kapsamında yapılan deneyler sonunda; Sakarya Ferizli'de üretilen dolomit ve Bilecik Osmaneli'nde üretilen kireçtaşı agregaları beton üretimi için uygun oldukları kanıtlanmıştır. Basınç dayanımlarında dolomit agregasına ait karot mukavemetlerinin kireçtaşıyla üretilen karot numunelerine göre daha yüksek dayanım sonucu elde edilmiştir. Bunun nedeni dolomit agregasının özgül ve birim ağırlığının yüksek olması, kirliliğin olmaması ve agreganın sert, aşınmaya karşı direncinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dere malzemesine ait agregalarla üretilen

betonlarda şartname ölçütlerinde belirtilen basınç dayanımını vermemiştir. Dere agregasıyla üretilen betonun istenen basınç mukavemetini vermemesi, dere agregasının özgül ağırlığının dolomit ve kireçtaşı agregalarına göre daha düşük olması, agrega yığını içerisinde hafif agregaların bulunması ve agrega tanelerinin şekillerinin yuvarlak olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dere agregaları akarsu yataklarındaki aşınma ve taşınmanın etkisiyle tane şekilleri genellikle yuvarlaktır. Küp şekilli, köşeli ve yüzeyi pürüzlü agregaların çimento hamuru ile oluşturdukları aderans, yuvarlak taneli agregalara göre daha kuvvetlidir. Basınç mukavemetlerindeki dayanımları etkileyen unsurlardan birisi, köşeli agregaların çimento hamuru ile oluşturdukları güçlü aderans bağı ile açıklanabilir. Dere agregası tanelerinin yuvarlak olması nedeniyle çimentoyla olan aderansı yeterince sağlanmadığı düşünülmektedir. Dere agregasıyla üretilen betonların öngörülen basınç dayanımlarını vermesi için çimento dozajının 20-50 kg artırılması gerektiği öngörülmektedir.

Sakarya'da halen hazır beton üreten tesislerin büyük kısmı Arifiye ilçesi ve merkez ilçesine yakın çevrede bulunmaktadır. Bu tesislerde en ekonomik ve kaliteli beton üretebilmek için yakın mesafede olan ocaklar bulunmasına rağmen başka bölgelerde bulunan kırmataş ocakları sıkça tercih edilmektedir. Santral üretim tesisine yaklaşık 33 km mesafede Sakarya'nın Pamukova ilçesinde faaliyet gösteren Öztaş kireçtaşı kırmataş ocağından betonda yeterlilik testleri için agrega numuneleri alınmıştır. Yapılan testlerden elek analizi, Los Angeles aşınma dayanımı, özgül ağırlık ve su emme yüzdesi, kil toprakları ve ufalanabilir tane yüzdesi, gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık, yassılık indeksi, donma ve çözülmeye karşı kütle kaybı ve organik madde tayini testleri şartname ölçütlerini sağladığı görülmüştür. Ancak tekrarlı olarak farklı numunelere yapılan metilen mavisi deney sonuçları çoğu kez şartname ölçütlerini sağlamadığı görülmüştür. Santral üretim tesisine yaklaşık 11 km mesafede bulunan Sakarya Karaçam mevkinde bulunan Karaçam İnşaat firması bünyesinde faaliyet gösteren kumtaşı ocağından alınan numuneler için bazı testler yapılmış, testlerin bir kısmı şartname ölçütlerini sağlarken bir kısmının sağlamadığı görülmüştür. Özgül ağırlık ve su emme yüzdesi, Los Angeles aşınma dayanımı, kil toprakları ve ufalanabilir tane yüzdesi, gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık, yassılık indeksi, donma ve çözülmeye karşı kütle kaybı ve organik madde tayini deneylerinde şartname ölçütleri karşılanırken, agreganın gradasyonu ve metilen mavisi deneyleri şartname kriterlerini sağlamadığı görülmüştür. Yapılan elek analizi deneyi sonucunda oluşturulan gradasyon eğrisi alt sınırın altına çıkmış, agreganın

oldukça iri olduğu tespit edilmiştir. Metilen mavisi deneyi sonucunda test sonucu oldukça yüksek değer vermiş, malzemenin çok kirli olduğu tespit edilmiştir. Bu test sonuçları püskürtme betonda ribaundu, ilk priz sürelerini, basınç dayanımlarını olumsuz etkileyeceğinden bu agregayla çalışmalara devam edilmemiştir.

Sakarya'da yapımı devam etmekte olan hızlı tren alt yapı işleri yapımında üretilen püskürtme beton kalitesi, dökülme miktarı ve agrega fiyatı göz önüne alındığında santral tesisine 75 km mesafede olan kireçtaşı ocağından agrega alınmaya devam edilmektedir. Bu agreganın şartname kriterlerini sağladığı, kaliteli beton üretilmesinden dolayı tercih nedenidir. Santral tesisine yaklaşık 50 km uzakta olan dolomit kırmataş ocağı ise agrega gradasyonu düzenlenmesi şartıyla, kaliteli agregadan dolayı alternatif olarak tercih edilebilir.

Günümüzde inşaat sektörünün hızla geliştiğı, demiryolu ulaşımına yatırımın fazla ve beton tüketimin çok yüksek olduğu bu dönemde, Sakarya ve Bilecik yöresinde kırmataş ocaklarında üretilen agregaların kökeni, şekli, dayanıklılığı ve malzeme granülometrisi beton kalitesine direkt etki edeceği açıktır. Bu yüzden agregadan deneyleri sürekli yapılmalı ve püskürtme beton üretimindeki kalite kontrol önemli bir mühendislik gerekliliğı olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

ACI Committe 506, Recommended Practice for Shotcrete, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, 1966.

ACI 506R-16, Guide to Shotcrete Reported by ACI Committee 506, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, 2006.

Aka İ., Celep Z., Püskürtme Beton ve Uygulaması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Betonarme, Ahşap ve Çelik Yapılar Kürsüsü, 19s. İstanbul, 1978.

Alkan Çakıroğlu M., Betonarme Kirişlerin Güçlendirilmesinde Püskürtme Betonun Alternatif Bir Yöntem Olarak Kullanılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2007, 200540.

Alkan Çakıroğlu M., Terzi S., Çakıroğlu M.G., Püskürtme Betonda Görülen Problemler, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2009, 5(2), 43-49.

Alkan M., Kuru Karışım Püskürtme Betonda Geri Sekmenin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur, 2020, 633204.

Araz İ., Metro Projelerindeki Tünellerde İkinci Kaplama Betonu Olarak Donatılı Püskürtme Beton Kullanımının Proje Maliyetine ve Süresine Etkilerinin Analizi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019, 542793.

Araz İ., Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy projesinde tünellerde ikinci kaplama olarak dökme beton kullanımı ile ikinci kaplama olarak shotcrete (püskürtme beton)'in maliyet ve süre karşılaştırılması, Yupam, http://www.yupam.org/portals/0/belgeler/Ildris_Araz_16320102050_Ikinci_Kaplama_Olarak.pdf (Ziyaret Tarihi: 22.10.2020).

Arioğlu E., Yüksel A., Yılmaz A.O, *Püskürtme Beton Bilgi Föyleri ve Çözümlü Problemler*, 1. Baskı, Beril Ofset Ltd. Şti., İstanbul, 2008.

ASTM C88-5, Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, *American Society for Testing and Materials*, Pennsylvania, 2019.

Ayış H. İ., Tünel Açma Sistemlerinde Çelik Lifli Püskürtme Betonun Uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 259955.

Baradan B., Yazıcı H., Ün H., Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Yayın No 298, 282, 2002.

Bargu S., The Geology of İznik–Yenişehir (Bursa) Osmaneli (Bilecik) Area, *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 1982, **3**(1-2), 191-233.

Beaupre D., Rheology of High Performance Shotcrete. PhD Thesis, The University of British Columbia, Vancouver, 1994, AAT NN95309.

Bekişoğlu Ş., *Beton Kaplamalı Kanallarda Sızdırmazlık Önlemleri Mastik Asfalt ve Püskürtme Beton Uygulaması*, 1. Baskı, D.S.İ. Matbaası, Ankara, 1993.

Bicik M., *Dünyada İlkler*, 1. Baskı, Tutku Yayınevi, Ankara, 2012.

BS 812-105.1, Agregate Methods for determination of particle shape, Flakiness index, *British Standard*, London, 1989.

BS 882, Specification for aggregates from natural sources for concrete *British Standard*, London, 1992.

Cengiz O., Turanlı L., Comparative evaluation of steel mesh, steel fibre and high-performance polypropylene fibre reinforced shotcrete in panel test, *Cement and Concrete Research*, DOI: 10.1016/j.cemconres.2003.12.024.

Çimen O., Püskürtme Beton Uygulamasında Geri Seken Malzemenin Parke Taşı Olarak Kullanılmasının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2015, 392001.

Dahme U., *Chlorid in karbonatisierendem Beton Speicher-und Transportmechanismen*, 12 th ed., Duisburg-Essen, Göttingen, 2006.

Doyuran C., Köksal A., Püskürtme Beton, *Şantiye Dergisi*, 140, 69-70, 2000.

EFNARC, European Specification for Sprayed Concrete, *European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems*, Hampshire, 1996.

Eroskay S.O., Paşalar Boğazı-Gölpazarı Sahasının Jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası, Seri: B, **XXX** (3-4), İstanbul, 1965.

İnce H., Öcal C., Alkan Çakıroğlu M., Çelik S., Püskürtme Beton Uygulamaları ve Kullanım Alanları, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2015, **6**(2), 100-107.

Jolin M., Mechanisms of Placement and Stability of Dry Process Shotcrete, PhD Thesis, The Faculty of Graduate Studies Department of Civil Engineering, The University of British Columbia, Vancouver, 1999, AAT NQ46363.

Kaufmann J., Frech K., Schuetz P., Münch B., Rebound and Orientation of Fibers in Wet Sprayed Concrete Applications, *Construction and Building Materials*, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.07.051.

Kim D. G., Lee G.P., Bae, G.J., Compressive and adhesive strength of shotcrete deteriorated by hazardous components in the groundwater, *ITA-AITES 2006 World Tunnel Congress and the 32nd ITA General Assembly*, Seoul, Korea, 22-27 April 2006.

Kipman E., Sakarya Çamdağ (Kestanepınar-Yassıgeçit Köyleri Arası) Deniz Çökeltisi Demir Cevherinin Jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri (Tabii İlimler Kısmı), Sayı:25, İstanbul, 1974.

Köken A., Köroğlu M. A., Yonar F., Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, *Selçuk Üniversitesi Selçuk-Teknik Dergisi*, 2008, **7**(1), 86-97.

KTŞ 2013 Ek ARGE.M.BÇ.T.113, Püskürtme Betonda Penetrasyon Deneyi ile Erken Yaş Mukavemet Tayini Talimatı, *Karayolları Teknik Şartnamesi*, Ankara, 2015.

KTŞ 2013 Ek ARGE.M.BÇ.T.119, Püskürtme Betonda Penetrasyon Deneyi ile Erken Yaş Mukavemet Tayini Talimatı, *Karayolları Teknik Şartnamesi*, Ankara, 2015.

KTŞ 2013, Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler, *Karayolları Teknik Şartnamesi*, Ankara, 2013.

Küçüköztaş F. M., Tünellerde Püskürtme Beton Uygulamalarının Erken Yaş Dayanımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018, 517595.

K.Y.Levent., Dünden Bugüne Püskürtme Beton Teknolojisi, İksa <http://www.iksa.com.tr/pdf/sCRT1.pdf> (Ziyaret Tarihi: 22.10.2020).

Lefond S. J., *Industrial Minerals and Rocks*, 4th ed., Colorado, New York, 1985.

Mahar J. W., Parker H. W., Wuellner W. W., Shotcrete Practice in Underground Construction, *Department of Civil Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign Urbana*, FRA-OR & D 75-90, Chapter 6-1,1975.

Malmberg B., Shotcrete for Rock Support: A Summery Report on the State of Art in 15 Countries, *International Tunnelling Association*, 1993, **8**(4), 443-470.

Malmgren L., Interaction Between Shotcrete and Rock, PhD Thesis, Lulea University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Lulea, 2005, SE-971 87.

Melbye T., *Sprayed Concrete for Rock Support*, 11 th ed., Vulkanstrasse, Zurich ,2006.

Pfeuffer M., Kusterle W., Rheology and Rebound Behaviour of Dry-Mix Shotcrete, *Cement and Concrete Research*, DOI: 10.1016/S0008-8846(01)00614-7.

Rasuly A., Yiğma Tuğla Duvarların Genişletilmiş Çelik Levha ve Cam Lif Katkılı Püskürtme Beton Uygulamasıyla Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2020, 639408.

Rutenbeck T., *Repairing Concrete With Shotcrete (A Primer for Bureau of Reclamation Staff)*, 1 st ed., Denver, Colorado, 1999.

Sümer T., Püskürtme Beton Malzeme, Ekipman, Katkı Seçim Kriterleri ve Maliyet Optimizasyonu, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi Haber Bülteni*, Sayı:56, 18-21, 1994.

Şentürk İ., Püskürtme Betonun Yaklaşık Maliyet Analizini Yapan Bir Bilgisayar Programı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2016, 470731.

Şimşek O., Duman T. Y., Aygar E., Seyhan Yıldız E., Çağrı H. Ç., Doğançay Ripajı 2. kesim Doğançay-Sapanca Arası Yüksek Hızlı Tren Projesi T2 tüneli (Km: 127+930-Km:132+597) Jeolojik-Jeoteknik Etüd Proje Raporu, *Fugro Sial Yerbilimleri*, FS-DG2-TUN-T2-JEO-RPT-001, 1-142, 2019.

Teichert P., Carl Akeley—A Tribute to the Founder of Shotcrete, *Shotcrete Magazine*, 2002, 4(3), 10-12.

Teichert P., Dry Mix Guns, *Shotcrete Magazine*, 2003, 5(1), 4-6.

Timur E., Aksoy A., 1\100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:39, Adapazarı-H26 Paftası, *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü*, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 2002.

Topçu İ.B., Beton, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi*, Yayın No:2, 189-190, 2006.

TS EN 933-9+A1, İnce tanelerin tayini-Metilen mavisi deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2014.

TS EN 934-2, Kimyasal katkıları- Beton, harç ve şerbet için- Beton katkıları- Tarifler ve özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2002.

TS EN 1008, Beton-karma suyu-numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2003.

TS EN 1744-1:2009+A1, Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Kimyasal analiz, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2013.

TS EN 14487-1, Püskürtme beton-Bölüm 1:Tarifler, özellikler ve uygunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2006.

TS 706 EN 12620+A1, Beton agregaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2009.

TS 11747 Püskürtme Beton (Shotcrete) Yapım, Uygulama ve Bakım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1995.

URL-1: <http://www.pool-la.com/alexmaymind-taxidermy-shotcrete-techno-aesthetic> (Ziyaret tarihi: 26 Ekim 2020).

URL-2:<https://www.leadcrete.com/news/shotcrete-technology-philippines.html> (Ziyaret Tarihi: 23 Ekim 2020).

URL-3: <http://bestsupportunderground.com/shotcrete-equipment-for-wet-spraying-works/?lang=en> (Ziyaret Tarihi: 23 Ekim 2020).

URL-4:<https://www.sika.com/en/knowledge-hub/dry-vs-wet-machine-applied-mortars-for-concrete-repairs.html> (Ziyaret Tarihi: 24 Ekim 2020).

URL-5: <http://bestsupportunderground.com/rules-for-the-art-of-shotcreting/?lang=en>
(Ziyaret Tarihi: 24 Ekim 2020).

URL-6: <http://bestsupportunderground.com/rules-for-the-art-of-shotcreting/?lang=en>,
(Ziyaret Tarihi: 24 Ekim 2020).

URL-7: <http://bestsupportunderground.com/rules-for-the-art-of-shotcreting/?lang=en>,
(Ziyaret Tarihi: 24 Ekim 2020).

URL-8:

https://abs.firat.edu.tr/upload/user_68/4d65368626305e1f19410f80d57b94cee6d47cae_dosya_68.pdf, (Ziyaret Tarihi: 23 Ekim 2020).

Yılmaz F., Koltka S., Sabah E., Emirdağ-Adaçal (Afyonkarahisar) Kireçtaşlarının Beton Agregaları Standardına Uygunluğunun Araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2011, **11**(1), 1-12.

Yoggy D. G., The History of Shotcrete Part I of a Three Part Series, *Shotcrete Magazine*, 2000, **2**(4), 28-29.


Yoggy D. G., The History of Shotcrete Part II of a Three Part Series, *Shotcrete Magazine*, 2001, **3**(2), 22-23.

Yüksel A., Arıoğlu E., Yeraltı Yapılarında Püskürtme Beton, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Çalışma Raporu 8*, 47-48, 1999.



EK-A

Çimento analiz raporu (Sançim çimento, 2020)

		ANALİZ RAPORU <i>Analyse Report</i>				
SANÇİM Bilecik Çimento Mad. Beton San.T.A.Ş.						
Numune Cinsi	CEM I 42,5R					
Alınış Yeri (Taking Place)	Sevkiyat					
Alınış Tarihi (Received Date)	02-08/11/2020	Tarih (Date of Report)	11.11.2020			
Analiz Tarihi (Date of Analyse)	02-08/11/2020	Rapor No (Number of Report)	45			
Numunenin Standardı	TS EN 197-1					
Fabrika Adı (Name of Company)	SANÇİM Bilecik Çimento Mad. Beton San.T.A.Ş.					
KİMYASAL ANALİZ (CHEMICAL REQUIREMENTS)	Standartlar (Standards)	Sonuçlar (%) (Test Results)	FİZİKSEL DENEMELER (PHYSICAL REQUIREMENTS)		Standartlar (Standards)	
Toplam SiO ₂ (Total SiO ₂)		19,35	32 mikron elekte kalıntı (%) (Residue on 32 mic. sieve)		4,9	
Çözünmeyen Kalıntı (Insoluble Residue)	max 5,0	0,18	90 mikron elekte kalıntı (%) (Residue on 90 mic. sieve)			
Al ₂ O ₃		4,78	Özgül Yüzey (Blaine) (Specific Surface) (cm ² /g)		3791	
Fe ₂ O ₃		4,05	Özgül Ağırlık (g/cm ³) (Specific Gravity)		3,09	
CaO		62,15	Priz Süresi (Vikat) (Setting Time) Dakika (Minute)	Başlangıç (Initial)	min 60	
MgO		1,52		Bitiş (Final)	250	
SO ₃	max 4,0	2,91	Su İhtiyacı (%) (Water Requirement)		31,0	
Kızdırma Kaybı (Loss on Ignition)	max 5,0	3,11	Hacim Genleşmesi (mm) (Soundness) (Le Chatelier)		max 10	
Na ₂ O		0,21	C3A			
K ₂ O		0,83	REAKTİF SiO ₂			
Cl	max 0,1	0,024	KRİSTAL SU			
Toplam (Total)			PUZOLANİK AKTİVİTE			
Serbest CaO (Free Lime)		2,23	PUZOLANİK ÖZELLİK			
Toplam Katkı (Total Additives)			TS EN 196-1 : 40x40x160 mm'lik prizmalar (Karışım : 1/3 - Su/Çimento : 0.50 - Kum : EN 196-1 CEN standard kum) (TS EN 196-1 : Prizms 40x40x160 mm) (Mıx : 1/3 - Water/Cement : 0.50 - Sand : EN 196-1 CEN standard sand)			
KLİNKER MİNERALOGİK BİLEŞİM (Mineralogical Composition)	HM		BASINÇ DAYANIMI (Compressive Strength) (MPa)	Gün	Standartlar	Sonuçlar
	SM			Day		Test Results
	AIM			1		
	KSt			2	min 20,0	28,5
	LSF			7		45,9
	C3S			28	min 42,5 max 62,5	59,4
	C2S					
	C3A					
C4AF						
Analiz Sonuçları Yukarıda Tanımlanan Numuneye Aittir. (The Test Results Are Belongs To The Sample Above Defined.)			Ezgi GEREZ Kalite Kontrol Müh		Beldehan ŞEKER Kalite Kontrol Şef/Müdürü	
Bu Rapor Deney Laboratuvarının Yazılı İzni Olmadan Çoğaltılamaz. (This Report Cannot Be Copied Without The Written Approved Of The Testing Laboratory.)			İmzalıdır		İmzalıdır	
FR-KK-101			Rev: 02 - 25/04/2018			

Şekil A.1. CEM I 42,5 çimentosuna ait kimyasal ve fiziksel analiz raporu

EK-B

Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı analiz raporu (Egecrete yapı kimyasalları, 2020)

FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLER		LİMİTLER	ANALİZ METODU	REFERANS	SONUÇLAR
Görünüş .		Homojen sıvı	ETY 030		Homojen Sıvı
Renk		kahverengi	ETY 023		kahverengi
pH direkt		3,5 - 5,5	ETY026/10	TS ISO 4316	4,45
Katı Madde(105°C) , %		12,09 - 14,78	ETY007/14	TS EN 480-8	12,93
Yoğunluk (25 °C gr/cm3)		1,015 - 1,055	ETY003/4	ASTM D 4052	1,033
Suda Çözünebilen Klorür %		≤ 0,1	ETY 334	TS EN 480-10	0,017
Alkali içeriği(% Na2O-eşdeğeri)		≤ 10	ETY 335	TS EN 480-12	1,30


AMBALAJ ŞEKLİ : Bidon,Dokme, IBC veya varil.
DEPOLAMA : Minimum +5 °C maksimum +35 °C olmalıdır.
(Depolama için optimum sıcaklık +25 °C'dir).
SON KULLANIM : Orjinal açılmamış ambalajında 1 yıldır.

ONAY
İmzalıdır

Şekil B.1. Plastol 502-B akışkanlaştırıcı kimyasal katkısına ait analiz sertifikası

EK-C

Priz hızlandırıcı kimyasal katkı analiz raporu (Egcrete yapı kimyasalları, 2020)

 EUCLID CHEMICAL	EGECRETE YAPI KİMYASALLARI A.Ş. A licensee of EUCLID CHEMICAL Merkez: Ayazma Caddesi, No-37 Papyrus Plaza, Kat-10, D-5,10-15 KAGITHANE, 34410, İSTANBUL / TÜRKİYE Tel. : + (90) 212.294 65 70(pbx) Fax : + (90) 212.294 52 98 Fabrika :Aşağı Kırızca Mah. Okul Sok. No:17, Arifiye, 54070, SAKARYA / TÜRKİYE Tel. : + (90) 264.229 32 00 (pbx) Fax : +(90) 264.229 38 54			
	CE 1783 Alkali İçermeyen, Yüksek Performanslı,Püskürtme Betonlar İçin Sıvı Priz Hızlandırıcı TS EN 934-5, Ç.2 ONAYLANMIŞ KURULUŞ:TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ FABRİKA ÜRETİM KONTROL SERTİFİKA NO:1783-CPR-641 ONAY YILI:2018			
ANALİZ SERTİFİKASI				
ÜRÜN ADI : EUCON SURESHOT AF 30 ÜRETİM TARİHİ : 07.12.2020 LOT NUMARASI : 20501370-01 MİKTAR : 25.180 KG SEVK TARİHİ : 09.12.2020 FİRMA ADI : SONER TEMEL MÜHENDİSLİK İNŞAAT VE TİC. A.Ş.				
ÖZELLİKLERİ : Alkali Olmayan Püskürtme Betonlar İçin Priz Hızlandırıcı				
FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLER	LİMITLER	ANALİZ METODU	REFERANS	SONUÇLAR
Görünüm	Süspansiyon formunda homojen bej sıvı	ETY 030		✓
pH Direkt	2-3	ETY026/10	TS ISO 4316	2,56
Katı Madde (% , 105°C)	53,85-58,85	ETY007/14	TS EN 480-8	58,26
Yoğunluk (g/cm3,25°C)	1,445-1,505	ETY003/4	ASTM D 4052	1,495
Suda Çözünebilen Klorür %	≤0.1	ETY 334	TS EN 480-10	0,0330
Alkali içeriği(% Na2O-eşdeğeri)	≤1	ETY 335	TS EN 480-12	0,926
*Bu doküman elektronik ortamda print edilmiştir.				
AMBALAJ ŞEKLİ :Dökme, IBC veya varil.				ONAY İmzalıdır
DEPOLAMA : Minimum +5 °C maksimum +35 °C olmalıdır. (Depolama için optimum sıcaklık +25 °C'dir).				
SON KULLANIM : Orijinal açılmamış ambalajında 1 yıldır.				
Form No: QCPRC.001 Yayın T.: 06.04.1999 Rev. T.: Rev. No: 000				

Şekil C.1. Eucon Sureshot AF 30 priz hızlandırıcı kimyasal katkısına ait analiz sertifikası

EK-D

Kireçtaşı analiz/test raporu (MTA, 2019)

MÜŞTERİ BİLGİLERİ CUSTOMER INFORMATION		NUMUNE KABUL BİLGİLERİ SAMPLE ACCEPTANCE INFORMATION	
Müşteri Adı Customer Name	: Demirtaş Agregta Madencilik San. Ve Tic. A.Ş.	Numune Kayıt No Receipt Number of Sample	: 19-H-003227
Müşteri Adresi Customer Address	: Eski Osmaneli Yolu Üzeri Cambazkaya Mevkii Düzmeşe Köyü Osmaneli / BİLEÇİK	Numune Kayıt Tarihi Receipt Date of Sample	: 14/05/2019
Başvuru Yapan Kişi Submitted By	: Göksel Sezgin Yıldız	Numunenin Tanımı Sample Type	: Doğal Taş
Başvuru Tarihi Date of Application	: 14/05/2019	Numune Sayısı Number of Samples	: 1
Numune Alma Tarihi Date of Sampling	: -	Numunenin Mühür Durumu Status of Seal	: <input type="checkbox"/> Mühürlü Sealed <input checked="" type="checkbox"/> Mühürsüz Unsealed
Proje Kodu Project Code	: 2019-20	Mühür Numarası Seal Number	: -
		İstenen Analiz/Test Kodları Requested Analysis/Test Codes	: 35-30-MP-09, 35-30-MP-19
LABORATUVAR BİLGİLERİ LABORATORY INFORMATION		AÇIKLAMALAR REMARKS	
Analiz Test Tarihi Date of Analysis/Test	: 30/05/2019		
Şahit Numune Witness Sample	: <input checked="" type="checkbox"/> Alındı Could be taken <input type="checkbox"/> Alınamadı Could not be taken		
Şahit Numune Saklama Süresi Storage Period of Witness Sample	: -		
Rapor Sayfa Sayısı Number of Pages of Report	: 3		

Onaylayan
Approved By

İmzalıdır

Mühür / Tarih
Seal / Date

31 Mayıs 2019

1 / 3

KY.FR.7.8/R Rev No/Tarih 09/01.11.2018

13000
13000
13000

Şekil D.1. Kireçtaşı ait agreganın mineralojik-petrografik analiz raporu



T.C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı

Univrsiteler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı No: 139 06800 Çankaya/ANKARA
Tel: 0312 201 10 00 pbx Fa-s: 0312 287 54 09
http://www.mta.gov.tr numune@mta.gov.tr

MTA
MAT-19005228
30/05/2019

ANALİZ/TEST RAPORU
ANALYSIS/TEST REPORT

ANALİZ/TEST SONUÇLARI
ANALYSIS/TEST RESULTS

Numune Kayıt No : 19-H-003227
Numune İşareti : Demirtaş Agrega Mad./Mekece

Analiz / Test Adı : Modal (Kantitatif) Mineralojik Petrografik Analiz
Analiz / Test Metodu :

MAKROSKOBİK TANIMLAMA:

Renk: Sarımsı Gri (Yellowish Gray, 5Y 8/1) Geological Rock-Color Chart (2009)

Doku: Kırıntılı

Tane büyüklüğü: İnce-orta taneli

MİKROSKOBİK TANIMLAMA:

Doku: Kırıntılı

Bileşenler: Fosil kavkılar, Ooidler, Pelletler, Karbonat mineralleri (kalsit), İntraklast- Ekstraklast parçalar, Kuvars mineralleri, opak mineraller ve çimento

Fosil Kavkılar: Küçük-orta taneli ve homojen dağılımlı,

Ooidler: Küçük taneli, yuvarlak şekilli taneler halinde

Pelletler: Küçük taneli, yuvarlak şekilli taneler halinde

Karbonat mineralleri (kalsit): Küçük-orta taneli, özşekilsiz kristaller halinde,

İntraklast-Ekstraklast parçalar: Yarı yuvarlak-yarı köşeli, orta kum- kaba kum boyutunda taneler halinde,

Kuvars mineralleri: Oldukça küçük-küçük taneli, özşekilsiz kristaller halinde,

Opak mineraller: Oldukça küçük-küçük taneli, özşekilsiz kristaller halinde,

Çimento: Sparitik karbonat minerallerine yer yer mikritik çimento da eşlik etmektedir.

Süreksizlikler:

Damarlar:

Genişlik: 0,8-0,4 mm

Dolgular: mikro-mezokristalin karbonat dolgulu

Açıklamalar: Kayaç bol miktarda fosil kavkısı (foraminifer, bivalve ostracod vb.) içermekte olup, genellikle sparitik yer yer mikritik çimentoludur. Bileşenler çoğunlukla sparitik yer yer mikritik çimento ile bağlanmıştır.

Kayaç Adı: KİREÇTAŞI

Örnek yapılan kimyasal analiz sonucuna göre, modal mineralojik analiz sonucu hesaplanmış ve yaklaşık olarak:

Safiye Nihal ÇINAR
DURGUT
Jeoloji Yüksek Müh.

İmzalıdır

İmzalıdır

Supervisor of Laboratory

31 Mayıs 2019

- Analiz/test sonuçları ve metotları takip eden sayfalarda verimştir.
The analysis/test results and methods are given on the following pages.

- Sonuçlar, müşteri tarafından teslim edilen / gönderilen numuneye aittir.
The results are valid only for the sample delivered / sent by the customer.

- Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz / yayınlanamaz.
This report shall not be reproduced / published even partially.

- İmzasız ve mühürlü rapor geçersizdir.
Report without signature and seal is not valid.



Şekil D.2. Kireçtaşı ait agreganın mineralojik-petrografik analiz raporu (devamı)



T.C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı
Universiteler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı No: 139 06800 Çankaya/ANKARA
Tel: 0312 201 10 00 pbx Faks: 0312 267 54 09
http://www.mta.gov.tr numune@mta.gov.tr

MTA
MAT-19005228
30/05/2019

ANALİZ/TEST RAPORU ANALYSIS/TEST REPORT

ANALİZ/TEST SONUÇLARI ANALYSIS/TEST RESULTS

Analiz / Test Adı : Modal (Kantitatif) Mineralojik Petrografik Analiz
Analiz / Test Metodu :
Kalsit %97,6
Dolomit %2,30 bulunmuştur.

Analiz / Test Adı : Standart Kalitatif Mineral Analizi
Analiz / Test Metodu :

Mineral Adı: Kalsit,
Kuvars(az)
Kaolinil(az)

Safiye Nihal ÇINAR
DURGUT
Jeoloji Yüksek Müh.

İmzalıdır

İmzalıdır

Şube Yöneticisi
Supervisor of Laboratories

İmza / Tarih
Seal / Date

31 Mayıs 2019

- Analiz/test sonuçları ve metodları takip eden sayfalarda verilmiştir.
The analysis/test results and methods are given on the following pages.

- Sonuçlar, müşteri tarafından teslim edilen / gönderilen numuneye aittir.
The results are valid only for the sample delivered / sent by the customer.

- Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz / yayımlanamaz.
This report shall not be reproduced / published even partially.



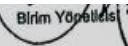
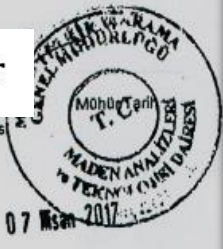
- İmzasız ve mühürsüz rapor geçersizdir.
Report without signature and seal is not valid.



Şekil D.3. Kireçtaşı ait agreganın mineralojik-petrografik analiz raporu (devamı)

EK-E

Dere agregası analiz/test raporu (MTA, 2017)

	T.C. ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ Maden Analizleri ve Teknolojisi Dalresi Başkanlığı	Müşteri	: Sezerler Haf. Nak. Taah. Ve Tic. Ltd. Şti. Merkez Adliye Köyü Kale Civarı Mevki N:254 Arifiye / SAKARYA
		Rapor Tarihi	: 06/04/2017
Üniversiteler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı No: 139 06800 Çankaya/ANKARA Tel: 0312 201 10 00 pbx Faks: 0312 287 84 09 http://www.mta.gov.tr numune@mta.gov.tr		Sayfa:	: 2 / 2
ANALİZ/TEST RAPORU		Rapor No	: MAT-17001263
ANALİZ/TEST SONUÇLARI			
Numune Kayıt No : 17-H-001341			
Numune İşareti : SEZERLER HAFRİYAT			
Analiz / Test Adı: Kalitatif Mineralojik-Petrografik Analiz			
MAKROSKOPİK TANIMLAMA:			
Renk: Koyu Sarımsı Yeşil (10GY 4/4) GeologicalRock-Color Chart (2009)			
Doku: Masif			
Tane büyüklüğü: Orta-Küçük taneli			
MİKROSKOPİK TANIMLAMA:			
Doku : Yönlü Doku			
Bileşenler (Ana ve Tall Bileşenler) : Amfibol grubu mineraller, Feldispat grubu mineraller, Kuvars mineralleri, Opak mineraller			
Amfibol Grubu Mineralleri : Orta-Küçük taneli, hıplıdıyomorf – İdiyomorf levhamsı – altıgen şekilli kristaller halinde,			
Feldispat Mineralleri (Plajiyoklaz / Albit) : Küçük taneli, hıplıdıyomorf – allotriyomorf levhamsı şekilli kristaller halinde,			
Kuvars Mineralleri : Küçük taneli, allotriyomorf kristaller halinde,			
Tall bileşenler:			
Opak mineraller : Küçük taneli, allotriyomorf kristaller halinde,			
Dağılım: Homojen			
KAYACIN ADI : AMFİBOLİT ÇAKILI			
İmzalıdır		İmzalıdır	
			
Jeolojik Yürütme Birim Analiz/ Test Sorumlusu			
Rapor tamamı veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz. İmzasız ve mühürlü rapor geçersizdir. Sonuçlar sadece analiz testi yapılan numuneye aittir.			
KY.FR.5.10.2/1 Rev.No/Tarih: 05/13.05.2013			

Şekil E.1. Dere agregasına ait agreganın mineralojik-petrografik analiz raporu



T.C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı

Müşteri : Sezerler Haf. Nak. Taah. Ve Tic. Ltd. Şti.
Merkez Adliye Köyü Kale Cıvırı Mevki N:254
Arifiye / SAKARYA

Üniversiteler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı
No: 139 06800 Çankaya/ANKARA
Tel: 0312 201 10 00 pbx Faks: 0312 287 54 09
http://www.mta.gov.tr numune@mta.gov.tr

Başvuran Kişi : Serhal Çiftçi
Başvuru Tarihi : 16/03/2017
Rapor Tarihi : 06/04/2017
Sayfa : 1 / 2
Sayı : 91817988.302.03/

ANALİZ/TEST RAPORU

Rapor No : MAT-17001263

NUMUNE KABUL BİLGİLERİ

Numune Kayıt No : 17-H-001341
Numune Kayıt Tarihi : 16/03/2017
Numunenin Tanımı : Kayaç
Numune Sayısı : 1
Numunenin Mühür Durumu : Mühürlü Mühürsüz

LABORATUAR BİLGİLERİ

Analiz Test Tarihi : 04/04/2017 - 06/04/2017
Şahit Numune : Alındı Alınmadı
Şahit Numune Saklama Süresi :
Proje Kodu : 2017-20

NUMUNE HAZIRLAMA VE ANALİZ/TEST METOTLARI

Analiz/Test Kodu	Kod Açıklaması	Numune Sayısı
35-30-MP-08	Kayaç örneklerinin mineralojik bileşimleri, dokusal ve varsa alterasyon özellikleri belirlenir, uygun sınıflama sistemlerine göre adlandırılır.	1

AÇIKLAMALAR

Analiz/Test sonuçları bu raporun tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.

Onaylayan

İmzalıdır

Koordinatörü



Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayımlanamaz. İmzasız ve mühürsüz rapor geçersizdir.
Sonuçlar sadece analiz/testi yapılan numuneye aittir.

KY.FR.5.10.2/1 Rev.No/Tarih: 05/13.05.2013

Şekil E.2. Dere agregasına ait agreganın mineralojik-petrografik analiz raporu (devamı)

EK-F

Dolomit agregası analiz/test raporu (MTA, 2019)

MÜŞTERİ BİLGİLERİ CUSTOMER INFORMATION	NUMUNE KABUL BİLGİLERİ SAMPLE ACCEPTANCE INFORMATION
Müşteri Adı Customer Name : Türkiye Hazır Beton Birliği Deney Laboratuvarı	Numune Kayıt No Receipt Number of Sample : 19-H-004577
Müşteri Adresi Customer Address : Yıldız Teknik Üni. Davutpaşa Kampüsü Teknoloji Geliştirme Bölgesi (teknopark) B2 Blok No:101 Esenler / İSTANBUL	Numune Kayıt Tarihi Receipt Date of Sample : 11/07/2019
Başvuru Yapan Kişi Submitted By : Mehmet Karababa	Numunenin Tanımı Sample Type : Kayaç
Başvuru Tarihi Date of Application : 11/07/2019	Numune Sayısı Number of Samples : 1
Numune Alma Tarihi Date of Sampling : -	Numunenin Mühür Durumu Status of Seal : <input type="checkbox"/> Mühürlü Sealed <input checked="" type="checkbox"/> Mühürsüz Unsealed
Proje Kodu Project Code : 2019-20	Mühür Numarası Seal Number : -
	İstenen Analiz/Test Kodları Requested Analysis/Test Codes : 35-30-MP-06, 35-30-MP-19
LABORATUVAR BİLGİLERİ LABORATORY INFORMATION	AÇIKLAMALAR REMARKS
Analiz Test Tarihi Date of Analysis/Test : 22/07/2019 - 23/07/2019	
Şahit Numune Witness Sample : <input checked="" type="checkbox"/> Alındı Could be taken <input type="checkbox"/> Alınamadı Could not be taken	
Şahit Numune Saklama Süresi Storage Period of Witness Sample :	
Rapor Sayfa Sayısı Number of Pages of Report : 3	

Onaylayan
İmzalıdır

Mühür / Tarih
Seal / Date

- Analiz/test sonuçları ve metodları takip eden sayfalarda verilmiştir.
The analysis/test results and methods are given on the following pages.

- Sonuçlar, müşteri tarafından teslim edilen / gönderilen numuneye aittir.
The results are valid only for the sample delivered / sent by the customer.

- Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz / yayınlanamaz.
This report shall not be reproduced / published even partially.

- İmzasız ve mühürsüz rapor geçersizdir.
Report without signature and seal is not valid.

KY.FR.7.8/R Rev.No/Tarih:09/01.11.2018 1 / 3

Şekil F.1. Dolomit agregasına ait agreganın mineralojik-petrografik analiz raporu



T.C.
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı
Universiteler Mahallesi Dumlupınar Bulvarı No: 139 06800 Çankaya/ANKARA
Tel: 0312 201 10 00 pbx Faks: 0312 287 54 09
http://www.mta.gov.tr numune@mta.gov.tr

MTA
MAT-19007254
23/07/2019

ANALİZ/TEST RAPORU ANALYSIS/TEST REPORT

ANALİZ/TEST SONUÇLARI ANALYSIS/TEST RESULTS

Numune Kayıt No : 19-H-004577
Numune İşareti : DALBAY TAŞ İMALATI LTD.ŞTİ.(650K-19)

Analiz / Test Adı : Kalitatif Mineralojik Petrografik Analiz
Analiz / Test Metodu :

MAKROSKOBİK TANIMLAMA:

Renk: Orta Gri (Medium Gray N5, Geological Rock-Color Chart, 2009),
Doku: Masif,
Tane büyüklüğü: İnce taneli,

MİKROSKOBİK TANIMLAMA:

Doku: Öz şekilli-yarı öz şekilli-öz şekilsiz mozayik doku,
Bileşenler: Karbonat grubu mineraller,
Karbonat grubu mineraller (Dolomit, Kalsit): Küçük-orta taneli, öz şekilli-yarı öz şekilli-öz şekilsiz, homojen dağılımlı,

Süreksizlikler: Az sayıda, kısa-devamsız ve ince (maksimum 0,4 mm genişliğe varan), karbonat dolgulu süreksizlik gözlenmekte,

Açıklamalar: Kayaç, sıkı istiflenmiş, küçük taneler çoğunlukla eğri, girintili-çukuntulu sınırlara sahip, genellikle öz şekilsiz, orta tane boyutunda olan kristaller ise genellikle öz şekilli-yarı öz şekilli ve daha düzgün-poligonal sınırlara sahip dolomit minerallerinden oluşmaktadır.

Kayacın Adı: DOLOMİT

Dr. Gonca GÜRLER

İmzalıdır

İmzalıdır

Mür / Tarih
Seal / Date

Supervisor of Laboratory

- Analiz/test sonuçları ve metotları takip eden sayfalarda verilmiştir.
The analysis/test results and methods are given on the following pages.

- Sonuçlar, müşteri tarafından teslim edilen / gönderilen numuneye aittir.
The results are valid only for the sample delivered / sent by the customer.

- Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz / yayınlanamaz.
This report shall not be reproduced / published even partially.

- İmzasız ve mühürsüz rapor geçersizdir.
Report without signature and seal is not valid.



Şekil F.2. Dolomit agregasına ait agreganın mineralojik-petrografik analiz raporu (devamı)



ANALİZ/TEST RAPORU ANALYSIS/TEST REPORT

ANALİZ/TEST SONUÇLARI ANALYSIS/TEST RESULTS

Analiz / Test Adı : Standart Kalitatif Mineral Analiz
Analiz / Test Metodu :

Mineral Adı: Dolomit
Kalsit(az)



Dr. Gonca GÜRLER
İmzalıdır

İmzalıdır



- Analiz/tesst sonuçları ve metotları takip eden sayfalarda verilmektedir.
The analysis/test results and methods are given on the following pages.

- Sonuçlar, müşteri tarafından teslim edilen / gönderilen numuneye aittir.
The results are valid only for the sample delivered / sent by the customer.

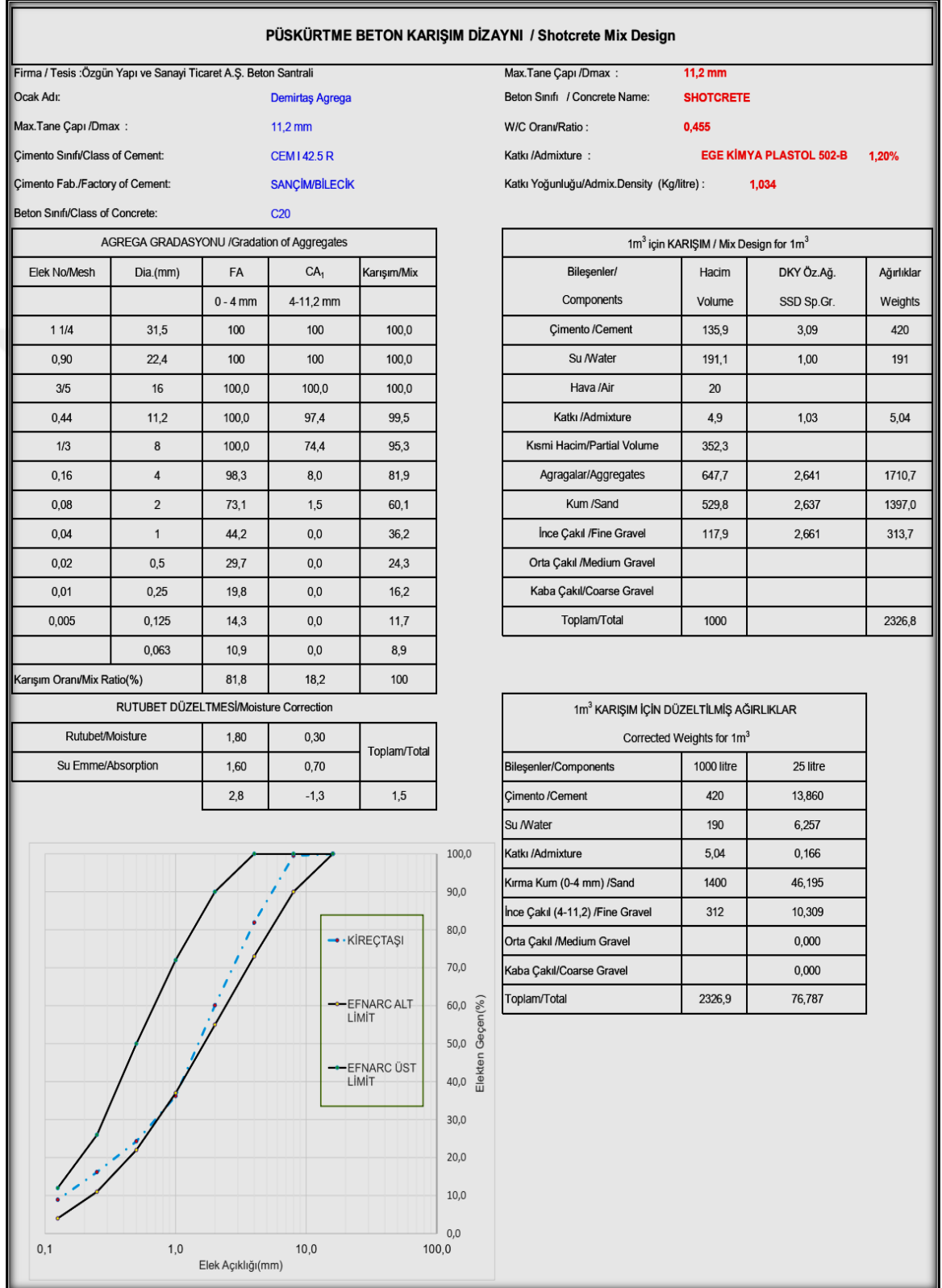
- Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz / yayımlanamaz.
This report shall not be reproduced / published even partly.

- İmzasız ve mühürlü rapor geçersizdir.
Report without signature and seal is not valid.

Şekil F.3. Dolomit agregasına ait agreganın mineralojik-petrografik analiz raporu (devamı)

EK-G

Püskürtme beton karışım tasarımı



Şekil G.1.1 m³ püskürtme beton tasarıma ait detaylar

EK-H

Kurum izin belgesi

Özgün
YAPI SANAYİ ve TİCARET A.Ş.

İLGİLİ MAKAMA

İlgi: 02.01.2021 tarihli Ercan Güngören'in dilekçesi.

Özgün Yapı Sanayi ve Ticaret A.Ş. firması bünyesinde "**Sapanca - Geyve Yüksek Hızlı Tren Hattı Altyapı, Üstyapı ve Elektromekanik İşleri ile Tünel 26 YHT Hat Kesimi Üstyapı ve Elektromekanik İşleri Yapımı İşİ**" kapsamında, Geyve-Sapanca arası tünel çalışmaları devam etmektedir. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrencisi olan Ercan Güngören' in tez çalışmasını yapması ve sonuçları paylaşmasında kurumumuz tarafından herhangi bir sakıncası yoktur.

İmzalıdır

ÖZGÜN YAPI SANAYİ TİCARET A.Ş.
Işık Sokak No 20 Tandoğan-ANKARA
Tel:0312 229 08 08 Faks: 0312 229 00 10
Maltepe V. D. 682 004 9221

Merkez: Işık Sokak No:20 Tandoğan – Çankaya / ANKARA Tel: (0 312) 229 08 08

Şantiye: Adliye Mahallesi 1503 sokak No:8 Arifiye / SAKARYA Tel: 0264 319 25 20

Şekil H.1. Tez çalışması izin belgesi

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Güngören E., Coruk Ö., Tünellerde Kullanılan Püskürtme Beton Kalitesini Etkileyen Agregaların Özellikleri, *III. Uluslararası Mühendislik Fen Bilimleri ve Mimarlık Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 16 Nisan 2017.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 2010 yılında girdiği Adana Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. Ekim 2015 tarihinde Özgün Yapı Tic. A.Ş. bünyesinde Jeoloji Mühendisi unvanı ile çalışmaya başladı. Halen, Ankara-İstanbul Yüksek Hızlı Tren Projesi kapsamında bulunan Geyve-Sapanca etabında çalışmaya devam etmektedir.

