

**AVRASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MİNERAL KATKILARIN ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONUNA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Safa PEHLİVAN

**EYLÜL 2019
TRABZON**

**AVRASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MİNERAL KATKILARIN ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONUNA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

İnş. Müh. Safa PEHLİVAN

**Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Yüksek İnşaat Mühendisi"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.09.2019
Tezin Savunma Tarihi : 08.10.2019**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Basri ERTAŞ

Trabzon 2019

Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Safa PEHLİVAN tarafından hazırlanan

**MİNERAL KATKILARIN ALKALİ-SİLİKA REAKSİYONUNA ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 27 / 09/ 2019 gün ve 15 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Basri ERTAŞ

Üye : Prof. Dr. Ümit UZMAN

Üye : Prof. Dr. Celalettin KARALI

Prof. Dr. Ragıp ERDÖL
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Avrasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmada mineral katkıların alkali silika reaksiyonu üzerine etkisi incelenmiştir.

Sayın Prof. Dr. Basri ERTAŞ tez çalışmasının gerçekleştirilmesi için yapmış olduğu yardımlardan ötürü teşekkür ederim.

Eğitime değer veren ve bu noktada bana büyük destek veren değerli ve sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Safa PEHLİVAN
Trabzon 2019

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan “Mineral Katkıların Alkali Silika Reaksiyonuna Etkilerinin Araştırılması” konulu bu çalışmayı danışman hocam Prof. Dr. Basri ERTAŞ’IN sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 08/10/2019

Safa PEHLİVAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNEMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	X
KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Amaç ve Kapsam.....	2
1.3. Literatür Taraması.....	2
1.4. Doğal Puzolanlar.....	5
1.4.1. Volkanik Tüfler ve Tras.....	6
1.4.2. Volkanik Camlar.....	6
1.4.3. Killer ve Şeyller.....	6
1.4.4. Diatomit Topraklar.....	7
1.5. Yapay Puzolanlar.....	8
1.5.1. Zeolit.....	8
1.5.2. Silis Dumanı.....	9
1.6. Puzolanik Maddelerin Beton Üzerine Etkisi.....	10
1.7. Alkali Silika Reaksiyonu (ASR).....	12
1.7.1. Alkali-Silika Reaksiyonuna Etkileyen Faktörler.....	13
1.7.2. Agreganın Reaktifliği.....	13
1.7.3. Betonun ve Çimentonun Alkali İçeriği.....	14
1.7.4. Sıcaklık ve Rutubet Etkisi.....	15
1.8. Alkali-Silika Reaksiyonunu Etkileyen Diğer Etmenler.....	16
1.9. Alkali-Silika Reaksiyonun Belirlemesi Amacı ile Kullanılmakta Olan Deneysel Metodlar.....	16
1.9.1. Kimyasal Metod ASTM C 289.....	16

1.9.2. Hızlandırılmış Harç Çubuk Deneyi-ASTM C 1260.....	17
1.9.3. Harç Çubuk Metodu-ASTMC 227	18
1.9.4. Beton Prizma Deneyi-ASTM C 1293	19
2. DENEYSEL ÇALIŞMA	20
2.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler	20
2.1.1. Çimentonun Özellikleri.....	20
2.2. Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR) Oluşumunda Harç Çubuklarının Hazırlanma Aşamasında Kullanılmakta Olan Cihazlar	21
2.3. Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR) İçin Uygulanan Deney.....	22
2.3.1. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyi- ASTM C 1260.....	23
2.3.2. Harç Çubuğu Numunelerinin Üretimi.....	23
2.3.3. Alkali-Silika Reaksiyonunda Kullanılan Tankın Hazırlanması	24
3. BULGULAR	25
3.1. Hızlandırılmış Harç Çubuk Deneyi (ASTM C 1260) Sonuçları.....	25
4. İRDELEME.....	27
5. SONUÇLAR	29
6. ÖNERİLER	30
7. KAYNAKLAR	31
8. EKLER.....	34
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

MİNERAL KATKILARIN ALKALİ SİLİKA REAKSİYONUNA ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

Safa PEHLİVAN

Avrasya Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Basri ERTAŞ
2019, 34 Sayfa, 1 Safya Ek

Bu çalışmada alkali silika reaksiyonundan doğan rötre çatlaklarını en aza indirgeyebilmek için dışarıdan ilave edilen mineral katkıların etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneyler ile hızlandırılmış harç çubuk yöntemine (ASTM C 1260) göre alkali silika reaksiyonu itibariyle rötre çatlaklarını artıran yani reaksiyona zararlı etkisi olan taşocağı agregası ile hem zararlı hemde zararsız durum olarak etki gösteren yani potansiyel zararlı olarak değerlendirilen dere agregasının üzerindeki etkiler araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan her agregaya için çimento ile farklı oranlarda ilave etmek suretiyle zeolit ve silis dumanı kullanılmıştır. Taşocağından alınmış agregaya ile gerçekleştirilen deneylerde zeolit %20, %30 ve %50 oranlarında ve silis dumanı %5, %7.5 ve %10 oranlarında eklenmiştir. Yapılan deneylerde karşılaştırma yapılabilmesi için içerisinde mineral katkıları eklenmeyerek saf halde deneylerde yapılmıştır. Deneysel çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi iki farklı yöreden temin iki agregaya kullanılmıştır. Agregaların biri Maçka deresinden agregaya olup diğeri Yomra'nın Kömürcüler mevkiinde taş ocağından temin edilmiştir Yapılan deneyde Trabzon' da bulunan Aşkale Çimento Fabrikasından alınan CEMI-42.5 R tip çimento kullanılmıştır. Yapılan deneyler ile 2 farklı mineral katkıları olan zeolit ve silis dumanının alkali silika reaksiyona ilave edilmesi ile reaksiyonda oluşan rötre çatlaklarının azaldığı yönündeki olumlu etkileri açıkça görülmektedir. Sonuç olarak gerçekleştirilen tüm deneyler Karadeniz Teknik Üniversitesinin Laboratuvarında yapılmış olup, zeolit ve silis dumanı laboratuvarından oranları arttıkça alkali-silika reaksiyonunun rötre çatlaklarının azaldığı gözle görülmektedir buda reaksiyonun olumlu yönde etkilendiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Alkali Silika Reaksiyonu (ASR), Agregaya, Mineral Katkıları, Hızlandırılmış Harç Çubuk Deneyi (ASTM C1260)

Master Thesis

SUMMARY

MINERAL ADDITIVES TO ALKALI SILICA REACTION INVESTIGATION OF
EFFECTS

Safa PEHLİVAN

Avrasya University
Institute of Science
Department of Civil Engineering
Supervisor: Prof. Basri ERTAŞ
2019, 34 Pages Appendix 1

In this study, the effects of added mineral additives were investigated in order to minimize shrinkage cracks caused by alkali silica reaction. According to the accelerated mortar rod method (ASTM C 1260), the effects of the quarry aggregate which increases the shrinkage cracks due to the reaction of alkali silica, and the river aggregate which is considered as a harmful and harmless condition, that is considered as potentially harmful, are investigated. For each aggregate used in the experiments, zeolite and silica fume were used by adding different proportions with cement. In the experiments with the aggregate taken from the quarry, zeolite has a ratio of %20, %30 and %50 and silica fume %5, %7,5 and %10 in order to make comparison in the experiments, mineral additives were not added and the experiments were carried out in pure form. In the experimental study, two aggregates obtained from two different regions of Eastern Black Sea Region were used. One of the aggregates was aggregate from Maçka Creek and the other was obtained from quarry in Kömürcüler locality of Yomra. CEMI-42.5 R type cement obtained from Aşkale Cement Factory in Trabzon was used in the experiment. The positive effects of zeolite and silica fume, which are two different mineral additives, to the reduction of shrinkage cracks in the reaction with the addition of alkali silica reaction can be seen clearly. As a result, all experiments were carried out in the laboratory of Karadeniz Technical University. As the ratio of zeolite and silica fume from the laboratory increased, shrinkage cracks of the alkali-silica reaction decreased and this is an indication that the reaction was positively affected.

Key Words: Alkali Silica Reaction (ASR), Aggregate, Mineral Additives, Accelerated Mortar Rod Test (ASTM C1260)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Çözelti oluşumunda kullanılmış olan sodyum hidroksit	20
Şekil 2. Deneyde kullanılan harç çubuk kalıpları	21
Şekil 3. Deneyde kullanılan boy ölçme cihazı	22
Şekil 4. Deneyde kullanılan alkali-silika tankı	22
Şekil 5. Yomra'daki taşocağı agregasını katkısız ve silis dumanı ilave edilmiş harç çubuk örneklerinin 14 günlük genleşme-katkı oranı ilişkisi	26
Şekil 6. Yomra'daki taşocağı agregalı katkısız ve zeolit ilave edilmiş harç çubuk Örneklerinin 14 günlük genleşme-katkı oranı ilişkisi	26
Şekil 7. Yomra'daki taşocağı agregasına ilişkin genleşme-zaman oranı	28
Şekil 8. Maçka'daki dere agregasına ilişkin genleşme-zaman oranı	28

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Doğal puzolanların betonlar için katkı maddesi olarak kullanılabilmesi adına standart yüzde değerleri	7
Tablo 2. Doğal puzolanların beton katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için gerekmekte olan fiziksel yüzde değerleri	7
Tablo 3. Silis dumanının özellikleri.....	9
Tablo 4. Çimentonun kimyasal, mekanik ve fiziksel özellikleri	21
Tablo 5. Hızlandırılmış harç çubuk deneyi için gronülometrik birleşim.....	23
Tablo 6. ASR ye ilave edilen katkı maddelerinin yüzde-ağırlık oranları	25
Tablo 7. Yomra'daki taşocağı agregasına ait olan deneyin verileri	27
Tablo 8. Maçka'daki dere agregasına ait olan deneyin verileri	27

KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ

AAR	: Alkali-Agrega Reaksiyonu
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACR	: Alkali-Karbonat Reaksiyonu
ASR	: Alkali-Silika Reaksiyonu
ASTM	: Amerikan Standart
C-S-H	: Kalsiyum Silikat Hidrat
GEO	: Gecikmiş Etrenjit Oluşumu
PÇ	: Portland Çimentosu
Rc	: Alkali Azalması
S/Ç	: Su/Çimento
Sc	: Çözünmüş Silis
(Na ₂ O) _e	: Sodyum Oksit Eeşdeğeri

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Beton; çimento, agrega ve su karışımından oluşan bir yapı malzemesi olup inşaat sektöründe geniş kullanım alanına sahiptir. Beton, geçirimsizliği yanı sıra ekonomik ve az enerji ile üretilebilen dayanıklı, yangına karşı direnci bir malzeme olması tercih nedenleri arasındadır. Ayrıca betonun yapısı gereği hizmet verdiği ortamlarda değişik riskler altında kalmaktadır. Uğradığı risklerden bir tanesi betonun kimyasal bozulmasının sonuçlarından biri olan alkali-silika reaksiyonudur.

1920-1930'lu yıllarda ABD, Kaliforniya'daki beton yapılarda oluşan nedeni bilinmeyen çatlaklar raporlanmıştır. Betonu meydana getiren malzemeler standartlara uygun olmasına rağmen yapılış yılından bir kaç yıl sonra yapı elemanlarında çatlaklar oluşmuştur. Genelde harita çatlağı şeklinde meydana gelen sorun bazen de çatlaklardan jel çıkışı, betonun parça atması gibi de meydana gelmiştir [1].

1940 yılında Stanson, çatlamanın kimyasal bir reaksiyon sonucunda meydana geldiğini raporlamıştır. 1941 yılında Meissner ve Blanks, Parker barajının betonunda oluşan bozulma ve çatlaklarda inceleme yapmıştır. İncelemeler sonucunda betonda alkali-silika reaksiyonu ürünü bulunduğu ve reaktif bileşenlerin toplam agreganın %2'sini meydana getiren riyolit parçaları ve altere andezit parçaları olduğu belirtilmiştir [1].

Alkali-agrega reaksiyonu, betonda bulunan agreganın çeşitli bileşenlerinin çimentodaki alkalilerle olan reaksiyonu olarak adlandırılabilir. Bu reaksiyon sonunda meydana gelen ürünler su emip genişmekte ve betondaki mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir [2].

Alkali-agrega reaksiyonu üç çeşit formasyon ile oluşmuş olduğu bilinmektedir. Bunlardan biri Alkali-silika reaksiyonu (ASR) diğerleri ise alkali-silikat reaksiyonu ve alkali-karbonat reaksiyonu (ACR) dur.

ASR sonucunda meydana gelmiş olan jelin su emme özelliği nedeni ile şişerek genişlemektedir. Bu sebeple beton bünyesinde 0.1-11 MPa arasında çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Betonun içerisinde oluşan hacimsel büyüme çekme gerilmelerinin meydana gelmesine sebep olur ve betonda çatlamlar meydana getirir.

1.2. Amaç ve Kapsam

Beton ve betonarme elemanların zaman içerisinde bozulmalarına çeşitli iç ve dış etkenler sebep olur. Bozulmalara fiziksel, kimyasal, biyolojik veya mekanik etkiler neden olabilir. Dış etkenler arasında; aşınma, karbonatlaşma, sülfat etkisi, ve bazı tuz ve asit etkileri olabilir. Beton ve betonarme elemanlarında meydana gelmiş olan hasarın miktarı, dış etkilerin büyüklüğü ve betonun kalitesine göre değişir. İç etkiler arasında alkali-silika reaksiyonu, gecikmiş etrenjit oluşumu, agrega ve çimento harcının ısı özellikleri arasındaki farklılıklar vb. etkiler sayılabilir.

1.3. Literatür Taraması

Bu kısımda alkali silika reaksiyonu hakkında yapılmış olan deneysel çalışmalar açıklanmaktadır.

Uygunoğlu Tayfun yapmış olduğu deneylerde çeşitli agregaları kullanmıştır. Bu agregalar ile oluşturduğu harçlara silis dumanını katarak alkali silika reaksiyonu oluşumunu araştırmıştır. Oluşturduğu harçlarda beton atığı kum, doğal kum, mermer atığı kum ve kırma kum kullanmıştır. Meydana getirdiği harçlarda silis dumanı ile çimentoyu %0-%10-%20-%30-%40 oranlarında karıştırmıştır. Oluşturduğu harçları 14 günlük süre zarfında yüksek sıcaklık ve yüksek alkali ortama bırakarak hızlandırılmış harç çubuk deneyi (ASTM C 1260) standardına uygun şekilde deneyini ve araştırmasını yapmıştır. Yaptığı araştırmalarda ulaşılan sonuçlara göre en fazla genleşme oranı %0.18 oranıyla doğal kumda gerçekleşmiştir. Beton atığı kum ile üretilen harçlarda ise bu oran % 0.1'in üzerine çıkmıştır. Geriye kalan kırma kum ve mermer atığı kum ile meydana getirilen harçlar ise potansiyel olarak zararsız olduğu ortaya çıkmıştır. %10 ve %30 oranlarındaki silis dumanı alkali silika reaksiyonu etkisini önemli miktarda azaltmıştır [3].

Topçu vd. yaptığı deneysel çalışmada direk üretimi için kullanılmış olan agregalar ve çimentoların üzerinde oluşan çatlakların alkali silika reaksiyonundan kaynaklanıp kaynaklanmayacağı araştırılmıştır. Bu çalışmada iki farklı çimento örnekleri kullanılmış çimentodaki alkali içeriğinin genleşmeye olan etkisi ve mineral katkılarının genleşme reaksiyonunu zararlı sayılan değerlerin alt seviyesine indirip indiremeyeceği araştırılmıştır. Alkali silika reaksiyonu hızlandırılmış harç metodu deneylerinde kullanılmış olan miktardan daha fazla alkali içeren çözeltiler kullanıldığından dolayı çimento tipinin bir

öneminin olmadığıнын vurgusu yapılmıştır. Ancak yapılan bu deneylerde agrega değiştirilmeden alkali içeriği değişik çimento örnekleri kullanılmış olduğunda genleşme değerleri birbiri ile aynı çıkmamıştır. B çimentosunun genleşme seviyesi E çimentosuna oranla %112 fazla seviyede olmuştur. Deneylerdeki genleşmeleri daha az seviyeye düşürmek için Tunçbilek termik santraline ait F sınıfı uçucu kül kullanmanın daha faydalı olduğu kanaatine varılmıştır [4].

Yapılan bu deneyde Harşit Çayı Vadisi'nde bulunmakta olan 5 çeşit agrega ocaklarından örnek alınarak bu örneklerin ASR yönünden zararlı olup olmadıkları araştırılmıştır. Agregalar ASTM C 1260 hızlandırılmış harç yöntemi ve ASTM C 289 kimyasal yöntem ile incelenmede bulunulmuştur. ASTM C 1260 ile araştırılan harç numunelerin A1, A2, A3, A4, A5 genleşme oranları sırasıyla % 0.17-%0.27-%0.20-%0.23-%0.26'dır. Yapılan kimyasal metod araştırması neticesinde ise A2 numunesi zararlı olarak kabul gören C kısmında A4 ve A1 numuneleri potansiyel zararlı kabul edilen B kısmında ve A3 numunesi ise potansiyel zararlı kısma yakın zararsız kabul gören kısımda sonuç göstermiştir [5].

Yapılan bu deneyin sebebi Sakarya bölgesinde bulunan bazı agrega taş ocaklarından alınmış olan kırma kum ve kırma taş agregalarındaki alkali silika reaksiyonu yönünden reaktivitelerinin belirlenmesi amacı ile hızlandırılmış harç yöntemi (ASTM C 1260), uzun süreli yöntem (ASTM C 227), kimyasal yöntem (ASTM C 289), beton prizma (ASTM C 1293) çalışmaları yapılmıştır. Hızlandırılmış harç yöntemi, kimyasal analizi ve uzun süreli harç yöntemi, taşkısığı, gevye, pamukova, ferizli, akpınar taşocağı agrega ocakları alkali silika reaksiyonu bakımından zararlı değildir. Beton prizma araştırmasında taşkısığı, gevye, pamukova, ikizce genç osmanlı, akpınar taş ocağı gevye agrega ocaklarının alkali-silika reaktivitesin olduğu belirlenmiştir. ASTM C 289 kimyasal metodda ferizli, taşkısığı, öztaş pamukova, akpınar taş ocağı gevye, gevye, A3 bölgesindedir ve ARS reaktivitesi bakımından zararsız bölge içerisindedir. Uzun harç yöntemi deneyi (ASTM C 227) yapıldığında ferizli, taşkısığı, öztaş pamukova, akpınar taş ocağı gevye, gevye agrega ocaklarındaki genleşmelerin %0.1 altında görülmekle bu genleşme örnekleri zararsız olarak kabul edilmektedir. Hızlandırılmış harç yöntemi (ASTM C 1260) yapıldığında ferizli %0.045, akpınar taş ocağı gevye %0.028, öztaş pamukova %0.033, taşkısığı %0.036, gevye %0.049, pamukova %0.015 genleşme miktarlarını gösterirler. Yapılmış olan bu deneylerden bulunan değerlerin hepsi sınır değeri olarak kabul edilen %0.1 değerinin altında kaldığı için ASR açısından zararsız kabul edilen

bölgede bulunmaktadırlar. Beton prizma deneyinde (ASTM C 1293) taşkısığı %0.032, akpınar taş ocağı gevye %0.030, pamukova %0.032, öztaş pamukova %0.030, gevye %0.030, genişleme değerlerine sahip olurlar. Bu değerler %0'dır [6].

Yapılan bu araştırmada çimentonun yerine aynı miktarda uçucu kül ve silis dumanı kullanılarak bu karışımların hızlı harç çubuk yöntemine (ASTM C 1260) göre alkali silika reaksiyonu araştırılmıştır. Araştırmada silis dumanı ve uçucu kül %0-5-%10-%15-%20 seviyelerinde çimentonun yerine kullanılmıştır. Yapılan deneyin neticelerine bakıldığında en fazla boy uzama gösteren %0.34 kontrol harç örneğidir. 2 gün boyunca yapılan ölçümler neticesinde en fazla boy uzama oranı kontrol harç çubuğunda gözlemlenmiştir. En az boy uzama oranı ise %20 uçucu kül ekleme yapılmış olan harç örneklerinde oluşmuştur. 7.günün sonunda deneyin sonuçlarında en fazla boy uzama miktarı kontrol harç örneğinde en az boy uzama miktarı ise %20 silis dumanı eklemesi yapılmış olan harçlarda gözlemlenmiştir. 14 günün geçmesinin ardından yapılmış olan ölçümlerlerde en fazla boy uzama oranı %0.34 ile kontrol harç örneğinde en az boy uzama miktarı ise %20 SD eklenen harçlarda meydana gelmiştir. Bu deneyler sonucunda uçucu kül yada %10 silis dumanı eklemesi yapılan harçlarda boy uzamasının zararı olmayan bölgeye aldığı gözlemlenir. Alkali silika reaksiyonunun etkisine bırakılmış olan harçların en az dayanıklılığı bulunan %20 SD eklenmiş harç numuneleridir. Alkali silika reaksiyonunun etkisinde olan %0.20 eklenen SD bulunan harçlar uçucu kül eklemesi yapılan harçlara nazaran %18'den daha fazla eğilme ve basınç dayanıklılığına sahip olmaktadır [7].

Van bölgesinde betonun yapımında kullanılmış olan agregaların alkali silika reaktivitelerinin belirlenebilmesi konusunda araştırma yapılmıştır. Agregaların alkali silika reaktivitesini belirleyebilmek adına hızlandırılmış harç çubuk metodlarını ve kimyasal metod kullanılmıştır. Bölgede bulunan agrega ocaklarından alınmış olan örneklerde alkali-silika reaktivitesi açısından hızlandırılmış harç çubuk deneyi (ASTM C 1260) standardında bulunan boy bakımından uzama oranının sınır değeri bilinen %0.1'i geçmediği görülmüştür. Kimyasal yöntem de hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi ile aynı etkiyi göstermiştir. Kullanılan iki agreganın da reaktivite açısından olumsuz sonuç gözlemlenmemiştir [8].

Yapılan bu araştırmanın gayesi bazalt, andezit ve perlit kayaçlarından meydana getirilen kırma taş agregalara zeolit tuf eklemesi ile alkali silika reaksiyonunun özelliklerinin incelenmesidir. Alkali silika reaksiyonunu azaltmak için hızlandırılmış harç

çubuk deneyi (ASTM C 1260) uygulanmıştır. Yapılan deneyde zeolit katkı maddesi CEMI-42.5 R, tipi çimentoya %0-%10-%20-%30 ve %40 seviyelerinde eklenmiştir. Bu çalışmada boy ölçümleri 3, 7, 14, 28, 42 ve 56 günlük süre zarflarında ölçüm yapılmıştır. Deneyde kullanılan agregaların potansiyel zararlı olarak belirlenen perlit, andezit ise kritik seviyede, kireçtaşı zararsız olarak belirlenmiştir. Perlit agregasının içine %30-%40 oranlarında zeolitik tuf eklenmesi, andezit agregasının içine ise %20-%30-%40 seviyesinde zeolitik tuf eklenmesi alkali silika reaksiyonu genişlemesini kontrol altında tutmuştur [9].

1.4. Doğal Puzolanlar

Doğal puzolanlar, mineral katkı olarak çimento ilavesi yapılarak ya da belirli oranda portland çimentosu ile beraber öğütülür ve katkılı çimento üretimi yapılır. Böyle çimentolara traşlı çimentolar denilir.

Çimentoların üretilmesinde traş farklı şekillerde çimentoya eklenir. Birinci yöntem olarak klinker, puzolan ve alçıtaşı ile beraber öğütülerek ikinci yöntemde ise ayrı bir şekilde öğütülür ve sonradan karıştırılırlar [10].

Volkanik camlar suyun bulunduğu ortamlarda portland çimentosu ya da kireç ile puzolanik yapı göstermektedir.

İnce silisli toprakların haricindeki bütün doğal puzolanlar, mineral ve volkanik kayalardan meydana gelmiştir. Volkanik patlama ile genellikle alümina silikatlardan oluşmuş magmanın soğuma şekline göre amorf yapıları kazanmaktadırlar.

Doğal puzolanlar, yeterli derecede saf oldukları zaman puzolaniktirler. Genelde puzolanlar, kil materyalleri ile kirlenmiş bir şekilde bulunmaktadır. Bu nedenle puzalanik aktivitenin artırılması adına termal uygulamalar yapılır.

Hidrotermal şartlarda volkanik camın değişimi türüne ait bileşiklerden zeoliti oluşturmaktadır.

Doğal puzolanlar, az da olsa aktif bileşenler içerdiği için sınıflandırılmaları zor olmaktadır. Mevcut olan reaktif maddeye bakılır ve volkanik camlar, volkanik tüfler, silisli topraklar yada kil veya şeyller olarak sınıflandırılırlar [11].

1.4.1. Volkanik Tüfler ve Tras

Tipik örnekler olarak, Almanya da Ren trası, İtalya da Segni-latum gösterilir. En iyi şekilde puzolanik özellik olarak tüfler dasit, Riyolit, zeolit olarak gösterilir. Kompakt dokusu sayesinde 10-30 MPa seviyelerinde mukavemete sahip oldukları için kuvvetli puzolan olarak adlandırılır. Küçük parçacık ebadındaki kireç ile reaksiyona girdiklerinde volkanik camlara benzeyerek beton özelliklerini geliştirir [11].

1.4.2. Volkanik Camlar

En iyi volkanik cam örneği olarak Yunanistan'ın Santorin toprağı, Japonya'nın Shirasu ve İtalya'nın Bacoli toprağı gösterilmektedir. Volkanik camlar puzolanik özelliğini düzensiz yapıda olan alümina silikat camlardan elde etmektedir. Genelde eser miktarda reaktif yapıda olmayan feldspat, mika ve kuvars benzeri mineral kristalleri camsı faz içerisinde bulunurlar [11].

1.4.3. Killer ve Şeyller

Tüflerin ve volkanik camların puzolanik özellikleri geliştirilmek için ısıl işleme gerek kalmaz. Kil minerallerindeki kristalize yapı ısıl işleme tutulmadığı müddetçe kireç ile tepkime vermezler ve böylelikle puzolanik özellik göstermemiş olurlar. Fırınlarda 600-900 °C ısıtılırlar. Böylelikle kilin kristal yapısı bozulur düzensiz alümina silikat yapısına ya da yarı amorf yapıya dönüşürler. Bu sayede puzolanik yapı kazanır. Yüksek oranda feldspat ve kuvars barındıran malzemelerin ısıl işleme tabi tutulması sonrası iyi puzolanik özellik gösteremedikleri gözlenmiştir [11].

Kalsine yapıya sahip killerin kireçle reaksiyonu, bozulan reaksiyon yapısının yarı amorf özelliğine bağlı bulunmaktadır. Her türünün ayrı kalsinasyona sahiptir. En uygun sıcaklık ile pişirildiğinde kafes yapısının bozulmayacağı gibi, en uygun değerden daha yüksek sıcaklık ile pişirilmesi halinde yeniden kristalleşme gözlenir [12].

1.4.4. Diatomit Topraklar

Bu grup organogen kökene sahip malzemeler ile karakterizedirler. Diatomit, opal ve hidrate silika içeren, hücre duvarı silikadan oluşan mikroskobik bir su bitkisi kalıntısıdır. En büyük çökelti ise Kaliforniya'dadır. Diatomitler, kirece karşı fazlaca reaktiftirlerdir fakat gözenekli mikro yapılara sahiptir. Diatomitler ısıtılmış ya da ısıtılmamış kullanılabilirler. Genelde yüksek oranda kil içermektedir ve böylece puzolanik aktivitenin artırılması için kullanım öncesi termal bir şekilde aktive edilmesi gerekir [11].

Doğal puzolanların betonlar için katkı maddesi olarak kullanılabilmesi adına standart yüzdelik değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Doğal puzolanların betonlar için katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için gerekten olan fiziksel yüzdelik değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Doğal puzolanların betonlar için katkı maddesi olarak kullanılabilmesi adına standart yüzdelik değerleri

Standart	TS 25	ASTM C 618
İNCELİK		
45µM göz açıklıklı elekten ıslak olarak elendiğinde elek üzerinde kalan miktar maks %	-	34
Özgülyüzey, Blaine min. cm ² /gr	3000	-
Dayanım aktivite indeksi: Min. %		
7 günlük	-	75
28 günlük	70	75
Su ihtiyacı		
Kontrol numunesine kıyasla maks. %	-	115

Tablo 2. Doğal puzolanların betonlar için katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için gerekten olan fiziksel yüzdelik değerleri

Standart	TS 25	ASTM C 618
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	70,0	70,0
SO ₃ , maks. %	5,0	4,0
Nemlilik, maks. %	3,0	3,0
Kızdırma kaybı, maks. %	10,0	10,0
MgO, maks. %	5,0	-
a ₂ O olarak alkaliler, maks. %	1,5	1,5

1.5. Yapay Puzolanlar

Yan ürün niteliğinde endüstriyel atıklardan oluşmaktadırlar. Bu endüstriyel atıklar; zeolit, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, uçucu küldür.

1.5.1. Zeolit

Zeolitler, yapılarının gereği kristalize olmaları ve kimyasal özellikleri ile günümüz endüstrisinin çok önemli hammaddeleri içerisinde bulunur. Zeolit, çok küçük gözeneklere sahip yapılı malzemelerdir. Gerek doğal zeolit olarak gerek ise sentetik zeolit olarak geniş teknolojik ve bilimsel tabanı oluştururlar. Yapıları ve kimyasal özellikleri ile iyon değiştirici, moleküler elek ve absorban alanlarda pek çok kullanım alanına sahiptir [13].

Zeolitik tüf yatakları, birçok ülkede puzolanik ham madde olarak da kullanılmaktadır. Zeolit puzolanlar, beton ürünlerinin yer altı su korozyonunun etkisinde kaldığı hidrolik çimentolarda önem gösteren uygulamalar bulunmaktadır. Zeolitlerin sulu alt yapılarda puzolan çimento üretimi sırasında kullanılıyor olması, yüksek silis barındırmaları sebebiyle betonun katılaşma sürecindeki açığa çıkmakta olan kirecin nötrleşmesini sağlar [14].

Zeolitler kil tabakalarında ve volkanik yapıdaki kayalıklarda bulunmaktadır. Zeolit; insan tarım ve hayvan sağlığı, ısıtma, soğutma, petrol, kimya, su arıtma, endüstri, nükleer endüstri temizlik malzemeleri ve inşaat sanayisinde kullanılmaktadır [13].

Doğal zeolitlerin kullanılması ile birlikte elde edilmiş olan hafif yapı malzemeleri, yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip olması ile ısıtma ve soğutma sistemlerinin ilk yatırımlarında tasarruf sağlayacağı gibi yapıların kullanım süreleri boyunca da ortaya çıkan enerji harcamalarında çok önemli tasarruflar sağlayacaktır [15].

1.5.2. Silis Dumanı

Silis dumanı, yarı iletken sanayisinde kullanılmakta olan ferrosilisyum alaşımlarının veya silisyum metalinin üretimi esnasında ortaya çıkan atık bir malzemedir [16].

Silikon metal alaşımlarının veya silikonlu metalin üretimi esnasında ortaya çıkmış olan gazın hızlı soğutulup yoğunlaştırılması ile elde edilmiş ve %85-%98'e kadar silis

barındıran amorf yapıdan oluşmuş olan çok ince yapıdaki parçacıklardan meydana gelen malzemelere silis dumanı denmektedir [16].

Atık malzeme silis dumanı yüksek puzolanik özellikte olmasından dolayı hem yan ürün olmuştur hem de diğer puzolanik malzemeler arasında en değerli duruma gelmiştir. Silis dumanı silikonlu metal veya silikon metali alaşımı yapan fabrikaların yan ürünüdür, günümüzde ise beton ve çimento katkı malzemesi olarak da kullanılabilir [16].

Silis dumanı amorf yapıda ve ince yapıya sahiptirler. Bu sebepten dolayı çok iyi puzolanik özellik gösterirler [29].

Silis dumanının rengi içermiş olduğu karbonun miktarına göre değişiklik gösterir. Karbon miktarının artması ile silis dumanının rengi açık gri iken giderek koyu griye dönüşmektedir [16].

Silis dumanının özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Silis dumanının özellikleri

Özellikler	Ortalama değerler
SiO ₂	% 88-%95
Al ₂ O ₃	% 0.4-%1.10
Fe ₂ O ₃	% 0.5-%1.50
CaO	%0.4-%0.9
MgO	%0.9-%1.30
Na ₂ O	%0.4-%0.70
K ₂ O	%0.9-%1.20
SO ₃	%0.45- %0.90
C	%0.10-%1.20
Kızdırma kaybı	%2.00-%3.00
Yoğunluk	2.05-2.35 gr/cm ³
Görülen Yoğunluk	0.24-0.30 kg/L
Özgül Yüzey	210.000-240.000 cm ² /gr
Ortalama Tanecik Çapı	0.1-0.5 µm

1.6. Puzolanik Maddelerin Beton Üzerine Etkisi

Puzolan katkısı yeni dökülmüş betondaki priz alma süresini artırıcı etki göstermektedirler. Puzolanların fazla kullanılması beton priz alma süresindeki artış doğru

orantılı şekilde ilerler. Bu yüzden ki kışın beton dökümü yapılırken dikkat edilmelidir. Fakat bu durumun tam tersi olarak c sınıfı uçucu kül ve silis dumanının kullanıldığı zamanda priz süresi hızlandığı gözlenmektedir [17].

Puzolanların etki etmiş olduğu en önemli faydalardan birisi de erken zamandaki çatlamların oluşmasına sebebiyet veren hidrasyon ısısını düşürebilmesidir [18].

Doğal puzolanları ve silis dumanı taze betonlardaki terlemeyi azaltmış olduğu gözlenmiştir [17].

Elastisite modülleri ilk zamanlarda düşükken zaman geçtikçe yüksek olmaktadır [12].

Puzolanlar ince öğütülmüş olduklarından çimento hamurunun yapısında bulunan boşlukların doldurmasını sağlaması ve betonun yapısında bulunan kireci bağlayacak puzolanik aktiviteye sahip olduğundan çimento hamurunun dış kuvvetlere karşı dayanıklılık kazanmasına katkı sağlayabilmektedir [19].

%7.5-%15 oranları arasında tras katkısı yapılmış betonların basınç dayanıklılıklarının, katkı uygulanmamış betonların basınç dayanıklılıklarını 7 ve 14.günün sonunda az miktarda da olsa dayanımlarında artış gözlenmiştir [20].

Puzolanik maddelerde bulunan reaktif silislerin alkaliler ile agregada bulunan reaktif silise göre daha erken şekilde reaksiyonda bulunarak alkali bileşenlerini bağlamasıyla, puzolanik malzeme eklenmesi ile birlikte çimentodaki alkali miktarında azalma yada ortamda bulunan kireci bağlaması neticesinde çimento hamurunun Ph değerindeki düşmesinin sonunda alkali silis reaksiyonlarından dolayı oluşmuş olan hasar miktarlarını azaltmış olduğu gözlenmiştir [21].

Uygunoğlu yüksek miktarda silis dumanı barındıran harçlarda alkali silika reaksiyonunun gelişimini araştırmıştır. Harçların üretimi için kırma kum, doğal kum, mermer atığı kum ve beton atığı kum kullanmıştır. Silis dumanı, harçlara çimento ile %0-%10-%20-%30 ve %40 oranlarında ağırlık bakımından yer değiştirmesi yapılarak kullanılmıştır. Alkali-silika deneyi hızlandırılmış harç çubuk standardına uygun olarak yapılmıştır. Doğal kum içeren %0 silis dumanı olan harçlar, genleşme değeri bakımından şüpheli bölge içerisinde yer aldığı belirtilmiştir. Silis dumanının ilavesi ile ortamdaki boşluk suyundaki Ph değeri azaltılarak tüm silis dumanı barındıran ve doğal kum ile üretilmiş olan harçların genleşme değeri bakımından güvenli bölgede oldukları ifade belirtilmiştir. Mermer atığı ve kırma kum agregalar reaktif silis barındırmadığından bütün harçların genleşme değeri yönünden güvenli bölgede oldukları belirtilmiştir. Beton atığı

agregada beton yapımı esnasında bir miktar doğal kum kullanılması ve bu doğal kumun az bir miktarda reaktif silis içermesinden kaynaklı %0 silis dumanı barındıran harçların genleşme değeri şüpheli bölgede kalmıştır. Bütün agrega tipleri ile üretilmiş olan harçlarda %10 ile %30 oranında silis dumanı kullanılması ile alkali silika reaksiyonu etkisi önemli miktarda azaltılabilecek olduğu ve yapı malzemelerinde oluşabilecek hasar riskini azaltacağı belirtilmektedir [3].

Blaine özgül yüzeyleri ölçülmüş olan Soma termik santralinden alınan numune iki farklı uçucu kül, tras, silis dumanı çimento klinkerinin bir kısmının yerine eklenmiş ve basınç dayanıklılıkları gözlemlenmiştir. Ağırlık olarak %5 silis dumanı barındıran çimentonun içine % 10 miktarda uçucu kül ve %30-%35-%40 miktarlarında uçucu kül eklenmiştir. 60 gün sonundaki dayanıklılık oranı en yüksek değer Bilecik trasında ortaya çıkmıştır ve Soma termik santralinden alınmış olan silis dumanı ve uçucu kül ile üretilmiş olan çimentoların dayanıklılığının üzerine çıkmış olduğu gözlenmiştir [22].

Bu araştırmada değişik katkı oranlarında %0-%10-%20-%30 iki farklı zeolit katkısı bulunan harç numunelerin yüzey aşınma deneyleri gerçekleştirilmiş bulunmaktadır. Zeolit katkısı olan harç örneklerinin aşınma kayıplarının %15-%25 oranlarında azalmış olduğu gözlemlenmiştir [13].

%20-%30 oranlarında zeolit katkılı, %25+%5 uçucu kül katkılı harç ve %15zeolit+%5 uçucu kül numuneler ile %5-%10'luk sodyum sülfat çözeltileri kullanılmıştır. Örnekler 28 gün boyunca kirece doygun suda bekletilmiş 28.gün ise eskitme süresi için başlangıç olarak kabul edilmiştir. Çözeltiler 14 günlük aralıklar ile değiştirilmiş ve bu sürelerdeki ağırlık ölçümlenmeleri de yapılmıştır. Zeolit bulunan harç örnekler 90.güne değin yüksek konsantrasyonda dahi sülfat etkisine dayanıklı yapıda olduğu gözlemlenmiştir [23].

Gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmalarında mineral katkı maddeleri ile üretilmiş olan betonların sülfat ortamındaki performansları hakkında araştırma yapıldı. Karşılaştırmalar yapmak amacı ile mineral katkısız örneklerde deneylerde kullanılmak için üretimi yapıldı, mineral katkı maddesi olarak ise silis dumanı ve zeolit kullanıldı. Sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltilisine maruz kalan betonlardaki en önemli fark ise mineral katkısı olmayan betonların 8 aylık süre sonrasında oluşmuş olan mukavemet kayıplarının daha ciddi boyutta olduğudur [23].

Puzolanlar ile üretilmiş olan betonlar normal üretilmiş olan betonlara nazaran daha az portland çimentosu içerirler. İnce taneli yapıya sahip puzolanik katkıların kullanılmasıyla

betonda bulunan alkali miktarını düşürmektedir ve bundan dolayı kontrol altına alınmış olunur [24].

%10 seviyesine kadar eklenen silis dumanının oranlarında betonun priz süresi kontrol numune ile pek farklılık göstermemekte ancak %10'un üzerinde eklenen katkıda betonun priz süresinde artış görülmüştür. Silis dumanı kullanılmış betonlar ile silis dumanı kullanılmamış betonlar karşılaştırıldığında silis dumanı kullanılmamış betonlarda hidrasyon ısı %10 oranlarında daha az olduğu gözlenmiştir [24].

Silis dumanı ince tanelerden oluştuğundan aynı çökme değerine sahip katkısı olmayan betona göre su kullanım ihtiyacı daha da fazladır. Her 1 m³'teki 1 kilogram silis dumanı için 1 lt su gerekmektedir [25].

Betona katılmış olan silis dumanı %5 oranının üzerine çıktığında betonun işlenebilirliği kaybolmakta, beton daha yapışkan yapıya sahip hale gelmektedir. Bu sebeple silis dumanı püskürtme betonda kullanılabilme imkanı vermektedir [25].

1.7. Alkali Silika Reaksiyonu (ASR)

Asr, genel olarak çimentoda bulunan alkaliler ile reaktif silis bulunduran agregalar arasında gerçekleşen betondaki genişmeyi oluşturan kimyasal reaksiyondur.

Agreganın reaktif formlarıyla çimentonun veya dışarıdan gelmiş olan alkali oksitlerin tepkimeye girmesi sonunda genişleme özelliğinde bir jel oluşmasıdır [26].

Kaliforniya'daki binalarda yapılan incelemelerde yapım tarihinden birkaç yıl sonra alkali silika reaksiyonu gözlemlenmiştir. Bu çatlaklara sebebiyet veren alkali agreganın oluşumu ilk defa 1940'ta Stanton'un yaptığı açıklamada betonun bileşenleri arasında oluşmuş içsel mekanizma olarak belirtmiştir.

Alkali silika reaksiyonunun oluşumu için betonda yeterli miktarda alkaliler, agregada reaktif silika formları, ortamda yeterli miktarda nem bulunması gerekir. Bu koşullar arasından herhangi biri olmaz ise alkali silika reaksiyonu oluşmayacaktır. Alkali silika reaksiyonu iki aşamadan oluşmaktadır [8].

1. Alkali + Reaktif silika → Alkali silika jel ürünleri
2. Alkali silika jeli + Nem → Genleşme

Alkali silika jeli su emmeye devam ettikçe, genişleme miktarı ve hacmi artmaktadır [27].

Alkali silika reaksiyonu sonunda ortaya çıkan jel ilerleyen senelerde nem alıp genişleyerek betonda çatlakların oluşmasına sebebiyet verir. Oluşmuş olan çatlaklara nüfus eden jel zaman geçtikçe artarak suyu emer ve genişler. Çatlakların genişleşerek artması betonda çatlaklar meydana gelmesine neden olur.

ASR yalnızca yüksek Ph değerinde gözlemlenir. Boşluk suyundaki Ph değeri çimentoda bulunan alkalinin içeriğine bağlıdır. Alkali miktarı çoğaldıkça ph değeri de artış gösterir. Betondaki Ph değeri minimum 12.5'tir. Yüksek miktarda alkali bulunan çimentolardaki bu değer 13.5'e kadar çıkabilmektedir. Ph değerinin 1 seviye artmış olması hidroksit iyonunun konsantrasyonunda 10 katlık artışa neden olmaktadır [8].

Reaksiyonun oluşması için çimentonun alkali içeriğindeki $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$ değerinin %0.60'ı ve ortamda bulunan nem miktarının 20 °C sıcaklıkta %85'i geçmiş olması gerekmektedir [28].

Alkali silika reaksiyonu sonunda meydana çıkan jel çok yüksek miktarda su emme eğiliminde olmaktadır. ASR sonunda oluşan jel suyu emer ve şişer. Bu olay neticesinde içsel çekme gerilmeleri meydana getirerek betonda genişlemeye sebebiyet verir.

Alkali silikat reaksiyonu, alkali karbonat reaksiyonu ve alkali silika reaksiyonu olmak üzere alkali agrega reaksiyonunun üç tane oluşum şekli vardır [27].

Alkali silika reaksiyonundan etkilenmiş olan yapılarda çatlaklar, çatlaklar arasından jel sızması genişlemeler, kapak atmaları ve yapısal deformasyonlar meydana gelir. Meydana gelen çatlak deseni harita çatlakları şeklinde oluşmaktadır.

1.7.1. Alkali Silika Reaksiyonuna Etkileyen Faktörler

1.7.2. Agreganın Reaktifliği

Agregaların alkali etkileşimi içerisinde bulunan mineral yapısı ile sıkı sıkıya bağlıdır. Kayacın oluşumu sırasında soğuma hızı seviyesine göre silis değişik doku ve kristal yapıya sahiptir. Soğumanın hızındaki seviyeye göre amorf fazdan kristalin faza kadar farklı yapılarda bulunma ihtimalleri vardır. Silis asit ve kuvvetli alkali ortamlarında çözünürken ph nötr seviyelerinde olan ortamlarda çözünürlüğün azaldığı görülür [5].

Ramyar vd. oluşturdukları deneyde doğal yuvarlak agregayla aynı özelliklere sahip agreganın kaba tanelerinde kırılma meydana gelmesi ile meydana getirilen kırma agrega kullanılarak deney sonucunda tane boyutundaki ve köşeliğindeki alkali silika reaksiyonu

genleşme etkisi araştırmıştır. Yapılan bu deney hızlandırılmış harç çubuk deneyi (ASTM C 1260) standardına uygun olarak oluşturulmuştur. Deneyin sonucunda %25 reaktif olan agrega yapıya sahip orta büyüklüklerdeki doğal ve kırma agrega deneyinin sonuçlarının birbirlerinden değişik değerler almış olduğu gözlemlenmiştir. Boyca küçük ve büyük agregalarda köşeli olmanın etkili olmadığı görülürken orta boyuta sahip tanelerin köşeli olmasının genleşme üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir [30].

Zhang vd. 0.15-10 mm arasında silisli yapıya sahip agreganın tane boyutunda küçülme oldukça alkali silika reaksiyonunun artmış olduğu, agraga boyutu büyüdükçe azami genleşmeyi sağlayan çimento/agrega oranında azalma olduğu ve genleşmedeki hızın yavaşladığı söylenmiştir [31].

Agregayı meydana getiren bileşenlerin formu ve türü agreganın reaktifliğini belirlemektedir. Reaktif agregalar parçacık boyutuna, sıcaklığa, zamana bağlı olarak amorf haldeki silis (obsidiyen, silika cam), alkali çözeltiyle veya silikat veya silis mineralleri ile (opal) reaksiyona girerler. Fakat genellikle çoğu mineral önemsiz sayılacak derecede tepkime verirler. Granit, bazalt, gnays, şist ve kumtaşının oluşturucu mineralleri olan feldspat, priokselar, kuvars, amfibol ve mikalar zararsız sayılacak mineraller olarak sınıflandırılmışlardır [11].

Obsidiyen, tridimit, kristobalit, kalsedon, opal, çört, metamorfik kuvars reaktiflikleri, riyolitler ve andezit sırasıyla azalan bir şekilde gösterilmektedirler [11].

1.7.3. Betonun ve Çimentonun Alkali İçeriği

Birleşik devletlerde birçok yapılmış olan çalışmalar sonunda hem laboratuvar hem de saha verileri sonuçlarında portland çimentolarının 0,6 miktarından daha fazla Na_2O içerdiği tespit edildi Portland çimentoları reaktif agrega ile birlikte kullanılır ise alkali silika reaksiyonunda büyük genleşmeler meydana getirirler. Bu sebepten ASTM C 150 çimentoları Na_2O içeriği 0.6 değerinden küçük miktarda ise düşük alkalili çimento eğer Na_2O değeri 0.6 değerinden büyük miktarda çıkarsa yüksek alkalili çimento adı ile adlandırılır [32].

Portland çimentosunun klinkeri üretimi oluşabilmesi için kullanılmakta olan ham maddeler, çimentonun içerisinde bulunan alkali kaynağındandır. Genel olarak Na_2O oranı 0.2 ile 1.5 arasındadır. Betonun ortamı bazik ortamdan oluşur. Betonlarda bulunan pH değeri çimentodaki alkali oranının içeriğine göre 12.5-13.5 oranları arasında

değişmektedir. Ph değerleri güçlü alkali sıvısını temsil etmektedir. Ancak bu sıvı silisyumlu ve silis malzemeler ile oluşmuş asitli kayalara uzunca süre maruz kaldığında sabit kalmazlar. Alkalinin içeriği 0.6 değerinden az olan beton, reaktif agrega türü dikkate alınmaksızın çoğunlukla alkali silika reaksiyonu zarar görmemektedir.

İngiltere’de ve Almanya’da yapılan çalışmalar betonun kaynaklarından almış olduğu alkali miktarı toplamda 3kg/m^3 altında kalıyorsa zararlı genleşmeler olmaz sonucuna varmışlardır.

Portland çimentosunda bulunan toplam alkali içeriği sodyum oksit eşdeğeri olarak :

$$(\text{Na}_2\text{O})_e = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$$

Fakat betonun alkali değeri sadece çimentodan kaynaklanmışsa :

$$\text{Betonun alkali içeriği (kg/m}^3\text{)} = [\% \text{Çimento alkali içeriği}] \times [\text{kg/m}^3 \text{Çimento Dozajı}]$$

şeklinde hesaplanır.

Genleşme için alkali metal hem de hidroksil iyonlarının oluşu gerekmektedir. Hidrate uğramış portland çimento jelinde fazla miktarda kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sebebiyle hidroksil iyonları konsantrasyonu az miktarda alkali içerik barındıran çimento ile dahi yüksek kalabilmektedir. Böyle durumda genleşme sırasında dış kaynaktan alkali gelmediği müddetçe metal iyonlarının kısa arzı ile kısıtlı kalmaktadır [11].

1.7.4. Sıcaklık ve Rutubet Etkisi

Alkali silika reaksiyonunda hacim değişikliğinin ve bozulmanın oluşmasının en etkili faktöründen bir tanesi sudur. Su alkali silika reaksiyonunda iki farklı ve önemli role sahiptir. Bunların ilki taşıyıcılıktır diğeryse jelin büyümesine sebep olmasıdır. Alkali silika reaksiyonunda nem genleşme sebeplerinden bir tanesi olan beton içerisinde barınan alkali iyonlarının sodyum (Na^+) ve potasyum (K^+) yayılmasına, bu yayılmanın sonunda tepkime bölgesinde jel oluşmasına, oluşmuş olan jel suyu emip şişerek genişleme olmasına ve betonda içsel çekme gerilmelerin oluşmasına bundan dolayı çimento harcında çatlamlarına sebep olur. Çatlamlar gerçekleştikten sonra ortama giren su eğer jelim

emebileceğinden yüksek seviyede olursa jel dışarı sızar ve jelin ortamdan dışarı sızması neticesinde yüksek derecede hasarın kanıtıdır.

Alkali silika reaksiyonunun başlaması için ihtiyaç olan en asgari nem 20 °C'de %85 oranındadır. Tepkime yüksek sıcaklıkta daha hızlı reaksiyon olması ile birlikte düşük sıcaklıklarda da reaksiyona başlayabilmektedir. Yüksek derecedeki sıcaklık tepkimeyi hızlandırdığını lakin genişlemenin yüzdesinde değişikliğe neden olmadığı gözlene de hızlandırılmış harç yönteminde standart deney yöntemine nazaran %25'lik oranda fazla genişleme gözlemlenmektedir [33].

Birçok kimyasal tepkimede gözlemlendiği üzere Alkali silika reaksiyonu sıcaklıkların artması ile birlikte hızlanmaktadır. Bu olay ile ilgili olarak Diamond, yüksek sıcaklıklardaki genişlemenin ve reaksiyonun çok daha hızlı başlayıp daha erken devam etmekte olduğunu, zamanın geçmesi ile hem genişleme miktarının hem de reaksiyonun hızının azalmakta olduğunu, düşük derecedeki sıcaklıkta ise tepkimenin yavaş ilerlediğini ve genişleme miktarının zaman geçtikçe yüksek sıcaklıkta görülmüş olan seviyeye yaklaştığını hatta o seviyeyi geçtiğini tespit etmiştir [22].

1.8. Alkali-Silika Reaksiyonunu Etkileyen Diğer Etmenler

Dış alkaliler, kalsiyum hidroksitin varlığı, buhar kürü, sürüklenmiş hava, buz çözücü tuzlar karışım oranları vb. etmenler alkali silika reaksiyonunu etkilemektedir.

1.9. Alkali-Silika Reaksiyonunun Belirlenmesi Amacı İle Kullanılmakta Olan Deneysel Metodlar

1.9.1. Kimyasal Metod ASTM C 289

Bu test yöntemi hızlı kimyasal test metodu olarak da adlandırılır, kimyasal metod silis barındıran agregaların reaktivitesinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Agregalar kırım işlemine tabi tutularak elekler sayesinde 150-300µmlik inceliğe ulaştırılır ve içerisinde bulunan tozlardan ve ince parçacıklardan temizlenmesi için yıkama işlemine tabi tutulur. Yıkanan malzemeler 24 saat boyunca 105±5 °C etüvde kurutulma işlemi görür. Alınan 25'er gramlık üç adet örnek alkali çözelti içerisinde (25ml 1N Sodyum Hidroksit) 80 derecede 24 saatlik süre ile bekletildikten sonra çözeltinin içinden 10 ml alınır ve

200 ml'lik balon jopenin içerisine dökülür. Balon joje damıtılmış su katılarak 200 ml'e kadar tamamlanarak işleme devam edilir. Bu çözeltinin filtre edilmesinden sonra asitte titre yöntemi kullanılarak alkalinite ve çözünmüş siliste görülen azalma miktarı belirlenmiştir. Bu işlemler bitiminde çıkan sonuçlar grafikte işaretlenir ve agregaların düştüğü bölge belirlenir. İlgili grafik üzerindeki Sc çözünmüş silisi, Rc ise alkalitedeki azalmayı gösterir. İlgili grafikte üç adet aralık bulunur. Agregalar bu üç aralığın bir tanesine denk gelir. Bunlar zararlı, zararsız veya potansiyel zararlı şeklinde ifade edilir. ASTM C 289 yüksek reaktivite ile hızlı reaksiyona girmekte olan agregalar yavaşça reaksiyona girmekte olan agregalara nazaran daha çok güvenilir olurlar. Kimyasal yöntem agregaların reaktivite seviyesini belirlemede yeterli kalmadığından başkaca testlere de gereksinim duyulmaktadır [3, 34].

1.9.2. Hızlandırılmış Harç Çubuk Deneyi ASTM C 1260

Bu deney sistemi, belli gradasyonda agregaların kullanılmasıyla elde edilmiş olan harç örneklerinin yüksek miktarda alkali çözelti içerisinde, yüksek sıcaklık değeri altında ve uzunluklarında meydana gelen değişimlerin ölçülerek not edilmesinden ibarettir. Belli gradasyonda agrega çimentonun 2.25 katına kadar eklenerek su-çimento oranı 0.47 olarak belirlenen harç karışımı ortaya çıkarılır. 25x25x285 mm'lik boyutlardaki örnekler kalıplara aktarıldıktan sonra 24 saatin sonunda konuldukları kalıplardan alınarak 24 saat süre ile 80±2 °C suyun içerisinde bekletilir. Sonrasında ise 80 °C 1M NaOH çözelti içerisinde bekletilir ve aynı zaman aralıklarında boylarındaki meydana gelen değişimlerin ölçülmesi yapılır. Harç çubuklarının içerisine konulacağı çözelti 40 gr sodyum hidroksit 900 ml suya eklenir ve sonrasında 1000 ml'e tamamlanarak hazırlanır. Boylarında meydana gelen değişim miktarlarının hesaplaması için 3., 7., 14.günler ölçümleme yapılır. Aşağıda gösterilmiş olan bağıntıda yerine yazılarak yüzde olarak boy miktarında meydana gelen değişim hesaplanmış olur.

$$\Delta L = \frac{L_i - L_0}{285} \times 100$$

Burada; ΔL = Yüzde olarak boy değişimi

L_i = Harç çubuğunun deney süresi bitimindeki boy uzunluğu (mm)

L_0 = Harç çubuğunun deneye başlamadan önceki boy ölçümü (mm)

ASTM C 1260 14. günün sonunda ölçülen boylarında meydana gelen değişimleri:

- Boydaki uzama oranı % 0.10'dan küçük miktarda ise agrega zararsız bölgededir
- Boydaki uzama oranı % 0.10-% 0.20 arasında kalır ise deneyin süresi uzatılır ve 28 gün süre zarfında meydana gelen boy değişikliğinin ölçülmesi yapılır
- 14.günün sonunda meydana gelen boy değişikliği %0.20'den büyük olursa agrega potansiyel zararlı olarak tespit edilir.

ASTM C 227 VE ASTM C 289 yetersiz kaldığı alanlar, uzun bekleme süresinin olmadığı ve yavaş reaksiyon gösteren agregaların saptanmasında yararlıdır [14, 35].

1.9.3. Harç Çubuk Metodu ASTM C 227

Harç çubuğu yöntemi belli koşullarda kür görmüş olan 25x25x285 mm boyutunda hazırlanmış bulunan harç çubuklarının belirli süre sonunda ortaya çıkan boylarındaki değişim miktarlarının (genleşmesindeki yüzde) ölçülmesi ile çimento agrega harçlarındaki alkaliden dolayı genleşmeye sebep olup olmadığının belirlenmesi maksadı ile kullanılan metoddur.

Harç çubuk yöntemiyle hızlandırılmış harç çubuk yönteminde kullanılmakta olan harç çubuklarının karışımı aynı koşullarda hazırlanarak işleme tabi tutulur [15].

Harç çubuklarının yapımında kullanılmakta olan çimentodaki alkali oranı asgari %0.6 Na_2O eşdeğerinde olması gerekmektedir. Genel olarak ise %1.0–%1.2 Na_2O eşdeğerinde çimento kullanılmaktadır. Harç çubukları üretimi 25x25x285 mmlik boyutlardaki kalıpların kullanılmasıyla gerçekleştirilir [36].

Harç çubukları suyun içerisinde %100 bağıl nem altında aynı zamanda 37.8 °C'de küre tabi olarak işlem görürler. İlk ölçüm 14.günden sonra belli süreler ile 12 ay ya da 12 aydan uzun süreler zarfında boylarının ölçümleri yapılır. ASTM C33 standartlarında reaktif olmayan agregalar için genleşme oranları 6.ayda %0.10'un altında ve 3.ayda %0.05'in altında olması gerekir. Bu reaktif agregada değişikliklerinin anlaşılması adına çok uzun süreli genleşmelerin kaydedilmesi gerekir [8].

Harç çubuğu metodunun (ASTM C 227) yararı, çimento agrega bileşimlerinin alkali silika reaksiyonuna yarar ortam oluşturup oluşturmadıklarının ölçülmesidir. Teste tabi tutulan malzemelerin çok yüksek reaktiviteye sahip olmaması halinde anlam içeren

sonuçların elde edilmesi 1 yıl ya da 1 yıldan daha fazla zaman sürme ihtimali vardır. Harç çubuk metodunun zararı ise şudur; test süresi çok daha uzundur ve zararlı agregaların hepsinde genleşmenin miktarında azalma göstermesidir [22].

1.9.4. Beton Prizma Deneyi ASTM C 1293

Beton prizma deneyi (ASTM C-1293) alkali silika reaksiyonu sebebi ile betonda meydana gelen boy değişimlerine ve agregaların reaktiviteleri hakkında bilgi sahibi olmamıza olanak sağlar sağlar. Beton prizma deneyinde 75x75x285 mm'lik deney örnekleri kullanılmaktadır. Bu deneyde hazırlanmış olan örnekler sızdırmayan bir kap içerisine alınarak %100 bağıl nem ve 37.8 derecenin altında saklanmaktadır. Deneyde kullanılan numunelerdeki su/çimento oranı 0.42 ile 0.45 arasında bulunmaktadır. Betondaki alkalinin miktarı 5.25 kg/m^3 'tür. Kullanılmakta olan çimentoda bulunan aynı değerdeki Na_2O içeriği, karışım suyunun içine NaOH katılarak kütle bakımından çimentonun %1.25'i üzerine yükselmektedir. Bu koşullar altında muhafaza edilen örnekleri boylarındaki değişiklikler ilk günkü alınan ölçümler ile karşılaştırılarak yapılan ölçümler % 0.001'lik hassasiyet ile gerçekleştirilmektedir. Yapılan ölçümler 7., 28., 56. gün sonrasında, daha sonra ise 3., 6., 9., 12. aylardan sonra gerçekleştirilir. 1 yılın sonunda meydana gelen genleşmenin % 0.04 değerine denk geldiği yada daha çok ise potansiyel tehlikeli durum meydana gelmektedir [37].

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Deneysel araştırma ile Trabzon ilinin Maçka ilçesinden temin edilen Dasit agregası ile Trabzon ilinin Yomra ilçesinden alınan Trakit ve Riyolit agregaları kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan deneyde Trabzon'da bulunan Aşkale Çimento Fabrikasından alınan standart CEMI-42.5 R tip çimento numuneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmada doğal puzolan olan riyolit tozu, trakit tozu, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ile toplam dört tip puzolan kullanılarak işlem gerçekleştirilmiştir.

Çözelti oluşumunda kullanılmış olan sodyum hidroksit Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çözelti oluşumunda kullanılmış olan sodyum hidroksit

Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

2.1.1. Çimentonun Özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılmış olan CEMI-42.5 R tip Çimentonun kimyasal, mekanik, fiziksel özellikleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Çimentonun kimyasal, mekanik, fiziksel özellikleri

Kimyasal Özellikler		Fiziksel ve Mekanik Özellikler		
Bileşenler	(%)	45 µm elek üstünde kalan (%)	9.8	
SiO ₂	19.45	90 µm elek üstünde kalan (%)	1.0	
Al ₂ O ₃	5.10	Özgül Yüzey (Blaine) (m ² /kg)	412.6	
Fe ₂ O ₃	3.32	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.12	
CaO	60.23	Priz Süresi (Vicat) (dak)	Başlangıç	140
MgO	2.08		Bitiş	200
SO ₃	3.05	Su İhtiyacı (%)		29.2
Na ₂ O	0.28	Hacim Genleşmesi (mm)		1.0
K ₂ O	0.68	Basınç Dayanımı (MPa)	2 gün	28.0
Kızdırma Kaybı	3.00		7gün	40.4

2.2. Alkali Silika Reaksiyonu (ASR) Oluşumunda Harç Çubuklarının Hazırlanması Aşamasında Kullanılmakta Olan Cihazlar

- Boy ölçüm üniteleri
- Alkali-silika deney tankı içerisindeki suyu 80 dereceye kadar çıkartarak suyun 80 derecede sabit kalmasını sağlayan deney tankı
- Harç çubuklarının su banyosunda sabit olmasını ve dengede kalmasını yardımcı olacak aparatlar
- Harç çubuklarının kalıpları (25x25x285)

Deneyde kullanılan harç çubuklarının kalıpları, boy ölçme cihazı ve alkali-silika tankı Şekil 2-4'de verilmiştir.



Şekil 2. Deneyde kullanılan harç çubuklarının kalıpları



Şekil 3. Deneyde kullanılan boy ölçme cihazı



Şekil 4. Deneyde kullanılan alkali-silika tankı

2.3. Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR) İçin Uygulanan Deneyler

ASR nin belirlenebilmesinde kullanılmakta olan bir çok metod vardır; ozmatik hücre metodu, otoklav metodu harç çubuk deneyi, beton prizma deneyi, jel pat metodu, hızlandırılmış harç çubuk deneyi, kimyasal yöntem, mikrobar deneyi gibi metodlardır. Bu araştırmada ASTM C1260 (hızlandırılmış harç çubuk yöntemi) kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir.

2.3.1. Hızlandırılmış Harç Çubuk Deneyi- ASTM C1260

ASTM C1260, belirli granülometrede hazırlanmış olan agregalar, 206.8 gr su ve 440 gr çimento harmanlanarak hazırlanan harç 25x25x285 ölçülerindeki kalıplara aktarılır. 1 günlük süre ile iklimlendirme yapılarak kalıplardan çıkartılır 80±2 °C bulunan saf suyun içine konular ve 24 saat bekletilir. Daha sonrasında ise ilk kez yapılan boy ölçümleri (Lo) not alınır ve içinde 1N NaOH çözeltisi barındıran 80 °C sıcaklığındaki alkali silika reaksiyonu tankına konularak işleme devam edilir. İlk kez yapılan boy ölçümleri alınarak 3., 7. ve 14.gün sonrasında boylarının ölçümleri ayrı ayrı yapılarak not edilir. Yapılan boy ölçümleri neticesinde boylarında gerçekleşen değişim miktarlarının oranları %0.10'dan küçük miktarda kalırsa zararsız, %0.10-%0.20 oranları arasında kalırsa potansiyel zararlı olur ve deneyin süresi uzar, boy değişim oranı %0.20'den fazla olur ise zararlı olarak belirlenir.

2.3.2. Harç Çubuğu Numunelerinin Üretimi

Hızlandırılmış harç çubuk deneyi, standardına uygun granülometrik dağılımı aşağıda bulunan şemada gösterilmiştir. Bu deneyde ASTM C 490 Standartlarına uygun şekilde 25x25x285 mmlik boyutlara sahip ve uçlarında boy ölçmeye yarayan pimleri bulunan kalıplar kullanmıştır. Kalıplara hızlandırılmış harç çubuk deneyi standardına uygun ölçüde 206.8 gr su 440 gr çimento ve 990 gr agrega kullanılarak meydana getirilen harç numuneleri aktarılmıştır. Harçları karışım işi ASTM C305 uygun ölçüde bulunan karıştırıcıyla örneğin depo edileceği kür şartları ise hızlandırılmış harç çubuk deneyi standartlarına göre ayarlanarak hazırlanmıştır.

Hızlandırılmış harç çubuk deneyi için granülometrik birleşimi Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Hızlandırılmış harç çubuk deneyi için granülometrik birleşim

Elek Boyutu		Ağırlık (gr)	Ağırlık(%)
Kalan	Geçen		
2 mm	4 mm	99	10
1 mm	2 mm	247.5	25
500 µm	1 mm	247.5	25
250 µm	500 µm	247.5	25
125 µm	250 µm	148.5	15
Toplam		990	100

2.3.3. Alkali Silika Reaksiyonunda Kullanılan Tankın Hazırlanması

Harç çubukların içerisine konulacak olan alkali silika reaksiyonu tankının sıcaklık değeri 80 °C. Deneyde kullanılan tankın içerisinde bulunan NaOH çözeltisi, 40 gr sodyum hidroksit 900 ml suya eklenir ve devamında 1000 ml tamamlanmak sureti ile harmanlama yapılır.



3. BULGULAR

3.1. Hızlandırılmış Harç Çubuk Deney (ASTM C1260) Sonuçları

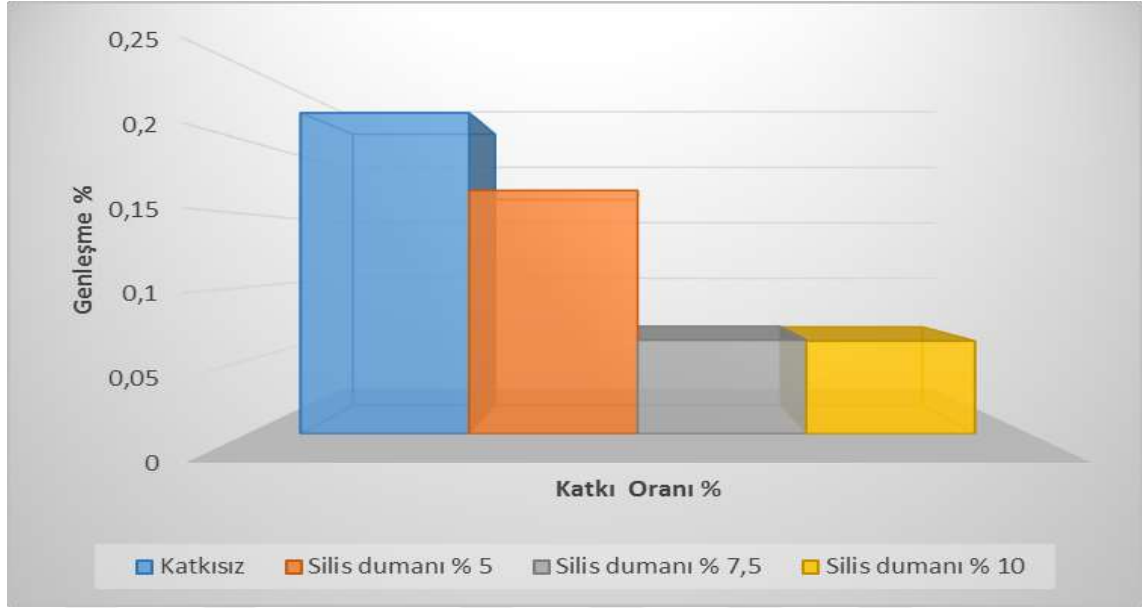
Birincil olarak Yomra'da bulunan taş ocağı agregasının reaktif olarak zararlı olduğu tespit edilmiştir. Zararlı taş ocağı agregasına çeşitli zaman periyotlarıyla zeolit ve silis dumanı puzolanları katılmış ve katkı oranları aşağıda bulunan tabloda gösterilmiştir.

Tablo 6. ASR ye ilave edilen katkı maddelerinin yüzde-ağırlık oranları

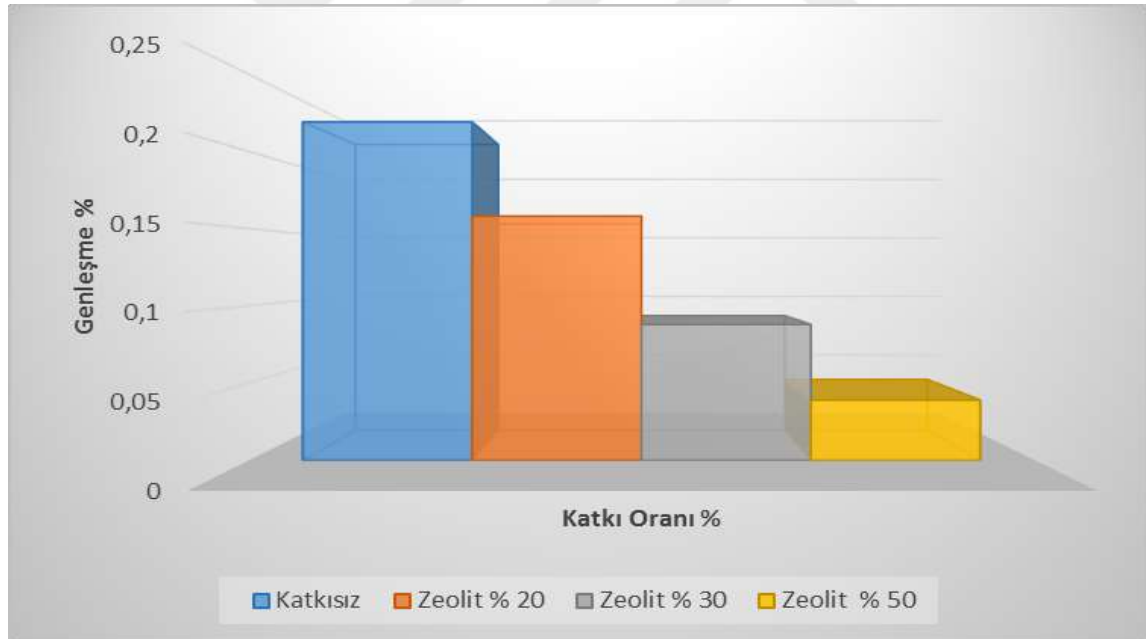
Puzolan	Puzolan katkı (gr)	Puzolan katkı (%)	Dere agregası (gr)	Su(gr)	Çimento(gr)
Zeolit	88	20	990	206.8	330
Zeolit	132	30	990	206.8	308
Zeolit	220	50	990	206.8	220
Silis dumanı	22	5	990	206.8	418
Silis dumanı	33	7.5	990	206.8	407
Silis dumanı	44	10	990	206.8	396

Yukarıdaki tabloda anlaşıldığı üzere alkali silika reaksiyonu bakımından zararlı taş ocağı agregası ile üretilmiş harç numunelerinin zararlarının önlenmesi amacıyla %20, %30, %50 oranında zeolit, %5, %7.5, %10 oranında silis dumanı ikame edilmiştir. Yapılmış olan deneylerin sonuçlarını gösteren grafikler aşağıda gösterilmiştir.

Yomra'daki taşocağı agregasını katkısız ve silis dumanı ilave edilmiş harç çubuk örneklerinin 14 günlük genleşme-katkı oranı ilişkisi Şekil 5'te verilmiştir. Yomra'daki taşocağı agregasını katkısız ve zeolit ilave edilmiş harç çubuk örneklerinin 14 günlük genleşme-katkı oranı ilişkisi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Yomra'daki taşocağı agregasını katkısız ve silis dumanı ilave edilmiş harç çubuk örneklerinin 14 günlük genleşme-katkı oranı ilişkisi



Şekil 6. Yomra'daki taşocağı agregasını katkısız ve zeolit ilave edilmiş harç çubuk örneklerinin 14 günlük genleşme-katkı oranı ilişkisi

4. İRDELEME

Yapılan araştırmada kullanılmış olan iki değişik agreganın reaktifliğinin belirlenmesi amacı ile hızlandırılmış harç çubuk deneyleri yapılmıştır. Dere agregasına ve taş ocağına ait deney verileri Tablo 7-8'de gösterilmektedir.

Tablo 7. Yomra'daki taşocağı agregasına ait olan deneyin verileri

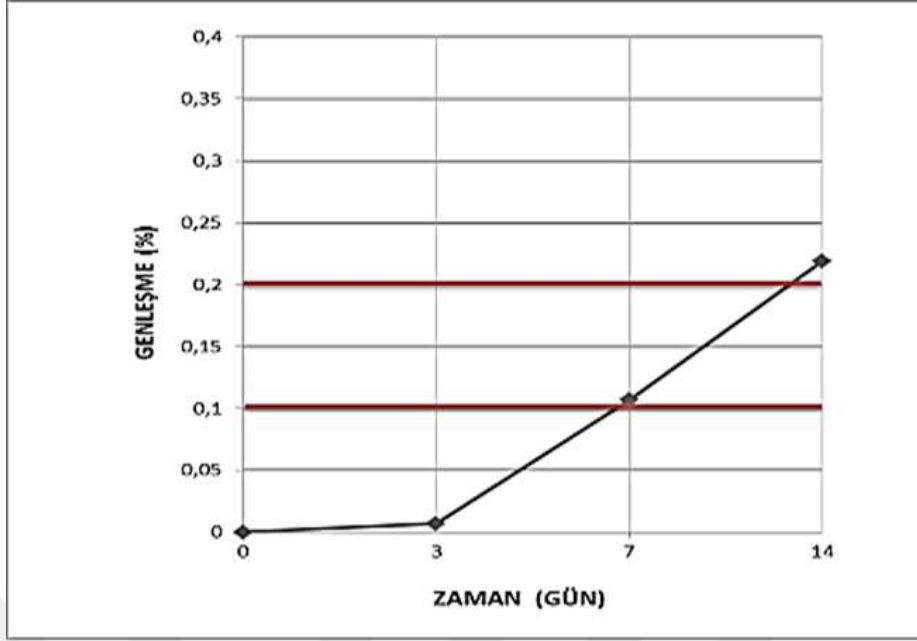
	Genleşme Yüzdesi (%)		
	3 gün	7 gün	14 gün
1 No'lu numune	0.0109	0.1200	0.2309
2 No'lu numune	0.0067	0.0888	0.2032
3 No'lu numune	0.0028	0.1116	0.2225
Ortalama (%)	0.0068	0.1068	0.2189

Tablo 8. Maçka'daki dere agregasına ait olan deneyin verileri

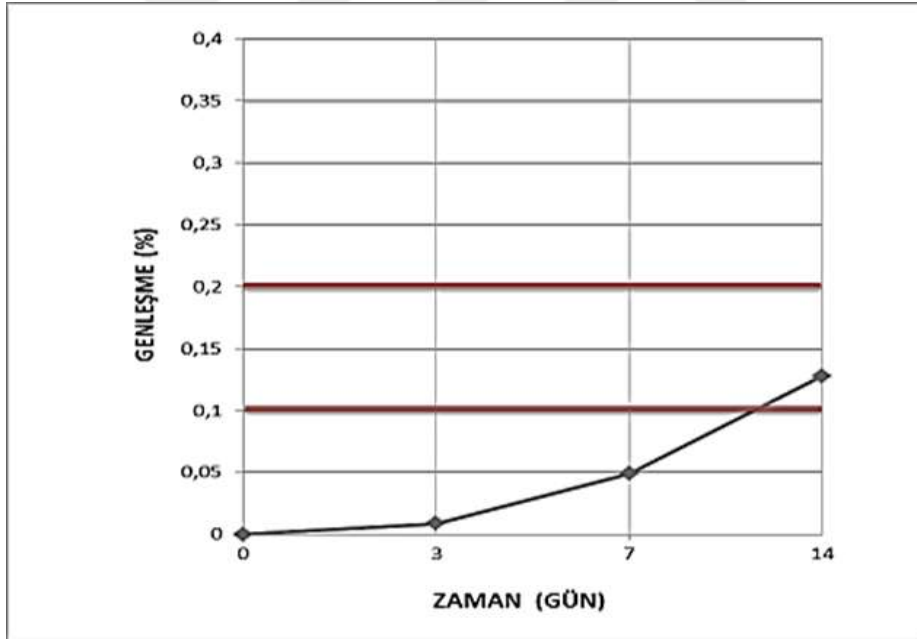
	Genleşme Yüzdesi (%)		
	3 gün	7 gün	14 gün
1 No'lu numune	0.0063	0.0509	0.1337
2 No'lu numune	0.0095	0.0512	0.1421
3 No'lu numune	0.0105	0.0453	0.1081
Ortalama (%)	0.0088	0.0491	0.1280

Taş ocağından alınan agreganın 14 günlük genleşme yüzdesi ASTM C1260 hızlandırılmış harç çubuk yöntemine göre sınır değer olan %0.2'yi aştığı için reaktif agrega sınıfına girmektedir. Dere agregasına ilişkin 14 günlük genleşme yüzdesi ise %0.1 ile %0.2 arasında kalmıştır ve standartta göre bu aralıktaki kalan agregalar şantiye koşullarında zararlı davranış gösterebileceği gibi yararlı davranış da gösterebileceği kabul edilmektedir

Agregalar üzerinde yapılmış ilk çalışmalara ait grafikler Şekil 7-8 olarak sunulmuştur.



Şekil 7. Yomra'daki taşocağı agregasına ilişkin genleşme-zaman oranı



Şekil 8. Maçka'daki dere agregasına ilişkin genleşme-zaman oranı

5. SONUÇLAR

Alkali silika reaksiyonu reaktiflik nedeniyle betonun dayanımında azalma görülen taş ocağı agregası ile zeolit ve silis dumanı minerallerinin ASR üzerine etilerinin incelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Gerçekleştirilen ilk deneyde taş ocağı agregasının üzerine yapılan hızlandırılmış harç çubuk deneyinde 14 gün süre ile genleşmesi %0.2189 olarak ölçülmüş ve hızlandırılmış harç çubuk deneyine göre alkali silika tepkimesi sebebiyle 14 gün sonunda genleşme sonunda %0.2 değerinin üzerine çıkması sebebiyle taşocağı agregası zararlı agregası şeklinde adlandırılmıştır. Dereden alınan agregası ile yapılan çalışmada, 14 günlük süre sonunda genleşme %0.1280 değerinde bulunmuş ve dereden alınan agregası hızlandırılmış harç çubuk deneyine göre potansiyel itibarıyla kararsız davranış gösterebilecek nitelikte olduğu tespit edilmiştir.
2. Taş ocağı agregası ile yapılan deneylerde silis dumanı çimento ile %5 oranında eklenmesi sonucunda genleşme oranı %0.154024 değerinde belirlenmiş ve genleşme %7.5 ilave oranı için %0.053309, %10 ilave için %0.0501 tir. Silis dumanının çimento ile ikame edilme oranı artırıldıkça ASR den kaynaklı genleşme miktarı ciddi şekilde azalma göstermiştir.
3. Taş ocağı agregası ile yapılan deneylerde zeolit çimento ile %20 oranında eklenmesi sonucunda genleşme oranı %0.151722 değerinde belirlenmiş ve genleşme %30 ilave oranı için %0.050643, %50 ilave için %0.006447 dir. Zeolitin çimento ile ikame edilme oranı arttırıldıkça ASR den kaynaklı genleşme miktarı ciddi şekilde azalma göstermiştir.

6. ÖNERİLER

Çalışmanın devamı olarak, zeolit ve silis dumanı ikili karışımlarının alkali-silika reaksiyonu üzerine olan etkilerinin incelenmesi faydalı olacaktır.

Agregaların alkali-silika reaktifliğinin belirlenmesi için hızlandırılmış harç çubuk deneyleri yapılmıştır. Gerçeğe daha yakın veriler edinmek ve karşılaştırabilmek için beton prizma deneyi ya da farklı metodlar kullanılabilir.



7. KAYNAKLAR

1. Bektaş, F., Preventive Measures Against Alkali-Silika Reaction, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002
2. Munzni, B.K., Agarwal, R., Sharma, P ve Vidyarthi, U.S., Comparative Study of the Effect of using Different types of Portland Cement and other Additives on Alkali-
3. Uygunoğlu, T., Yüksek Oranda Silis Dumanı İçeren Harçlarda Alkali Silika Reaksiyonu Gelişiminin İncelenmesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:5, No:2, 9-16, 2009
4. Topçu, İ.B., Canbaz, M., Uçucu Kül Kullanımının Betona Etkileri Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, C. XIV, 52, 2001.
5. ASTM C 618 Standart Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolans for Use as A Mineral Admixture in Portland Cement Concrete.
6. İpek, M., Yılmaz, K. ve Sert, G., Sakarya Bölgesinde Üretilen Kırmataş Agregaların Alkali-Agrega Reaksiyonunun İncelenmesi, 5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Bildiriler Kitabı, 1-6.
7. Yeğınobalı, A., Silis Dumanı ve Çimentonun Betonda Kullanımı TÇMB AR-GE Enstitüsü, Ankara, 2001.
8. Tapan, M., Özvan, A., Oyan, M. ve Direk, Y., Van Yöresinde Beton Üretiminde Kullanılan Agregaların Alkali-Silika Reaktivitesinin Belirlenmesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17 (2012) 13-19.
9. Gökçe, H.S., Şimeşek, O., Perlit Agregasının Pesimum Reaktif Agregası Oranının Farklı Yöntemlerle İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak.Derg. Cilt 25, no 4, 839-846, 2010.
10. Erdoğdu, K., Tokyay, M., Türker, P., Traslara ve Traslı Çimentolar, 3.Baskı, TCMB Arge Enstitüsü, Ankara, 2001.
11. Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M., Concrete, Mikrostructure, Properties and Materials.
12. Swamy, R.N., 1990, The Alkali- Silica Reaction in Concrete Thomson Litho LTD Scotland, U.K.
13. Akgün, Y., Yazıcıoğlu, F.Ö., İki Farklı Doğal Zeolit Katkısının Çimento Harç Aşınma Dayanımına Etkisi, Ordu Üni.Bil. Tek. Derg., Cilt: 6, Sayı: 1, 2016, 94-104.
14. Ustabaş, İ., Sülfat Etkisine Maruz Mineral Katkılı Beton ve Harçların Performanslarının İncelenmesi, Doktora Tezi, 2008.

15. Yetgin, Ş., Çavdar, A., 2005, Doğal Puzolan Katkı Oranının Çimentonun Dayanımını, İşlenebilirliğini, Katılaşma ve Hacim Genleşmesi Özelliklerine Etkisi, Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Der. 17(4), S 687-692.
16. Erdoğan, T.Y., Beton, Metu Press, Mayıs 2003.
17. Yeniboğalı, A., Silis Dumanının Beton Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu 1993, Ankara, Bildiriler Kitabı, 149-167.
18. Şimşek, O., Tuğla Ununun Çimentoda Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği 2006, Cilt 9, Sayı 4, S 325-329 Journal of Polytechnic.
19. ACI Committe 234, Proposed Report : Use of Silica Fume in Concrete, ACI Materials Journal.
20. Erdoğan S.T., Erdoğan T.Y., 2005 Puzolanların Bağlayıcılık Potansiyelinin Romalılar Tarafından Keşfi ve Romalılarda Puzolan Kullanımı THBB Dergisi, Yıl 12, S: 50-53.
21. Aşık, İ., Şen, H., Ergintov, Y., Ünsal, A., Şentürk, E., Bayrak, E., Alkali Silika Reaksiyonu Yönünden Zararlı Olan Bir Ocağın İyileştirilmesi, Beton Kongresi, 2004, Ankara Bildiriler Kitabı, 1-10.
22. Çelik, Ö., Yurter, G., Kan, S., Yeprem, H.A., Farklı Puzolanik Katkıların Çimento Harçlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, Doğuş Üniversitesi Dergisi 5(2), 2004, 147-154.
23. Şengül, Ö., Taşdemir, M., 2008 Doğal ve Endüstriyel Mineral Katkılar İçeren Betonların Tasarımı, Mekanik Özellikleri ve Durabilitesi, İnşaat Mühendisleri Odası e-kütüphane, Şubat, 3156.
24. Pistilli, M.F., Wintersteen, Rand Cechner, R., The Uniformity and İnfluence of Silica Fume From A U.S. Source on The Properties of Portland Cement Concrete, Cement, Concrete and Aggregates 6, 120-124.
25. Arnould, M., 1997 Alkali Reaction with Silica Alkaline Aggregates Result of Recent Researchers in France Proceedings 97 İnternational Three Gorges Project Technical Seminar Yichang China, pp 184-195.
26. Neville, A.M., 1981 Properties of Concrete Longman Scientific-Technical, London, England.
27. ASTM C 311 Standart Test Method for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Puzzolans for Use as a Mineral Admixture in Porland Cement Concrete.
28. Orchard, D., Concrete Technology, Volume 1, Fourth Edition, Applied Science Publishers LTD., Great Britain 1979.
29. Yayla, H., Gürü, M., Çimento ve Beton Palme Yayıncılık

30. Ramyar, K., Dönmez, H., Andiç, Ö., Alkali-Silis Reaksiyonunun Mineral ve Kimyasal Katkılar Yardımı ile Kontrol Altına Alınması, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü, 2002, 3-15.
31. Demir, İ., Alkali Silika Reaksiyonuna Etkisine Maruz Aynı Oranda Silis Dumanı ve Uçucu Kül İçeren Harçların Mekanik Özellikleri Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 25, No 4, 749-758, 2010.
32. Engin, G., Nevşehir Acıgöl Bölgesinden Elde Edilen Perlit Agregasının Alkali-Silika Reaksiyonunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
33. Yazıcı, Ş., Sezer, G.İ., Polimer İlaveli Harçlarda Sülfat Etkisinin ve Alkali Silis Reaksiyonunun İncelenmesi, Pamukkale Üniv. Müh. Bilim Derg. 22(6), 413-417, 2016
34. Ramlochan, T., Thomas, M., Gruber, K.A., The Effect of Metakaolin on Alkali silica Reaction in Concrete, Cement and Concrete Research, 30, 2000, 339-344.
35. Lea, F., The Chemistry of Cement and Concrete, Third Edition, Edward Arnold Ltd. Glasgow 1970.
36. Özturan, T., Beton Üretiminde Uçucu Kül Kullanımı İmo 157-166.
37. Aşık, İ., Şen, H., Ergintov, Ytark, D., Handbook For The Silica Reactivity in Highway Structures, SHRP-C/FR-91-101, Strategic Highway Research Program, 1993

8. EKLER

Ek Tablo 1. %5 Silis dumanı ilave edilmiş taş ocağı agregasına ilişkin deney sonuçları

Silis Dumanı %5 oranında ilave			
	3 günlük uzama	7 günlük uzama	14 günlük uzama
1 No'lu numune	0.06271	0.12134	0.26091
2 No'lu numune	0.08911	0.10742	0.2583
3 No'lu numune	0.09751	0.14162	0.2473
ORTALAMA	0.08311	0.12346	0.25550333

Ek Tablo 2. %7.5 Silis dumanı ilave edilmiş taş ocağı agregasına ilişkin deney sonuçları

Silis Dumanı %7.5 oranında ilave			
	3 günlük uzama	7 günlük uzama	14 günlük uzama
1 No'lu numune	0.00851	0.05621	0.08462
2 No'lu numune	0.00911	0.06742	0.08532
3 No'lu numune	0.00672	0.07009	0.09178
ORTALAMA	0.0081133	0.06457333	0.08724

Ek Tablo 3. %10 Silis dumanı ilave edilmiş taş ocağı agregasına ilişkin deney sonuçları

Silis Dumanı %10 oranında ilave			
	3 günlük uzama	7 günlük uzama	14 günlük uzama
1 No'lu numune	0.00601	0.06463	0.07354
2 No'lu numune	0.02435	0.05613	0.06634
3 No'lu numune	0.04535	0.05448	0, 06007
ORTALAMA	0, 0252367	0, 05841333	0, 06665

Ek Tablo 4. %20 Zeolit ilave edilmiş taş ocağı agregasına ilişkin deney sonuçları

Zeolit %20 oranında ilave			
	3 günlük uzama	7 günlük uzama	14 günlük uzama
zeolit %20	0.09538	0.13783	0.18292
zeolit %20	0.11157	0.16632	0.19734
zeolit %20	0.12639	0.16442	0.18333
ORTALAMA	0.1111133	0.15619	0.18786333

Ek Tablo 5. %30 Zeolit ilave edilmiş taş ocağı agregasına ilişkin deney sonuçları

Zeolit %30 oranında ilave			
	3 günlük uzama	7 günlük uzama	14 günlük uzama
zeolit %30	0.01128	0.04762	0.08107
zeolit %30	0.03894	0.04836	0.07191
zeolit %30	0.02125	0.05132	0.08404
ORTALAMA	0.0238233	0.0491	0.07900667

Ek Tablo 6. %50 Zeolit ilave edilmiş taş ocağı agregasına ilişkin deney sonuçları

Zeolit %50 oranında ilave			
	3 günlük uzama	7 günlük uzama	14 günlük uzama
zeolit %50	0.00352	0.00594	0.01596
zeolit %50	0.00331	0.00574	0.00738
zeolit %50	0.00549	0.00704	0.00364
ORTALAMA	0.0041067	0.00624	0.00899333

ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Trabzon’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Yomra’da tamamladı. 2009’da Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği’nde lisans eğitimine başladı. Ocak 2014’te mezun olarak “İnşaat Mühendisi” unvanını aldı. Temmuz 2014’te özel bir firmada başlamış olduğu şantiye şefliğine ilerleyen senelerde proje müdürü olarak halen devam etmektedir.2016’da başlamış olduğu Avrasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisansa başladı. Safa PEHLİVAN orta seviyede İngilizce bilmektedir.

