

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**AGREGA ÖZELLİKLERİNİN BETONDA ALKALİ SİLİKA REAKSİYONU  
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Maden Müh. Aknur BAKHYTZHAN**

**HAZİRAN 2019  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**AGREGA ÖZELLİKLERİNİN BETONDA ALKALİ SİLİKA REAKSİYONU**  
**ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Maden Müh. Aknur BAKHYTZHAN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**  
**"MADEN YÜKSEK MÜHENDİSİ"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 / 05 / 2019**

**Tezin Savunma Tarihi : 11 / 06 / 2019**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Kadir KARAMAN**

**Trabzon 2019**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalında  
Aknur BAKHYTZHAN Tarafından Hazırlanan**

**AGREGA ÖZELLİKLERİNİN BETONDA ALKALİ SİLİKA REAKSİYONU  
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2019 gün ve 1806 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ**

**Üye : Doç. Dr. İlker USTABAŞ**

**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Kadir KARAMAN**



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmış ve 7828 nolu KTÜ Bilimsel Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

Tez çalışmam ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana yardımlarını esirgemeyen ve göstermiş olduğu katkılardan dolayı başta danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Kadir KARAMAN'a teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca, Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ'a tezime gösterdiği yardımlardan dolayı teşekkür ederim. Tez çalışmalarım boyunca laboratuvar işlerinde yardımlarını esirgemeyen Eren AKAN'a, Erhan GÜLTEKİN'e, Murat Hakan ÖZTEMİR'e, Sümeyye YÜRÜMEZ'e sonsuz teşekkür ediyorum. Deneysel çalışmalarda sağladıkları laboratuvar ortamı ve deney eğitimi için Devlet Su İşleri 22. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol Laboratuvarı personeline, özellikle Ömer KOLAYLI'ya teşekkür ederim.

Çalışmalarım ve tüm hayatım boyunca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, aileme ve arkadaşlarıma sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Aknur BAKHYTZHAN  
Trabzon, 2019

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Agrega özelliklerinin betonda alkali silika reaksiyonu üzerindeki etkisinin araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Kadir KARAMAN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 11/06/2019

Aknur BAKHYTZHAN

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ .....	XI
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Agregalar .....	1
1.2.1. Agregaların Özellikleri .....	3
1.2.2. Agregaların Sınıflandırılması .....	4
1.2.3. Beton Agregalarında Aranılan Özellikler.....	5
1.3. Alkali Silika Reaksiyonu (ASR) .....	6
1.4. Alkali Silika Reaksiyonunu Etkileyen Faktörler .....	8
1.4.1. Agregadaki Reaktif Silis ve Alkali İçeriğinin Etkisi .....	8
1.4.2. Nem ve Sıcaklık Etkisi .....	8
1.4.3. Reaktif Agreganın Cinsinin ve Boyutunun Etkisi ASR'ye Etkisi.....	9
1.4.4. Karışım Oranlarının Etkisi .....	9
1.4.5. Diğer Faktörler.....	10
1.5. Alkali-Agrega Reaksiyonunun Belirtileri .....	10
1.6. Çimento ve Beton .....	11
1.6.1. Çimento .....	11
1.6.2. Beton .....	11
1.7. Literatüre Taraması.....	12
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	15
2.1. Malzeme .....	15
2.2. Agregalara Uygulanan Deney Yöntemleri.....	15

2.2.1.	Agregaların Elek Analizi.....	17
2.2.2.	Yoğunluk ve Porozite Deneyleri.....	18
2.3.	Alkali-Silika Reaksiyonunu Belirleme Yöntemleri .....	21
2.3.1.	ASR Reaksiyonunda Kullanılan Deney Yöntemleri .....	21
2.3.1.1.	Hızlandırılmış Harç Çubuğu Metodu (ASTM-C 1260) .....	22
2.4.	Beton Örneklerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı (TEBD).....	27
2.5.	Agregaların Nokta Yükleme Dayanımı.....	28
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	32
3.1.	Mineralojik Analizler.....	32
3.2.	Kimyasal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	40
3.3.	SEM Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	42
3.4.	ASR Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	44
3.5.	Genel Değerlendirme.....	47
4.	SONUÇLAR .....	49
5.	KAYNAKLAR .....	50
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

AGREGA ÖZELLİKLERİNİN BETONDA ALKALİ SİLİKA REAKSİYONU  
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Aknur BAKHYTZHAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Kadir KARAMAN  
2019, 55 Sayfa

Alkali-silika reaksiyonu (ASR), beton agregalarında yer alan reaktif silis (opal, çört, kalsedon ve kuvars gibi) ile betonun boşluklarında çözelti halde bulunan çoğunlukla çimento kaynaklı olan alkaliler (sodyum oksit ve potasyum oksit) arasında oluşan reaksiyondur. Geçmişten günümüze beton yapıların dayanıklılığını etkileyen önemli bir faktördür. Bu reaksiyon, betonda nem etkisiyle genişleyen alkali-silis jelinin oluşmasına neden olur ve genişleme sonucu meydana gelen çekme gerilmeleri çatlamaya yol açar. Sonucunda betonarme yapı elemanının zaman içerisinde bozulup, işlevini yitirmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, beton içeriğinin yaklaşık olarak %70'ini oluşturan agreganın özelliklerinin iyi bilinmesi ve agregada var olan serbest silis içerikli zararlı minerallerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasının amacı, agreganın özelliklerinin betonda alkali silika reaksiyonu üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu amaca yönelik olarak, hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi yapılmış ve kayaçlar ASR yönünden araştırılmıştır. Bazalt, kuvarsit ve kil taşı ASR yönünden riskli bulunmuştur. Mineralojik, kimyasal ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) analizleri ile olası ASR etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. ASR yönünden zararlı örneklerin SEM analizinde iğnemi mikro yapıların geliştiği görülmüştür. Kimyasal analiz sonuçları da hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi sonuçlarını desteklemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Agreganın, Alkali-Silika reaksiyonu, Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi



Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF AGGREGATE PROPERTIES ON ALKALI  
SILIKA REACTION IN CONCRETE

Aknur BAKHYTZHAN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Mining Engineering Graduate Program  
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Kadir KARAMAN  
2019, 55 Pages

Alkali silica reaction (ASR) is a concrete durability problem whereby certain forms of silica in aggregates react in high alkaline pore solutions in concrete to form a reaction product that expands in the presence of moisture. It is an important factor affecting the durability of concrete structures from past to present. This reaction causes the formation of alkaline-silica gel in the concrete with the effect of moisture, and tensile stresses resulting from expansion lead to cracking. As a result, the structure of the reinforced concrete structure in time, causing the loss of function. Therefore, it is necessary to know the properties of the aggregate which constitutes approximately 70% of the concrete content and to detect harmful minerals with free silica present in the aggregate. The aim of this thesis is to investigate the effect of aggregate properties on alkaline silica reaction in concrete. For this purpose, accelerated mortar bar method test was carried out and the rocks were investigated for ASR. Basalt, quartzite and clay stone were found to be risky in terms of ASR. Mineralogical, chemical and SEM (Scanning Electron Microscopy) analyzes were used to determine the possible effects of ASR. In the SEM analysis of the harmful samples interms of the ASR, acicular microstructures were observed to develop. The results of the chemical analysis also supported the results of the accelerated mortar bar method.

**Keywords:** Aggregate, Alkali Silica Reaction, Accelerated mortar bar tests

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Silis çözünürlük sınırları.....	7
Şekil 1.2. ASR'den kaynaklanan çatlaklara ilişkin örnek görüntüleri.....	10
Şekil 2.1. Örneklerin temin edildiği yerler.....	15
Şekil 2.2. Laboratuvarında kullanılan elekler (a-b).....	17
Şekil 2.3. Kullanılan elek aralığı.....	18
Şekil 2.4. Örneklerin suya bırakılması (a) ve ağırlıklarının tartılması (b).....	19
Şekil 2.5. Hacmin ölçülmesi.....	20
Şekil 2.6. Deney numunesinin hazırlanması (a-b).....	23
Şekil 2.7. Numune karışımı.....	24
Şekil 2.8. Kalıpların doldurulması (a-b).....	24
Şekil 2.9. Kür kabini (a) ve komparatör (b).....	25
Şekil 2.10. Su banyosu (a) ve numune kabı (b).....	25
Şekil 2.11. Harç çubukları (a-b).....	26
Şekil 2.12. TEBD deneyi a) numuneler kırılmadan önce b) kırıldıktan sonra .....	27
Şekil 2.13. Nokta yükleme deneyi numune şekilleri .....	29
Şekil 2.14. Harç çubuklarında yapılan deney.....	31
Şekil 3.1. Bazaltın ince kesit görünümü, a) tek nikol (TN), b) çapraz nikol (ÇN).....	33
Şekil 3.2. Diyabaz-1 örneğinin ince kesit görünümü (a-b).....	34
Şekil 3.3. Granodiyorit örneğinin ince kesit görünümü (a-b).....	35
Şekil 3.4. Diyabaz-2 örneğinin ince kesit görünümü (a-b).....	36
Şekil 3.5. Andezit örneğinin ince kesit görünümü (a-b).....	37
Şekil 3.6. Kireçtaşı örneğinin ince kesit görünümü (a-b).....	38
Şekil 3.7. Lapilli tuf örneğinin ince kesit görünümü (a-b).....	39
Şekil 3.8. Zamana bağlı bazı ana oksitlerde yaşanan değişimler.....	41
Şekil 3.9. Öğütülmüş örneklerde SEM analizi, a) 1000 büyütme, b) 10000 büyütme	42
Şekil 3.10. Bulk (kütle) örneklerde SEM analizi (a-f).....	43
Şekil 3.11. Örneklerde gözlenen mikro çatlaklar .....	44
Şekil 3.12. Zamana bağlı örneklerde meydana gelen genleşmeler.....	44

Şekil 3.13. Çözeltinin genleşmeye etkisi, a) diyabaz-1, b) andezit, c) kuvarsit .....	46
Şekil 3.14. Çalışılan kayaçların ASR açısından değerlendirilmesi.....	47



## TABLULAR DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 2.1. Betonda kullanılan agregaların fiziksel özellikleri.....	21
Tablo 2.2. Deneyde kullanılan agreganın tane boyut dağılımı.....	23
Tablo 2.3. ASR ölçüm sonuçları.....	26
Tablo 2.4. Örneklerin tek eksenli basınç deneyi sonuçları.....	28
Tablo 2.5. ASR deneyine tabi tutulan örneklerin PLI sonuçları .....	31
Tablo 3.1. ASR deneyi için hazırlanan örneklerin kimyasal içerikleri.....	41



## **1. GENEL BİLGİLER**

### **1.1. Giriş**

Beton gerek ulaşım, altyapı gerekse barınma ihtiyaçlarında tüm dünya insanların yararlandığı önemli bir mühendislik tasarımıdır. Beton ve karışım malzemelerine yönelik literatürde onlarca çalışma mevcuttur. Çalışmalar daha çok kür süresi ve dayanım ilişkileri, çimento tipinin etkisi, agrega türünün etkisi şeklinde sıralanabilmektedir. Ayrıca bir bölge veya taş ocağındaki kayaların beton agregası olarak kullanımına yönelik çok sayıda çalışma olmasına rağmen, kullanılan agregaların Alkali Silika Reaksiyonu (ASR) yönünden betona etkisi üzerine daha az sayıda araştırma mevcuttur. Literatür araştırmalarına göre araştırmacılar daha çok belli bir bölgedeki taş ocakları veya kaynakların ASR oluşumu açısından risklerini belirtmişlerdir. Çalışmaların sonucunda bazı bölgelerin riskli olduğunu, bazı bölgelerin ise risk içermediğinden bahsedilmiştir. Ayrıca, ASR oluşumunun azaltılmasına veya önlenmesine yönelik olarak farklı katkı maddelerini betona katmışlardır.

ASR evrensel ölçüde betonarme yapılarda hasarlar meydana getirdiğinden uzun ömürlü beton yapılarının tasarımında ve beton yapılarda ASR'den kaynaklı oluşabilecek zararın azaltılması açısından bu konuda yapılacak çalışmalar önem arz etmektedir. Tez kapsamında farklı agrega türleri kullanılacak olup, ASR deneyi öncesi ve sonrasında alınan örnekler üzerinde SEM ve kimyasal analizler yapılacaktır. Böylelikle, ASR oluşum aşamaları gözlenmiş ve kimyasal açıdan ana oksit bazında değişim oranları ayrıca araştırılmış olacaktır. Tez kapsamından elde edilen bulguların benzer konularda çalışan araştırmacılara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

### **1.2. Agregalar**

Agrega, beton veya harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme yardımıyla bir araya getirilen, organik olmayan, doğal veya yapay malzemenin genellikle 100 mm'yi, yapı betonlarında ise 63 mm'yi geçmeyen büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerinin oluşturduğu bir yığındır (Erdoğan, 1995; TSE 706,

1980). Karayolları ve mühendislik yapılarının ana malzemesinden olan agregalar genellikle içinde bulunduğu beton hacminin % 60 - % 80'ini oluşturmaktadırlar (Baradan, 2004).

Agrega, doğal, yapay ve geri kazanılmış şeklinde sınıflandırılabilir. Doğal agregalar mineral kaynaklarından elde edilir ve kırma taşlar, çakıl ve nehir kumu bu kısma girmektedir. Beton kullanımındaki hızlı artış sonucu çakıl ve nehir kumu kaynakları yetersiz kalmıştır. Taş ocaklarında kırmataş üretimine başlanılmış ve bu üretim biçimi yaygınlaşmıştır. Maliyetin uygun olması istenilen tane boyutlarında üretilebilmesi çimento hamurunun yapışma yüzeyinin artması gibi avantajlarına karşın kırılma sırasında mikro çatlaklara sahip olması, daha fazla su emmesi, pürüzlü yüzey ve sivri köşeleri nedeniyle oluşan yerleştirme ve sıkıştırma problemleri gibi özelliklere dikkat edilmelidir. Endüstrideki gelişmeler atık miktar ve çeşidini artırmıştır. Yüksek fırın cürufu gibi granüller yapıdaki endüstriyel atıklar yapay agrega olarak beton üretiminde değerlendirilebilmektedirler. Ayrıca binaların çeşitli nedenlerle yıkılıp tekrar yapılması sırasında ortaya çıkan atık betonlar, camlar, tuğlalar ve kiremitler kırılarak betonda geri kazanılmış agrega olarak kullanılabilir. Yoğunluğu 2.4 ve 2.8 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişen agregalar normal agrega olarak isimlendirilmektedir. Bu tür agregalardan üretilen betonlara da normal beton denilmektedir. Agregalar yuvarlak, köşeli, yassı ve uzun olmak üzere farklı şekillere sahip olmaktadır. Yuvarlak agregaların taneleri küreye yakın şekilli iken köşeli agrega taneleri, üzerinde keskin çıkıntılar bulunduran tanelerdir. Tane şekli köşeli olanlar genellikle kırma taş agregalarıdır. Yassı ve uzun taneler ise en büyük boyutu ile en küçük boyutu arasında büyük fark bulunan agregalar olup kusurlu taneler (en büyük boyutu en küçük boyutundan üç kat fazla olan) olarak da adlandırılırlar. Beton içerisinde kusurlu tane miktarının %50'den fazla olması istenmez. Agregatanelerinin şekli çok önemlidir çünkü taze betonun işlenebilme özelliğini, betonun su ihtiyacını ve buna bağlı olarak betonun fiziksel ve mekanik özellikleri gibi birçok özelliğini etkilemektedir. Agreganın şeklinin yanı sıra görünüm olarak da yüzeyi temiz olmalı, kil, silt vb. ince maddeler ve organik maddeler gibi betonun özelliklerini olumsuz yönde etkileyecek maddeler içermemelidir (Topçu vd., 2006).

Çimento beton yapımında kullanılan en pahalı malzemedir. Çimentoya kıyasla agrega ucuz bir malzemedir. Bu nedenle, beton maliyetini düşüren en önemli etken istenilen kalitede mümkün olduğu kadar fazla agrega kullanmaktır. Agreganın betonun teknik özelliklerine önemli katkıda bulunmaktadır. Bunlar:

- Betonun aşınma direncini artırır. Ayrıca agregalar genellikle dayanıklı ve sert malzemeler oldukları için betonun dayanımın yüksek olmasına katkı sağlar.
- Çimento hamuru zaman içerisinde kuruyarak büzülme özelliği gösteren bir malzemedir. Agregası, beton içindeki büzülmeden dolayı oluşabilecek hacim değişikliğine engel olmaya yardımcı olur.

Agregası, gereken mukavemete sahip olup dış etkenlere dayanabilmelidir. Agreganın mühendislik özellikleri (fiziki ve mekanik) istenilen koşulları karşılayabilecek nitelikte olmalıdır. Kullanılan yere göre agreganın sahip olması gereken özellikler değişebilir. Örneğin; aşınmaya maruz kalacak bir betonun agregası yeterli ölçüde aşınma mukavemetine sahip olmalıdır (Koca, 1996).

### 1.2.1. Agregaların Özellikleri

Taze betonun, agregası tarafından etkilenen başlıca özellikleri şunlardır:

- Beton karışımındaki malzeme oranları: Çimento, su, agregası ve gerektiğinde katkı malzemelerinin karışımından oluşan betonun birim hacminde (bir metreküp betonda), bu malzemelerin her birinin ağırlıkça veya hacim olarak yer aldıkları miktarlardır.
- İşlenebilme: Taze betonun kolayca ve homojenliğini yitirmeden karılabilme, taşınabilme, kalıplardaki yerine yerleştirilebilme ve sıkıştırabilme özelliğidir.
- Pompalanabilme: Çimento, su ve agreganın karılmasıyla elde edilen taze beton karışımının pompalanarak kalıplardaki yerine yerleştirilme özelliğidir.
- Beton içerisindeki hava miktarı: Beton üretimi için çimento, su ve agreganın karılması esnasında beton içerisinde az miktarda da olsa hava boşluğu oluşabilmekte veya karışımın içerisinde sıkışık durumda kalan bir miktar suyun, zamanla buharlaşması ile hava boşluğu meydana gelmektedir.
- Terleme: Taze beton, kalıplardaki yerine yerleştirildikten sonra, betonun içerisindeki bir miktar suyun betonun yüzeyine çıkma durumudur.
- Beton yüzeyinin mastarlanıp düzeltilebilmesi (perdahlanma): Taze betonu yerine yerleştirdikten sonra, beton yüzeyinin düzgün olması amacıyla mastarlanmasına, kadrarla düzeltilip, mala ile pürüzlerinin giderilmesi işlemidir.

Sertleşmiş betonun agregası tarafından etkilenen başlıca özellikleri şunlardır:

- Durabilite: Sertleşmiş betonun bazı etkenlere karşı (hava koşulları, kimyasal etkenler, aşınma ve betonun servis sırasında karşılaşacağı diğer yıpratıcı faktörler) dayanıklılık gösterme özelliğidir.
- Dayanım: Betonun, üzerine uygulanan bir takım yüklere karşı söz konusu yükleri taşıyabilmek üzere göstermiş olduğu dirençtir.
- Büzülme (rötre): Kısaca, sertleşmiş betonun hacmindeki küçülme olup, betondaki kuruma veya beton içerisindeki kimyasal olaylar nedeniyle gerçekleşmektedir.
- Birim ağırlık: Kullanılan agreganın özelliklerine, karışımı oluşturan malzemelerin oranına ve beton içerisindeki hava miktarına bağlıdır.
- Termik özellik: Betonun özgül ısı, geçirgenlik ve genleşme katsayısı özelliğidir.
- Ekonomi: Mühendislikteki başlıca hedef, betonun yeterli dayanımı ve durabiliteyi sağlayabilmesi ve ekonomik olmasıdır. Ayrıca, agreganın bulunabilirliği (yani, hangi tip agreganın, ne kadar uzak mesafeden getirilerek kullanılabilceği gibi hususlar), betonun ekonomisi üzerinde oldukça önemli rol oynamaktadır (Erdoğan, 1995).

### 1.2.2. Agregaların Sınıflandırılması

Agregaları daha iyi tanımlamak ve farklı özellikteki agregaları, beton imalatında daha uygun tarzda kullanabilmek için sınıflandırma işlemi yapılmaktadır (Şimşek, 2004).

Agregalar için kullanılan oldukça farklı sınıflandırma yapılmıştır. Kaynaklarına göre, yapay ve doğal olmak üzere iki sınıfa ayrılırken, özgül ağırlıklarına bağlı olarak hafif, normal ve ağır agregalar olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Ayrıca, tane büyüklüğüne göre ince ve iri agrega olmak üzere iki, tane şekline göre 4 (yuvarlak, şekilsiz, yassı ve uzun), jeolojik kökenine göre 3 (magmatik, metamorfik ve tortul) ve üretimine göre 3 (doğal, yan ürün ve ısıl işleme tabi tutulmuş) sınıfa ayrılırlar.

Doğal agregalar: Bazı doğal kaynaklardan (nehirlerden, eski buzul yataklarından, deniz ve göl kenarlarından, taş ocaklarından) elde edilmiş olup konkasörde kırma, elekler kullanarak eleme, değişik tane boylarına ayırma ve yıkama işlemleri dışında, doğada bulunan mevcut yapılarında değişiklik yaratacak herhangi bir işlem uygulanmamış agregalardır. En çok kullanılan doğal agregalar kum, çakıl ve kırmataştır (Karadağ, 2008).



Yapay agregalar: Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi beton üretimi ile doğrudan ilgisi bulunmayan bir endüstri kolunda yan ürün veya atık malzeme olarak ortaya çıkan malzemelerden üretilen agregalara verilen isimdir (Erdoğan, 2003).

Özgül ağırlığına göre agregalar: Özgül ağırlığı  $2.4 \text{ gr/cm}^3$ 'ten küçük olanlar hafif,  $2.4\text{-}2.8 \text{ gr/cm}^3$  arasında olan agregalar normal ağırlıklı,  $2.8 \text{ gr/cm}^3$ 'ten büyük olan agregalar ise ağır agrega olarak adlandırılmaktadır (Popovics, 1979).

Boyutlarına göre agrega:  $4.75 \text{ mm}$ 'den küçük ince taneli malzemeye ince agrega denilir.  $4.75 \text{ mm}$  – en büyük boyut ( $D_{\text{maks.}} = 40 \text{ mm}$ ) arasındaki taneli malzeme ise iri agrega denilir. Kayaların parçalanıp akarsular tarafından taşınarak biriken iri taneli agregaya da çakıl denmektedir. Agregalar akarsu yatakları ve deniz ve göl kıyılarından doğrudan belli boyutlarda elde edilebildikleri gibi taşocağındaki kaya bloklarının kırılıp eleme işlemleri sonucunda da temin edilebilirler. Taş ocaklarından söz konusu yöntemle elde edilen agregaya kırmataş adı verilir. Kırmataş artığı ise (ince taneli) kırma kum (taşunu) olarak adlandırılmaktadır. Beton üretiminde ince agrega olarak kumla birlikte taşunu kullanılmaktadır (Arıoğlu vd. 2006).

Tane şekline göre doğal olarak elde edilen agregalar çoğunlukla, yuvarlak, yassı, uzun ve keskin köşeli olurken kırma agrega da keskin köşeli agrega grubuna dâhil olmaktadır.

Agregalar jeolojik oluşumlarına göre, volkanik, tortul ve metamorfik şekilde sınıflandırılır.

Üretimine göre ise agregalar doğal (kum, çakıl, kırma taş vb.), yan ürün (cüruf, perlit ve geri kazanılmış agregalar) ve ısıtılma tabii tutulmuş (genleştirilmiş perlit) şeklinde sınıflandırılmaktadır (Bal, 2011).

### 1.2.3. Beton Agregalarında Aranılan Özellikler

Kaliteli bir beton üretimi gerçekleştirmek için agregaların aşağıdaki bazı özelliklere sahip olması istenir (Şimşek, 2003).

- Agregalar sağlam olup, aşınmaya dirençli olmalı ve dolayısıyla suyun etkisiyle yumuşayıp dağılmamalıdır.
- Çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmeyen özelliklere sahip olup, korozyona karşı donatıyı korumalıdır.

- Tane biçimi ve dokusu uygun özellikte olmalıdır.
- Amaca ve standartlara uygun tane büyüklüğü ve dağılımına sahip olmalıdır.
- Betona zarar verebilecek maddeler agrega içinde olmamalıdır.

### 1.3. Alkali Silika Reaksiyonu (ASR)

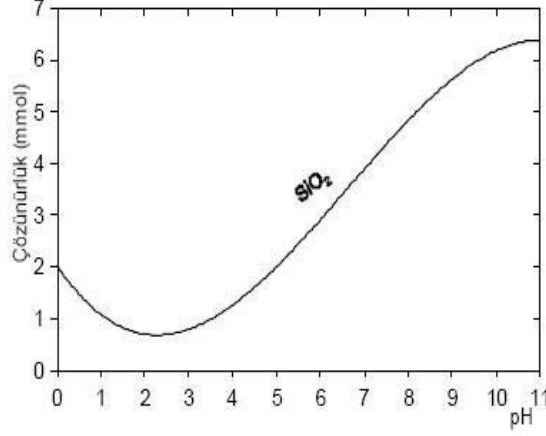
Alkali-silika reaksiyonu (ASR), beton agregalarında yer alan reaktif silis (opal, çört, kalsedon ve kuvars gibi) ile betonun boşluklarında çözelti halde bulunan çoğunlukla çimento kaynaklı olan alkaliler (sodyum oksit (Na<sub>2</sub>O) ve potasyum oksit (K<sub>2</sub>O)) arasında oluşan reaksiyona denir (Malvar vd., 2002; Demir, 2010; Ramyar, 2013). ASR'nin daha belirgin ve zararlı hale gelmesinde oluşan jelin, su emdikçe hacminin daha çok artmasıdır. Beton içerisinde alkali silika reaksiyonu nedeniyle meydana gelen genleşmeler ve iç gerilmeler sonucu oluşan mikro çatlaklar zamanla büyüyerek betonda önemli oranda dayanım ve dayanıklılık kaybına neden olmaktadır. Agregalar, reaksiyon yapabilen amorf silisten oluşan bileşenleri içerebilir ve söz konusu bileşenler, betonun boşluk suyunda çözünen alkali hidroksit ile kuvvetli kimyasal reaksiyona girerek, önce berrak, çoğunlukla yüksek konsantrasyonlu ve sonra yüksek viskoziteli şişebilen alkali silikat çözeltisini oluşturmaktadır. Agreganın alkaliye karşı hassas unsurları bu esnada yumuşayıp çözünmektedir. Reaksiyon süresi ve şiddeti, bazı faktörlere (betonun boşluğunda bulunan çözeltideki alkali hidroksit miktarına ve sertleşmiş betonun çevre koşullarına, agreganın alkaliye duyarlı bileşenlerinin cins ve miktarına, tane büyüklüğüne ve dağılımına) bağlıdır.

ASR, alkalilerin agregada bulunan reaktif silikaya temasıyla başlamaktadır. Bu reaksiyonun sonucu olarak, agrega tanelerinin yüzeyinde ,‘alkali-silika jeli’ denilen ve aşağıdaki formülde gösterilene benzer yapıda jeller oluşmaktadır (Erdoğan, 2007).



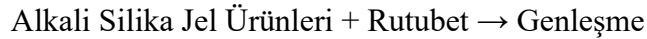
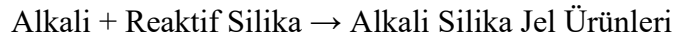
Bu reaksiyon sonucunda betonda çatlaklar meydana gelmekte, betonun çekme ve çekmede eğilme dayanımı azalmaktadır. Özellikle viyadük, köprü ve tünel gibi büyük mühendislik yapılarında meydana gelen bu reaksiyon, önemli teknik ve ekonomik sorunlara yol açmaktadır. Reaksiyonun oluşumuna neden olan jeokimyasal süreç incelendiğinde ise silisyumun çözünürlüğünün, pH'ın 10 olduğu durumlarda en üst düzeye çıkması şeklinde açıklanabilir. Çimento harcının pH değeri kullanılan çimento türüne göre

değişmekle beraber bu değer portland çimentolarında en az 12.5 seviyesindedir. Bu değer ortamda agrega olarak bulunan silis minerallerinin çözünmesi (Şekil 1.1) için yeterli bir değerdir (KGM, 2003).



Şekil 1.1. Silis çözünürlük sınırları (Erik vd., 2004)

Genel olarak betonun yaklaşık 5 cm' lik kısmına kadar önemli oranda nem içermesi (%100'e kadar) reaksiyonun uzun bir süre içerisinde ilerlemesine yol açmaktadır. Bu reaksiyonun oluşumuna etki eden faktörler arasında kullanılan agreganın mineralojik bileşiminin yanı sıra alkaliniteside önemlidir. Beton bileşeni olarak kullanılan çimentonun türü ve kimyasal bileşimi ASR yönünden değiştirilebilir bir faktör olarak görülmektedir. Portland türü çimentonun içinde bulunan alkallerin oranı ( $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$ ) %0.6'nın üzerinde olması durumunda ASR bakımından çimento riskli grupta yer almaktadır (Erik ve Mutlutürk, 2004). ASR'nin oluşturduğu reaksiyon iki aşamada meydana gelmektedir.



Betonda içsel çekme gerilmelerinin oluşumu 1. aşamadaki jel oluşumu ile eş zamanlı değildir. Bu nedenle jelin varlığı mutlaka ciddi boyutta ASR tahribatı oluşacağı anlamına gelmemektedir (Aşık vd., 2003).

## 1.4. Alkali Silika Reaksiyonunu Etkileyen Faktörler

### 1.4.1. Agregadaki Reaktif Silis ve Alkali İçeriğinin Etkisi

Betonda ASR'nin oluşmasında reaktif silisin mevcut olması gerekmektedir. Söz konusu silisin farklı özelliklerde kristal yapısı ve dokusu bulunmaktadır. Agregada içinde reaktif silis mineralinin hangi oranda bulunmasıyla zararlı olacağına yönelik çeşitli çalışmalar literatürde mevcuttur. Agregada düşük oranda opal (% 3-5) bulunması beton genişmesini en yüksek değere ulaştırırken, opal oranı agregalarda % 20'den daha fazla olduğunda ise genişlemenin olmadığı vurgulanmıştır. Daha fazla reaktif mineralin daha fazla betonda genişmeye neden olmaması var olan alkali oksitlerinin agregada bulunan reaktif silisin hepsine yetmeyişinden ve etkisiz oranda alkali silis jeli oluşmasından kaynaklanmaktadır (Yalçın, 1974).

Çimentoda yer alan bazı oksitler ( $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$ ) çimentoda kullanılan malzemelerden (kireçtaşı, kil) kaynaklanmaktadır. Alkaliler özellikle klinkerde bulunan  $\text{SO}_3$  ile birleşirler. Çimento su karışımında alkali sülfatlar sıvı ortama hızlı bir şekilde geçerek, hidroksit yoğunluğunun artmasına neden olurlar. Neticede, alkali içeriği hızla artar ve büyük oranda alkaliler 28 günde çözeltilmeye başlar (Baradan vd., 2002).

Alkali içerikleri benzer olduğunda bile farklı genişleme değerlerinin elde edildiğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Çimentoda farklı miktarlarda açığa çıkan alkali içeriği ve her çimentoda sodyum/potasyum oranının farklı olmasından kaynaklanmaktadır (Hobbs, 1998; Tosun, 2001).

### 1.4.2. Sıcaklık ve Nem etkisi

Sıcak iklim koşullarındaki bulunan yapılar, soğuk iklim koşullarında bulunana kıyasla ASR'ye karşı daha hassastır. Ortamda bulunan nem ve sıcaklık artışı reaksiyonun hızlanmasına yol açmaktadır. Reaksiyonun başlaması ve devamı için ortamda yeterli oranda suya ihtiyaç vardır. Su, silisin çözünmesinde ve alkali iyonlarının yayılmasında etkin rol oynamaktadır. Bu durumda reaksiyon zonlarında jel oluşumu ve jelin büyümesi gerçekleşir. İlave olarak kuruma-ıslanma olayının tekrarlanması alkali taşınmasını kolaylaştırarak alkalilerin kuruma alanlarında yoğunlaşmasına yol açtığından reaksiyonu hızlandırmaktadır. Kuru betonda da jel gelişebilir. Ancak su betonun genişmesi için

gereklidir. Araştırmalar bağıl nem miktarının %80'den yüksek olması durumunda betonlarda ASR genleşmelerinin oluşabildiğini göstermiştir (Gillot ve Rogers, 1994).

Agregaların büyük çoğunluğunda aşırı termal gerilmeler sıcaklık artışı ile olmaktadır. Düşük ve yüksek sıcaklıkların genleşme oranları agregata türüne göre değişkenlik gösterir. Agregaların genellikle sıcaklık artışıyla reaktiflik oranı da artmaktadır (Andiç, 2002).

### **1.4.3. Reaktif Agregata Cinsinin ve Boyutunun ASR'ye Etkisi**

ASR'nin oluşumunda agregata bileşenlerinin türü ve biçimi oldukça önemlidir. Kuvars, opal, kristobalit, kalsedon, tridimit ve kriptokristal reaktif silika mineralleri olarak sıralanabilir.

ASR'den dolayı oluşabilecek olumsuzluklar için etkili olan bir faktör de reaktif agreganın tane boyutudur. Söz konusu etki, reaktif agregata ait mineralojik ve fiziksel özelliklere dayanmaktadır (Hobbs,1988; Andiç, 2002). ASR genleşmesinde reaktif agreganın tane büyüklüğünün etkisi 1940'dan beri araştırılmaktadır (Stanton, 1940). Bazı faktörlerin etkisi bu durumda araştırılmaktadır:

- İnce tane ve reaktif agreganın reaksiyon hızı arasındaki ilişki varlığı,
- Uzun süreli genleşmelerde kaba agreganın genleşmesinin rolü,
- Gözeneklilik reaksiyon alanı arasındaki ilişki varlığı araştırılmaktadır.

### **1.4.4. Karışım Oranlarının Etkisi**

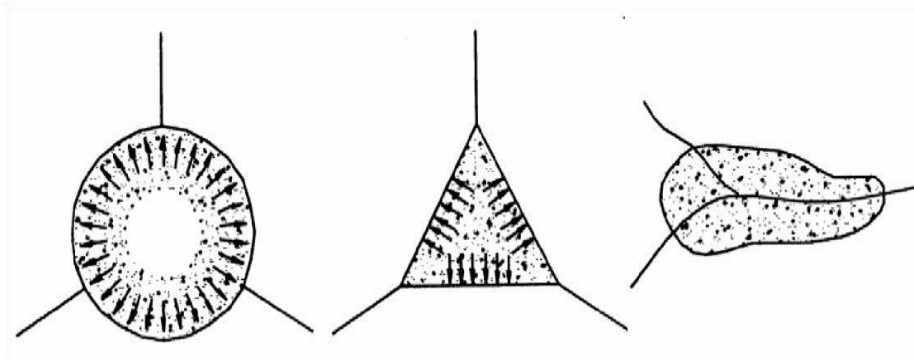
ASR reaksiyonunun gelişimini betonu oluşturan bileşenlerin oranları etkilemektedir. Betonun karışım oranları değiştirilerek hidroksil iyon konsantrasyonu ve alkali içeriği değiştirilebilir. Düşük su/imento oranları, imento miktarının artışı ve mineral katkı malzemesinin kullanımı gibi önlemler geirirmliliğin azalmasını sağlamaktadır. Böylece dışarıdan beton içine alkali ve su girişi, (OH)<sup>-</sup> iyonlarının betondaki hareketi kısıtlanarak ASR gelişimi nlenebilir (Hobbs, 1988; Baradan vd., 2002).

### 1.4.5. Diğer Faktörler

Dış alkaliler, betonun geçirimsizlik özelliği, tuzlar (buz çözücü), buhar küre uygulaması ASR'yi etkileyen diğer faktörlerdendir. Su/çimento oranı düşük olması, mineral katkı kullanımını gibi metotlarla gerçekleştirilen, geçirimsizliği az betonlarda nemin ve alkalilerin beton içerisindeki hareketi zorlaşmaktadır. Böylelikle, ASR genleşmeleri azalmaktadır (Stark,1995; Farny ve Kosmatka,1997).

### 1.5. Alkali-Agrega Reaksiyonunun Belirtileri

ASR hasarından bahsedilmesi için betonda ASR ürünlerinin oluşması gerekmektedir. Dikkatli inceleme ile betonda çatlaklar, renk değişimleri, genleşme, yüzey birikintileri, yüzey parçalanmaları-patlamaları gibi ASR belirtileri belirlenebilmektedir. Harita çatlağı türündeki desenler şüphesiz ASR varlığının en tipik göstergesidir. Yapılarda gelişen zemin ve muhtelif yüklerin yol açtığı çatlak yapılarından ASR çatlaklarının yapısı, epeyce farklılık arz etmektedir. ASR'nin oluşturduğu jelleşme, agrega taneciği içinde veya agrega taneciği çevresinde reaksiyon halkası şeklinde oluşabilmektedir. Bulabildiği ölçüde su emerek enerjisini boşaltan bu jel, su emdikçe hacimsel olarak büyümektedir. ASR'den kaynaklanan çekme gerilmeleri nedeni ile beton 3 veya 4 kollu yıldız şeklinde çatlamaaktadır (Şekil 1.2) (Arslan, 2001).



Şekil 1.2. ASR'den kaynaklanan çatlaklara ilişkin örnek görünüşler  
(Arslan 2001)

## 1.6. Çimento ve Beton

### 1.6.1. Çimento

Çimento (cement) kelimesi Latince bir kelime olup “bağlamak” anlamına gelir. Eski mısırlılar tarafından piramitlerin yapımında kullanılmıştır. Eski Yunanlılar ve Romalılar volkanik tüf (sünger taşı) ile kireci karıştırarak çimento yapıp kullanmışlardır ve bununla yapılan yapılar hala ayakta. 1824’de bir İngiliz Joseph Asphdin killi bir kireç taşının kalsinasyonu ile (pişirme) yapay çimento üretiminin patentini almıştır. Bu ürüne *portland* ismini vermesinin sebebi ise İngiltere yakınlarındaki Portland adasından çıkarılan ünlü yapıtaşlarına benzemesidir. Çimento esas itibarı ile diğer bağlayıcı ürünlerden (kireç ve puzolan içerikli bağlayıcılar) farklı olarak hidrolik bir bağlayıcıdır yani su altında piriz olarak sertleşebilen bir yapıya sahiptir. Portland çimentosu üretebilmek için, önce kalkerli ve killi malzemelerden oluşan hammadde karışımı yüksek sıcaklıklarda (1350-1450 °C) pişirilerek klinker adı verilen bir ürün elde edilmektedir. Bundan sonra sıcaklığı çevre sıcaklığına düşürülen klinkere %3-6 oranında alçıtaşı ( $\text{CaSO}_4,2\text{H}_2\text{O}$ ) ilave edilerek bu iki malzeme birlikte öğütülmektedir (Erdoğan, 2007).

### 1.6.2. Beton

Yapı tasarımında kullanılan ana malzemelerden biri olan beton, dökülerek şekillendirilebilmesinin tasarımda sağladığı kolaylık, ucuzluk, uzun ömür, bulunduğu yerde üretilebilme, görünüş estetiği gibi nedenlerle, inşaat malzemesi olarak çok sayıda üstünlük içermektedir.

Beton genellikle portland çimentosu ve sudan oluşan sert çimento hamuru ana faz (bağlayıcı içinde) içinde, iri taneli dolguların (agrega) yer aldığı seramik bir karma malzemedir. Betonun bileşimi değişebilmekle beraber, çoğunlukla, mutlak hacim cinsinden, %7-15 çimento, %14-21 su, %1.5-3 hava, %55-80 agrega bileşenlerinden oluşur (Smith, 2001).

Çevrede çok sayıda beton yapıları (yollar, barajlar, istinat duvarları, binalar, depolar, köprüler, santraller, hava alanı ve limanlar, vb.) bulunmaktadır. Dünyada her yıl yaklaşık 5.5 milyar ton beton üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu miktar dünya nüfusuna bölündüğünde

kişi başına 1000 kg beton üretildiği ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, beton bu kadar yaygın kullanılmasına rağmen, genellikle önemi yeterince anlaşılmamaktadır (Özkül vd.,1999).

Günümüzde beton, puzolanik maddeler, cüruf, yüksek fırın cürufu, priz süresini ayarlayıcı maddeler, kükürt, katkı maddesi, polimer, fiber vs. içeren çeşitli bağlayıcılar kullanılarak üretilmektedir. Beton ortamı çimento hamuru ve agrega fazından oluşmaktadır ve beton özelliklerini bu iki faz ve fazlar arasında bulunan ara yüzey belirler. Beton esas itibarı ile birden çok malzemeden oluşmuş kompozit bir malzemedir. Bu bağlamda ne kayalar ne de çimento hamuru tek başına iyi bir yapı malzemesi olamaz. Sadece çimento hamuru fazından oluşan bir beton üretilmez çünkü çimento hamuru fazındaki hacimsel hareketler çok fazla olduğundan çatlamlar meydana gelerek yapı malzemesinin mekanik ve kimyasal direnci azalır. İyi bir betonda aranan temel iki özellik vardır;

- Plastik kıvamda iken işlenebilirliğinin yüksek olması
- Sertleşmiş halde yüksek mukavemet

Betonun işlenebilirliğinin iyi olması için, uygun kıvam, yüksek kohezyon, döküm esnasında ayrışmama özelliklerine sahip olması gerekir. Basınç dayanımı, sertleşmiş betonda aranan temel unsurdur, bunun nedeni basınç dayanımının kolayca ölçülebilmesi ve beton elemanların uygulamada basınca yönelik yüklenmesidir. Ayrıca betonun dayanıklılığı, aşınma dayanımı, çekme dayanımı, sülfatlara karşı dayanımının yeterli olduğunun tahmini içinde basma dayanımının iyi olmasının bu özelliklerinde iyi olması kanısı geçerlidir. Kaliteli bir beton elde etmek için beton bileşenlerinin çok iyi olması ve bileşenlerin özelliklerinin tanınması gerekir.

Beton tasarımı yapılırken istenilen beton özelliklerin sağlayacak, kaliteli, estetik ve ekonomik olmasına dikkat edilmesi gerekir (Taşdemir, 2002).

### **1.7. Literatür Taraması**

Literatürde ASR konusunda yapılan çalışmalar mevcuttur. Gürkan (2006) yaptığı çalışmada pomza ve zeolitin ASR üzerine etkisini araştırmıştır. Yazar, perlitin, gelişmeleri azaltmada pomza ve zeolit kadar etkili olmadığını ifade etmiştir.

Gümüş (2009) Kocaeli bölgesindeki bazı agrega ocaklarının alkali silika reaktivitesine ilişkin özelliklerini araştırmıştır. Yazar, beton üretimi için agrega temin edilen agrega ocaklarından örnekler almış ve alınan bu agrega örnekleri üzerinde farklı



yöntemler kullanarak agrega numunelerini ASR oluşumu için incelemiştir. Sonuç olarak ASR oluşumu açısından deney yöntemine göre riskli ocakları belirlemiştir.

Bal (2010) Giresun ve Gümüşhane ili sınırları içerisindeki 4 taş ocağından elde edilen beton agregalarının fiziko-mekanik ve mineralojik özelliklerinin betonda ASR etkisini araştırmıştır. Yazar, bazı taş ocaklarındaki agregaların ASR yönünden betonda risk teşkil edeceğini vurgulamıştır.

Demir (2010) çimento yerine aynı oranlarda uçucu kül ve silis dumanı içeren karışımların etkisini ASR açısından araştırmıştır. Yazar, 14 günlük ölçümlere göre, en yüksek ortalama boy uzamasının kontrol harç çubuklarında (% 0.34) olduğunu, en düşük ortalama boy uzamasının ise %20 silis dumanı ikamesi yapılan harç çubuklarında (%0.04) olduğunu gözlemlemiştir.

Karakaş (2013) Harşit Çayı Vadisi agregalarının alkali-silika reaktivite potansiyellerini belirlemeyi amaçladığı çalışma neticesinde çalışılan agregalarda ASR potansiyellerinin olduğunu ifade etmiştir.

Sevinç (2016) yaptığı çalışmada Van Gölü kuzeyindeki Etrüsk volkanından püskürmüş trakitik volkanik agregaların alkali silika reaktivitesini pomza ve cüruf kullanarak indirgemeyi amaçlamıştır. Yazar, 14 günlük deney sonuçlarına göre, trakitik agrega yerine % 20 ile % 30 oranlarında pomza kullanımı ile genleşme oranını % 0.05'e kadar indirmiş ve ASR terminolojisi içinde zararsız sınıfta yer aldığını tespit etmiştir. Son yıllarda ülkemizde de bu konu üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Aköz ve Andıç, (2002) üç farklı agregaya yönelik çimentoya % 0, % 30, % 60 oranlarında yüksek fırın cürufu katarak, hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri yapmış ve sıcaklık, basınç ve nem artışının alkali-silika reaksiyonunu hızlandırdığını, cürufun ise yavaşlattığını ifade etmişlerdir.

Topçu, (2003), üç farklı renkte ve dört farklı miktarda atık camla harç çubukları üreterek, alkali-silis reaksiyonuna camların etkisini araştırmıştır. Beyaz, yeşil ve kahverengi camlardan beyaz camın en fazla genleşmeye neden olduğunu ve cam agregaların tane çapının küçülmesiyle alkali-silis reaksiyonunun hızlandığını gözlemiştir.

Topal ve Şengöz, (2011), reaktif agrega boyutunun ve yüzey köşeliğinin alkali-silis reaksiyonu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, reaktif olduğu bilinen Gediz nehri yatağı doğal agregasından aldıkları örnekler üzerinde çeşitli deneyler yapmışlardır. Deney sonuçları tek boyutlu agrega kullanımının alkali-silis reaksiyonu genleşmelerini

arttırdığını göstermiştir. Köşeliliğin alkali-silis reaksiyonu genleşmeleri üzerindeki etkisi ise seçilen her agrega grubunda tam olarak belirlenememiştir.

Dünya çapında betonarme yapıların birçoğunda hasarlar oluşturan ASR, karmaşık kimyasal oluşumdur. Beton yapılarının tasarımında ve beton yapılarda ASR kaynaklı gelişebilecek zararın en aza indirilmesi açısından bu alanda yapılacak çalışmalar önem arz etmektedir. Özellikle çimento (yüksek alkali içerikli) ve reaktif agrega kullanılan beton yapılarında ASR'nin tespit edilerek önlenmesine yönelik çalışmalar yapılması gerekmektedir (Çullu vd. 2010). Literatür araştırmalarına göre araştırmacılar daha çok belli bir bölgedeki taş ocakları veya kaynakların ASR oluşumu açısından risklerini belirtmişlerdir. Çalışmaların sonucunda bazı bölgelerin riskli olduğunu, bazı bölgelerin ise risk içermediğinden bahsedilmiştir. Bu nedenle hangi silis oranının ASR oluşumunu tetiklediği tam olarak anlaşılamamaktadır. Ayrıca, ASR oluşumunun azaltılmasına veya önlenmesine yönelik olarak farklı katkı maddelerini betona katmışlardır. Tez kapsamında ise bilimsel açıdan kayaçların içerdiği reaktif silis oranları ile ASR arasındaki ilişkiler irdelenecektir. Bu kapsamda oldukça farklı silis içeriğine sahip çok sayıda kayaç kullanılmıştır. ASR oluşumunu etkileyen diğer parametreler sabit tutularak agrega özelliğinin (mineralojik, kimyasal vb.) etkisi araştırılacaktır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Malzeme

Tez kapsamında kullanılan kayaç örnekleri çeşitli illerden temin edilmiştir. Bazalt Ordu'dan, diyabaz-1 ve diyabaz-2 Rize'den, kil taşı, kireçtaşı ve lapilli tuf Samsun'dan ve diğer kayaçlar da Trabzon'dan temin edilmiştir. Örneklerin getirildiği illeri gösteren yer bulduru haritası Şekil 2.1'te verilmiştir.



Şekil 2.1. Örneklerin temin edildiği yerler

### 2.2. Agregalara Uygulanan Deney Yöntemleri

Agregaların özelliklerinin ve kalitelerinin tayin edilebilmesi için bir yığındaki agreganın tamamını temsil eden bir örnek üzerinde çeşitli deneyler yapılır. Burada önemli olan nokta aldığımız örnek numunenin tüm yığın agregayı temsil etmesidir. Bunun için de değişik numune alma işlemleri mevcuttur. Beton agregalarında numune alma yöntemi TS 707'de belirtilmektedir (TS707,1980).

Büyük miktardaki agregaları azaltarak deney yapabilecek miktara getirmek için Çeyrekleme yöntemi veya bölgeç aygıtı kullanılır. Bu yöntemlerdeki mantık, agreganın homojen bir şekilde istenilen ağırlığa azaltılmasıdır. Çeyrekleme yönteminde, temiz, sert ve düzgün bir yüzeyde konik bir şekilde toplanmış olan agregaya yığını, kürek yardımıyla dairesel bir alana, her tarafı takriben eşit yükseklikte olacak şekilde yayılır. Daire şeklindeki alan, küreğin kenarı ile planda yaklaşık dört eşit kısma bölünür. Çeyrek parçalardan karşılıklı ikisi, yeni numuneyi oluşturmak üzere bir araya getirilir. Şayet bu yeni numunenin miktarı da istenilenden daha büyük bir yığın oluşturmakta ise, çeyrekleme yöntemi, istenilen numune büyüklüğünü elde edinceye kadar tekrar edilir. Bölgeç aygıtı ise numuneyi eşit olarak ikiye böler.

ASTM standartları ince agregası için en az 10 kg, iri agregası içinse en az 10-15 kg arasında değişen miktarlarda numune gerektiğini bildirmektedir (ASTM C 136, 1983). Agregalara çeşitli standartlara göre (TSE, ASTM, ISO) deneyler yapılmaktadır. Bu deneyler agregaların fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleriyle ilgili deneylerdir. Agregaların bu özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Agregaların fiziksel özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler:

- Elek analizi deneyleri (TS 3530 EN 933-1),
- Özgül ağırlık ve su emme tayini (TS 3526),
- Birim hacim ağırlık (TS 3529),
- Yassılık indeksi (TS 9582) .

Agregaların mekanik özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler:

- Agregası sağlamlık deneyi (Dona dayanıklılık, TS EN 1367-2 ),
- Aşınma dayanımı (ASTM-C 131),
- Agregası darbe dayanımı (TS EN 1097-2).

Agregaların kimyasal özellikleri ve içerdikleri zararlı maddelerin tayini için yapılan deneyler:

- İnce madde oranı (TS 3527),
- Hafif madde oranı (TS 3528),
- Alkali-agregası reaksiyonu (ASTM-C 1260),
- Organik madde tayini (TS EN 1744-1).

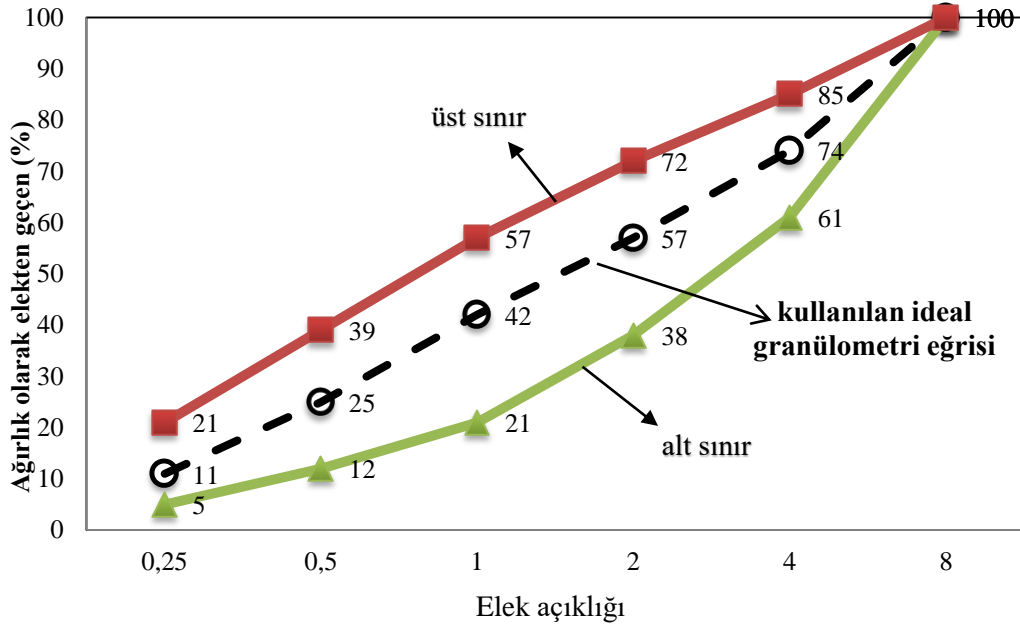
### 2.2.1. Agregaların Elek Analizi

Agregalara elek analizi yapabilmek için değişik göz açıklıklarına sahip kare delikli eleklerle ihtiyaç vardır. Türk standartlarına göre elek analizinde kullanılması önerilen kare delikli eleklerin göz açıklıkları; 125 mm, 90 mm, 63 mm, 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm ve 0.125 mm'dir. ASTM standartlarına göre ise, boyutlar şu şekilde belirtilmektedir; 100 mm, 95 mm, 75 mm, 63 mm, 50 mm, 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.60 mm, 0.30 mm ve 0.15 mm'dir. İri ve ince agregayı birbirinden ayıran sınır değerler incelendiğinde, Türk standartlarında belirtilen kare gözlü elek açıklığı 4 mm elek iken, ASTM standartlarında bu sınır değer 4.75 mm elek olarak kabul edilmiştir (Erdoğan, 2007).

Elek analizi deneyi yapılırken deney elekleri, yukarıdan aşağıya doğru (tane çapı büyük olan elekten küçük olan eleğe doğru) üst üste yerleştirilir. Kurutulmuş tartılmış deney numunesi en üstteki eleğin içine konulur ve eleme hareketine başlanır. Eleme işlemi her elek için elle veya elek sarsma cihazlarıyla yapılabilir. Elek üzerlerinde kalan numune miktarlarının tartılması için 0.1 gram hassasiyetli teraziler kullanılır (şekil 2.2). İdeal elek aralıkları şekil 2.3'te verilmiştir.



şekil 2.2. Laboratuvarıda kullanılan elekler(a-b)



Şekil 2.3. Kullanılan elek aralığı (TS, 706)

### 2.2.2. Yoğunluk ve Porozite Deneyi

Bu deney, kaya numunelerinin (kuru ve suya doymuş) gözeneklilik, yoğunluk, birim hacim ağırlık ve su içeriklerini saptamak amacıyla yapılmaktadır. Bu deneylerde kullanılan kayaç örnekleri, şişebilen ve ıslanma-kuruma sonucu kolaylıkla dağılabilecek özellikte olmamalıdır.

Bir malzemenin özgül ağırlığı, maddeye ait yoğunluk değerinin aynı sıcaklıktaki suyun yoğunluğuna oranıyla temsil edilir. Metrik sistemde agregaların yoğunluğu  $g/cm^3$  birimiyle ifade edildiğinden suyun yoğunluğu da  $1 g/cm^3$  olduğundan özgül ağırlık, birimsiz olarak ifade edilir. Agregta tanelerinin üzerinde veya gözeneklerinde bulunabilecek su, agregta tanelerinin ağırlığını doğrudan etkilemektedir. Agregta hacmini de agregta tanelerindeki boşlukların miktarı etkilemektedir. Bu nedenle, agreganın özgül ağırlığı hesaplanırken agregta tanelerinde bulunan mevcut su ve boşluk durumu dikkate alınmakta ve elde edilen bulgular bu duruma göre yorumlanmaktadır. Su ve boşluk durumundaki bu farklılıklardan dolayı değişik özgül ağırlık değerleri ortaya çıkar (TS 3526, 1980).

Agregta tanelerinin etüvde kurutulmuş ( $105^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ ) durumundan oda sıcaklığına soğutulduğunda rutubetsiz ortamdaki ağırlığı, agreganın havadaki ağırlığıdır, laboratuvar

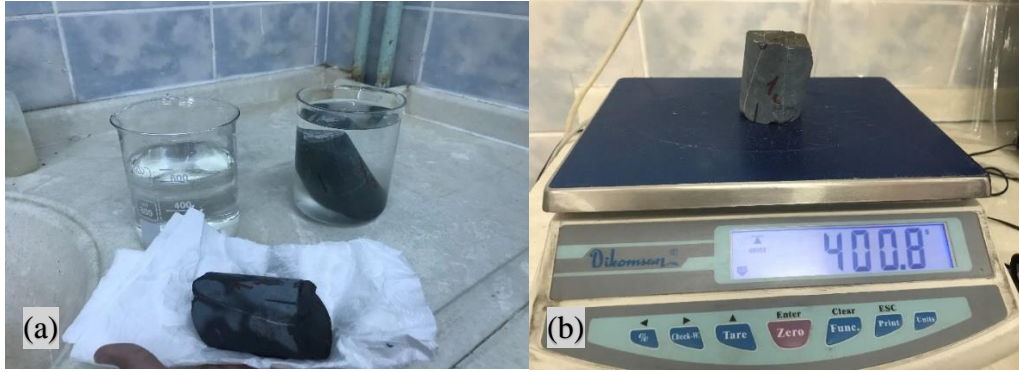
şartlarında deneye maruz bırakılan bu agregaları normal ortamlarda ve gerçek uygulamalarda elde etmek çok zordur. Bunun için agregaların farklı nem-absorbsiyon durumlarındaki halleri özgül ağırlık belirlemede önemlidir (Şimşek, 2004).

Tamamen kuru hal: Agregata taneleri dışarı açık veya kapalı gözeneklerinde hiçbir şekilde su bulundurmamaktadır. Aşırı kurak bölgelerde bu çeşit agregalara rastlanabilir.

Kuru yüzey hali: Tanelerin yüzeyleri kuru olmasına karşın içsel boşluklarının bir kısmı su muhteva eder. Uzun süre suya maruz kalmış agregalar (akarsu yatağından çıkarılan kum, çakıl gibi) bu durumdadır. Doygun kuru yüzey halinde tanelerin boşluklarının tamamı su ile doludur fakat yüzeyleri kurudur. Tamamen ıslak halde ise agregata tanelerinin boşlukları ve yüzeyleri tamamen su ile kaplıdır.

Bu haller göz önünde bulundurularak agregada kuru özgül ağırlık, doymuş yüzey kuru özgül ağırlık ve görünen özgül ağırlık hesaplamaları aşağıdaki işlemler takip edilerek yapılabilir. Agregaların özgül ağırlıkları ince ve iri agregalara ayrı ayrı uygulanan deneylerle tayin edilir.

Yoğunluk deneyi için kullanılan örnekler kodlanmış ve doğal ağırlıkları tartıldıktan sonra 24 saat için suya bırakılmıştır. Süreç sonunda numuneleri kâğıt havluyla silip, doymuş ağırlıkları tartılmıştır (Şekil 2.4). Daha sonra, numuneleri Şekil 2.5'teki 500 ml suya koyarak kayaç hacmi ölçülmüştür.



Şekil 2.4. Örneklerin suya bırakılması (a) ve ağırlıklarının tartılması (b)



Şekil 2.5. Hacmin ölçülmesi

Bu işlemlerden sonra numuneleri 24 saat için etüve bırakılmıştır. Etüvden çıkan örnekler desikatörde soğutulmuş ve kuru ağırlığı belirlenmiştir. Kayaçların farklı haldeki ağırlık ölçümlerin aldıktan sonra, aşağıdaki formüllerle hesaplayarak yoğunluk ve poroziteleri bulunmuştur. Deney sonuçları Tablo 2.1’de verilmiştir.

Hesaplamalar:

$$\text{Doğal Yoğunluk} = \frac{\text{Doğal Ağırlık}}{\text{Toplam Hacim}} \quad (2)$$

$$\text{Doymun Yoğunluk} = \frac{\text{Doymun Ağırlık}}{\text{Toplam Hacim}} \quad (3)$$

$$\text{Kuru Yoğunluk} = \frac{\text{Kuru Ağırlık}}{\text{Toplam Hacim}} \quad (4)$$

$$\text{Görünür Porozite} = \frac{\text{Gözenek Hacmi}}{\text{Toplam Hacim}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Ağırlıkça su emme} = \frac{\text{Doymun Ağırlık} - \text{Kuru Ağırlık}}{\text{Kuru Ağırlık}} \times 100 \quad (6)$$



Tablo 2.1. Betonda kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Örnek adı	Doğal yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Doygun yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Kuru yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Görünür porozite (%)	Ağırlıkça su emme (%)
Bazalt	2.59	2.60	2.56	4.48	1.75
Diyabaz-1	2.83	2.83	2.79	4.64	1.67
Granodiyorit	2.66	2.67	2.65	1.29	0.49
Diyabaz-2	2.84	2.85	2.83	2.33	0.82
Andezit	2.59	2.61	2.56	5.01	1.95
Kuvarsit	2.37	2.42	2.35	7.0	2.97
Kireçtaşı	2.67	2.68	2.67	0.74	0.28
Lapilli tuf	1.94	2.00	1.73	27.2	15.76
Kil taşı	2.44	2.48	2.40	7.96	3.32

### 2.3. Alkali-Silika Reaksiyonunu Belirleme Yöntemleri

#### 2.3.1. ASR Reaksiyonunda Kullanılan Deney Yöntemleri

ASR tespitinde kullanılan deney metotları ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Bunun nedeni, ASR'nun lokal bir problem olması ve kullanılan agregaların petrografik özelliklerinin bölgeden bölgeye farklılık göstermesidir. Bu şekilde, ülkeler, kendilerine özgü deney metotları geliştirmiştir. Son yıllarda özellikle harç ve beton numunelerinin hızlandırılmış koşullarda kürlenmesi ve belirli bir periyot sonunda genleşme değerlerinin ölçülmesine yönelik deney metotlarının standartlaştırılması konusunda bir eğilim vardır. Yine de bu deneylerin değerlendirilmesinde kullanılan genleşme limitleri yapı tipine ve/veya agrega tipine göre değişebilmektedir.

ASR reaksiyonunun tespiti adına yapılabilecek çok sayıda deney yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler ASR'nin genleşme özelliğinden yararlanılarak yapılan deneyler ve kimyasal yolla gerçekleştirilen deneyler olarak ikiye ayrılabilir (Gün, 2007).

### 2.3.1.1. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Metodu (ASTM-C 1260)

Bu metot, numune agregalar kullanılarak elde edilen harç çubuklarının yüksek alkalinitedeki çözeltide yüksek sıcaklıkta saklanması ve uzunluk değişimlerinin ölçülmesinden ibarettir. Standartta belirtilen gradasyondaki agrega, kütlece çimentonun 2.25 katı kadar kullanılarak su/çimento oranı 0.47 olan harç karışımı hazırlanır. Harç örnekleri 25 x 25 x 285 mm boyutlarındaki kalıplara dökülür ve 24 saat sonra kalıplarından çıkartılır ve ilk boy ölçümleri yapılır. Kalıp sökümünden sonra 14 gün süreyle 80°C 1 N NaOH çözeltisinde bekletilir ve periyodik olarak ölçümleri alınır. Standart çimentonun alkali miktarı hakkında bir değer vermemesinin nedeni kür koşullarından ötürü numunelerin boşluk çözeltisi alkalinitesi artmakta olmasıdır. 14 gün sonunda yapılan ölçüme göre en fazla % 0.1 gibi bir genleşme değeri temel alındığında, hızlandırılmış harç çubuğu yönteminin beton prizma metodu ile mineral katkıların etkinliği konusunda benzer sonuçlar sunduğu araştırmacılar tarafından teyit edilmiştir. Bu nedenle 2 yıl bekleme süresinin bulunmadığı durumlarda bu yöntemin kullanılması önerilmektedir. Söz konusu yöntem, mineral katkıların kullanım oranları ile ilgili daha etkin bilgiler sunmaktadır.

Kanada standartlarına göre, Kanada yöntemi olarak bilinen yöntemde, mineral katkıların etkinliğinin tayin edilmesi amacıyla hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi modifiye edilmiştir. Bu standart, kontrol numunesindeki (mineral katkı olmadan) agreganın minimum % 0.30 gibi bir genleşme değeri vermesini şart koşmaktadır. Burada hedef, deney süresi sonunda kontrol numunesi genleşmelerini % 0.1'in altına düşüren en düşük katkı miktarını belirlemektir. Hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde ASTM C 1260 standardına göre;

Ortalama genleşme miktarı  $< \% 0.10$  alkali silika reaktivitesi yönünden zararsız agregalar olarak değerlendirilmekte,  $\% 0.10 < \text{ortalama genleşme miktarı} < \% 0.20$  potansiyel tehlike arz edebilir agregaları ifade etmekte ve ortalama genleşme miktarı  $> \% 0.20$  zararlı agregalar sınıfını temsil etmektedir.

Cihazlar: Elekler (kare göz açıklıklı, tel örgülü), harç karıştırıcı, sıkıştırma tokmağı, numune kabı, etüv veya su banyosu, komparatör saati (0.002 mm doğrulukla ölçüm yapabilen). Reaktifler olarak Sodyum hidroksit (NaOH) ve saf su kullanılmakta, sodyum hidroksit çözeltisinin hazırlanması aşamasında, 40.0 g NaOH, 900 ml suda çözülmeli ve damıtık veya de-iyonize su ile 1 L'ye tamamlanmalıdır. Numune kabındaki sodyum hidroksit çözeltisinin harç çubuklarına hacimce oranı, 1 hacim harç çubuğu için (4±0,5)

hacim çözelti şeklinde olmalıdır. Bir harç çubuğu hacmi 178 ml olarak alınabilir. Çubukların tamamen daldırılabilmesi için yeterli miktarda çözelti kullanılmalıdır.

Betonda ince agregaya olarak kullanılacak kırmataş malzemeler en az öğütme ile kullanılmalıdır (Şekil 2.6). Betonda iri agregaya olarak kullanılacak malzemeler ise, istenilen tane dağılımını yaklaşık olarak verecek şekilde kırılarak kullanılmalıdır. Agregaya numunesinin tane dağılımı, Tablo 2.2'ye uygun olmalıdır. Deney numunesi olarak kullanılacak ince agregaya, iri agreganın bileşimini de temsil etmelidir.

Tablo 2.2. Deneyde kullanılan agreganın tane boyut dağılımı

Elek boyutu		Kütlece %
Geçen	Kalan	
4,75 mm	2,36 mm	10
2,36 mm	1,18 mm	25
1,18 mm	600 µm	25
600 µm	300 µm	25
300 µm	150 µm	15



Şekil 2.6. Deney numunesinin hazırlanması (a-b)

Üç numune hazırlamak için tek seferde harç harmanı için karıştırılacak kuru malzeme miktarları, 440 g çimento ve Tablo 1.2'de açıklandığı gibi sınıflandırıldığında farklı elekler üzerinde kalan kısımların birleştirilmesiyle elde edilen 990 g ince agregaya alınmıştır. Su/çimento oranı, kütlece 0.47 olarak kullanılmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Numune karışımı

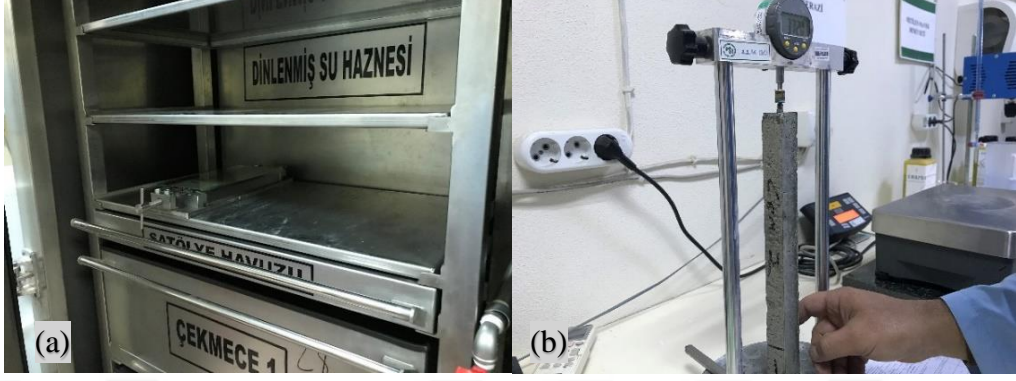
Deney numuneleri, orijinal harç karışımının tamamlanmasından sonra, 2 dakika 15 saniyeden daha fazla olmayacak toplam süre içerisinde kalıplara doldurulmalıdır. Kalıplar iki eşit tabaka halinde doldurulmalı ve her tabaka tokmak ile sıkıştırılmalıdır. Homojen bir numune elde edebilmesi için harç köşelere, ölçüm pimlerinin çevresine ve kalıbın yüzeylerine sıkıştırma tokmağı ile vurularak yerleştirmelidir. Üst yüzeyler sıkıştırıldıktan sonra kalıptan taşan harç kısmı, TS EN 196-1’de tarif edildiği şekilde testere hareketi ile kalıp üst kenarlarından kesilir, harcın fazlalığı alınır ve yüzey düzeltilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Kalıpların doldurulması (a-b)

Her bir kalıp doldurulduktan hemen sonra kür kabinine yerleştirilir. Numuneler kalıplarda  $(24 \pm 2)$  h kalmalıdır. Numuneler nem kaybına karşı korunarak, kalıplardan çıkarılır, uygun şekilde tanımlanır ve boyu ölçülerek kaydedilir. Başlangıçta ve devam eden tüm okumalar, en yakın 0.002 mm’ye yuvarlatılarak okunur ve kaydedilir. Deney numuneleri, tamamen daldırılacak şekilde yeterli miktarda şebeke suyu ile dolu bir saklama kabı içine yerleştirilir. İçinde numune bulunan deney kabı, su geçirimsiz bir

malzeme ile yalıtılır ve  $(24\pm 2)$  h süreyle  $(80\pm 2.0)$  °C sıcaklıkta bir etüv veya su banyosuna yerleştirilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Kür kabini (a) ve komparatör (b)

Numune kapları, etüv veya su banyosundan ayrı ayrı çıkarılır. İlk numune kabı içindeki harç çubuklarının ölçümü yapılır tekrar etüv veya su banyosuna yerleştirildikten sonra diğer numune kabı çıkarılır. Numunelerin etüv veya su banyosundan çıkarılması ile tekrar konulması arasında geçen süre 10.0 dakikadan fazla olmamalıdır.

Deney numuneleri (Şekil 2.12), tamamen daldırmaya yeterli miktarda 1N NaOH içeren,  $(80.0\pm 2.0)$ °C sıcaklıktaki kaset (tek tip kayaca ait örneklerin konulduğu özel kap) içine yerleştirilir. Numune kabı kapakla kapatılır ve tekrar etüv veya su banyosuna yerleştirilir (Şekil 2.10).

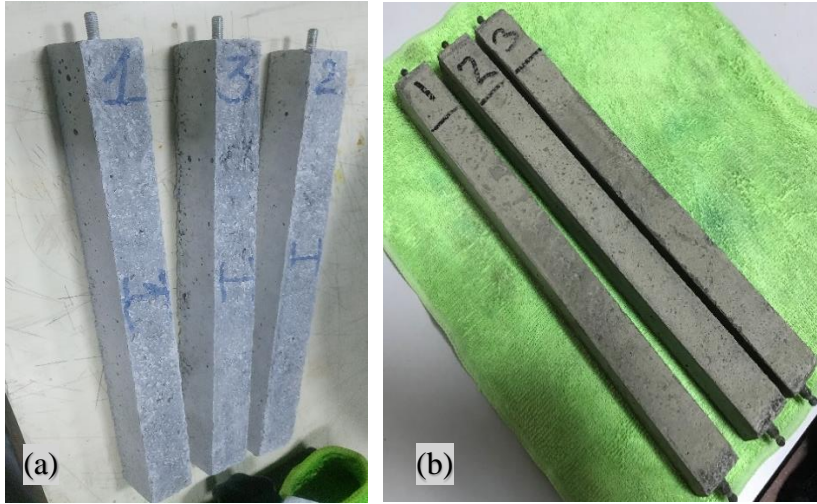


Şekil 2.10. Su banyosu (a) ve numune kabı (b)

Takip eden komparatör okumaları belirli aralıklarla, en az üç ara okuma olacak şekilde ve başlangıç okumasından 14 gün sonra, yaklaşık aynı saatte yapılmalıdır. Deneyin 14 günden daha uzun sürmesi durumunda, her hafta için en az bir okuma alınmalıdır. Tablo 2.3'te ASR sonuçları (mm) verilmektedir.

Tablo 2.3. ASR ölçüm sonuçları

Örnek adı	2. Gün		5. Gün		11. Gün		14. Gün		21. Gün		28. Gün	
	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst
Bazalt	0.16	0.14	0.31	0.30	1.08	1.08	1.31	1.29	-	-	-	-
Diyabaz-1	-	-	0.13	0.15	0.26	0.28	0.68	0.69	Çözeltiyeye konulan			
Diyabaz-1	0.17	0.16	0.20	0.19	0.23	0.20	0.23	0.22	Kasetek konulan			
Granodiyorit	0.09	0.14	0.24	0.24	0.27	0.27	0.31	0.34	-	-	-	-
Diyabaz-2	0.17	0.14	0.17	0.15	0.21	0.20	0.29	0.27	-	-	-	-
Andezit	0.42	0.42	0.74	0.81	0.98	1.06	1.02	1.10	1.08	1.15	1.44	1.49
Andezit	0.12	0.1	0.24	0.25	0.37	0.36	0.45	0.44	Kasete konulan			
Kuarsit	0.09	0.09	0.18	0.15	0.24	0.23	0.61	0.65	0.85	0.85	1.07	1.07
Kuarsit	0.26	0.23	0.34	0.33	0.53	0.58	0.77	0.76	0.9	0.9	1.07	1.07
Kireçtaşı	0.08	0.07	0.23	0.31	0.42	0.39	0.51	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50
Lapilli tüf	0.08	0.07	0.18	0.19	0.32	0.3	0.36	0.44	-	-	-	-
Kil taşı	0.11	0.11	0.54	0.54	0.59	0.58	0.65	0.64	-	-	-	-



Şekil 2.11. Harç çubukları (a-b)

#### 2.4. Beton Örneklerinin Tek Eksenli Basınç Dayanımı (TEBD)

Agregaların basınç dayanımının tayini için 8 mm altı malzeme kullanılmış ve uygun aralıklarda kayaçlar öğütülmüştür. ASR deneyinde kullanılan çimento dayanım içinde kullanılmıştır. Örnekler 5x10 cm olacak şekilde silindirik kalıplara dökülmüş ve 7 günlük kür sürelerinde teste tabi tutulmuştur.

$$F = \frac{P}{A} \quad (8)$$

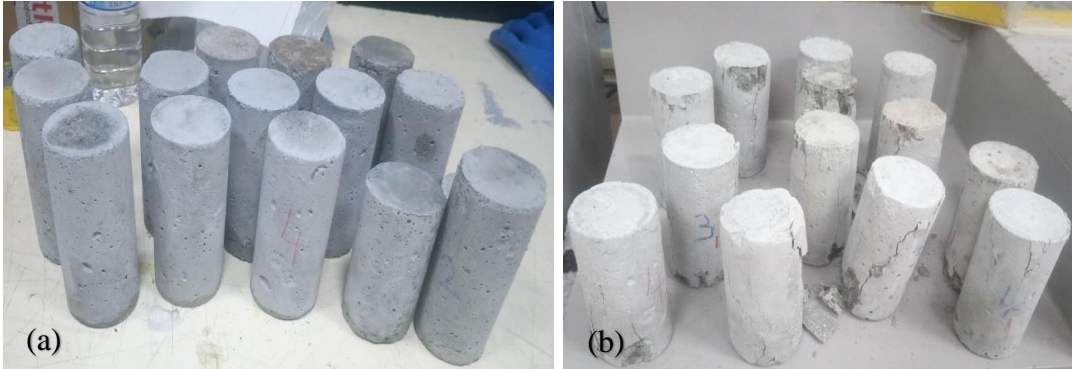
Burada:

P = kırılma yükü (kgf)

A = numunenin temas alanı (cm<sup>2</sup>)

F = basınç dayanımı (kgf/cm<sup>2</sup>)

TEBD deneyine tabi tutulan örneklerin deney öncesi ve sonrası görüntüsü Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12. TEBD deneyi a) numuneler kırılmadan önce b) kırıldıktan sonra

En düşük, en yüksek, ortalama ve standart sapma değerleri bütün örnekler için hesaplanmış ve Tablo 2.4'te verilmiştir. Tablo 2.4'ten de görüldüğü gibi beton örneklerinde en yüksek ortalama dayanım değeri diyabaz-2 kayacına ait iken en düşük değerler de lapilli tüf kayacına aittir.

Tablo 2.4. Örneklerin tek eksenli basınç deneyi sonuçları

Örnek adı	En yüksek	En düşük	Ortalama (MPa)	S. sapma
Bazalt	30.0	22.7	26.4	5.2
Diyabaz-1	23	20.9	22.3	1.3
Granodiyorit	30.0	22.0	24.2	3.8
Diyabaz-2	26.9	25.9	26.5	0.6
Andezit	21.0	16.7	18.7	2.2
Kuarsit	-	-	-	-
Kireçtaşı	27.2	23.8	25.6	1.7
Lapilli tüf	5.9	3.8	4.5	0.9
Kil taşı	21.3	15.9	17.8	3.0

## 2.5. Agregaların Nokta Yükleme Dayanımı

Agregaların nokta yükleme dayanımını hesaplamak için agregaların elde edildiği kaynak kayalar kullanılır. Nokta yükleme deneyi günümüzde mühendislik jeolojisiyle ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu deney iki konik uç (platen) arasında sıkıştırılan kayaç örneğinin (Şekil 2.13) yenilme yükü ve boyutları kullanılarak nokta yükleme dayanım indeksinin hesaplanması amaçlanmaktadır. Nokta yükleme dayanım deneyi kayaçların dolaylı dayanımını tahmin etmede kullanılmasına ilave olarak kayaçların malzeme özelliği açısından dayanımlarına göre sınıflandırılmasında, kayaç anizotropisinin saptanmasında, kaya kütle sınıflamasında, tünel açma makinelerinin çalışma hızının belirlenmesi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Topal, 2000).

Nokta yükleme deney aleti; yükleme sistemleri (pompa, gövde, konik uç), yük göstergesi ve deney esnasında konik uçlar arasındaki mesafeyi gösteren sistemlerden oluşur. Nokta yükleme deneyinde örneklere;

- Çapsal deney (karot eksenine dik yönde yükleme yapılıır).
- Eksenel deney (karot eksenine paralel yönde yükleme yapılıır).

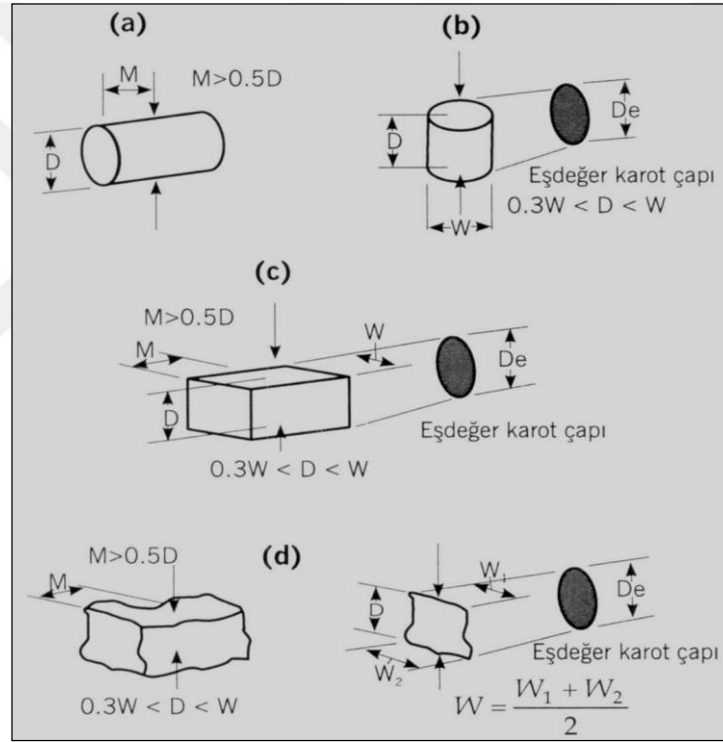
Deney, blok ve düzensiz şekilli örneklerde olmak üzere üç farklı şekilde yapılıır.

Çapsal Deney: Bu deney için karot örneklerinin uzunluğunun çapına oranı  $L/D > 1$  olması gerekmektedir (Şekil 2.15 a). Kayaç örneği heterojen veya anizotrop ise deney en az 10 örnek üzerinde yapılıır. Numuneler 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde yüklenmelidirler.



**Eksenel Deney:** Bu deneyde  $D/W$  oranı 0.3-1 arasında olmalıdır (Şekil 2.15 b). Yine anizotrop kayaç durumunda deney 10 örnek üzerinde 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde uygulanır.

**Blok ve Düzensiz Numunelerde Deney:** Kalınlık ( $D$ ) ve genişlik oranı ( $W$ ) 0.3 ile 1 arasında tercihen 1'e yakın olmalıdır. Konik uçların temas noktasıyla en yakın numunenin serbest ucu arasındaki mesafe ( $M$ ) kalınlığın ( $D$ ) en az yarısı kadar olmalıdır. Şekilsiz örneklerin kenarları birbirine paralel değilse  $W$  uzunluğu şekil 2.13d'de gösterildiği gibi ortalama  $W$  değeri hesaplanır (Şekil 2.13'teki c ve d'de sırasıyla blok ve düzensiz şekilli numuneler görülmektedir).



Şekil 2.13. Nokta yükleme deneyi numune şekilleri (ISRM, 1985)

**Hesaplamalar:** Nokta yükleme deneyinde yenilme yükü ( $P$ ), numune boy, çap ve genişliği ( $L$ ,  $D$ ,  $W$ ) kullanılarak ilk önce düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı  $I_s$  hesaplanır.

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (9)$$

Burada;

$I_s$  : Düzeltilmemiş nokta yükleme dayanımı (MPa)

Çapsal deneyde;  $De^2 = D^2$ ,

Eksenel deney, blok ve düzensiz örneklerde;  $De^2 = 4S / \pi$

Buradaki S, ise konik başlıklar arasında kalan en küçük temas alanıdır.

$$S = D \times W \quad (10)$$

Boyut düzeltmesi:  $I_s$  değeri; çapsal deneyde D'nin, diğer deney türlerinde ise, De'nin fonksiyonu olarak değişir. Bu nedenle,  $I_s$  değerinin standart bir karot çarpımına ( $D=50\text{mm}$ ) göre düzeltilmesi gerekir. Bu amaçla düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi;

$$I_{s(50)} = F \times I_s \text{ (MPa)} \quad (11)$$

Burada boyut düzeltme faktörü F şu şekilde hesaplanır;

$$F = (D_e / 50)^{0.45} \quad (12)$$

Burada:

$I_s$  : Nokta yükü indeksi (MPa)

$I_{s(50)}$  : Düzeltilmiş nokta yükü indeksi (MPa)

P : Yenilme yükü (N)

De : Eşdeğer karot çapı (mm)

D : Karot çapı (mm)

A : Kesit alanı ( $\text{mm}^2$ )

W : Genişlik (mm)

F : Boyut düzeltme faktörü.

Harç çubuklarından elde edilen nokta yükü değerlerinin aynı agregalardan üretilen beton dayanımı ile ilişkisi olup olmadığını araştırmak amacıyla, ASR deneyine tabi tutulan harç çubukları üzerinde en az 10 adet olacak şekilde nokta yükü dayanım deneyleri yapılmıştır (Şekil 2.16). Tablo 2.5'te ASR deneyine tabi tutulan örneklerin PLI sonuçları

yer almaktadır. En düşük değerler lapilli tuf örneklerinden hazırlanan harç çubuklarından, en yüksek değerler ise diyabaz ve granodiyorit örneklerinden elde edilmiştir. Her ne kadar harç çubuklarından elde edilen nokta yükü değerlerinin dayanım ile ilişkisi görünse bile, bazı harç çubuklarının deney nedeniyle 28 gün beklemiştir. Bu nedenle kür süreleri eşit olmadığından istatistiksel açıdan değerlendirme yapılmamıştır. Dayanım ve harç çubuklarından yapılan nokta yükü arasındaki ilişkinin araştırılması için detaylı çalışmaya ihtiyaç olduğu görülmüştür.



Şekil 2.14. Harç çubuklarında yapılan deney

Tablo 2.5. ASR deneyine tabi tutulan örneklerin PLI sonuçları

Örnek adı	En yüksek	En düşük	Ortalama (MPa)	S. sapma
Bazalt	3.2	2.9	3.1	0.1
Diyabaz-1	3.9	3.7	3.8	0.1
Granodiyorit	3.8	3.5	3.6	0.2
Diyabaz-2	4.2	3.3	3.7	0.3
Andezit	3.4	2.9	3.2	0.2
Kuvarsit	2.9	2.3	2.5	0.2
Kireçtaşı	3.3	3	3.1	0.1
Lapilli tuf	2.3	1.2	1.8	0.5
Kil taşı	3.3	3	3.1	0.1

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

#### 3.1. Mineralojik Analizler

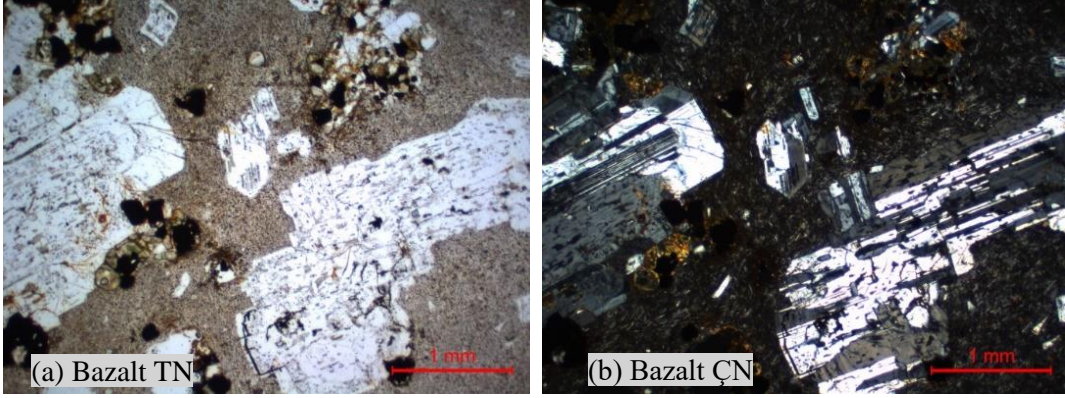
Tez kapsamında 9 adet kaya örneği kullanılmış ve 1'den 9'a kadar kodlama işlemi yapılmıştır. 1 nolu kayacın makroskopik incelemesinde, renginin koyu kırmızımsı kahverengi, porfirik dokulu, küçük-orta tane büyüklüğüne sahiptir. Kayacın ince kesitinde ana mineral olarak plajyoklaz mineralleri, mafik mineral psödomorfları (olası piroksen, olası olivin) tali mineral olarak ise opak mineraller, apatit mineralleri bulunmaktadır.

Plajyoklaz mineralleri: Küçük-orta taneli, hipidiyomorfik-idiyomorfik, uzun prizmatik-yassı prizmatik-levhamsı şekilli, homojen dağılımlı ve izotropik yapı sunmaktadır.

Mafik mineral psödomorfları: Küçük-orta taneli, hipidiyomorfik-idiyomorfik, genellikle kısa prizmatik şekilli (8 köşeli ve kısmen yuvarlağımsı taneler halinde), homojen dağılımlı, izotropik, tümüyle opaklaşmış-opaklarca boyanmış, olası serpantinleşmiş, olası saponitleşmiş, karbonatlaşmış, silisleşmiştir.

Hamur holokristalindir. Başlıca, çok küçük taneli, iğnemsî-çok ince çubuksu şekilli plajyoklaz kristalit-mikrolitlerinden oluşmaktadır. Ayrıca, az oranda, çok küçük taneli mafik mineral psödomorfları ile bol oranda, çok ince taneli/sub-mikroskobik opak mineraller (yer yer de birikim ve boyamalar şeklinde) içermektedir. Kayacın alterasyon derecesi ortadır.

Plajyoklaz feno-mikrofenokristalleri polisentetik ikiz lamelleri ve (yaygınca) zonlu doku göstermektedir. Çoğunlukla elek dokuludur (hamura ait küçük kapanımlar içermektedir). Fenokristallerde genellikle iç içe/üst üste (yapışık bir şekilde) büyümeler söz konusudur. İnce-çok ince genişlikteki, devamlılıkları olmayan, düzensiz kırıklar boyunca (kızılımsı kahverengi) opak mineraller yerleşmiştir. Opak mineraller yer yer çatlak çevresini de (sarımsı kahverengi) boyamıştır. Örnekte ayrıca, küçük-orta-iri büyüklükte, düzensiz şekilli gaz boşlukları gelişmiştir. Kayaç adı bazalttır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Bazaltın ince kesit görünümü, a) tek nikol (TN), b) çapraz nikol (ÇN)

2 nolu kayacın makroskopik incelemesinde, renginin koyu yeşilimsi gri, porfirik dokulu, tane büyüklüğünün ise küçük—orta olduğu görülmüştür. İnce kesit analizinde ise dokusunun porfirik; İntergranüler (doleritik/diyabazik olduğu mineralojik bileşenlerinin ise plajiolklaz mineralleri, piroksen mineralleri, (olası) olivin psödomorfları ve opak mineraller olduğu anlaşılmaktadır.

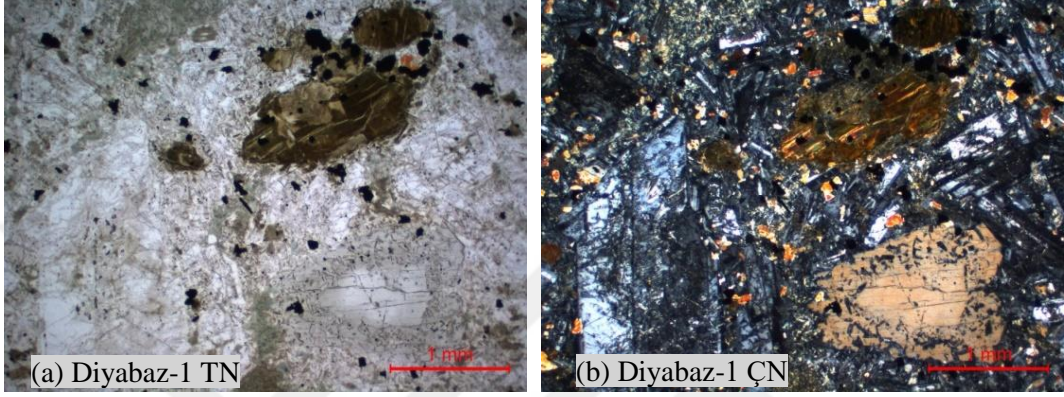
Plajiolklaz mineralleri: Küçük-orta-iri taneli, hipidiyomorfik-idiyomorfik, yassı prizmatik-levhamsı şekilli; homojen dağılımlı, izotropik yoğun oranda (karmakarışık durumdaki) sub-mikroskopik ikincil mineral agregatına dönüşmüş olası killeşmiş ve/veya olası zeolitleşmiştir.

Piroksen mineralleri: Küçük-orta-iri taneli, çoğunlukla hipidiyomorfik, kısa prizmatik şekilli, (yaygınca 8 köşeli), homojen dağılımlı, izotropiktir. Olivin psödomorfları: Küçük-orta taneli; çoğunlukla hipidiyomorfik; kısa prizmatik şekilli (6-8 köşeli ya da kısmen yuvarlağımsı taneler halinde); homojen dağılımlı; izotropik; tümüyle (yer yer paralel- yarı paralel dizilimli ince yapraksı kristaller halinde yer yer de karmakarışık agregatlar halinde bulunan) olası kil minerallerine (saponit) dönüşmüştür.

Hamur: İntergranüler (doleritik/diyabazik) dokuludur. Küçük taneli, çubuksu-yassı çubuksu şekilli, gelişigüzel dizilimli plajiolklaz minerallerinden ve plajiolklaz minerallerinin aralarını doldurmuş, küçük taneli, çoğunlukla ksenomorfik piroksen mineralleri ile çok yoğun orandaki ikincil minerallerden (karmakarışık agregatlar halinde ya da sferülitik dizilimli ince yapraksı kristaller halinde bulunan olası kil mineralleri ve olası klorit mineralleri) oluşmaktadır. Kayacın alterasyon derecesi orta/ileri düzeydedir.

Plajiolklaz fenokristalleri polisentetik ikiz lamelleri ve (yaygınca) zonlu doku göstermektedir. Piroksen fenokristalleri ise çoğunlukla zonlu dokuludur, genellikle korrode

formdadır (kenarlarından itibaren yenmiş-kemirilmiştir), yaygınca da (özellikle kenarlarına yakın/dış zonundan itibaren olmak üzere) elek dokusu gelişmiştir (hamura ait küçük kapanımlar içermektedir). Fenokristallerde genellikle iç içe/üst üste (yapışık bir şekilde) büyümeler söz konusudur. Kayaç adı yapılan incelemeler neticesinde diyabaz olarak belirlenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Diabaz-1 örneğinin ince kesit görünümü (a-b)

3 nolu kayacın makroskopik incelemesinde, renginin çok açık gri olup dokusu taneli ve tane büyüklüğünün ise küçük-orta boyutlu olduğu görülmüştür. İnce kesit analizinde ise dokusunun porfiriğimsi olduğu ana bileşenlerinin kuvars mineralleri, plajiolaz mineralleri, alkali feldspat mineralleri, biyotit mineralleri, amfibol minerallerinin olduğu tali bileşenler olarak ise opak mineraller, zirkon mineralleri ve apatit minerallerinin olduğu görülmüştür.

**Kuvars mineralleri:** Küçük-orta-iri taneli, ksenomorfik, genellikle girift sınırlara sahip; homojen dağılımlı, izotropiktir. **plajiolaz mineralleri:** Küçük-orta-iri taneli ksenomorfik-çoğunlukla) hipidiyomorfik, yassı şekilli, yer yer düz yer yer girift sınırlara sahip, homojen dağılımlı, izotropik, (çok çok azdan çok yoğununa kadar olmak üzere) değişen oranlarda killeşmiş, serizitlemiştir.

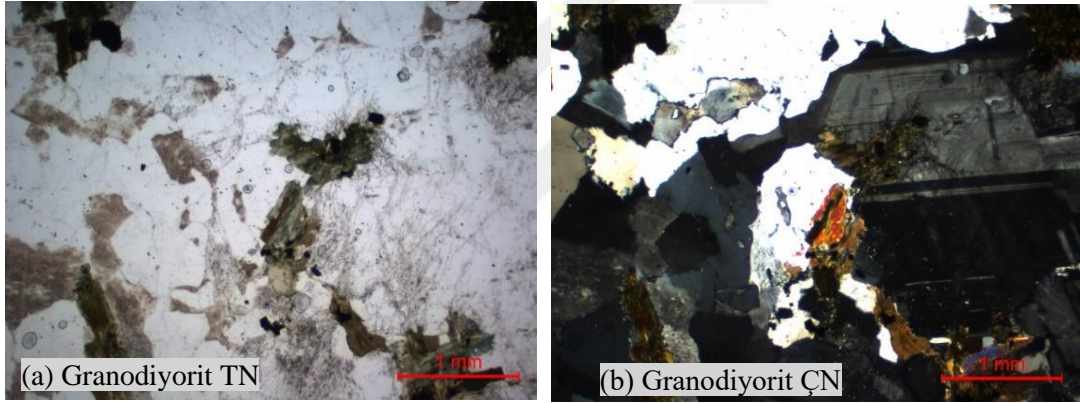
**Alkali feldspat mineralleri:** Küçük-orta taneli, (çoğunlukla)ksenomorfik-hipidiyomorfik, levhamsı şekilli, yer yer düz yer yer girift sınırlara sahip, homojen dağılımlı, izotropik ve çok yoğun oranda killeşmiştir.

**Biyotit mineralleri:** Küçük-orta taneli, ksenomorfik-hipidiyomorfik, yapraksı/levhamsı şekilli, yer yer düz yer yer girift sınırlara sahip, homojen dağılımlı,

izotropik, (çok çok azdan çok yoğunu kadar olmak üzere) değişen oranlarda kloritleşmiş, epidotlaşmıştır.

Amfibol mineralleri: Küçük-orta taneli, ksenomorfik-hipidiyomorfik, prizmatik şekilli, genellikle girift sınırlara sahip, homojen dağılımlı, izotropik, yoğun/çok yoğun oranda biyotit minerallerine dönüşmüş, kloritleşmiş, epidotlaşmıştır. Kayaç orta derecede alterasyon göstermektedir.

Bazı kuvars ve plajyoklaz minerallerinin (diğer bileşenlere oranla) daha iri tane boyunda gelişmesine bağlı olarak örnek porfiriğimsi bir doku sunmaktadır. Plajyoklaz mineralleri polisentetik ikiz lamelleri ve (çoğunlukla) zonlu doku göstermektedir. Alkali feldspat mineralleri ise yoğun peritik dokuludur. Mafik minerallerde de yaygınca iç içe büyüme/gelişim söz konusudur. Yapılan incelemeler neticesinde kayacın granodiyorit olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3.3).



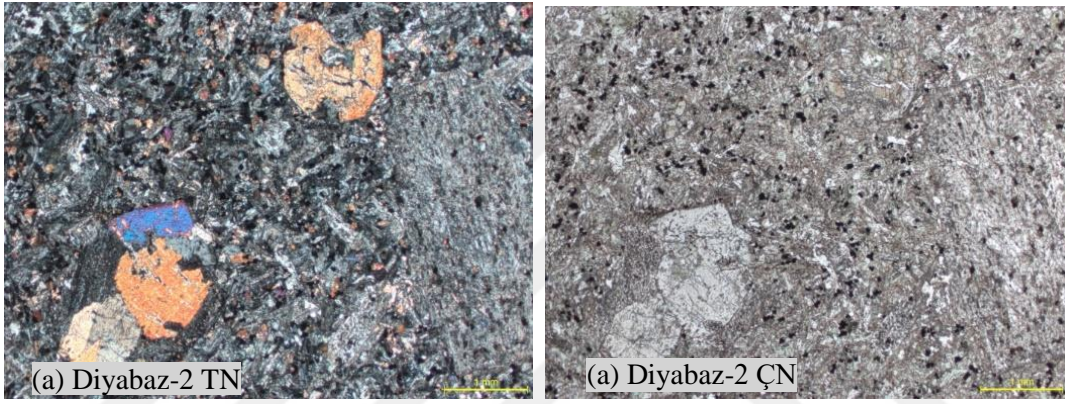
Şekil 3.3. Granodiyorit örneğinin ince kesit görünümü (a-b)

4 nolu kayacın makroskopik incelemesinde, renginin yeşilimsi gri, dokusunun porfirik özellikte ve küçük tane büyüklüğünde minerallere sahip olduğu görülmüştür. İnce kesit analizinde ise porfirik dokulu olduğu ve ana bileşenler olarak plajyoklaz mineralleri, piroksen mineralleri, tali olarak opak minerallerden oluştuğu anlaşılmıştır.

Plajyoklaz mineralleri: Küçük-orta-(az oranda) iri taneli, ksenomorfik-hipidiyomorfik, genel olarak çubuksu yer yer levhamsı şekilli, homojen dağılımlı, çoğunlukla killeşmiş, (olası) serizitleşmiş, yer yer (olası) kloritleşmiş, (olası) silisleşmiş, karbonatlaşmış, (az oranda) epidotlaşmıştır.

Piroksen mineralleri: Küçük-orta taneli, ksenomorfik-hipidiyomorfik, yer yer 8 köşeli prizmatik yer yer levhamsı şekilli, homojen dağılımlı, yer yer (olası) killeşmiş, (olası) kloritleşmiş, yer yer korrode (kemirilmiş) olmuştur.

Hamur: Diyabazik dokuludur. Küçük taneli, çubuksu plajyoklaz mineralleri ile bunların aralarını dolduran küçük taneli, (çoğunlukla) ksenomorfik piroksen mineralleri ve opak minerallerden ibarettir. Yer yer ikincil mineral [kil, serizit, (olası) klorit, (olası) silis, (olası) epidot mineralleri] gelişimleri görülmüştür. Kayacın alterasyon derecesi ortadır. Kayaç adı diyabazdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Diyabaz-2 örneğinin ince kesit görünümü (a-b)

5 nolu kayacın makroskopik incelemesinde, renginin orta gri ve dokusunun porfirik olduğu ve küçük tane büyüklüğünde minerallere sahip olduğu görülmüştür. İnce kesit analizinde ise porfirik dokulu olduğu ve ana bileşenler olarak plajyoklaz mineralleri/psödomorfları, amfibol mineralleri tali bileşenler olarak opak mineraller, apatit mineralleri ve zirkon mineralleri kesitte gözlenmiştir. Ayrıca, ikincil bileşenler olarak kil mineralleri, (olası) serizit mineralleri, karbonat mineralleri, (olası) klorit mineralleri, epidot mineralleri, opak mineraller, silis mineralleri ve (olası) biyotit mineralleri mevcuttur.

Plajyoklaz mineralleri/psödomorfları: Küçük orta taneli, ksenomorfik-hipidiyomorfik, çoğunlukla levhamsı şekilli, homojen dağılımlı, killeşmiş, (olası) serizitleşmiş, yer yer karbonatlaşmış (olası) kloritleşmiş, (olası) silisleşmiştir.

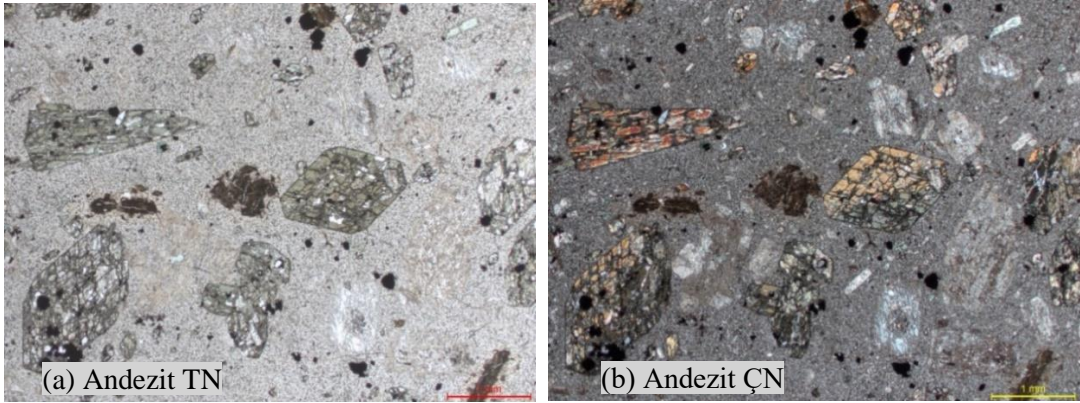
Amfibol mineralleri: Küçük-orta-(ender oranda) iri taneli, ksenomorfik-hipidiyomorfik-idiyomorfik, genellikle 6 köşeli prizmatik yer yer çubuksu prizmatik şekilli, homojen dağılımlı, (değişen oranlarda) yer yer (olası) killeşmiş, karbonatlaşmış,



(olası) biyotitleşmiş, (olası) kloritleşmiş, (özellikle kenarlardan ve dilinimlerden itibaren) opaklaşmıştır.

Hamur: mikrokristalin-mikrofelsitik bir doku sunmaktadır. İkincil mineral (kil, (olası) serizit, karbonat, (olası) klorit, epidot mineralleri) gelişimleri yaygındır. Boşluklar: Küçük-orta büyüklükte; düzensiz şekilli; homojen dağılımlı; silis, epidot, karbonat ve (olası) klorit mineralleri ile dolgulanmıştır. Dolgulu kırıklar-damarlar: İnce; değişik uzunluklarda; düzensiz; homojen dağılımlı; genellikle karbonat mineralleri ve opak malzeme dolgulanmıştır. Kayaç orta derecede alterasyona sahiptir.

Örnekte (eser oranda) küçük taneli, ksenomorfik, yer yer korrode olmuş kuvars ve küçük taneli, hipidiyomorfik, yer yer opaklaşmış biyotit mineralleri görülmüştür. Örnekte yer yer (olası) mafik mineral psödomorfu olabileceği düşünülen [küçük-orta taneli, homojen dağılımlı, killeşmiş, (olası) kloritleşmiş, opaklaşmış, az oranda epidotlaşmış, karbonatlaşmış, (olası) silisleşmiş] izler görülmüştür. Örneğin dokusu ve mineralojik bileşimi itibariyle andezit bileşimli volkanik bir kayaç olabileceği düşünülmektedir. Yapılan incelemeler neticesinde kayaç adı andezittir (Şekil 3.5). 6 nolu örneğin ince kesit analizi yaptırılmamıştır.



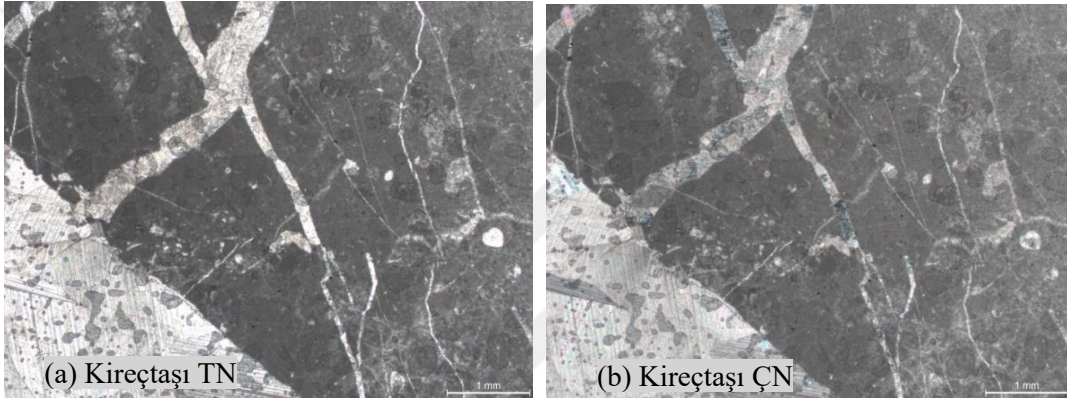
Şekil 3.5. Andezit örneğinin ince kesit görünümü (a-b)

7 nolu kayacın makroskopik incelemesinde zeytin yeşilimsi gri- beyaz (damarın rengi), dokusu masif, tane büyüklüğü küçük ve kırıklar içinde ince-orta genişliklerde; ikincil karbonat minerallerince dolgulanmıştır. İnce kesit analizinde ise dokusunun kriptomikrokristalin olduğu ve bileşenlerinin allokemler (mikrofosil-kavkı parçaları) alt zemin

olarak matriks (mikrit)-çimento (sparit-mikrosparit) olduğu ve tali olarak opak mineraller görülmüştür.

Mikrofosil-fosil kavkı parçaları: Küçük taneli, homojen dağılımlı, fosil kavkılarının içleri ikincil karbonat minerallerince dolgulanmıştır.

Matriks-çimento: Kripto-mikrokristalin karbonat minerallerinden (mikrit-mikrosparit-sparit) oluşmaktadır. Süreksizlikler: Dolgulu kırıklar-damarlar: İnce-orta-iri genişliklerde, değişik uzunluklarda, düzensiz, homojen dağılımlıdır. İlksel matriksi oluşturan (mikrit) karbonat çamuru, çoğunlukla korunmuş olmakla birlikte, gelişen yıkanmaların etkisiyle yer yer sparitleşmiştir. Kayaç adı kireçtaşıdır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kireçtaşı örneğinin ince kesit görünümü (a-b)

8 nolu örneğin makroskopik incelemesinde renginin sarımsı gri olduğu, kırıntılı (taneli) dokusunun olduğu ve tane büyüklüklerinin ince-orta-iri şeklinde olduğu görülmektedir. İnce kesit analizinde ise kayacın dokusu kırıntılı (taneli), parçalar: Volkan camı parçaları ve kıymıkları, kayaç parçaları (volkanik, az oranda tüf), mineral (plajiyoklaz, az oranda biyotit ) parçalarından oluşmaktadır.

Volkan çamı parçaları ve kıymıkları: Küçük-orta-iri tane boylarında, köşeli, yan köşeli-yarı yuvarlak, kötü boylanmış, volkan camı parçaları (olası volkan cürufu), az oranda devitrifiye olmuş şekilli, volkan camı kıymıklarından oluşmakta, dağılım homojendir.

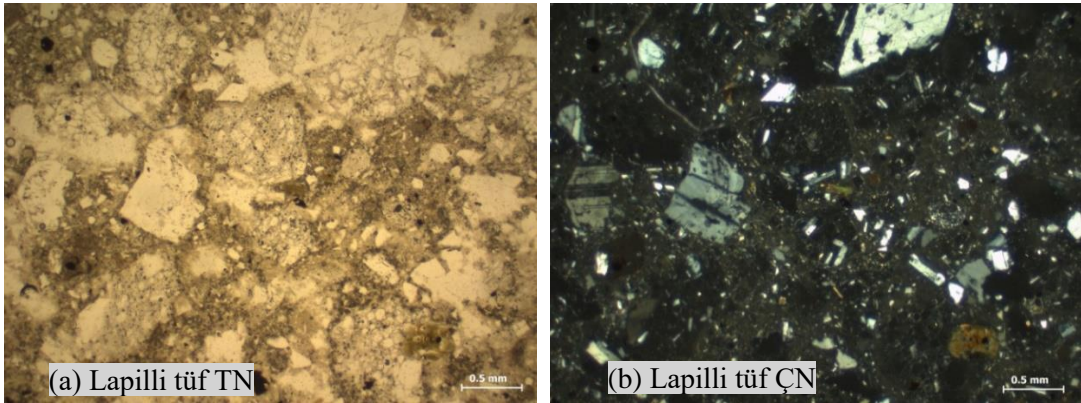
Kayaç parçaları: Küçük-orta-az oranda iri tane boylarında, köşeli, yarı köşeli-yarı yuvarlak, orta boylanmış, dağılım heterojendir.

Mineral parçaları: Küçük-orta tane boylarında, köşeli, yarı köşeli-yarı yuvarlak, orta boylanmış, dağılım homojendir.

Matriks: Yoğun olarak devitrifiye (olası kit, az oranda serizit) olmuş volkan tozundan oluşmaktadır. Kayacın alterasyon derecesi ortadır.

Volkan camı parçaları: Birbirleri ile bağlantısız olup, küçük-orta tane boylarında, genelde düzensiz şekilli, az oranda oval şekilli, hafif yönlenmiş, yönlenme yönünde uzamış yoğun gaz boşluklu, az oranda mikrolit/fenokristal halde mineral (plajiyoklaz, az oranda biyotit) parçaları izlenmekte olup, mineraller ve gaz boşluklarının araları olası killeşmiş, serizitleşmiş volkan tozundan oluşmaktadır.

Volkanik kayaç parçaları; porfirik dokulu, genelde plajiyoklaz, bazılarında amfibol, biyotit mineral fenokristalleri ve devitrifiye (olası kil, opak) olmuş volkan camı ve mineral mikrolitlerinden oluşan hamur kısmından oluşmakta olup, dokusu ve izlenen mineralojik bileşime dayanılarak olası andezitik bileşimli olduğu düşünülmektedir. Tüf kayaç parçaları devitrifiye (mikrofelsitik mineraller) olmuş volkan tozundan oluşmuş matriks kısmı ve orta tane boylarında mineral parçalarından oluşmaktadır. Mineral parçaları; plajiyoklaz, çok az oranda biyotit minerallerinden oluşmakta olup, plajiyoklaz mineral parçalarının bazılarında zonlu veya elek dokusu izlenmektedir. İçerdiği bileşenlerin (volkan camı parçaları ve kayaç parçaları) tane büyüklüklerine (2mm ve üzeri) ve oranına (boyutları 2mm ve üzerindeki parçaların oranının %25 civarında olması) göre örnek, Fisher ve Schmincke (1984) tüf sınıflamasını esas alarak lapilli tüf olarak adlandırılmıştır. Kayaç adı lapilli tüf olarak belirlenmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Lapilli tüf örneğinin ince kesit görünümü (a-b)

### 3.2. Kimyasal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

ASR deneyinde çözeltiliye maruz kalan ve çözeltiliye girmeyen aynı türden örneklerin kimyasal değişimlerini araştırmak amacıyla birinci ve on dördüncü gün sonunda kimyasal analizleri yapılmıştır (Tablo 3.1). Analizler Acme laboratuvarında (Kanada) LF302 kod nolu analiz türünde yaptırılmıştır.

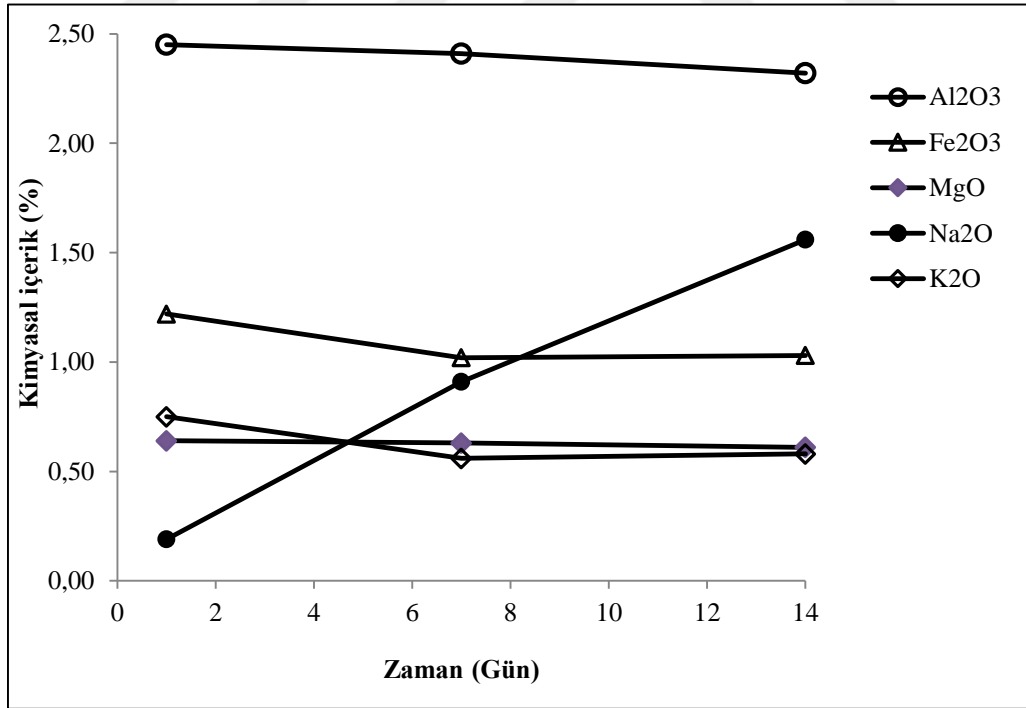
Bazı ana oksitlerde ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnO}$  ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) muhtemelen içerik olarak betonda az bulunmasından da kaynaklı olarak anlamlı bir değişme yaşanmamıştır. Diğer ana oksitlerin bir kısmında artış bir kısmında ise azalma görülmüştür. Öte yandan en fazla değişim  $\text{Na}_2\text{O}$  miktarında yaşanmıştır. Genel olarak bütün örneklerde diğer ana oksitlere kıyasla  $\text{Na}_2\text{O}$  miktarında büyük değişim yaşanmasının en önemli nedeni örneklerin  $\text{NaOH}$  çözeltilisine maruz kalmalarıdır. Ancak, örnek bazında değerlendirmek gerekirse, kuvarsit örneklerindeki değişim diğer kayalardan daha fazladır.

Genel olarak değerlendirildiğinde on dördüncü günde birinci güne kıyasla  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  oranlarında önemli ölçüde azalma,  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oranlarında kısmi azalma ve  $\text{Na}_2\text{O}$  içeriklerinde ise önemli derece artış yaşanmıştır.  $\text{MgO}$  ve  $\text{CaO}$  içeriklerinde hem azalış hem de artış yaşanmıştır. En fazla değişim ASR açısından risk oluşturan bazalt ve kuvarsit kayalarında görülmüştür. Değişimin yaşandığı ana oksitlere bakıldığında genel olarak ASR jelinin oluşumunda rol oynayan elementleri barındırdığı görülmektedir. Betonun boşluk suyunda bulunan  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  iyonlarının varlığı jelin genişmesini etkilemektedir. Eğer kalsiyum konsantrasyonu düşükse; reaksiyonun ilerlemesi ve genişlemenin oluşabilmesi için öncelikle kalsiyum miktarının artması gerekmektedir.  $\text{Ca}^{+2}$  iyonları silisle birleşerek silikat hidrata (CSH) dönüşmekte ve jel yüzeyinde birikmektedir. Eğer ara yer sıvısında  $\text{Ca}^{+2}$  iyon konsantrasyonu sınırlıysa,  $\text{Ca}^{+2}$  çabuk tükenir ve reaksiyon durur. Betonlarda bilindiği gibi, hidratasyon başında  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  kristalleri tekrar çözülmeye başlar ve ara yer sıvısındaki dengeyi kurar.  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$  oranı jelin oluşmasında, bileşiminde ve genişmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu oran arttıkça karakteri değişen jel daha az genişleme yapan bir türe dönüşmektedir (Gürkan, 2006). Benzer bir durum bu çalışmada birinci ve on dördüncü gün örnekleri arasında ( $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$  oranında azalma) özellikle ASR açısından riskli kayalarda (bazalt ve kuvarsit) gözlenmiştir. Ancak söz konusu oranlarla ilgili detaylı çalışma yapılmadığından oranlar burada verilmemiştir.

Tablo 3.1. ASR deneyi için hazırlanan örneklerin kimyasal içerikleri

Örnek No	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MgO %	CaO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	TiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	MnO %
Bazalt-1	45.23	13.55	4.97	0.82	18.40	2.21	2.94	0.53	0.22	0.10
Bazalt-14	43.64	13.36	4.61	0.84	19.37	4.04	2.81	0.52	0.23	0.10
Diyabaz-1-1	36.27	12.33	8.25	5.33	21.87	2.32	1.07	0.73	0.15	0.14
Diyabaz-1-14	36.19	12.40	8.08	5.31	21.77	3.08	0.91	0.73	0.17	0.14
Granodiyorit-1	54.57	10.17	2.62	1.00	17.89	2.59	1.56	0.24	0.08	0.06
Granodiyorit-14	54.92	10.16	2.52	0.98	17.98	3.34	1.36	0.24	0.08	0.06
Diyabaz-2-1	42.01	12.72	6.16	2.82	20.64	2.71	1.73	0.66	0.19	0.11
Diyabaz-2-14	41.38	12.72	6.15	2.88	20.47	3.64	1.49	0.67	0.19	0.11
Kuarsit-1	69.74	2.45	1.22	0.64	15.88	0.19	0.75	0.10	0.06	0.03
Kuarsit-14	67.73	2.32	1.03	0.61	16.41	1.56	0.58	0.10	0.07	0.02
Lapilli tuf-1	46.75	11.61	2.80	1.07	20.11	2.22	1.71	0.41	0.16	0.04
Lapilli tuf-14	44.57	11.48	2.77	1.06	19.77	4.49	1.48	0.40	0.15	0.04

Kuarsit örneğinin birinci, yedinci ve on dördüncü günlerine ait kimyasal içeriklerindeki değişim Şekil 3.8’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi bazı ana oksitlerde artış yaşanırken bazılarında ise kısmi azalma mevcuttur.

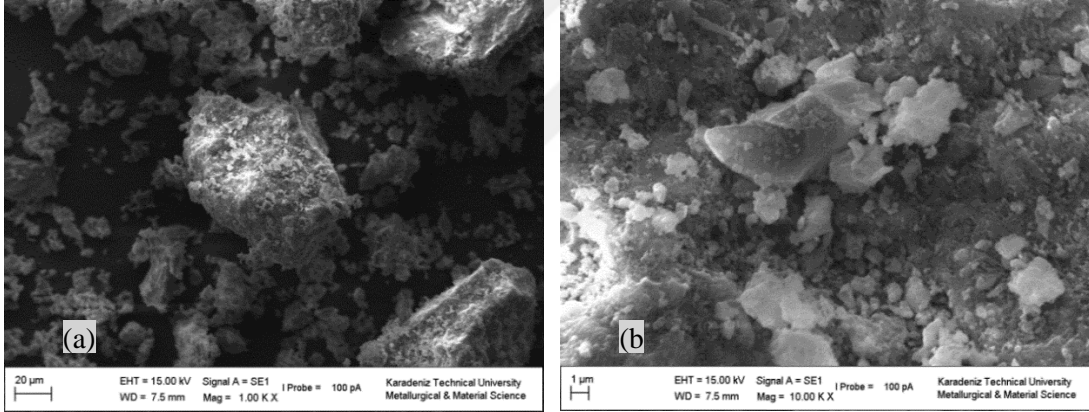


Şekil 3.8. Zamana bağlı bazı ana oksitlerde yaşanan değişimler

### 3.3. SEM Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

SEM analizleri iki aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada öğütülmüş 75 mikron altı malzeme kullanılmıştır (Şekil 3.9). Ancak ASR jelleri görüntülenemediğinden, bulk (kütle) numune hazırlayarak özellikle hızlandırılmış harç çubuğu deneyinde reaksiyon gösteren örnekler üzerinde ve ASR açısından risk olmayan bir kayaç üzerinde birinci gün çözeltiye maruz kalmayan ve on dört gün çözeltide bekleyen örneklerde SEM analizi yapılmıştır (Şekil 3.9). SEM analizinde kütle örneklerde özellikle  $> 5000$  büyütmeden sonra ASR jelleri olduğu düşünülen yapılara rastlanmıştır. Söz konusu yapılar genellikle çatlak içinde ve etrafında dağılmış iğnemsî bir yapı sunmuştur.

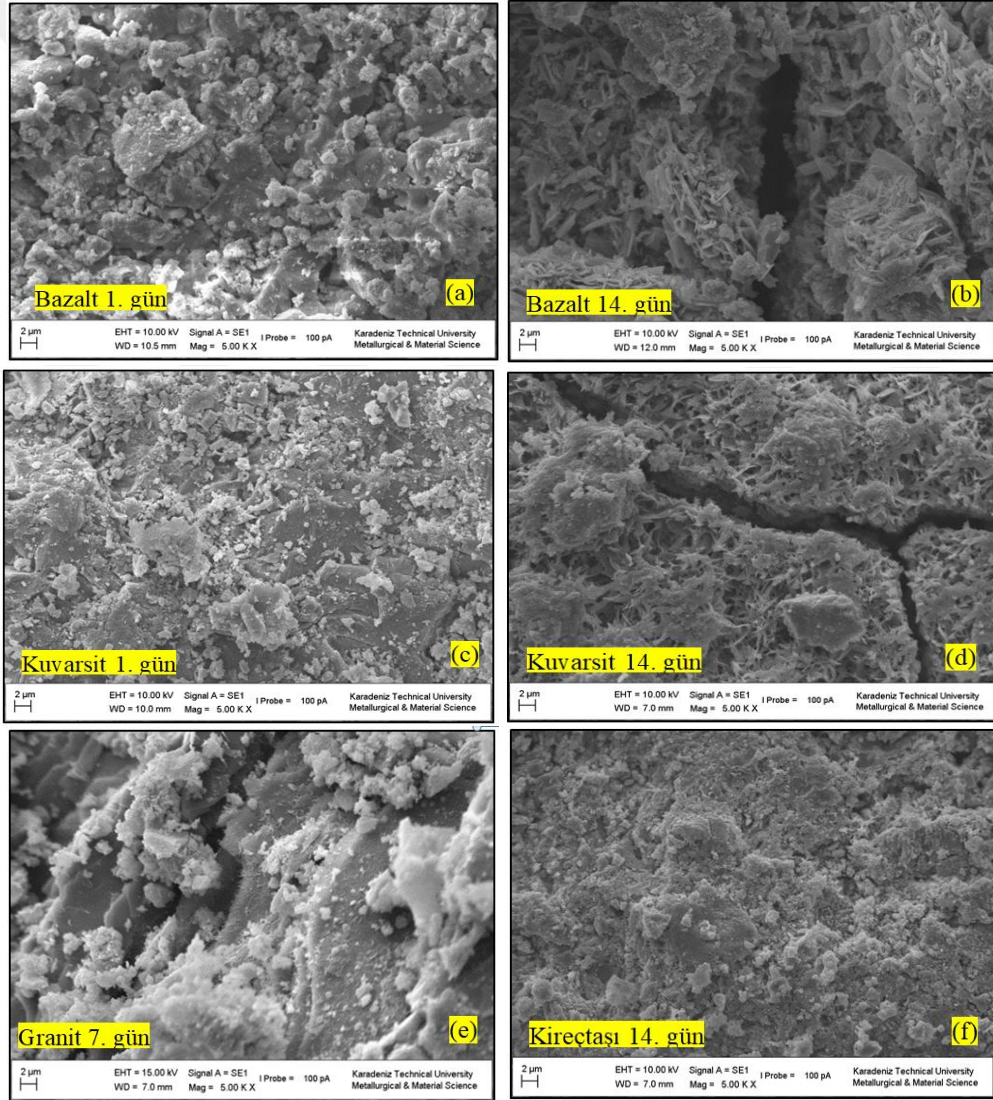
Demir (2010) yaptığı çalışmada bu çalışmaya benzer bir şekilde SEM görüntülerinde ASR ürünlerinin genellikle boşluklarda, agregaların çatlakları ve agrega-çimento hamuru arasında yer aldığı görülmüştür.



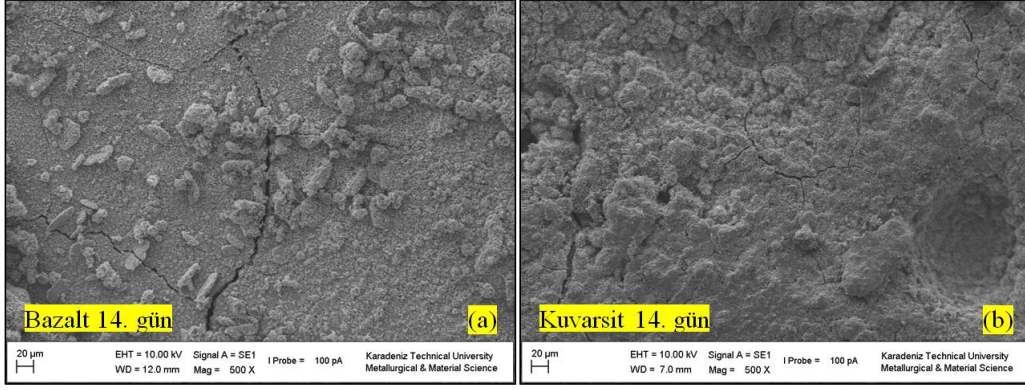
Şekil 3.9. Öğütülmüş örneklerde SEM analizi, a) 1000 büyütme, b) 10000 büyütme

Örneklerin çözeltiye maruz kalmasıyla ASR yönünden hızlandırılmış bir süreç başlamaktadır. Bazı kayaçların içerisinde bulunan reaktif silis içeriğinin çözelti ile reaksiyona girerek ASR jellerini oluşturmakta bazı örneklerde ise ASR açısından herhangi bir risk görülmemektedir. Gelişen reaksiyonun aşamalarını görmek amacıyla SEM analizi granitik örnekte 7. günde, bazalt ve kuvarsit örneklerinde 1. ve 14. gün ve kireçtaşı örneğinde 14. gün için gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10). Bazalt ve kuvarsit örneklerinin 1. gününde görüntü alanında herhangi bir çatlak ve jel olması muhtemel yapılar gözlenmemiştir. Öte yandan, bazalt ve kuvarsit örneklerinin çözeltiye maruz kaldıktan

sonraki halleri ilk hallerinden oldukça farklıdır. İğnemi yapıların oluştuğu açıkça gözlenmektedir. Granit örneğinde henüz önemsiz düzeyde olan söz konusu yapılar, kireçtaşı örneğinde çözeltiye maruz kalması halinde bile oluşmadığı anlaşılmaktadır (Şekil 3.10 f). Ayrıca, çözeltiye maruz kalan ASR açısından riskli örneklerdeki mikro çatlaklar 500 büyütmede rahatça görülmektedir (Şekil 3.11). Mikro çatlaklar ASR açısından risk içermeyen kayalarda 14 günde ve ASR açısından risk içeren kayalarda birinci günde rastlanmamaktadır. Bu sonuçlar NaOH çözeltisinin kullanıldığı hızlandırılmış harç çubuğu yönteminin örneklerin ASR açısından riskli olup olmadığını anlamada kullanılan önemli bir yöntem olduğunu göstermektedir.



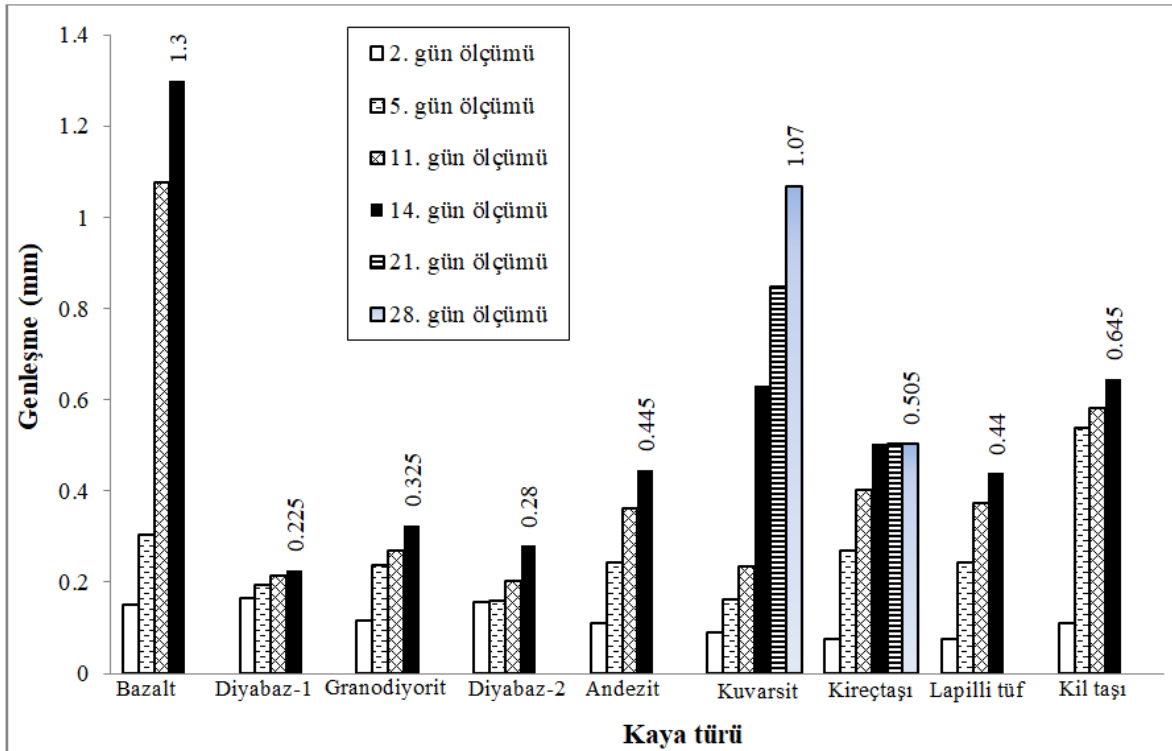
Şekil 3.10. Bulk (kütle) örneklerde SEM analizi (a-f)



Şekil 3.11. Örneklerde gözlenen mikro çatlaklar

### 3.4. ASR Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

ASR deneyine maruz kalan harç çubuklarının genişleme miktarlarını gösteren grafik Şekil 3.12’de verilmiştir. Buna göre en fazla genişleme değeri bazalt, kuvarsit ve kil taşında görülmüşken, en az genişleme ise diyabazlarda ve granodiyorit kayacında olmuştur.

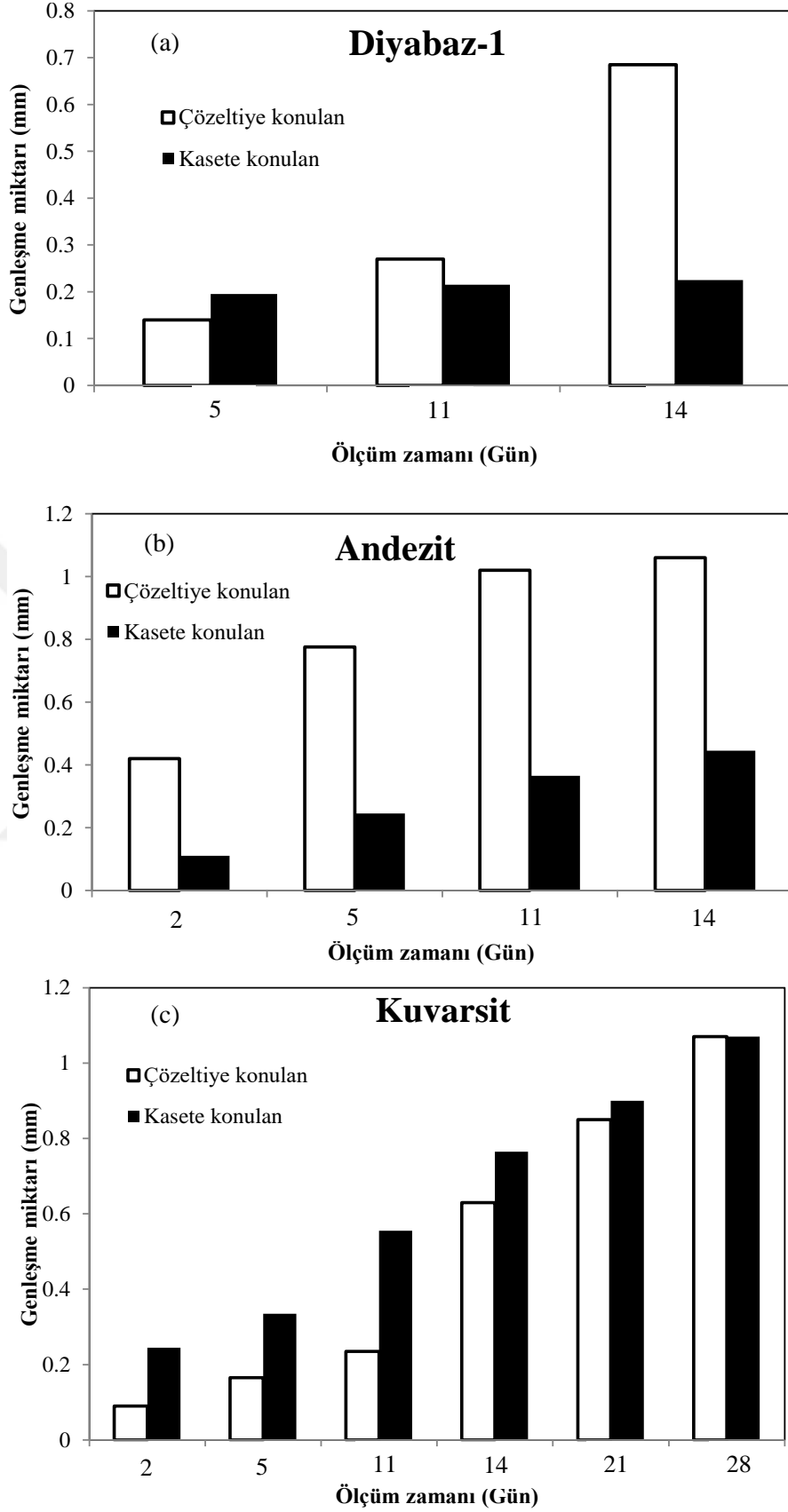


Şekil 3.12. Zamana bağlı örneklerde meydana gelen genişlemeler

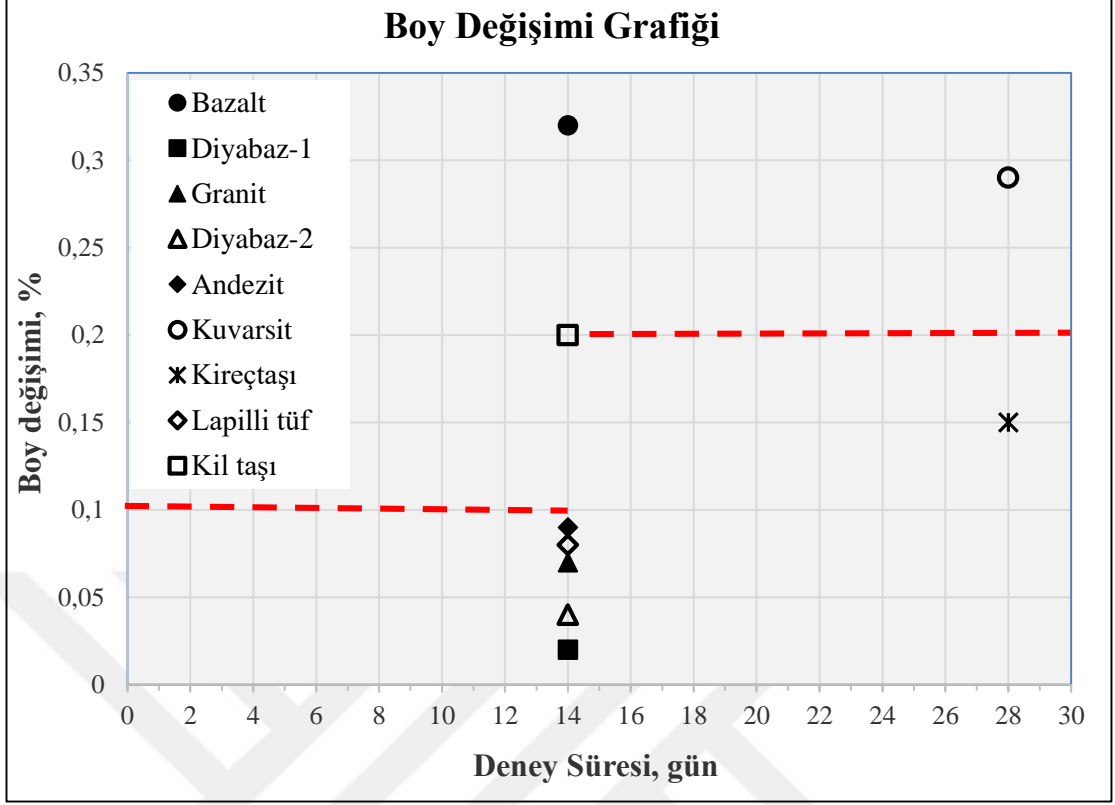


Bu çalışma kapsamında ilk olarak diyabaz-1, andezit ve kuvarsit örneklerine ait harç çubukları aynı çözelti tankına konularak ASR deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aynı çözeltiye maruz kalan harç çubuklarının genleşme değerlerinin değişebileceği düşünüldüğünden daha sonra bütün örnekler kendisine ait özel numune kalıplarına (kaset) konulmuş ve ölçümler alınmıştır. Diyabaz-1, andezit ve kuvarsit örnekleri için ASR deneyleri her biri ayrı kaset içinde olacak şekilde deneyler tekrarlanmıştır. Çözeltiye maruz kalan ve özel kaset içinde deneye tabi tutulan örneklerin farkları Şekil 3.13’de verilmiştir. İlginç bir şekilde andezit ve diyabaz örneklerinde çözelti içinde iken genleşmeleri oldukça fazla, ancak kaset içinde iken oldukça düşük genleşmeye sahip oldukları görülmüştür. Kuvarsit örneklerinde ise nihai durumda bir değişim söz konusu olmamıştır. Ancak her iki durumda genleşme miktarları oldukça fazladır. Sonuç olarak bütün örneklerin tek bir çözelti içinde olması durumunda genleşme özellikleri etkilenmektedir. Andezit ve diyabaz-1 örneklerini muhtemelen kuvarsit örneği etkilemiş gözükmektedir. Her bir kayaca ait harç çubuklarının kendi özel numune kalıbı içinde deneye tabi tutulması önem taşımaktadır.

Çalışılan kayaçların alkali silika reaksiyonu gösterip göstermediği Şekil 3.14’ten anlaşılmaktadır. 14 günlük değerlendirmede potansiyel olarak zararlı görülen agregalar için deney süresi 28 güne tamamlanmıştır. Bu durum kuvarsit ve kireçtaşı örneğinde rastlanmıştır. Bütün kayaçlar değerlendirildiğinde bazalt, kuvarsit ve kil taşının beton üretimi açısından ASR yönünden zararlı oldukları görülmüştür. ASR açısından risk içermediği belirlenmesine karşın, lapilli tuf kayacında da nispeten yüksek genleşme oranları tespit edilmiştir. Kil taşı ve lapilli tuf kayaçlarında genleşme miktarının sadece agregada bulunan reaktif silisten kaynaklanmayabileceği düşünülmüştür. Çünkü her iki kayaç türü de suya hassas kayaçlar olup, bünyelerinde su bulunması halinde genleşme gösterecek özelliktedirler. Bu nedenle, detaylı çalışmalar ile söz konusu kayaç içindeki kil mineralinin türü ve aktivitesi belirlenerek, şişme potansiyeli olup olmadığı belirlenebilir.



Şekil 3.13. Çözeltinin genleşmeye etkisi, a) diyabaz-1, b) andezit, c) kuvarsit



Şekil 3.14. Çalışılan kayaçların ASR açısından değerlendirilmesi

### 3.5. Genel Değerlendirme

Çalışılan kayaçlar göz önüne alındığında hepsinin doğal agrega sınıfına girdiği, kırılmış tanelerden oluştuğu için kırmataş olarak değerlendirildiği, taneler genellikle küp şekilli olup kusurlu tane barındırmadığı görülmüştür. Yoğunluğu  $< 2.4 \text{ gr/cm}^3$  olan lapilli tuf ( $1.94 \text{ gr/cm}^3$ ) örneğinin hafif agregalar sınıfında olduğu, diyabaz-1 ve diyabaz-2 örneklerinin yoğunlukları  $> 2.8 \text{ gr/cm}^3$  değerinden yüksek olmasından dolayı ağır agregalar sınıfına girdiği ve diğer kayaçların ise normal agregalar sınıfına ( $2.4 \text{ gr/cm}^3 - 2.8 \text{ gr/cm}^3$ ) dahil oldukları görülmüştür. Diyabaz-1 kayacında hem killeşme hem de zeolitleşme görüldüğünden betonda kullanımı açısından detaylı (oran vb.) araştırılmalıdır. Kil taşı ve lapilli tuf örneklerinin yoğunluklarının ve beton dayanımlarının düşük olması, porozite ve ağırlıkça su emme yüzdelerinin yüksek oluşu ayrıca kilin beton içinde boşluk gibi davranma özelliğinden dolayı betonda tercih edilmeyeceği düşünülmüştür. Ayrıca, bazalt, kuvarsit ve kil taşı alkali silika reaksiyonu açısından zararlı çıktıklarından betonda kullanımı uygun değildir. Granodiyorit, diyabaz-2, andezit ve kireçtaşı örneklerinin yapılan deneyler neticesinde nispeten betonda kullanım için daha uygun oldukları anlaşılmıştır.

Ancak, bu tez kapsamında kayaçlar ASR açısından (mineralojik, kimyasal, SEM analizleri ve hızlandırılmış harç çubuğu deneyi) zararlı olup olmadıkları araştırıldığından, bazı deneyler yapılmamıştır. Kayaçların betonda kullanımının uygunluğu için bazı ilave testlerin (dona dayanıklılık deneyi vb.) yapılması uygun olacaktır.



#### 4. SONUÇLAR

Tez kapsamında 9 adet kaya agregası kullanılmış olup, mineralojik analiz sonucuna göre sırasıyla bazalt, diyabaz-1, granodiyorit, diyabaz-2, andezit, kireçtaşı ve lapilli tuf oldukları anlaşılmış, diğer iki kayacın ise temin edildiği yerden kuvarsit ve kil taşı örnekleri oldukları öğrenilmiştir.

Alkali silika deneylerine tabi tutulan örneklerin çözelti öncesi ve sonrası kimyasal analiz sonucuna göre bazı ana oksitlerde değişimler görülmüştür.  $Fe_2O_3$  ve  $K_2O$  oranlarında deney öncesi miktarlarına göre önemli ölçüde azalma,  $SiO_2$  ve  $Al_2O_3$  oranlarında kısmi azalma ve  $Na_2O$  içeriklerinde ise önemli derece artış yaşanmıştır. En fazla değişimin yaşandığı kaya türü kuvarsit, daha az oranda ise bazalt ve lapilli tuf olmuştur. Söz konusu kayalar ASR açısından bu çalışmada risk içerdiği belirlenen kayalardır.

ASR deneylerine tabi tutulan örneklerin çözelti öncesi ve sonrası SEM analiz sonucuna göre çözeltide 14 gün bekleyen, hızlandırılmış harç çubuğu deney sonucuna göre ASR açısından risk içeren örneklerde mikro çatlaklar ve söz konusu çatlakların etrafına yayılmış iğnemsî yapıların geliştiği gözlenmiştir.

ASR tespiti için yapılan hızlandırılmış harç çubuğu deney sonuçlarına göre, en fazla genleşme değeri bazalt, kuvarsit ve kil taşında görülmüş ve riskli oldukları ortaya çıkmıştır. En az genleşme ise diyabazlarda ve granodiyorit kayacında olmuştur. Lapilli tuf örneklerinde de nispeten yüksek genleşmeler görülmüştür. Lapilli tuf ve kil taşıdaki genleşmeye bünyelerine aldıkları çözelti suyunun da etkisi olabileceği düşünülmüştür.

## 5. KAYNAKLAR

- Akman, M. S., 2000. Effects of the Content and Kind of Soluble Alkalis in Cements on Different Properties of Concrete, Cement and Concrete Technology in the 2000's Second International Symposium, September, İstanbul.
- Aköz, F. ve Andiç, Ö., 2006. Alkali Agregata Reaksiyonunun Hızlandırılmış Deney Yöntemiyle Araştırılması, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Andiç, Ö., 2002. Alkali-Silis Reaksiyonunun Mineral ve Kimyasal Katkıları Yardımı ile Kontrol Altına Alınması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Arıoğlu, E., Arıoğlu N. ve Yılmaz A. O., 2006. Beton Agregaları Çözümlü Problemler, Bilgi Föyleri, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Arslan, M., 2001. Beton Dökümü, Kalıpları, Kusurları ve Dayanıklılığı, Atlas Yayınevi.
- ASTM, 1984. Standart Test Method for Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens. Soil and Rock, Building Stones, Annual Book of ASTM Standards 4.08. ASTM, Philadelphia, Pennsylvania.
- ASTM-C 1260., 2005. Standard Test Method for Potential Reactivity of Aggregates, Mortar-Bar Method, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM-C 136., 1983. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, Annual Book of ASTM Standard.
- ASTM-C131., 1994. Standart Test Method for Resistance to Degregation of Small Size Coarse Aggregates by Abrasion And Impact in the Los Angeles Machine, Annual Book of ASTM Standards.
- Aşık, İ., Şen, H., Ergintav, Y., Ünsal, A., Şentürk, E ve Bayrak, E., 2003. Alkali-Agregata Reaksiyonu Yönünden Zararlı Olan Bir Ocağın İyileştirilmesi, Beton Kongresi, İstanbul.
- Bal, S., 2010. Kayaçlarda Fiziko-Mekanik ve Mineralojik Özelliklerini Betonda Alkali-Silika Reaksiyonuna Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 115, s.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık, DEÜ, Mühendislik Fakültesi Yayınları, 282. İzmir
- Baradan, B., 2004. Yapı Malzemesi II, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, Genişletilmiş 7. Baskı, İzmir, 221-222 s.

- Çullu, M., Subaşı, S. ve Bolat, H., 2010. Beton Kanseri Alkali - Silika Reaksiyonu, e-Journal of New World Sciences Academy, 5,3, 526-540.
- Demir, İ., 2010. Alkali-Silika Reaksiyonu Etkisine Maruz Aynı Oranda Silis Dumanı ve Uçucu Kül İçeren Harçların Mekanik Özellikleri, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 25, 4, 749-758.
- D.S.İ., 1974. "Betonlarda Alkali-Agrega Reaksiyonu ve Türkiye Çimentolarının Alkalinite Değerleri", Y.N.Kİ-551, Ankara.
- Engin, G., 2013. Nevşehir Acıgöl Bölgesinden Elde Edilen Perlit Agregasının Alkali Silika Reaksiyonunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 51 s.
- Erdoğan, T. Y., 2007. Beton, O.D.T.Ü., Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A. Ş. Genişletilmiş 2. Baskı, Ankara, 67- 682 s.
- Erdoğan, T. Y., 1995. Beton Oluşturan malzemeler, O.D.T.Ü., İnşaat Müh. Bölümü, Ankara, 683-E731.
- Erik, D. ve Mutlutürk M., 2004. Koç Deresi Kum Çakıl Ocağı Malzemelerinin Alkali - Silika Reaksiyonu Özellikleri, KAYAMEK' 2004-VII Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Ekim, Sivas, Bildiriler Kitabı 1, 297-303.
- Ersoy, H. and Kanik, D., 2012. Multicriteria Decision-Making Analysis Based Methodology For Predicting Carbonate Rocks, Uniaxial Compressive Strength, Earth Sci. Res. J. 16, 1, 65–74.
- Farny, J. A., ve Kosmatka, S. H., 1997. Diagnosis and Control of Alkali Aggregate Reactions in Concrete, Concrete Information, Portland Cement Association, 23.
- Fener, M., Kahraman, S., Bilgil, A. and Gunaydin, O., 2005. A Comparative Evaluation of Indirect Methods to Estimate the Compressive Strength of Rocks, Rock Mech. Rock Engng. 38,4, 329–343.
- Fisher, R.V. and Schmincke, J.-U., 1984. Pyroclastic Rocks. Springer-Verlag, Berlin.
- Gillott, J.E. ve Rogers, C.A., 1994. Alkali-Aggregate Reaction and Internal Release of Alkalis. Magazine of Concrete Research, 46, 167, 99-102.
- Gün M., 2007. Adapazarı Bölgesindeki Agregaların Alkali Agregata Reaksiyonu Bakımından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Gümüş, S., 2009. Kocaeli Bölgesindeki Agregaların Alkali Silika Reaksiyonu Bakımından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 84 s.

- Gürkan, A., 2006. Pomza ve Zeolitın Alkali Silika Reaksiyonu Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 95 s.
- Hobbs, D. W., 1988. Alkali-Silica Reaction in Concrete, Thomas Telford, London, 183.
- ISRM, 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength, *International Journal of Rock mechanics and Mining Sciences and Geomechanics*, 22, 53-60.
- ISRM, 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974–2006. In: Ulusay, Hudson (Eds.), Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics. ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 628.
- Kahraman, S., 2001. Evaluation of Simple Methods for Assessing the Uniaxial Compressive Strength of Rock, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 38, 981–994.
- Karadağ, A., 2008. Farklı Kökenli Agregalar İçeren Yüksek Mukavemetli Betonların Elastik Özelliklerinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 85 s.
- Karaman, K. ve Kesimal, A., 2015. A Comparative Study Of Schmidt Hammer Test Methods For Estimating The Uniaxial Compressive Strength Of Rocks, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, pp.507-520.
- Karaman, K., Kaya, A. ve Kesimal, A., 2015. Use Of The Point Load Index In Estimation Of The Strength Rating For The Rmr System, *Journal of African Earth Sciences*, 106, 40-49.
- Karakaş, S., 2013. Harşit Çayı Vadisi Agregalarının Alkali Silika Reaksiyonu Bakımından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 109 s.
- Katayama, T., 2000. Alkali Aggregate Reaction in the Vicinity of İzmir, Western Turkey, Alkali Aggregate Reaction in Concrete, 365-374, Proc. 11th International Conference, Ed. Berube, M.A., Fournier, B., Durand, B., Quebec, QC, Canada, 1406.
- KGM, 2003. Kaliteli Beton İmalatı İçin Gerekli Esaslar Betonun Durabilitesi, TADB Malzeme Lab. Şubesi Md., Ankara, 36 s.
- Kılıç, A. and Teymen, A., 2008. Determination of Mechanical Properties of Rocks Using Simple Methods, *Bull. Eng. Geol. Environ* 67, 237-244.
- Koca, C., 1996. Hazır Beton Sektörü Açısından Agrega Sektörüne Bakış, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.
- Malvar, L.J., Cline G.D., Burke D.F., Rollings R., Sherman T.W., and Greene J.L., 2002. Alkali- Silica Reaction Mitigation: State of the art and Recommendations, *ACI Materials Journal*, 99, 480-489.



- Özkul, H., Taşdemir, M., A., Tokyay, M. ve Uyan, M., 1999. Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton, THBB, İstanbul, 120-122 s.
- Popovics, S., 1979. Concrete-Making Materials, Hemisphere Publishing Corporation, Washington.
- Ramyar, K., Dönmez, H. ve Andıç, Ö., 2002. Alkali Silis Reaksiyonunun Mineral ve Kimyasal Katkılar Yardımı ile Kontrol Altına Alınması, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü, ANKARA
- Ramyar, K., 2013. Betonda Alkali-Silis Reaksiyonu: Bir Derleme, Hazır Beton Dergisi, Kasım – Aralık Sayısı, 70–82.
- Sevinç, Z., 2016. Alkali Silika Reaktivitesinin (ASR) Doğal Malzemeler Kullanılarak İndirgenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 107 s.
- Smith, W., F., 2001. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. ve Tic. Ltd., İstanbul, 747 s.
- Stanton, T. E., 1940. Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Agregate, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 66, 10, 1781-1811.
- Stark, D., 1995. Effects of Water Cement Ratio on Expansion due to ASR, 3-5, Concrete Technology Today, PL951, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, March.
- Swamy, R. N., 1992. Testing for Alkali Silica Reaction, 54-95, The Alkali- Silica Reaction in Concrete, R. N. Swamy (Ed), Van Nostrand Reinhold, New York, 333.
- Sonmez, H., Gokceoglu, C., Medley, E.W., Tuncay, E. and Nefesilioglu, H.A., 2006. Estimating the Uniaxial Compressive Strength of a Volcanic Bimrock, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 43, 4, 554-561.
- Şimşek, O., 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık San. Tic. A. Ş., Haziran, Ankara, 106-144 s.
- Taşdemir, M., A., 2002. Betonun Dayanım ve Durabiliteye Göre Tasarımı ve Üretimi İMO İstanbul Şubesi, Sürekli Eğitim Seminerleri, Kasım, Harbiye, İstanbul.
- Topal, T., 2000. Nokta Yükleme Deneyi ile İlgili Uygulamada Karşılaşılan Problemler, O.D.T.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Teknik Not 24(I), Ankara.
- Topal, A. ve Şengöz, B., 2011. Agregaya Boyutu ve Köşeliliğinin Alkali-Silis Reaksiyonu Üzerine Etkisi, 9 Eylül Üniversitesi, İzmir.

- Topçu, İ., B., Ünal, O. ve Uygunoğlu, T., 2006. Afyon Yöresi Kırmataşlarının Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Aralık, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 305-311.
- Topçu, İ., B. ve Canbaz, M., 2006. Eskişehir Bölgesi Agregalarının Özellikleri, IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Aralık, İstanbul, 257-263.
- Topçu, İ. B., 2003. Atık Camlı Harçlarda Alkali Silis Reaksiyonu, 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul.
- Tosun, K. 2001. Uçucu Kül ve Silika Dumanının Alkali Silika Reaksiyonu Üzerine Etkisi Yüksek Lisans Tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton Agregaları, T.S.E., Ankara.
- T.S.E., 1980. Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, TS-707, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-9 s.
- T.S.E., 2003. Beton Agregaları, TS-706 EN 12620, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 4-5 s.
- T.S.E., 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Yapılan Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini-Eleme Metodu, TS-3530 EN 933-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2-5 s.
- T.S.E., 1980. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, TS-3526, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 3 s.
- T.S.E., 1980. Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini, TS-3527, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2 s.
- T.S.E., 1980. Beton Agregalarında Hafif Madde Oranı Tayini, TS-3528, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 3 s.
- T.S.E., 1980. Beton Agregalarında Birim Ağırlık Tayini, TS-3529 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 4 s.
- T.S.E., 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 3: Tane Şekli Tayini-Yassılık İndeksi, TS-9582 EN 933-3, Türk Standartları Enstitüsü Ankara, 2-6 s.
- T.S.E., 2000. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler 2.Bölüm Parçalanma Direncinin Tayinleri, TS EN 1097-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 4-10 s.
- T.S.E., 1999. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, TS EN 1367-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 4-7 s.

T.S.E., 2000. Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Kimyasal Analiz, TS EN 1744-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-35 s.

Yalçın, H., ve Özalp, R., 1974. Betonlarda Alkali-Agrega Reaksiyonu ve Türkiye Çimentolarının Alkalinite Değerleri, Ankara, Devlet Su İşleri Yayını.

Yılmaz, A., O. ve Çavuşoğlu, İ., 2003. Doğu Karadeniz Bölgesinde Agregada İşletmeciliğinin Sorunları ve Öneriler, Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar I. Kongresi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Bildiriler Kitabı 1: 133-143.

West G., 1996. Alkali-Aggregate Reaction in Concrete Roads and Bridges. Thomas Telford, London. 400.



## ÖZGEÇMİŞ

Aknur BAKHYTZHAN, 17.12.1994'te Kazakistan'da Kyzylorda ilinde doğdu. İlk, orta ve liseyi Shymkent şehrinde okudu. 2012-2016 yıllarında Almaty şehrindeki Kazak Ulusal Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini aldı. Mezun olduktan sonra aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Yabancı diller eğitimi bölümünde 1 sene Türkçe hazırlık yaptı. 2017 yılında Fen bilimler Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

