

## Beton Üretiminde Kullanılabilirliği

M. Davraz, L. Gündüz, N. Şapcı & E. Başpınar

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, İSPARTA*

**ÖZET:** Bu çalışmada, Isparta il merkezi güneybatısından başlayıp güneydoğusuna kadar uzanan ve kuzeyinde de gözlenen volkanik oluşumlardan (Gölcük Volkanitleri), Minasın Mevkii (andezit ocakları), Kayıköy ve Gönen ilçesi civarındaki volkanik kayaçların mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışma alanından alınan örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış, yöredeki volkanik kayaçların beton sektöründe agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Arazi örnekleri üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneyler sonucunda, incelenen kayaçların birim hacim ve gerçek özgül ağırlıkları, ağırlıkça su emme oranları, görünür ve gerçek poroziteleri, tek eksenli basınç, eğilme, darbe ve don tesirlerine dayanımları, yüzey aşınma değerleri belirlenmiştir. Kayaç örneklerden elde edilen agregalar ile üretilen betonların 3, 7 ve 28 günlük tek eksenli basınç dayanımları Isparta-Diyadin yöresi kalker ocağı agregalarıyla üretilen betonlar ile kıyaslanmıştır. Deneysel veriler ışığında, kireçtaşı agregasına göre trakandezit ve trakibazalt agregaların betonda üretiminde % 62-79 oranında dayanım artışı sağladığı belirlenmiştir.

**ABSTRACT;** In this study, mineralogical, petrographical and chemical properties of the volcanic rocks were investigated. These rock formations start from southeast of Isparta City Centre and lie down up to southwest and also were observed at the north of the city. These are volcanic formations of Gölcük volcanite's, Minasın Place (andesite quarries), Kayıköy and Gönen Town. Physical and mechanical experiments were carried out on samples collected from the study area and volcanic rocks of the study area were also investigated to be used as aggregates in concrete industry. According to the research findings of physical and mechanical experimental works on the rock samples, the following properties for each rock types were determined: unit weight and specific gravity, water absorption by weight, appearance and real porosity, uniaxial compressive strength, bending strength, blow strength, frost resistant and abrasion resistant. Compressive strengths of the concrete samples produced by the volcanic aggregates were compared with results of concrete samples produced by limestone aggregates from Isparta-Diyadin Quarry at 3, 7 and 28 days curing time. As the experimental research findings, the advantages of volcanic rocks in the region were determined to be used as structural concrete aggregates.

### 1. GİRİŞ

Bilindiği gibi Türkiye aktif deprem kuşağında yeralan bir ülkedir. Ülkemizde son yüzyıl içerisinde 120 den fazla 5.0 ve üzeri şiddette deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden bir kısmı hayli yıkıcı

olmuş, önemli can ve mal kayıpları oluşmuştur. Ülkemizin jeolojik ve tektonik yapısı gereği bu depremler olmaya devam edecektir.

Ülkemizde depremlerin önemli derecede yıkım ve hasara yol açmasının en temel nedeninin, yapı

üretimi (tasarım, malzeme kalitesi ve inşaat süreci) esnasındaki denetimsizlik ve hatalar olduğu açıktır. Yapının taşıyıcı elemanları (betonarme) beton ve demirden oluştuğuna göre öncelikle bu iki temel unsur üretiminden itibaren inşaat sürecine kadar denetim altına alınmalıdır. Ayrıca mevcut kalitenin yükseltilebilmesi için Ar-Ge çalışmalarına önem verilmeli ve bulgular sektörle paylaşılmalıdır.

Betonun en temel bileşenlerinden çimentonun kalitesi üretici firma sorumluluğu ve denetiminde iken hidrasyon suyu, genelde kaliteye girdi miktarı olarak etki eder. Ancak beton agregasının kalitesi, kullanılan hammadde ocağının jeolojik yapısından kayacın mineralojik-petrografik özelliklerine, seçilen kırma-eleme sisteminden karışımda kullanılan gradasyon ve reçeteye kadar oldukça geniş bir yelpazedeki kriterlere bağlıdır.

Doğadaki kayalar üç grup altında toplanmaktadır. Bunlar, magmatik, sedimanter ve metamorfik kayalardır. Dünyada kullanılan en yaygın sedimanter kayalar başta değişik tipte kireçtaşı ve dolomit olmak üzere, kumtaşları ve konglomeralardır. Metamorfik kayalar kuvarsit, kalsitik ya da dolomitik mermerler, kristalin kireçtaşı ve dolomit, amfibolitler, bazı şist grupları ve değişik tipte gnayslardır. Volkanik kayaların en yaygın tipleri ise granit, siyenit, diyorit, gabro gibi derinlik kayaları ve bunların yüzey kayaları olan riyolit, andezit, trakiandezit ve bazaltdır.

Bu kaynaklar, bölgesel jeoloji, üretilebilirlik ve kayaç özellikleri açısından uygun nitelikte olmalıdır. Nihai ürünün mukavemet ve dayanıklılığını garanti etmek için, beton agregaları şu özellikleri sağlamalıdır:

1. Mekanik performans (parçalanma, aşınma ve parlatmaya direnç),
2. Durabilite (çevre koşulları, özellikle donma/çözülme çevrimine direnç),
3. Kimyasal Duraylılık (herhangi bir zararlı reaksiyona -çözünme, çiçeklenme vd.- direnç),
4. Alkali agregata reaktivitesi (alkali gözenek solüsyonu ile agregata içeriğindeki zararlı minerallerin reaksiyonu),

5. Zararlı maddeler (yumuşak ve parçalanabilir taneler, organik madde, düşük yoğunluklu malzeme vd.),

6. Tane şekli ve dokusu (küresellik, yassılık, katılık ve alterasyon),

7. Tane boyut dağılımı (derecelenme ve ince madde miktarı),

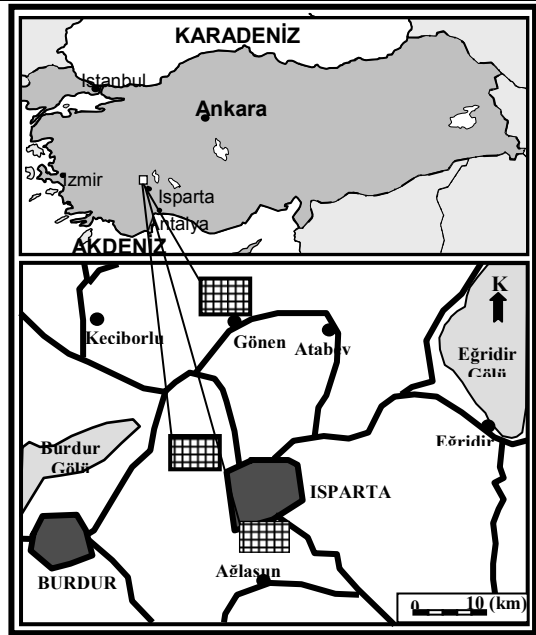
8. Diğer kullanım (beton özellikleri için) ya da belirlenmiş özellikler (özel kullanım için) – yüzeysel rutubet, su içeriği, soğurma, özgül ağırlık, doluluk/ boşluk oranıdır. Agregata kalitesi bir seri standarda dayanarak kontrol edilir. Ayrıca, agreganın mekanik özellikleri, durabilite, kimyasal duraylılık, alkali reaktivite ve zararlı madde içeriği, onun kompozisyonu, dokusal ve yapısal karakteristikleriyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle mineralojik ve petrografik kayaç analizi, agregata kalitesini belirlemede son derece önem taşır.

Mekanik gerilim, üretim ve taşıma öncesi, (karışım, yerleştirme ve sıkıştırmayla ilgili olarak) kompaksiyon esnasında, agregata kullanıma girdikten sonra (sabit ve değişken yük ve gerilim altında) meydana gelebilir. Bu tür gerilim altında agregalar basınç ve darbe nedeniyle çatlayabilir veya parçalanabilir. Agreganın parçalanma ve aşınmaya direnci sertlik, sıklık ve klivaj gibi doğal özellikleri ve kayaç bileşenlerinin bireysel özellikleri tarafından son derece etkilenir. Performansı da, porozite, boyut, mineral-kayaç tane şekli, bu taneler (taneler arası bağ, doğal çimento ve çimentolaşma derecesi) arasındaki kohezyon kuvvetleri ve düzeni gibi dokusal özelliklerine, katmanlaşma, tabakalaşma çatlağı, şiştözite, makaslama gibi zayıflıklarla ilişkili kayaç bileşenlerinin yapısal karakteristiklerine ve kırık, çatlak, damar, katmanlaşma gibi kayacın müşterek süreksizliklerine büyük ölçüde bağlıdır.

Parçalanma direnci darbe ve basınç altında gevreklik kavramı olarak tanımlanır, sertlik ve poroziteden daha az da olsa, yukarıda değinilen özelliklere bağlıdır. Parçalanma direnci, kayacın içerdiği süreksizlikler ve zayıflık düzlemleri kadar esas kayaç bileşimini oluşturan yapısal parçaları ya da mineral taneleri arasındaki kohezyon kuvvetlerine (kenetlenme ve bağ derecesi) özellikle hassasiyet gösterir. Kaba tane boyutunda bir kayaç tipi için, özellikle bazı mineralleri dilinim

gösteriyorsa, parçalanmanın oluşması daha kolay olacaktır. Örneğin, iri kristalli metamorfik kireçtaşı ince taneli sedimanter kireçtaşına göre parçalanmaya karşı daha az direnç gösterir. İnce taneli volkanik kayalar da, plütonik eşdeğerleri ile kıyaslandığında (örneğin granit, aynı mineralojik kompozisyona sahip olmasına karşılık riyolitten) nispeten kaba taneli kayalardan daha sağlamdır.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de beton ve hammaddeleri konusunda pek çok bilimsel araştırma ve Ar-Ge çalışmaları yapılmış ve halen sürdürülmektedir. Bu makalede Isparta civarında yer alan volkanik kökenli kayaların, geleneksel beton imalatında agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca elde edilen örnekler, kalker agregalı kontrol beton örnekleriyle, dayanım açısından deneysel analizlerden elde edilen bulgular ışığında kıyaslanmıştır.



Harita 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

### 1.1. Çalışma Alanı

Gölcük volkanitleri Isparta il merkezinin güneydoğusundan kuzeybatısına kadar sırasıyla (Direkli Köyü civarı), Minasın Mevkii, Darıderesi, Gilikkaya Tepe, Karakaya Tepe, Sidre Tepesi, Hisar Tepe, Gölcük Kalderası, Yakaören Köyü ve Kayıköy civarına kadar uzanan geniş bir alanda gözlenir. Ayrıca il merkezinde Çünür Tepesi, Gönen ilçesi kuzeyinde Tınaz Tepe civarında, Keçiborlu İlçesi İrepdere kuzeyinde ve Asar Tepe doğusunda görülmektedir. Çalışmaya konu olan volkanik kayaç örnekleri Minasın mevki-Direkli Köyü arasında kalan Andezit ocakları, Kayıköy ve Gönen-Tınaztepe civarından temin edilmiştir (Harita 1).

### 1. 2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın ilk aşamasında andezit ocakları, Kayıköy ve Tınaztepe civarından el örnekleri alınmıştır. Kayaların mineralojik ve petrografik özelliklerini belirlemek için 15 adet örneğin ince kesitleri hazırlanmış ve polarizan mikroskop altında incelenmiştir. Mineraloji-Petrografi analizleri sonucunda 3 adet kayaç örneğinin kimyasal analizi ise ACME laboratuvarında (Kanada) yaptırılmıştır.

Sonraki aşamada her bir grup kayaç, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; 50x50x50 mm boyutunda 5 adet, 70x70x70 mm boyutunda 13 adet, 100x100x100 mm boyutunda 10 adet küp, 20x10x5 mm boyutunda 3 adet prizmatik numune, 500 gr civarında öğütülmüş 3 adet kayaç numunesi hazırlanarak gerçek özgül ağırlık, ağırlıkça su emme, görünür ve gerçek porozite, tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, don tesirlerine dayanım ve yüzey aşınma deneyleri Süleyman Demirel Üniversitesi (SDÜ) Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında yapılmıştır.

Daha sonra el örneklerinin alındığı ocak ve bölgelerden yeterli miktarda kayaç temin edilerek Isparta Belediyesi Yol Yapım ve Asfaltlama Şubesi kırma-eleme tesisinde kırılmış ve sınıflandırılmıştır. TS 706'(EN 12620, 2003)'ya uygun agrega karışım granülometrisi ve beton karışımı tasarımı yapılarak, standart silindirik numune kalıpları ile her bir gruptan 15 adet olmak üzere 60 adet beton numunesi hazırlanmıştır. Elde edilen beton numunelerinin analizleri SDÜ Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezinde yapılmıştır.

## 2. JEOLJİ VE REZERV BİLGİLERİ

Isparta ve civarı oldukça karmaşık bir jeolojik yapıya sahiptir. Bölgede pek çok yabancı (Poisson 1977, Gutnic, 1977) ve yerli (Karaman 1988, Kuşçu vd.,1993) araştırmacılar ayrıntılı olarak çalışmıştır. Bu araştırma kapsamında yöre jeolojisi hakkında ayrıntılara girilmemiş, mevcut çalışmalardan da faydalanılarak Isparta ilinin üç farklı bölgesini kapsayan lokal alanlardaki volkanizmadan bahsedilmiştir.

Kazancı ve Karaman (1988), çalışma alanında yer alan volkanik birimlerin adını Gölcük Volkanitleri olarak belirtmişlerdir. Isparta civarında bulunan volkanik kayalar ve piroklastikler GD-KB doğrultulu bir zon boyunca yayılım gösterir. Pliyosen ile Kuvaterner başlarında aktif durumdaki bir volkanizmanın ürünleri olan andezitik-trakiandezitik lavlar Gölcük Kalderası merkez olmak üzere çok geniş bir alanda koniler, parazit koniler ve dayklar şeklinde yer alır (Kuşçu,1994). Isparta'nın güneyinde ve batısında geniş bir yayılım gösteren Pliyosen yaşlı piroklastik istif içerisindeki Gölcük volkanizmasına bağlı ignimbritler (tras), Ağlasun formasyonu üzerinde uyumsuz olarak yerleşmiştir (Kuşçu, ve Selçuk,1993).

Gölcük volkanizmasının üst volkanik evresinin ürünleri tüf ve piroklastik malzemelerdir. Gölcük kalderası civarı, Isparta il merkezi batısı ve Yakaören-Gelincik Köyü arasında paleotopoğrafyaya yerleşen volkanik tortul malzemeler aynı zamanda ekonomiklik arzeden ve halen işletilen pomza seviyelerini içerir. Alt volkanik evrede ise Gölcük krateri başta olmak üzere Pilavtepe, Hisarteppe, Karatepe, Sidre Tepesi, Karakaya Tepe ve Çünür Tepesi gibi pek çok baca ve tali bacalardan da civara andezitik, trakiandezitik lavlar yayılmıştır. Bu birimler, Gölcük formasyonunun Andezit Üyesi olarak ayırt edilmiş ve adlandırılmıştır (Karaman, 1990).

Minasin mevkii ve güneyinde yer alan andezit ocaklarında dayklar şeklinde Ağlasun formasyonunu kesen birim trakiandezittir (Harita 2). Gri ve yeşilimsi gri renkli trakiandezitik kayalar altere olmamış veya alterasyondan çok az etkilenmiştir. Halen bu yöreden Isparta ve civarının yapıtaşı ihtiyacı karşılanmakta olup, dekoratif taş üretimi de yapılmaktadır. Çalışma alanındaki kayaların yüzeylendiği alanlar GPS (konum

belirleme) cihazı ile koordinatlandırılmış ve Gauss yöntemine göre alan hesabı yapılmıştır. Minasin mevkii güneyindeki trakiandezit bileşimli volkanitler 140.000 m<sup>2</sup>lik bir yayılım alanında ortalama (işletilen ocaklarda) 60 m'lik görünür kalınlık göstermektedir. Ortalama 2,41 ton/m<sup>3</sup> birim hacim ağırlığına sahip kayaların bölgedeki görünür rezervi 6.800.000 ton civarındadır.

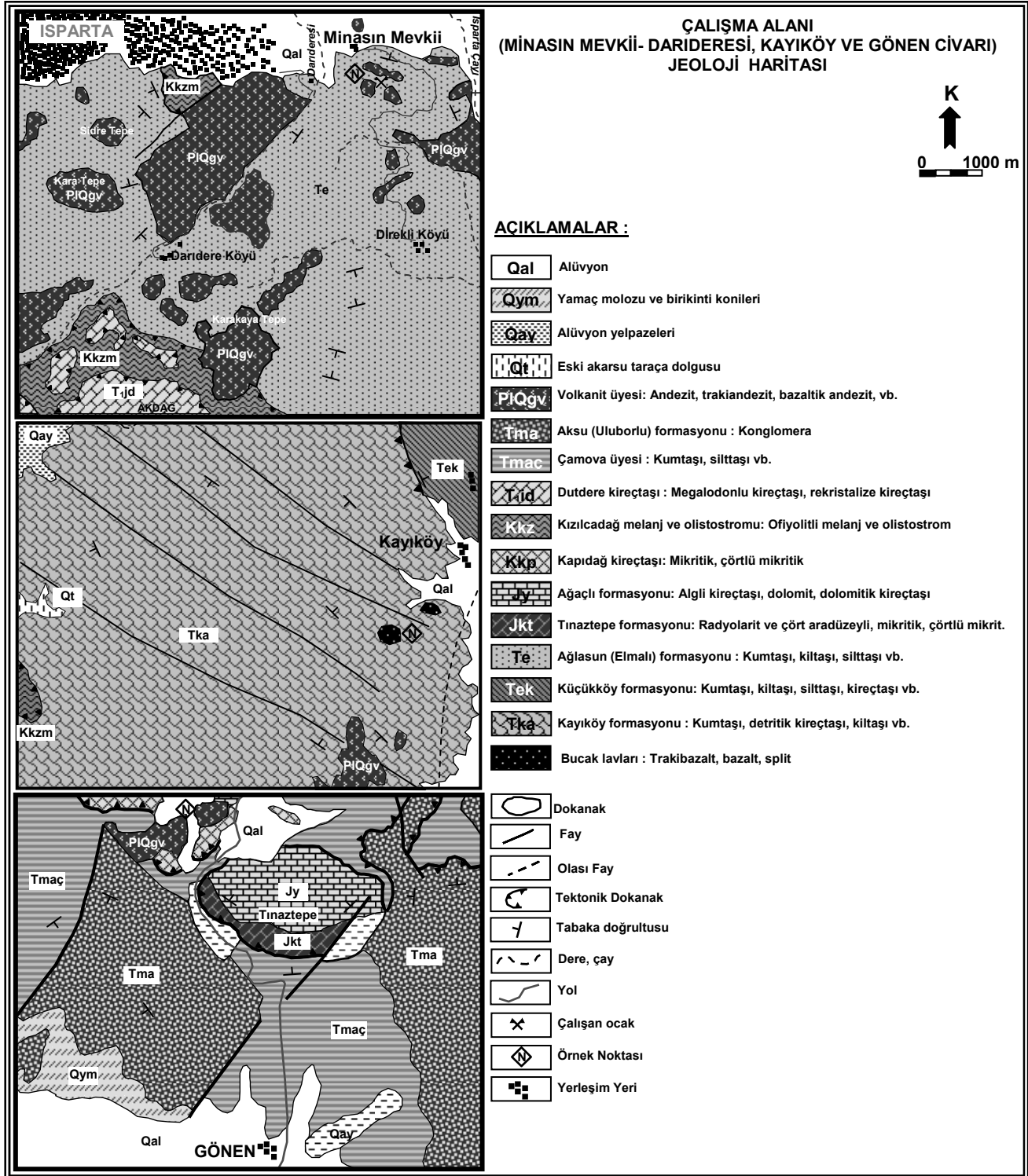
Araştırmaya konu olan diğer volkanik alan Isparta il merkezinin kuzeybatısında yer alan Kayıköy civarında yer alır. Kuzeybatıdan Burdur Gölü ve güneydoğudan Isparta Ovası çöküntü havzaları arasında yer alan birim Karaman vd. tarafından Kayıköy formasyonu olarak adlandırılmıştır (Karaman, vd., 1988). Bu formasyonu keserek birim içerisine yerleşen volkanik yapı Kayıköy'ün hemen güneyinde volkan konisi şeklinde gözlemlenir. Yöredeki trakibazaltların yaşı konusunda kesin bir bilgi yoktur. Ancak Pazarköy grubunda Triyas olarak yaşlandırılan Bucak lavı ile eş yaşlı olduğu düşünülmektedir (Juteau, 1975). Yapıyı oluşturan volkanik kayalar siyahımsı, yeşilimsi koyu gri renkli, oldukça sağlam ve porfirik yapıli trakibazaltlardır (Harita 2). Bu oluşum, yörede bilinen yegane bazaltik oluşum olması yönüyle de ilginçtir. 85.000 m<sup>2</sup>lik bir alanda yayılım gösteren koninin mevcut topoğrafyaya göre ortalama yüksekliği 35 m dir. Yöredeki trakibazaltik kayacın birim hacim ağırlığı 2,98 ton/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Bu veriler ışığında yöredeki trakibazalt görünür rezervi 3.000.000 tondur.

Bu araştırmaya konu olan son lokal alan ise, Gönen ilçesi Tınaztepe kuzeyinde yer alan volkanitlerdir. Volkanitler, yine yöredeki aynı volkanik faaliyetlere bağlı olarak kumtaşı-kiltaşı-silttaşı formasyonunun (Çamova üyesi) Kapıdağ kireçtaşlarıyla tektonik dokanak oluşturduğu bölge olan Tınaztepe kuzeybatısında yüzeylenir. Gölcük volkanik faaliyetlerine bağlı olarak oluşmuştur [7]. Volkanitleri oluşturan kayalar sanidin fenokristalleri içeren beyaz renkli trakitlerden oluşmuştur (Harita 2). Yöredeki kayalarda alterasyon izleri gözlenmemektedir.

Ancak bindirme ve KD-GB, KB-GD doğrultulu fayların kesişim zonunda yer alan kayalar tektonizmadan etkilenmiştir.

Gönen Tınaztepe civarındaki trakitik volkanitler ise mevcut topoğrafyada ortalama 20 m'lik kalınlık göstermektedir.

Yöredeki trakitin ortalama birim hacim ağırlığı 2,21 ton/m<sup>3</sup> ton olup 715.000 m<sup>2</sup>lik bir alanda yayılım gösterir. Tınaztepe civarındaki trakit görünür rezervi 15.850.000 tondur.



Harita 2. Çalışma alanı jeoloji haritası (Gutnic, 1977 ve MTA'dan değiştirilmiştir) .

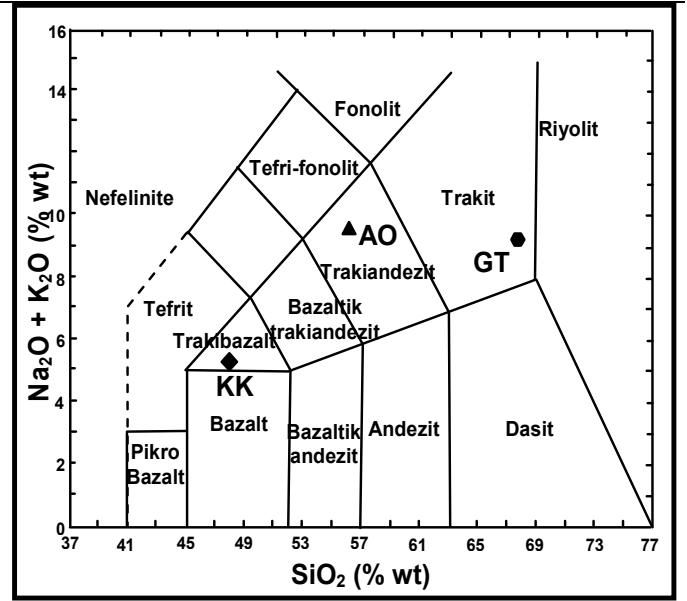
### 3. KAYAÇ ÖZELLİKLERİ

#### 3.1. Kimyasal Özellikler

Bu çalışma kapsamında Minasın mevkiinin güneyinde yer alan andezit ocakları (AO), Kayıköy civarı (KK) ve Gönen ilçesi Tınaztepe civarından (GT) alınan 3 farklı kayaç örneğinin kimyasal analizleri Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca bölgede yer alan ve bu çalışmada kırmataş agrega kullanılan agrega örneklerinin de kimyasal analizi Çizelge 1'de verilmiştir. Kimyasal analiz verilerinden elde edilen  $SiO_2/(Na_2O+K_2O)$  değerlerinin alkali-silika diyagramında işlenmesi sonucunda AO bölgesi kayaç numunesinin trakiandezit, GT bölgesi kayaç numunesinin trakit ve KK bölgesi kayaç numunesinin trakibazalt olduğu belirlenmiştir (Şekil 1).

Çizelge 1. Çalışma alanındaki volkanik kayaçların ve kalkerin kimyasal analizi

K. Bileşen	GT	KK	AO	K. Bileşen	Kalker
SiO <sub>2</sub>	68.00	48.08	56.45	SiO <sub>2</sub>	0.66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.86	11.87	18.41	CaO	31.82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.72	7.17	5.61	CaO <sub>3</sub>	56.82
MgO	0.65	9.98	1.78	MgO	20.03
CaO	1.20	15.32	5.22	MgO <sub>3</sub>	42.06
Na <sub>2</sub> O	3.58	1.41	3.85	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.42
K <sub>2</sub> O	5.71	3.77	5.73		
TiO <sub>2</sub>	0.34	0.95	0.52		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.07	-		
SO <sub>3</sub>	0.12	0.56	0.16		
A.Z.	0.86	0.90	2.37	A.Z.	46.73



Şekil 1. Kayaç örneklerinin toplam alkali-silika diyagramındaki yeri (Le Maitre, 1989).

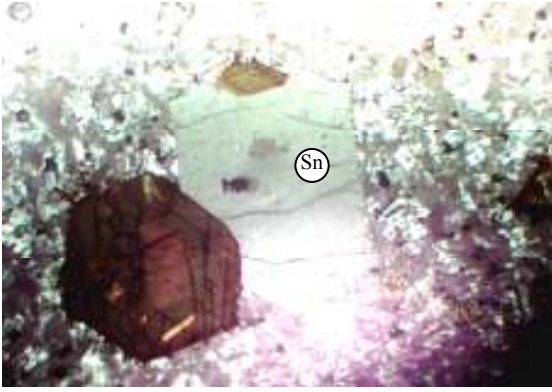
#### 3.2. Mineralojik-Petrografik Özellikler

Traki-andezitler Minasın mevkiinin güneyindeki tepelerde çalışan ocaklarda gözlenmektedir. Bu bölgedeki volkanik lavlar ve dayklar gri, yeşilimsi gri renktedir. Özellikle ocak bölgesi kayaçlarını piroksenli trakiandezitler olarak nitelemek mümkündür. Kayaçın ince kesit incelemelerinde yaygın olarak klinopiroksen ve amfibol mineralleri ile tamamen altere olmuş iri feldispat fenokristalleri bulunmaktadır. Kayaçta yer yer klinopiroksenlerden amfibole dönüşüm söz konusudur. Hamur ise uzun çubuksu feldispat mikrolitlerinden oluşmaktadır. Hamur içerisinde yine klinopiroksen, amfibol ve sanidin mineralleri bolca gözlenirken apatit ve zirkon minerallerine de rastlanmıştır (Resim 1).



Resim 1. Traki-andezit kayacının içerisinde bulunan klinopiroksen (Pi)-amfibol (Amf)-sanidin (Sn) minerali (Büyütme x80, çift nikol)

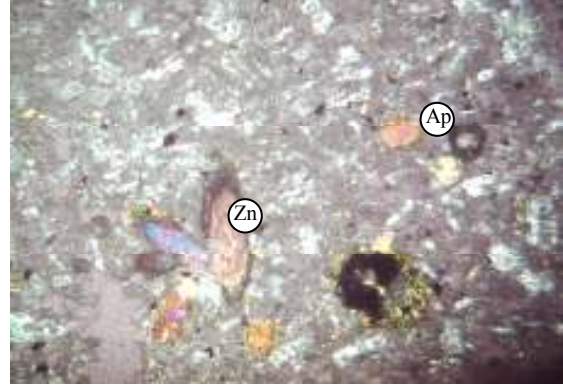
Gönen Tınaztepe kuzeybatısında volkanik lavlar ve dayklar şeklinde gözlemlenen trakitler beyaz renklidir. Kayaç içerisinde fenokristal olarak iri sanidin, amfibol, mika ve plajioklaslar bulunmaktadır. Porfiritik dokulu kayaçada trakitik akma dokusu da gözlenmektedir. Hamur içerisinde feldspatlar, yer yer serbest kuvars ve çok az oranda da mafik mineraller bulunmaktadır. Kayaçta yer yer muhtemelen derinlik kayacına ait holokristalen dokulu bir intruzif kaya anklavı veya bir mineral yığılması gözlenmiştir. Ayrıca, çok iri granat ve titanit (sfen) minerallerine de rastlanmıştır. Kayaç içerisinde bol miktardaki sanidin kristallerinin boyu yer yer 15-20 mm ulaşmakta olup mikro çatlaklar içermektedir (Resim 2).



Resim 2. Trakitler içerisinde yer alan sanidin minerali (Büyütme x80, çift nikol)

Kayıköy kuzeybatısında yer alan trakibazalt koyu gri, siyah renkli ve akma dokuludur. Alterasyondan etkilenmemişlerdir. Porfirik dokuya sahip kayacın ince kesit incelemesinde; fenokristallen %25-30 oranda klinoproksen minerali ile mika ve olivin minerallerinden oluştuğu tespit edilmiştir.

Kayacın el örneğinde de klinopiroksen ve mikalar belirgin bir şekilde gözlenebilmektedir. Mikrokristalen hamur içerisinde, mikrofenokristal olarak yine yaygın oranda klinopiroksenlere rastlanmaktadır. Ayrıca, olivin, sanidin, mika, demir-titan oksit, iğnemsî çubuklar şeklinde apatit ve zirkon mineralleri gözlenmiştir (Resim 3).



Resim 3. Trakibazalt içerisinde olivin, sanidin, mika ve iğnemsî çubuklar halinde apatit (Ap) ve zirkon (Zn) minerallerinin görünüşleri (Büyütme x80, çift nikol)

### 3.3. Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Kayaç örneklerin, fiziksel ve mekanik özellikleri TS 699'a göre yapılan laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir (TSE, 1987). Bu amaçla çalışma alanından alınan kayaç örnekleri üzerinde gerçek özgül ağırlık, ağırlıkça su emme, görünür ve gerçek porozite, tek eksenli basınç dayanımı, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, don tesirlerine dayanım ve yüzey aşınma deneyleri yapılmış ve deney sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Çalışma alanındaki kayaç örneklerinin fiziko-mekanik özellikleri

Fiziksel ve Mekanik Özellik	Birim	Volkanik			Sedimanter
		AO	GT	KK	Kalker
Renk	-	Gri	Beyaz	K. gri -siyah	Bej
K.B.H.A.	(kg/m <sup>3</sup> )	2210	2410	2980	2480
Gerçek Özgül Ağırlık (do)	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.39	2.54	3.06	2.58
Su Emme (% wt)	(% wt)	2.38	1.26	0.61	0.50
Görünür Porozite (n <sub>0</sub> )	(%)	5.25	2.97	1.82	1.48
Gerçek Porozite (n <sub>1</sub> ) (%)	(%)	7.53	5.09	2.28	1.55
Basınç Dayanımı (P)	(MPa)	30.68	79.48	149.85	27.92
Eğilme Dayanımı (f)	(MPa)	4.32	13.27	18.84	2.63
Darbe Dayanımı	(Nmm/mm <sup>3</sup> )	3.80	5.2	9.00	2.75
BöhmeYüzey Aşınması (ΔV)	(cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> )	0.24	0.08	0.11	
Don Tesirlerine dayanıklılık (D <sub>k</sub> )	(%gr)	3.04	0.56	0.47	
Dayanım Azalması (Δf)	(%)	11.25	3.44	2.16	

Trakit, trakiandezit ve trakibazalt kayaç örneklerinin (kuru) birim hacim ağırlıkları 2210-2980 kg/m<sup>3</sup>, (ağırlıkça) su emme değerleri % 0.52–2.83, tek eksenli basınç dayanımları 30.8-149.85 MPa ve don sonrası basınç dayanımları 22.78–143.24 MPa arasında değişmektedir. Deneylelerden elde edilen bulgular ışığında örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri grafiksel olarak analiz edilerek ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Bu analizlerden tek eksenli basınç dayanımları-(kuru) birim hacim ağırlıkları arasında (Grafik 1);

$$\sigma_c = 370,73 * \ln(d_{BHA}) - 2817,4$$

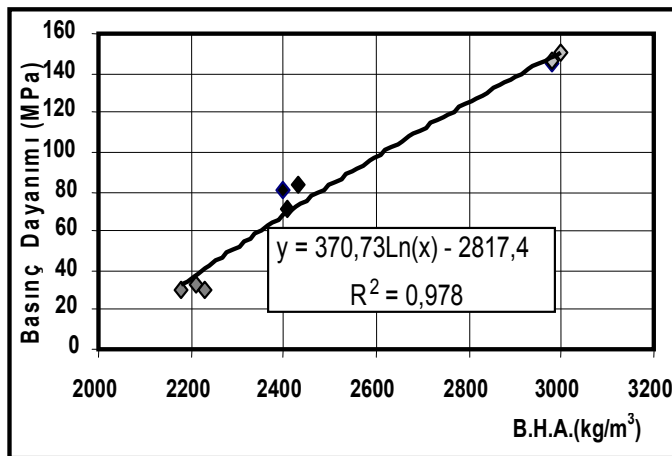
( $\sigma_c$ : Kayacın tek eksenli basınç dayanımı,  $d_{BHA}$  : Kuru birim hacim ağırlığı)

ve don sonrası basınç dayanımları-(ağırlıkça) su emme değerleri arasında (Grafik 2);

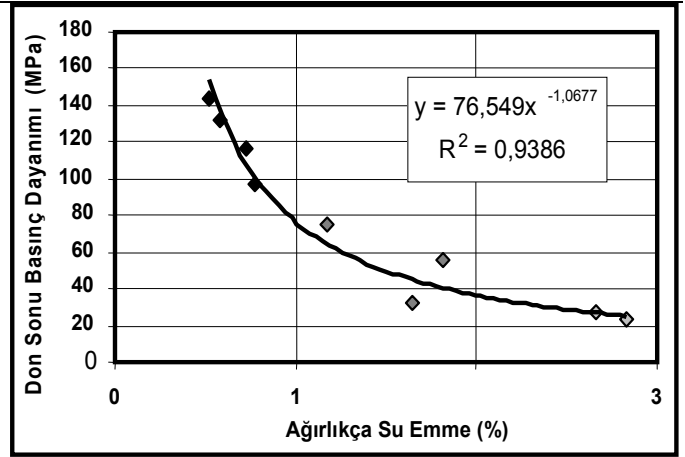
$$\sigma_{cds} = 76,549 * (M_t)^{-1,0677}$$

( $\sigma_{cds}$ : Kayacın don sonrası tek eksenli basınç dayanımı,  $M_t$  : Zamana bağlı ağırlıkça su emme değeri)

fonksiyonel bağıntıları belirlenmiştir. Grafik ve bağıntılardan da görüleceği üzere yöredeki volkanik kayaçların birim hacim ağırlığı-tek eksenli basınç dayanımı arasında logaritmik, ağırlıkça su emme-don sonrası basınç dayanım değerleri arasında lineer üstel bir ilişkinin mevcut olduğu görülmüştür.



Grafik 1. Volkanik kayaç örneklerinin basınç dayanımı-birim hacim ağırlık ilişkisi



Grafik 2. Andezitik kayaç örneklerinin don sonrası basınç dayanımı-su emme değerleri ilişkisi

#### 4. VOLKANİK AGREGALI BETON

Minasin mevkii (andezit ocakları), Kayıköy civarı ve Gönen Tınaztepe mevkiinden alınan kayaç örnekleri SDÜ Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezinde laboratuvar tipi kırıcılarda kırılarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca kontrol betonu üretmek amacıyla Isparta Belediyesi Diyardın Taş Ocağından üretilen sınıflandırılmış kalker agregası temin edilmiştir.

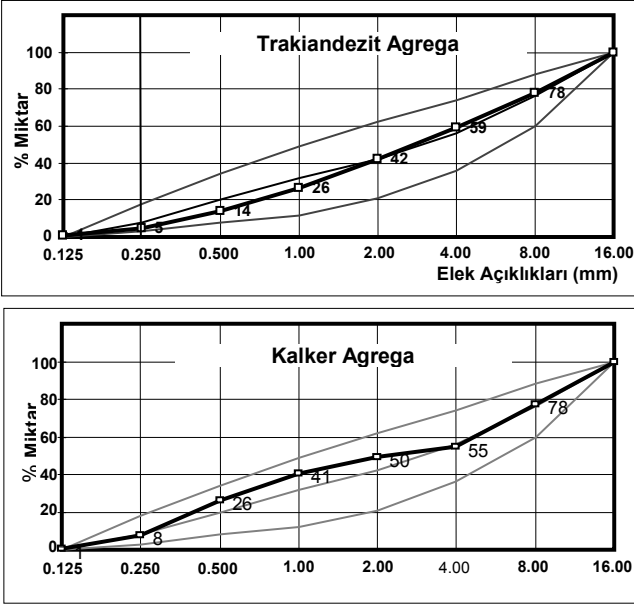
##### 4.1. Sarf Malzemeler

Araştırmada, beton örneklerinde bağlayıcı madde olarak CEM I 42.5 tipi çimento, karışım suyu olarak kampus şebeke suyu ve akışkanlaştırıcı katkı malzemesi olarak Grace DBM (Darex Black Mix), agregası olarak ise trakiandezit, trakibazalt, trakit ve kalker kullanılmıştır. Tüm agregası deneyleri TS 706 (EN 12620)'ya uygun olarak yapılmıştır (TSE, 1980). Beton üretiminde kullanılan agregası türlerinden kalker ve trakiandezit agregasının granülometri eğrileri Grafik 3'de verilmektedir. Elek analizi sonuçlarına göre elde edilen her bir agregası türünün karışım granülometri eğrilerinin standart agregası karışım tasarımına uygun olduğu belirlenmiştir.



#### 4. 2. Beton Karışım Hesabı ve Bulgular

Beton karışım hesapları TS 802'ye göre yapılmış ve karışım tasarımları Çizelge 3-4-5-6'de gösterilmiştir. İşlenebilir bir beton için ön denemeler sonucunda her bir grup karışımın su/çimento oranı ve çökme değeri belirlenmiştir (TSE, 1985). Trakit, trakiandezit, trakibazalt ve (kontrol betonu olarak) kalker agregalı C20 sınıfı dört farklı grupta üretilen beton karışımları, 150 mm çapında 300 mm yüksekliğinde silindir numune kalıplarına dökülmüştür. Her bir agreg grubundan 15'er adet üretilen beton örnekleri, kür havuzlarında 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerinde bekletilmiştir. Kür süreleri sonunda tek eksenli basınç dayanımları test edilen örneklerden elde edilen bulgular Çizelge 7' de verilmiştir.



Grafik 3. Beton üretiminde kullanılan trakiandezit ve kalker agregası karışımları elek analiz eğrilerinin TS 706 (EN 12620, 2003) sınır değerlerine göre konumu (TSE, 1980).

Çizelge 3. Kalker agregası ile üretilen beton örnekleri karışım tasarımları.

Kalker Agregalı Kontrol Beton Karışım Tasarımı										
Üretim Bilgileri			Agrega Granulometrisi							
Döküm Tarihi	01.04.2006	Agrega Kökeni	Eleğ Açıklıkları (mm)							
Çimento Türü	CEM I 42.5	Kireçtaşı	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125
Agrega Menşei	Diyadin		100	78	55	50	41	26	8	0
D <sub>maks.</sub>	16 mm									
Karışım Suyu	Terkos	TS706-min.	100	60	36	21	12	8	3	0
Kim. Katkı	Grace DBM	TS706-mak.	100	88	74	62	49	34	18	0
Karışıma Giren Malzeme Miktarı				Karışım Özellikleri						
Bileşenler	*Ö.A. (kg/m <sup>3</sup> )	*K.B.H.A. (kg/m <sup>3</sup> )	Miktar (kg/m <sup>3</sup> )							
Çimento	3100	-	314	Su/çimento oranı						0,7
Karışım Suyu	1000	-	220	Ölçülen Çökme (cm)						9
Kaba Agregası	2580	1545	695	İncelik Modülü						3,4
İnce Agregası	2580	1867	949	Ölçülen Hava İçeriği (%)						2,5
Hava	-	-	0	Topl. Agregası Ağırlığı						1644
Mineral Katkı	-	-	0	Şişlenmiş Agregası Hacmi (m <sup>3</sup> )						0,675
Kim.Katkı %1.4	-	-	4,4							
<b>Toplam</b>			2182,4							

\*Ö.A.: Özgül Ağırlık, K.B.H.A.: Kuru Birim Hacim Ağırlık

Çizelge 4. Trakiandezit agregası ile üretilen beton örnekleri karışım tasarımları.

Trakiandezit Agregalı Beton Karışım Tasarımı										
Üretim Bilgileri		Agrega Kökeni	Agrega Granülometrisi							
Döküm Tarihi	03.04.2006		Elek Açıklıkları (mm)							
Çimento Türü	CEM I 42.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	
Agrega Menşei	Minasin	Trakiandezit	100	78	59	42	26	14	5	1
D <sub>maks.</sub>	16 mm									
Karışım Suyu	Terkos	TS706-min.	100	60	36	21	12	8	3	0
Kim. Katkı	Grace DBM	TS706-maks.	100	88	74	62	49	34	18	0
Karışıma Giren Malzeme Miktarı				Karışım Özellikleri						
Bileşenler	*Ö.A. (kg/m <sup>3</sup> )	*K.B.H.A. (kg/m <sup>3</sup> )	Miktar (kg/m <sup>3</sup> )							
Çimento	3100	-	314	Su/çimento oranı						0,73
Karışım Suyu (•)	1000	-	220 +10	Ölçülen Çökme (cm)						8
Kaba Agregası	2540	1521	685	İncelik Modülü						3,4
İnce Agregası	2540	1836	945	Ölçülen Hava İçeriği (%)						2,5
Hava	-	-	0	Topl. Agregası Ağırlığı						1630
Mineral Katkı	-	-	0	Şişlenmiş Agregası Hacmi (m <sup>3</sup> )						0,665
Kim.Katkı %1.4	-	-	4,4	(*) Agreganın su emmesinden dolayı karışıma ilave su dahil edilmiştir.						
<b>Toplam</b>			2178,4							

\*Ö.A.: Özgül Ağırlık, K.B.H.A.: Kuru Birim Hacim Ağırlık

Çizelge 5. Trakit agregası ile üretilen beton örnekleri karışım tasarımları

Trakit Agregalı Beton Karışım Tasarımı										
Üretim Bilgileri		Agrega Kökeni	Agrega Granülometrisi							
Döküm Tarihi	03.04.2006		Elek Açıklıkları (mm)							
Çimento Türü	CEM I 42.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	
Agrega Menşei	Gönen	Trakit	100	80	58	40	29	16	7	0
D <sub>maks.</sub>	16 mm									
Karışım Suyu	Terkos	TS706-min.	100	60	36	21	12	8	3	0
Kim. Katkı	Grace DBM	TS706-mak.	100	88	74	62	49	34	18	0
Karışıma Giren Malzeme Miktarı				Karışım Özellikleri						
Bileşenler	*Ö.A. (kg/m <sup>3</sup> )	*K.B.H.A. (kg/m <sup>3</sup> )	Miktar (kg/m <sup>3</sup> )							
Çimento	3100	-	314	Su/çimento oranı						0,81
Karışım Suyu (•)	1000	-	220 +35	Çökme (cm)						7
Kaba Agregası	2390	1484	668	İncelik Modülü						3,4
İnce Agregası	2390	1792	905	Hava İçeriği (%)						2,5
Hava	-	-	0	Topl. Agregası Ağırlığı						1573
Mineral Katkı	-	-	0	Şişlenmiş Agregası Hacmi (m <sup>3</sup> )						0,640
Kim.Katkı %1.4	-	-	4,4	(*) Agreganın su emmesinden dolayı karışıma ilave su dahil edilmiştir.						
<b>Toplam</b>			2146,4							

\*Ö.A.: Özgül Ağırlık, K.B.H.A.: Kuru Birim Hacim Ağırlık

Çizelge 6. Trakibazalt agregası ile üretilen beton örnekleri karışım tasarımları

Trakibazalt Agregalı Beton Karışım Tasarımı										
Üretim Bilgileri			Agrega Granülometrisi							
Döküm Tarihi	03.04.2006	Agrega Kökeni	Elek Açıklıkları (mm)							
Çimento Türü	CEM I 42.5		16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125
Agrega Menşei	Kayıköy	Trakibazalt	100	75	55	37	25	14	6	0
Dmaks.	16 mm									
Karışım Suyu	Terkos	TS706-min.	100	60	36	21	12	8	3	0
Kim. Katkı	Grace DBM	TS706-mak.	100	88	74	62	49	34	18	0
Karışıma Giren Malzeme Miktarı				Karışım Özellikleri						
Bileşenler	*Ö.A. (kg/m <sup>3</sup> )	*K.B.H.A. (kg/m <sup>3</sup> )	Miktar (kg/m <sup>3</sup> )							
Çimento	3100	-	314	Su/çimento oranı						0,65
Karışım Suyu	1000	-	210	Çökme (cm)						8
Kaba Agregası	2540	1521	727,2	İncelik Modülü						3,4
İnce Agregası	2540	1886	1084,3	Hava İçeriği (%)						2,5
Hava	-	-	0	Topl. Agregası Ağırlığı						1811,5
Mineral Katkı	-	-	0	Şişlenmiş Agregası Hacmi (m <sup>3</sup> )						0,685
Kim.Katkı %1.4	-	-	4,4							
<b>Toplam</b>			2339,9							

\*Ö.A.: Özgül Ağırlık, K.B.H.A.: Kuru Birim Hacim Ağırlık

Çizelge 7’de görüleceği üzere trakibazalt ve trakiandezit agregalı beton örnekleri (ort. 36.59 MPa ve 33.08 MPa) C30 beton sınıfının hayli üzerinde dayanım değerlerine ulaşılırken, trakit agregalı beton örnekleri (ort. 22.70 MPa) kontrol

betonu örneklerinden bir miktar daha yüksek dayanım değeri sağlayabilmiştir. Trakibazalt ve trakiandezit agregalı beton örneklerinde dayanım artışının özellikle 7-28 gün aralığında sergilenmesi dikkat çekicidir.

Çizelge 7. Volkanik kayaç agregaları ve kalker agregasıyla hazırlanan beton örneklerinin kür sürelerine göre tek eksenli basınç dayanım değerleri

Grup	No	$\sigma_{3gün}$ (MPa)	$\sigma_{7gün}$ (MPa)	$\sigma_{28gün}$ (MPa)	Grup	No	$\sigma_{3gün}$ (MPa)	$\sigma_{7gün}$ (MPa)	$\sigma_{28gün}$ (MPa)
Kalker (Kont.)	1	9.95	17.87	20.14	Trakit	1	9.30	16.72	23.11
	2	8.66	15.77	21.55		2	9.83	16.51	21.84
	3	10.50	17.26	19.94		3	8.59	15.83	22.56
	4	9.81	16.19	19.38		4	8.26	17.28	23.13
	5	8.72	14.37	20.99		5	10.75	18.21	22.86
	<b>Ort.</b>	<b>9.53</b>	<b>16.29</b>	<b>20.40</b>		<b>Ort.</b>	<b>9.35</b>	<b>16.91</b>	<b>22.70</b>
Trakiandezit	1	11.45	23.47	31.78	Trakibazalt	1	12.99	21.00	35.82
	2	12.78	20.65	32.82		2	12.19	23.58	37.46
	3	13.59	19.95	33.70		3	15.35	20.62	37.11
	4	13.25	20.18	33.35		4	12.80	23.04	35.38
	5	12.33	21.20	33.76		5	14.01	21.58	37.18
	<b>Ort.</b>	<b>12.68</b>	<b>21.09</b>	<b>33.08</b>		<b>Ort.</b>	<b>13.47</b>	<b>21.96</b>	<b>36.59</b>

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu araştırma kapsamında Isparta yöresi volkanik kayaların fiziksel, kimyasal, mekanik, mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenerek yörede beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetle sunulmuştur.

1. Çalışma alanı içerisinde fiziksel özellikleri ve mekanik performansları açısından en kompakt ve sağlam kayaç trakibazaltlardır. Trakiandezitler kontrol agregası olarak kullanılan kalker agregasına göre daha yüksek mekanik performans değerleri sunmuştur. Trakitler ise tek eksenli basınç dayanımı açısından kalker agregasına yakın değerler sunarken, birim hacim ağırlığı, gerçek porozite ve su emme değerleri olarak boşluklu kaya görünümü arz etmektedir. Ayrıca volkanik kayaç örneklerinin tek eksenli basınç dayanımları ile birim hacim ağırlık değerleri arasında logaritmik, don sonrası basınç dayanımı ile ağırlıkça su emme değerleri arasında lineer bir ilişki kurulmuş ve bu matematiksel ilişkiler fonksiyon olarak tanımlanmıştır.

2. Trakiandezit örneklerinin ince kesit incelemelerinde gözlemlenen tamamen yada kısmen altere olmuş feldispat fenokristallerinin kayaç dayanımına negatif etkileri olduğu, buna rağmen kayaç hamurunun mikrolitik dokuya sahip olmasının dayanıma önemli bir katkı sağladığı düşünülmektedir. Trakit örneklerinde ise dayanıma etki eden en önemli unsur olarak iri sanidin fenokristalleri göze çarpmaktadır. Kayaç içerisinde bol miktarda gözlemlenen sanidin kristallerindeki mikro çatlaklar ve kayacın yüksek (gerçek) porozite değeri (%7.53) dayanımı önemli ölçüde düşürmektedir. Trakibazalt örneklerinde alterasyon izine rastlanmaması, porfirik bir dokuya ve göreceli olarak daha düşük (gerçek) porozite (% 2.28) - daha yüksek özgül ağırlığa sahip olması (3.06 gr/cm<sup>3</sup>) kayacın yüksek dayanımına açıklık getirmektedir.

3. Trakibazalt, trakiandezit ve trakit kayaçlarının fiziko-mekanik performansları ile bu kayaçlardan elde edilen beton örneklerinin 28 günlük tek eksenli basınç dayanımları arasında sıralama olarak bir tutarlılık gözükürken, kayaçtan-beton dayanım değerlerine geçişte anlamlı bir matematiksel ilişki kurulamamıştır. Bu durumda, agrega tane şekli, agrega yapısallık özelliklerindeki (fiziksel) değişim

(mikroçatlak gelişimi, ezilme, ufalanma vs.), agrega içerisindeki puzolanik bileşim oranı ve (özellikle ince) agrega aderans özelliklerindeki farklılıklar gibi pek çok parametreden kaynaklandığı düşünülmektedir. Trakit agregalı beton örneklerinin 28 günlük dayanım değerlerinin kontrol betonuna göre yüksek, trakibazalt ve trakiandezit agregalı beton örneklerine göre düşüklüğü ise kayaç mekanik performansına ve kayacın yüksek su emme değerine (%2.38) (dolayısıyla karışımın su ihtiyacının artmasına) bağlanmıştır.

4. Beton örneklerinin 28 günlük dayanımları açısından, trakit agregası kalker agregasına göre yaklaşık %11 oranında bir avantaj sağlarken, trakiandezit agregalı betonda bu oran %62, trakibazalt agregalı betonda %79 oranına ulaşmıştır. Bu durumda (Diyadin yöresi) kalker agregasına göre, trakibazalt ve trakiandezitlerin beton agregası olarak çok önemli bir dayanım avantajı sağladığı açıktır.

5. Volkanik kayaç örneklerinin kimyasal analizleri alkali metal oksitleri açısından değerlendirildiğinde, %3.89-7.62 oranları arasında Na<sub>2</sub>O eşdeğeri alkali miktarı içeriklerine (Na<sub>2</sub>O + 0.658\*K<sub>2</sub>O) sahip oldukları belirlenmiştir. ASTM C 1240-03'e göre mineral katkı maddelerinde sınır değer % 1.5'dir (ASTM, 1980). Volkanik kayaçların betonda kullanımları esnasında, özellikle ince malzeme (filler) içeriğindeki alkali metal oksitler ve kayaç içerisindeki olası reaktif silis partiküllerinin ASR'na yol açma riski gözardı edilmemelidir. Bu riskin belirlenebilmesi için kayaçların reaktif silis (RS) içeriğinin saptanması ve "Agregaların Potansiyel Reaktivitesi İçin Standart Deney Yöntemi (ASTM C1260-01)" benzeri analizlerin yapılması beton durabilitesi açısından önemlidir (ASTM, 2001)

6. Potansiyel beton agregası açısından trakiandezit ve trakibazaltların toplam görünür rezervi 10.000.000 ton civarındadır. Her iki rezerv alanı da Isparta il merkezine kuzey ve güney yönlerinden 5 km mesafe dahilindedir. Ayrıca trakiandezit-andezit karakterli kayaçların özellikle Darıderesi-Gölcük Kalderası-Yakaören Köyü hattındaki potansiyeli, çalışma alanındaki görünür rezervlerden oldukça fazladır. Bu açıdan Isparta ve civarı (volkanik kökenli) agrega ihtiyacı için rezerv sıkıntısı söz konusu değildir.

Bilindiği gibi kayaç bileşimindeki SiO<sub>2</sub> oranı kırma-eleme maliyetini etkileyen önemli bir faktördür. Bu çalışmada volkanik kayaçların kırma-eleme maliyeti ele alınmamıştır. Ancak kırma-eleme maliyetinin, standart dayanımda çimento dozajı, betonun ekonomik ömrü, durabilitesi, kullanım amacı (endüstriyel zemin ve döşemelerde aşınma, kimyasallara dayanım gibi) gibi parametrelerle kıyaslaması yapılarak, volkanik kökenli agregaların sedimanter kökenli agregalara göre avantaj ve dezavantajları ortaya koyacak bir araştırmanın ayrıca yapılması yöre beton sektörü açısından fayda sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- Anonim, "TS 706-Beton Agregaları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
- Anonim, "TS 802-Beton Karışım Hesap Esasları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.
- Anonim, "TS 699-Tabii Yapıtaşları Muayene ve Deney Metotları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
- Anonim, "TS 706 EN 12620-Beton Agregaları" Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
- Anonim, "MTA-Isparta J-11 Paftası Jeoloji Haritası", MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 1997.
- Anonymous, "ASTM C1260-01 – Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)" Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01, USA, 2001.
- Anonymous, "ASTM C1240-03a – Standard Specification for Use of Silica Fume for Use as a Mineral Admixture in Hydraulic-Cement Concrete, Mortar, and Grout", American Society for testing and Metarials, USA, 2003.
- Gutnic M., "Geologie du Taurus pisidien au Nord d'Isparta (Turquie)", Principaux resultats extraits des notes de M. Gutnic entre 1964 et 1971 par O, 1977.
- Juteau T., "Les ophiolites des nappes d'Antalya (Taurides occidentales, Turquie)", Mem. Sci. Terre Nancy 32, 1975.
- Karaman, M. E., Meriç, E., ve Tansel I., 1988, Çünür (Isparta) dolaylarında Kretase-Tersiyer geçişi: Akdeniz Üniversitesi Isparta Müh. Fakültesi Dergisi 4, 90-98, Isparta.
- Karaman E., "Isparta Güneyinin Temel Jeolojik Özellikleri, T.J.K. Bülteni, Cilt 33, Sayı:2, s. 57-67, Ankara, 1990.
- Kazancı, N. ve Karaman M. E., 1988 Gölcük (Isparta) Pliyosen volkaniklastik istifinin sedimentolojik özellikleri ve depolanma mekanizmaları: Akdeniz Üniversitesi Isparta Müh. Fakültesi Dergisi 4, 16-35, Isparta.
- Kuşçu M., Selçuk G., "Isparta Yöresi İgnimbritlerinin Tras Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Jeoloji Müh. Dergisi, Sayı:43, s. 15-23, Isparta, 1993.
- Kuşçu M., "Gölcük (Isparta) Volkanizmasına Bağlı Olarak Gelişmiş Endüstriyel Hammadde ve Metalik Maden Yatakları, Çukurova Ü. 15. Yıl Sempozyumu, Cilt 2, s. 169-186, Adana, 1994.
- Le Maitre R.W., "A classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms", 193 pp. Blackwell, Oxford, 1989.
- Monod. Publ. Faculte des Sciences, Univ. Paris-Sud, Orsay, 130 s., 1977. Kazancı N., Karaman E., "Gölcük (Isparta) Pliyosen Volkanoklastiklerinin Sedimanter Özellikleri ve Depolanma Mekanizmaları", A.Ü. Isparta Müh. Fak. Dergisi, Sayı:4, s. 16-35, Isparta, 1988.
- Poisson, A., 1977, Recherches geologique dans les Taurides occidentales These Doct. d'etat Orsay, N. 1902.

