

**MİKRODALGAYA MARUZ BIRAKMANIN MAGMATİK
KAYAÇLARIN DAYANIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATING THE EFFECTS OF MICROWAVE
TREATMENT ON THE STRENGTH OF IGNEOUS
ROCKS**

AHMET NİYAZİ CANPOLAT

PROF. DR. SAİR KAHRAMAN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2020

Hayatları boyunca daima bilimin ve ilmin yolunda ilerlemeleri vesilesiyle

Kardeşlerim Hasan ve Tahsin'e ithafen...



ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

28/01/2020

AHMET NİYAZİ CANPOLAT



YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir.
- ☐ Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

28/01/2020

AHMET NİYAZİ CANPOLAT

ÖZET

MİKRODALGAYA MARUZ BIRAKMANIN MAGMATİK KAYAÇLARIN DAYANIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ahmet Niyazi CANPOLAT

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sair KAHRAMAN

Ocak 2020, 98 sayfa

Kaya delme ve kesme teknolojisi son yüzyılda hızla gelişmiştir. Ancak, çok sert kayaçların delinmesi ve kesilmesinde düşük ilerleme hızı ve yüksek matkap ve keski aşınması gibi problemler bulunmaktadır. Çok sert kayaçların delinmesi veya kesilmesi esnasında ilerleme hızını arttırmak ve aşınmayı azaltmak amacıyla, son zamanlarda mikrodalga destekli kaya parçalama gibi bazı yenilikçi yöntemler üzerinde yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir. Mikrodalgaya maruz bırakmanın magmatik kayaçların mekanik özellikleri üzerinde etkileri konusunda yapılan çalışmalar yeni ve sınırlıdır. Bu nedenle, bu alanda araştırılacak birçok eksiklik bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında, mikrodalgaya maruz bırakmanın magmatik kayaçların mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışmada, 6 adet granit, 2 adet siyenit ve 1 adet gabro olmak üzere toplamda 9 farklı magmatik kayaca 6 kW' a kadar mikrodalga enerjisi uygulanmıştır. Öncelikle, deneylerde kullanılan her kayacın ince kesiti hazırlanmış ve mineral içerik ve yüzdeleri belirlenmiştir. Sonra tek eksenli basınç (UCS) ve Brazilian çekme dayanımı (BTS), yoğunluk, porozite ve ultrasonik dalga hızı ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra, dayanım deneyleri için hazırlanmış 600' den fazla numune mikrodalgaya maruz bırakılmıştır. Mikrodalga enerjisi 60 s'den 420 s'ye kadar farklı sürelerle; 1 kW, 2 kW ve 6 kW güçlerde uygulanmıştır. Ardından mikrodalgaya maruz bırakılmış numuneler üzerinde sıcakken dayanım deneyleri yapılmıştır. Her numunenin yüzey sıcaklığı mikrodalgaya

maruz bırakılmadan ve fırından çıkarıldıktan hemen sonra infrared (kızılötesi) termometre ile ölçülmüştür.

Sonuçlar değerlendirildiğinde, kayaç dayanımının genellikle artan mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresiyle arttığı görülmüştür. Mikrodalgaya maruz bırakılan ve test edilen her kayacın ısınma derecesi ve dayanım kaybı değişen mineral içeriğinden dolayı farklıdır. Uygulanan mikrodalga gücü, maruz bırakma süresi ve mineral içeriğine bağlı olarak bazı numunelerde çatlamlar ve ergimeler görülmüştür. Granitlerin UCS değerleri genellikle 200 °C ve BTS değerleri genellikle 100 °C' den sonra düşmüştür. Metalik mineral içeriği veya yüksek oranda mikrodalgayı soğuran minerallerden dolayı 100 °C'nin altında siyenit ve gabro numunelerinin dayanımlarında önemli kayıplar gözlenmiştir. Sonuç olarak; uygulanan mikrodalga gücü, maruz bırakma süresi ve mineral içeriğine bağlı olarak magmatik kayaçların dayanımını önemli derecede etkilediği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Magmatik kayaçlar, Mikrodalgaya maruz bırakma, Tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı

ABSTRACT

INVESTIGATING THE EFFECTS OF MICROWAVE TREATMENT ON THE STRENGTH OF IGNEOUS ROCKS

Ahmet Niyazi CANPOLAT

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Sair KAHRAMAN

January 2020, 98 pages

Rock drilling and cutting technology has developed rapidly in the last century. However, there are problems in drilling and cutting very hard rocks such as low penetration rate and high wear rate of cutting tools. In order to increase the advance rate and reduce wear during drilling or cutting of very hard rocks, recent studies on some innovative methods such as microwave assisted rock breakage has been drawing attention. Studies on the effects of microwave exposure on the mechanical properties of igneous rocks are new and limited. Therefore, there are many gaps to be investigated in this area. In this thesis, the effects of microwave treatment were investigated on the strength of igneous rocks.

In this study, microwave energy up to 6 kW was applied to 9 different magmatic rocks such as; 6 granite, 2 syenite and 1 gabbro. First, thin sections of each rock used in the experiments were prepared and the mineral contents and percentages were determined. Then, the uniaxial compressive strength (UCS) and the Brazilian tensile strength (BTS), density, porosity, and ultrasonic wave velocity tests were carried out. After that, more than 600 samples were exposed to microwave energy. The microwave treatment was applied at 1 kW, 2 kW, and 6 kW powers for the durations ranging from 60 s to 420 s. The surface temperature of each specimen was measured with an infrared gun before the microwave irradiation and immediately after removing the sample from the oven.

The evaluation of the results show that the rock strength decreases generally with increasing microwave power and exposure duration. The strength losses and the heating degrees are different for each tested rock type illuminated by microwave power because of the different the mineral content. crackings and meltings were observed on some samples depending on the applied microwave power, the exposure duration, and the mineral content. The UCS and the BTS values of granites decreased usually after 200°C and 100°C, respectively. The significant losses in the strength of syenite and gabbro samples were generally observed below 100 °C due to their metallic mineral contents or high amount of microwave absorber minerals. Concluding remark is that microwave treatment affects strongly the strength of igneous rocks depending on the applied power, the exposure time, and mineralogy.

Keywords: Magmatic rocks, Microwave treatment, Microwave heating, Uniaxial compressive strength, Brazilian tensile strength

TEŞEKKÜR

Tez çalışmaları kapsamında desteğini esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Sair Kahraman'a,

Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri Prof. Dr. Bahtiyar Ünver'e, Prof. Dr. Erhan Tercan'a, Prof. Dr. Yılmaz Özçelik'e, Dr. Öğr. Üyesi Emre Yılmazkaya'ya

Gerek laboratuvar gerekse akademik anlamda çalışmalarımda yardımcı olan hocalarım, değerli büyüklerim Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Mustafa Fener'e ve Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Dr. Öğr. Üyesi Ramazan Çomaklı'ya,

Laboratuvar çalışmalarımda bana yardımcı olan sayın İlknur Kızıltır'a,

Şevket Altuğ Yurdacan'a ve Abdurrahim Çolak'a,

Bu tez çalışmasının 216M003 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında yürütülmesi sebebiyle TÜBİTAK'a,

Teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. MİKRODALGA TEKNİĞİ	7
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	12
4. MATERYAL VE YÖNTEM	17
4.1. Numune Temini.....	17
4.2. Kayaçların Fiziko-Mekanik ve Mineralojik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	17
4.2.1. Karot Alımı	17
4.2.2. Karot kesme ve düzeltme	18
4.2.3. Yoğunluk Deneyi	19
4.2.4. Porozite Deneyi	19
4.2.5. Sonik Hız Deneyi	20
4.2.6. Dolaylı Çekme Deneyi	21
4.2.7. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi	22
4.2.8. Mineralojik Analiz	23
4.3. Mikrodalga Maruz Bırakma.....	25
4.4. Mikrodalga Maruz Bırakma Sonrası Mekanik Deneyler.....	26
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
5.1. Mikrodalga Maruz Bırakma Sonrası Yüzey Sıcaklıklarının Değerlendirilmesi	29
5.2. Mikrodalga Maruz Bırakma Sonrası Dayanım Değerlendirmesi	40
5.3. Mikrodalga Maruz Bırakma Sonrası Yüzey Sıcaklıkları ile Dayanım Arasındaki İlişkiler.....	54
6. SONUÇLAR	64
7. KAYNAKLAR.....	66
EKLER	70
Ek 1 – Kayaçlara ait mikrofotograflar ve mineralojik veri analizleri.....	70

Ek 2 – Yoğunluk ve Porozite Deney Sonuçları	75
Ek 3 – Sonik Hız Deney Sonuçları	75
Ek 4 – Brazilian Çekme Deneyi Sonuçları	76
Ek 5 – Tek Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları	76
Ek 6 – Mikrodalgaya Maruz Bırakılan Numunelerin Yüzey Sıcaklıkları ve Brazilian Çekme Dayanımı (BTS) Deney Sonuçları	77
Ek 7 – Mikrodalgaya Maruz Bırakılan Numunelerin Isınma Dereceleri ve Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS) Deney Sonuçları	86
Ek 8 – Tezden Türetilmiş Yayınlar	95
Ek 9 – Tezden Türetilmiş Bildiriler	96
Ek 10 – Tez Çalışması Orijinallik Raporu	97
ÖZGEÇMİŞ	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kollu galeri/tünel açma makinesi (Grabcad, 2020).	2
Şekil 1.2. Yumuşak zemin TBM'i (Muhlhauser, 2020).....	3
Şekil 1.3. Kalkanlı sert kayaç TBM'i (Robbins, 2020).....	3
Şekil 1.4. Sert kayaç TBM'lerinde kullanılan keskilleri (Asian Products, 2020).	4
Şekil 2.1. Spencer'in tasarladığı ilk mikrodalga fırın (India Today, 2020).	7
Şekil 2.2. Elektromanyetik spektrum (Beşergil, 2020).	8
Şekil 2.3. Mikrodalga enerjisinin malzemelerdeki nüfuz şekilleri (Sutton 1989).	9
Şekil 2.4. Mikrodalganın cisimleri ısıtma prensibi (Gümüşderelioğlu, 2012).....	9
Şekil 2.5. Multimod kaviteli bir mikrodalga sisteminin ısıtma prensibi (Samouhos ve ark., 2007).	11
Şekil 3.1. Nokta yük deneyinde görülen lokal kırıklar (Satish, 2005).	13
Şekil 3.2. 60 s mikrodalgaya maruz bırakma ile numunede gelişen çatlaklar (Hartlieb ve ark., 2012).	14
Şekil 3.3. 60 s süreyle mikrodalgaya maruz bırakılan numunede gelişen çatlakların ince kesit görüntüsü (Hartlieb ve ark., 2012).	15
Şekil 4.1. Karot alma işlemlerinde kullanılan makine.	18
Şekil 4.2. Tam otomatik karot kesme makinesi.	18
Şekil 4.3. Tezde kullanılan kayaçlara ait karot ve disk numuneler.	19
Şekil 4.4. Disk numunelerin desikatörlerde soğuması için bekletilmesi.....	20
Şekil 4.5. Rosa Well kayacına ait bir numunenin kuru (a) ve doygun (b) olarak tartılması.	20
Şekil 4.6. Kozak Graniti'ne ait P-dalga hızı ölçümü.....	21
Şekil 4.7. BTS deneyleri uygulanmış bazı disk numuneler.	21
Şekil 4.8. UCS deneyinin Nero Turka gabrosuna uygulanması.....	22
Şekil 4.9. UCS deneyi uygulanmış bazı silindirik numuneler.	22
Şekil 4.10. Deneylerde kullanılan 6 kW endüstriyel tip mikrodalga fırın.	25
Şekil 4.11. Kızılötesi termometre ile numune sıcaklıklarının ölçülmesi.	26
Şekil 5.1. 6 kW güçte ve 360 s maruz bırakma süresindeki uygulama sonrası Rosa Well granitine ait çatlama ve ergime.	27
Şekil 5.2. Jungle Green siyenit numunelerinde 6 kW güç ve 360 s süre ile oluşan çatlama, metalik mineral ekstrüzyonu (a ve b) ve 180 s uygulanmasıyla oluşan ergime (c).	27

Şekil 5.3. 6 kW güçte ve 120 s mikrodalga maruz bırakma süresinde Volga Blue siyenitinin disk numunesine ait çatlamlar ve metalik mineral ekstrüzyonları.	28
Şekil 5.4. 6 kW güç ile 180 s mikrodalga maruz bırakma süresinde (a) ve 180 s mikrodalga maruz bırakma süresinde (b) Nero Turka gabrosunda oluşan çatlamlar.	28
Şekil 5.5. Rosa Well granitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	30
Şekil 5.6. Rosa Well granitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	31
Şekil 5.7. Rosa Minho granitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	31
Şekil 5.8. Rosa Minho granitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	32
Şekil 5.9. Steppe Yellow granitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	32
Şekil 5.10. Steppe Yellow granitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	33
Şekil 5.11. Nublado granitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	33
Şekil 5.12. Nublado granitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	34
Şekil 5.13. Kaman Rosa granitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	34
Şekil 5.14. Kaman Rosa granitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	35
Şekil 5.15. Kozak Graniti'nin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	35

Şekil 5.16. Kozak Graniti'nin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	36
Şekil 5.17. Volga Blue siyenitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	37
Şekil 5.18. Volga Blue siyenitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	37
Şekil 5.19. Jungle Green siyenitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	38
Şekil 5.20. Jungle Green siyenitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	39
Şekil 5.21. Nero Turka gabrosunun UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	39
Şekil 5.22. Nero Turka gabrosunun BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.	40
Şekil 5.23. Rosa Well granitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.	42
Şekil 5.24. Rosa Well granitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.	42
Şekil 5.25. Rosa Minho granitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.	43
Şekil 5.26. Rosa Minho granitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.	43
Şekil 5.27. Steppe Yellow granitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.	44
Şekil 5.28. Steppe Yellow granitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.	44
Şekil 5.29. Nublado granitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.	45

Şekil 5.30. Nublado granitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.....	45
Şekil 5.31. Kaman Rosa granitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.....	46
Şekil 5.32. Kaman Rosa granitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.....	46
Şekil 5.33. Kozak Granit'e ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.....	47
Şekil 5.34. Kozak Granit'e ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.....	47
Şekil 5.35. Volga Blue siyenitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.....	48
Şekil 5.36. Volga Blue siyenitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.....	48
Şekil 5.37. Jungle Green siyenitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.....	49
Şekil 5.38. Jungle Green siyenitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.....	50
Şekil 5.39. Nero Turka gabrosuna ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.....	50
Şekil 5.40. Nero Turka gabrosuna ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.....	51
Şekil 5.41. 360 s süreyle mikrodalgaya maruz bırakılan numunelerin UCS değerlerinin mikrodalga gücüyle değişimi.....	53
Şekil 5.42. 180 s süreyle mikrodalgaya maruz bırakılan numunelerin BTS değerlerinin mikrodalga gücüyle değişimi.....	53
Şekil 5.43. Rosa Well graniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	54
Şekil 5.44. Rosa Well graniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	55
Şekil 5.45. Rosa Minho graniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	55
Şekil 5.46. Rosa Minho graniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	56
Şekil 5.47. Steppe Yellow graniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	56
Şekil 5.48. Steppe Yellow graniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	57
Şekil 5.49. Nublado graniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	57
Şekil 5.50. Nublado graniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	58

Şekil 5.51. Kaman Rosa graniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	58
Şekil 5.52. Kaman Rosa graniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	59
Şekil 5.53. Kozak Granit'in UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	59
Şekil 5.54. Kozak Granit'in UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	60
Şekil 5.55. Volga Blue siyeniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	61
Şekil 5.56. Volga Blue siyeniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	61
Şekil 5.57. Jungle Green siyeniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	62
Şekil 5.58. Jungle Green siyeniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	62
Şekil 5.59. Nero Turka gabrosu UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.	63
Şekil 5.60. Nero Turka gabrosu BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	63



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Mikrodalgaya maruz bırakılan minerallerin ısınma dereceleri (Walkiewicz ve ark., 1988).	10
Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan kayaç türleri.....	17
Çizelge 4.2. Kayaçlara ait fiziko-mekanik deney sonuçları ve ultrasonik hız değerleri. 23	
Çizelge 4.3. Kayaçların doku özellikleri ve mineralojik bileşimleri.	24
Çizelge 5.1. Farklı mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresi için BTS numunelerinin yüzey sıcaklıkları.	29
Çizelge 5.2. Farklı mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresi için UCS numunelerinin yüzey sıcaklıkları.	29
Çizelge 5.3. Farklı mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresi için BTS değerleri.	41
Çizelge 5.4. Farklı mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresi için UCS değerleri.	41
Çizelge 5.5. Mikrodalgaya maruz bırakılan numunelerde oluşan dayanım kayıpları. ...	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

σ_c	Tek Eksenli Basınç Dayanımı
σ_t	Brazilian Dolaylı Çekme Dayanımı
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat Derece
W	Vat
kW	Kilovat
s	Saniye
MHz	Megahertz
GHz	Gigahertz
μm	Mikrometre

1. GİRİŞ

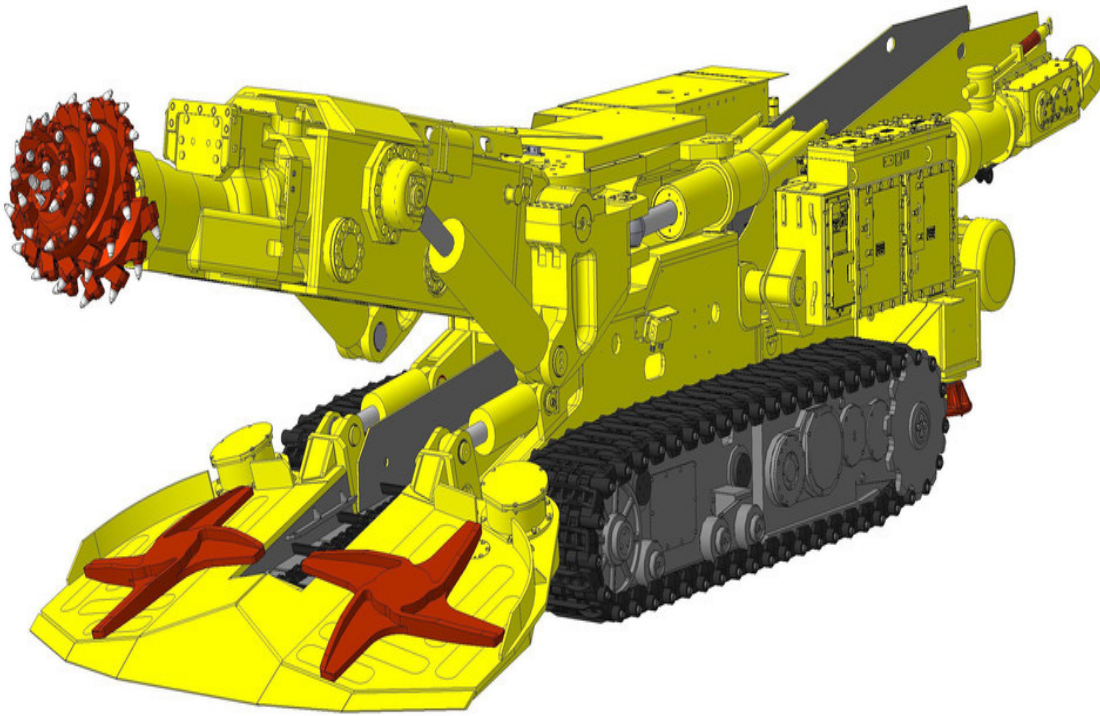
Yaşam alanlarının istenilen amaçlar doğrultusunda tanzim edilmesi, düzenlenmesi ve kullanıma hazırlanması bir anlamda dolaylı olarak kayaç kazı sistemlerinin doğru uygulanmasına bağlıdır. İnsanoğlu bin yıllardır var olduğu dünya ekosisteminde kendi güvenliğini ve konforunu istediği standartlara taşıyabilmek için üzerinde yaşadığı yeryüzünü daima şekillendirme gayretine girmiştir. Birincil yaşam gayesi olan güvenlik problemini çözmek adına yaşam alanları inşa etmiş, bu alanlar arasında ulaşımı kolaylaştırmak, doğal engelleri aşmak için çeşitli şekillerde ve amaçlarda kullanılmak üzere yollar, köprüler, viyadükler yapmış; yaşamını idame ettirmede gerekli olan en temel ihtiyacı olan suyu muhafaza edebilmek için setler, barajlar oluşturmuştur. Kimi zaman savaşlardan uzakta kalmak adına, kimi zaman da bizzat savaşta lojistik destek sağlamak adına, tüneller inşa etmiştir. Yer altına inşa ettiği mağaralarla binlerce kişilik halkın adeta yokmuş edasında yaşamasına olanak sağlamıştır. Kurduğu medeniyetlerin muasır seviyelere erişmesi için keşfettiği ve işleyerek kendi hizmetine sunduğu maden yataklarını, yine kazı işlemleri neticesinde gerçekleştirmiştir. Kazı işlemleri insan veya hayvan gücüyle nispeten sınırlı olarak yapılırken, patlayıcı kullanımının keşfedilmesinin ardından çok daha büyük hacimlerin gevşetilmesi ve buna bağlı olarak kazılması mümkün kılınmıştır.

1960'lı yıllarda kayaçların makinelerle kazılmasına yönelik çalışmalar başlamıştır. Madencilikte kömür ve yumuşak mineral kazında mekanize kazı yaygın bir şekilde uygulamaktadır. Bu alanda, oda-topuk yöntemlerinde sürekli kazıcılar (continuous miner) ve uzun ayaklarda kesici-yükleyici ve sabanlarla mekanize kazı kolaylıkla uygulanmaktadır. Yine, özellikle kömür madenciliğinde kollu galeri açma makineleri yumuşak ve orta sert kayaçlarda ve kömürde galeri açma işlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, madencilik amaçlı sert kayaç ve minerallerin mekanize kazısının ekonomik olarak yapılması günümüz şartlarında mümkün görünmemektedir.

Karayolu, demiryolu, metro ve sulama projeleri gibi inşaat sektörü uygulamalarında tünel kazıları önemli yere sahiptir. Ayrıca, gelişmiş ülkelerde yer altı yaşam alanlarına ait projeler hazırlanmaktadır. Bu tür projeler, gelecekte yeraltı kazılarının önemini daha da arttıracaktır. İnşaat sektörü alanına giren tünel kazıları delme-patlatma veya makineyle yapılmaktadır. Hem Dünya'da hem de ülkemizde uygun şartlarda tünellerin makineyle

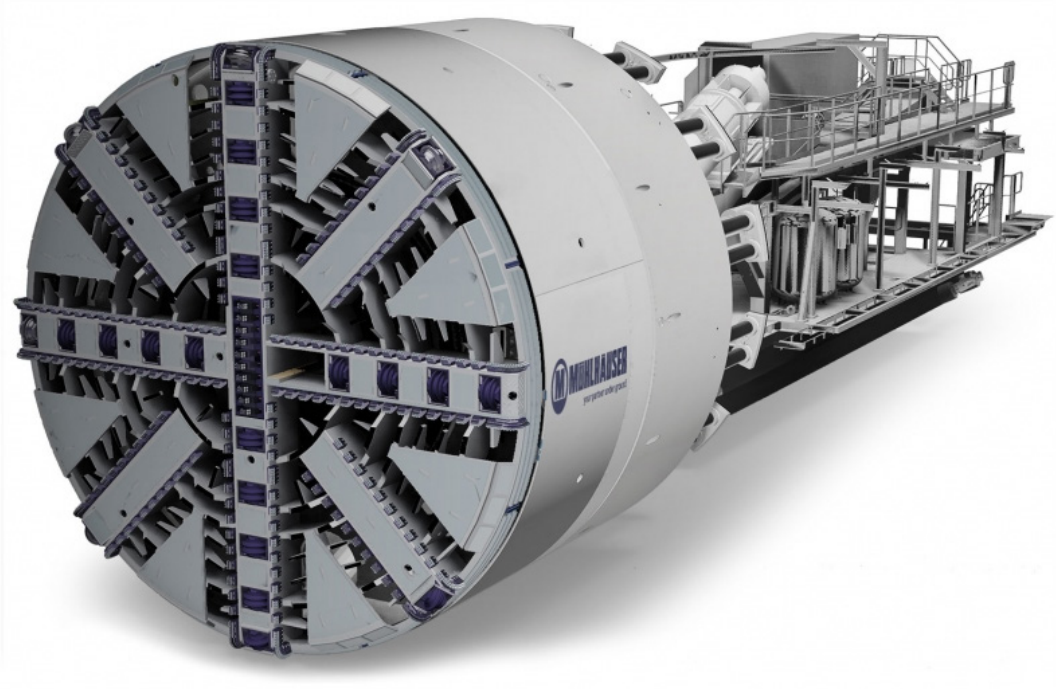
kazısı yaygındır. Mekanize tünel amada kollu galeri veya tünel açma makineleri ile tam cepheli tünel açma makineleri (TBM) kullanılmaktadır. Her türlü zemin Şartlarında kullanılabildiklerinden dolayı TBM'ler daha çok uygulama alanı bulmaktadır.

Kollu galeri/tünel açma makineleri genellikle yumuşak formasyonların kazısında baŐarıyla kullanılmaktadır (Şekil 1.1). Kayaç tek eksenli basınç dayanımı 50-60 MPa'ı geçtiğinde ve kaya kütesinde süreksizliklerin bulunmadığı durumlarda makine performansı çok düşmektedir. Ayrıca keski aŐınma ve kırılmaları artarak maliyet yükselmektedir. Kayaç dayanımının 100-120 MPa'ı aŐtığı durumlarda ise kazı pek fazla mümkün olmamakta veya çok yüksek maliyete sahip olmaktadır.



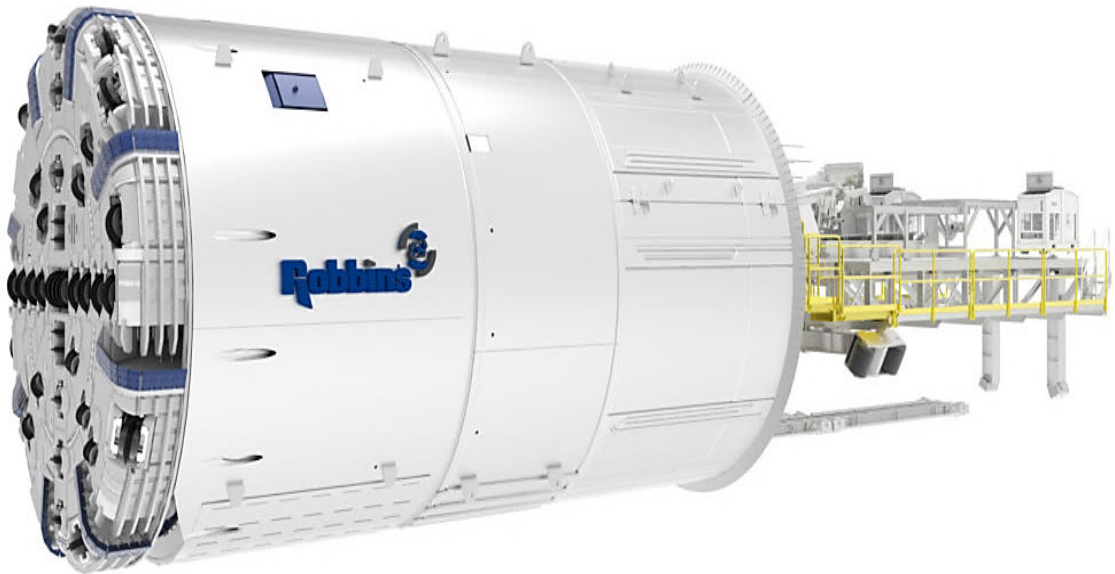
Şekil 1.1. Kollu galeri/tünel açma makinesi (Grabcad, 2020).

TBM'ler zemin olarak adlandırılan (akıl, kum, silt ve kil karıŐımı) ortamlardan çok sert kayaçlara kadar her türlü ortamda kazı yapabilmektedir. Yumuşak zeminlerde kullanılan TBM'lerde genellikle kama uçlu keski (scraper, ripper) kullanılmakta olup; yumuşak ve sert formasyonların birlikte görüldüğü durumlarda disk keski de kullanılmaktadırlar. (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Yumuşak zemin TBM'i (Mühlhauser, 2020).

Sert kayaç TBM'leri kalkansız ve kalkanlı olarak ikiye ayrılır. Süreksizliklerin ve fay zonlarının fazla olduğu ortamlarda kalkanlı tipler tercih edilir (Şekil 1.3). Bu tür TBM'lerde genellikle disk keskiiler standart olup; çok sert ve aşındırıcı kayaç kazılarında ise tungsten karbür disk keskiiler veya kabarıklı keskiiler kullanılır (Şekil 1.4).



Şekil 1.3. Kalkanlı sert kayaç TBM'i (Robbins, 2020).



Şekil 1.4. Sert kayaç TBM’lerinde kullanılan keskiler (Asian Products, 2020).

Kayaçların makinelerle kazılması ve matkaplarla delinmesi konusundaki teknolojik ilerlemelere rağmen, özellikle sert ve aşındırıcı kayaçların kazılması ve delinmesi konusu halen problemlidir. En önemli problemler düşük kazı/delme hızı ve yüksek keski aşınmasıdır. Bu problemler de beraberinde yüksek maliyet getirmektedir. Sert ve aşındırıcı kayaçları daha kolay ve ucuz kazabilmeye yönelik bazı araştırma çalışmaları bulunmaktadır. Su jeti destekli kazı, salınımlı disk kazısı (oscillating disc cutting), lazer destekli kazı ve mikrodalga destekli kazı örnek olarak sayılabilir. Son yıllarda mikrodalga destekli kazıya yönelik araştırmalar artış göstermekle birlikte, direkt olarak kazıyla ilgili sadece çok sınırlı birkaç çalışma bulunmaktadır. Mikrodalga destekli kaya kazısı ve kaya delme konusunda literatürde yalnızca teorik olan bazı patentler mevcuttur (Lindroth ve ark., 1991; Ouellet ve ark., 2013). İlave olarak, sadece mikrodalga enerjisiyle mikro-delik delme konusunda da bir patent alınmıştır (Jerby ve Dikhtyar, 2000). Mikrodalga destekli kaya delme hakkında da bir iki araştırma yapılmıştır (Lindroth ve ark., 1993; Wang ve ark., 2013). Mikrodalga destekli kaya kazısına bir temel oluşturmak için mikrodalgaya maruz bırakılan kayaçların basınç ve çekme dayanımları üzerindeki etkileri hakkında literatürde bazı araştırmalar bulunmakla birlikte bu çalışmalar da sınırlıdır.

Bu tez çalışmasında, mikrodalgaya maruz bırakılan magmatik kökenli kayaçların basınç ve çekme dayanımlarında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Ayrıca, mineral içeriğinin mikrodalgaya maruz bırakmanın etkisi de incelenmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesiyle farklı deney şartları için mikrodalgaya maruz bırakılan magmatik

kayaçların dayanımlarında meydana gelen değişimler ortaya konulmuştur. Mikrodalgaya maruz bırakmanın magmatik kayaçları hangi derecelere kadar ısıttığı da tespit edilmiştir.

Literatürde, mikrodalgaya maruz bırakmanın kayacın mekanik özelliklerine etkisi konusunda yapılan çalışmalarda genel olarak 3 kW' dan az mikrodalga gücü uygulanmıştır. Sadece bazalt üzerinde yapılan bir çalışmada (Nejati ve ark., 2012) 5 kW'a kadar güç uygulanmış ve bu çalışmada, kayaçları daha kısa sürede yüksek mikrodalga enerjisi altında bırakmanın çatlak tokluğunu düşürmede daha faydalı olduğu ortaya konulmuştur. Bu nedenle, farklı kayaçlar üzerinde literatürde genel olarak uygulanan güçlerden daha yüksek güçlerde (3 kW' dan fazla) mikrodalgaya maruz bırakmanın mekanik özelliklere etkisi incelenmelidir. Bu çalışmada, literatürden farklı olarak, magmatik kayaçlar üzerinde 6 kW' a kadar mikrodalga enerjisi uygulanmıştır. Ayrıca, mevcut literatürde deneylerin genellikle bazalt ve andezit kayaçları üzerinde yapıldığı görülmektedir. Yalnızca Motlagh (2009) tarafından gnays, granit, gabro ve kireçtaşı gibi farklı kayaç türleri üzerindeki mikrodalga enerjisinin etkileri araştırılmıştır. Fakat, mikrodalga enerjisinin kayacı etkilemesi büyük oranda mineral cinsi ve oranına bağlı olduğundan, aynı kayaç türüne ait farklı lokasyonlardan alınacak numuneler farklı mineral içerik ve yüzdesine sahip olacağı için mikrodalgaya maruz bırakıldığında büyük ihtimalle farklı davranış gösterecektir. Bu çalışmada, farklı mineral içerik ve yüzdelere sahip 6 farklı tip granit, 2 çeşit siyenit ve bir gabro test edilmiştir.

Tezin 2. Bölümünde, mikrodalga hakkında genel bilgiler verildikten sonra mikrodalga ile cisimlerin ısıtma prensibi açıklanmıştır. Daha sonra kayaçların mikrodalga enerjisi altında ısınma mekanizmasına değinilmiş ve kısaca mikrodalga ısıtma sistemleri hakkında bilgi verilmiştir.

Tezin 3. Bölümü, literatür araştırmasını kapsamaktadır. Bu bölümde, kayaçların mikrodalgaya maruz bırakılmalarıyla ilgili daha önce yapılan araştırmalar özetlenmiş ve konuyla ilgili yapılması gerekli çalışmalara değinilmiştir.

Tezin 4. Bölümünde, önce araştırmada kullanılan kayaçlar üzerinde yapılan fiziko-mekanik deneyler ve mineralojik analizler anlatılmıştır. Daha sonra mikrodalgaya maruz bırakma hakkında bilgi verilmiş ve maruz bırakma sonrası yapılan deneyler açıklanmıştır.

Tezin 5. Bölümünde, kayaçlar üzerinde gerçekleştirilen deney, analiz ve ölçüm sonuçları değerlendirilerek tartışılmıştır. Mikrodalgaya maruz bırakma sonrası ulaşılan yüzey sıcaklıkları ile sıcaklıklara ve mikrodalga enerjisine bağlı dayanım azalmaları mineralojik verilerin ışığında değerlendirilmiştir.

Tezin 6. Bölümünde, verilerin değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve konuyla ilgili ileride yapılabilecek araştırma önerileri sunulmuştur.



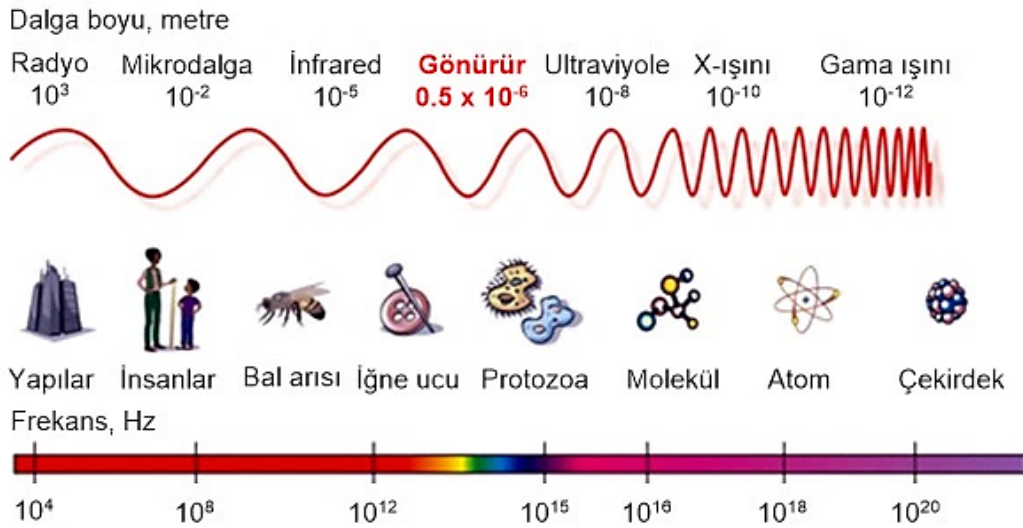
2. MİKRODALGA TEKNİĞİ

Amerikalı bir mühendis olan Percy LeBaron Spencer, savaş yıllarında (1945) radarlarda kullanılan mikrodalga ışınları ile deney yaptığı sırada cebinde bulunan çikolatasının eridiğini gözlemlemiştir. Bunu gören Spencer, mikrodalga'nın ısıtıcı etkisini fark etmiş ve bu ışımaları pişirme amaçlı olarak kullanan ilk kişi olmuştur. Bu etkiyi teyit etmek adına önce bir torba mısırı bu mikrodalga ışınlarının önüne koymuş ve birkaç saniyede patladıklarını gözlemlemiştir. Benzer denemeyi çaydanlık ve yumurtayla da gerçekleştiren Spencer, her iki deneyde de başarıya ulaştınca Dünya'nın ilk mikrodalga fırınına da yapmaya karar vermiş ve yaklaşık 2 metre yükseklik ile 350 kg ağırlığa sahip ilk mikrodalga fırını tasarlamıştır (Şekil 2.1). Buna karşın mikrodalga üretici olan magnetronlar ise 1940'lı yılların başlarında İngiliz fizikçiler Sir John Randall ve Dr. H.A.H Boot tarafından uçakların radar sistemleri için mikrodalga üreten bir cihaz da yapılmıştır.



Şekil 2.1. Spencer'in tasarladığı ilk mikrodalga fırın (India Today, 2020).

Radyo dalgaları ve mikrodalga mühendisliği 100 MHz ile 1000 GHz frekans aralığındaki dalgaları kapsamaktadır. Elektromanyetik spektrum aralığında 300 MHz ile 300 GHz frekans ile 1 m ile 1 mm dalga boyu aralığı mikrodalga olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.2). Uygulamada 2.45 GHz frekansa sahip mikrodalga yaygın olarak kullanılmakta olup; bu frekansta dalga boyu 12.2 cm ve enerji 1.02×10^{-5} eV' dur (Pozar, 2012; Jacob ve ark., 1995).



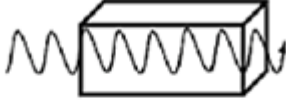
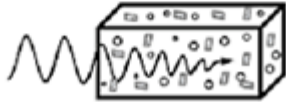
Şekil 2.2. Elektromanyetik spektrum (Beşergil, 2020).

Mikrodalga enerjisi kurutma, polimerizasyona yardımcı olma gibi pek çok endüstriyel uygulamaya sahiptir. Diğer yandan gıda, tıp, kimya, metalürji, tekstil, kâğıt, seramik gibi endüstriyel alanlarda mikrodalga yoğun olarak kullanılmaktadır. Mikrodalga enerjinin bir malzemeyi ısıtmadaki verimliliği, malzemenin su veya nem içeriğine, yoğunluğuna, kütlesine, dielektrik sabitine ve iyon yüküne bağlı olduğu gibi; mikrodalga frekans ve gücü, termal iletkenlik özellikleri ve özgül ısı gibi niteliklere de bağlıdır (Gümüşderelioğlu, 2012).

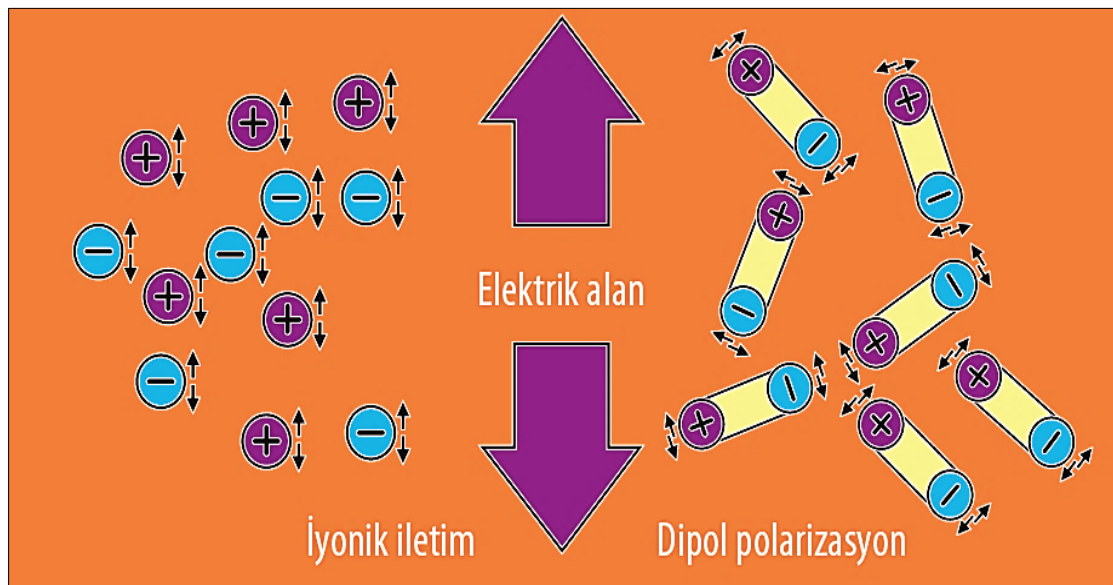
Şekil 2.3’de görüldüğü gibi malzemeler mikrodalga enerjisi altında davranışlarına göre üç grupta incelenirler: İletkenler, yalıtkanlar ve soğurucular (Church ve ark., 1988). İletkenler, mikrodalgayı enerjisini yansıttıklarından dolayı ısınmazlar. Mikrodalga herhangi bir etki göstermeksizin doğrudan içlerinden geçtiğinden yalıtkan malzemelerde ısı artışı olmaz. Soğurucu malzemeler ise, mikrodalga enerjisini kısmi olarak soğururlar ve ısınma eğilimine girerler. Mikrodalga enerjisini soğuran materyaller, “Dielektrik Malzemeler” olarak isimlendirilir. Bu malzemelerin her biri kendine has olmak üzere birer dielektrik sabitine sahiptirler. Aynı zamanda bu tür malzemeler içerisinde mikrodalgalar, iyonik moleküllerin hareketleri ve/veya dipolar moleküllerin rotasyonu ile harekete neden olarak ısınma meydana getirirler (Şekil 2.4).

Herhangi bir materyalin mikrodalga enerjisiyle ısınması çoğunlukla o malzemenin dağıtım faktörüne bağlıdır. Dağıtım faktörü, materyalin dielektrik kayıp faktörünün

dielektrik sabitine oranı olarak tanımlanır. Dielektrik sabit, malzemenin içerisinde geçmekte olan mikrodalgayı tutma veya geciktirme kapasitesine bağlıdır. Malzemenin mikrodalga enerjisini ısı olarak dağıtma yeteneği de kayıp faktörü olarak tarif edilir. Bu nedenle, yüksek kayıp faktörüne sahip malzemeler mikrodalga enerjisiyle daha kolaylıkla ısıtılır (Metaxas ve Meredith, 1983).

	<u>Materyal Cinsi</u>	<u>Nüfuz</u>
	Yalıtkan	Tümüyle
	İletken	Yok
	Soğurucu	Parçadan bütüne
	Soğurucu (karışık)	Parçadan bütüne

Şekil 2.3. Mikrodalga enerjisinin malzemelerdeki nüfuz şekilleri (Sutton 1989).



Şekil 2.4. Mikrodalganın cisimleri ısıtma prensibi (Gümüşderelioğlu, 2012).

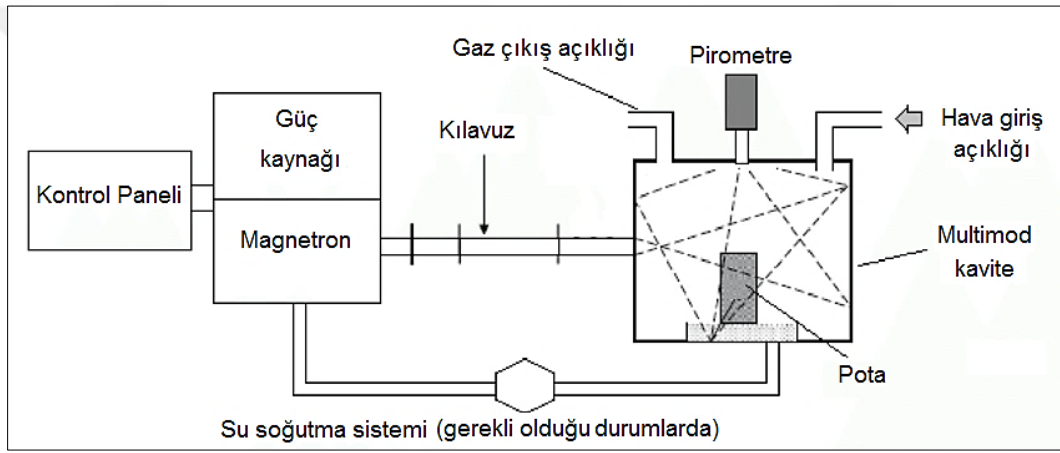
Kayaçlar ve mineraller de dielektrik malzeme sınıfındadırlar. Her mineralin kendine özgü dielektrik sabiti ve kayıp faktörü olduğundan ötürü, kayaca ait dielektrik sabiti ve kayıp faktörü, kendisini oluşturan mineral içeriğine bağlıdır. Öte yandan, kayaca ait dokusal özellikler, su içeriği, ortamın sıcaklığı ile uygulanan mikrodalga gücü ve frekansı da dielektrik özellikleri etkilemektedir (Santamarina, 1989; Peinsitt ve ark., 2008). Walkiewicz ve ark. (1988), 2.45 GHz frekans ile 1 kW güçte çeşitli minerallerin sıcaklıklarını ölçmüşler ve sonuçların beklenilenden farklı olduğunu gözlemlemişlerdir. (Çizelge 2.1). Kayaçları oluşturan her mineralin termal genleşme katsayısı farklıdır. Mikrodalgaya maruz bırakılan kayaç içerisindeki her mineral farklı termal genleşmeye uğrayacak; ortaya çıkacak farklı gerilmelere bağlı olarak makro ya da mikro boyutta çatlak oluşumu gözlemlenecektir. Oluşan çatlaklar kayacın veya cevherin dayanımını düşürecek; malzemenin kırılması, öğütülmesi, kazılması ve delinmesi kolaylaşacaktır.

Çizelge 2.1. Mikrodalgaya maruz bırakılan minerallerin ısınma dereceleri (Walkiewicz ve ark., 1988).

Mineral	Kimyasal Bileşim	Sıcaklık (°C)	Süre (dk)
Albit	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	82	7
Arizonit	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{TiO}_2$	290	10
Kalkozin	Cu_2S	746	7
Kalkopirit	CuFeS_2	920	1
Zinober	HgS	144	8
Galen	PbS	956	7
Hematit	Fe_2O_3	182	7
Manyetit	Fe_3O_4	1258	2.75
Mermer	CaCO_3	74	4.25
Molibdenit	MoS_2	192	7
Orpiment	As_2S_3	92	4.5
Ortoklas	KAlSi_3O_8	67	7
Pirit	FeS_2	1019	6.76
Pirotit	Fe_{1-x}S	886	1.75
Kuars	SiO_2	79	7
Sfalerit	ZnS	87	7
Tetraedrit	$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_{14}\text{S}_{13}$	151	7
Zirkon	ZrSiO_4	52	7

Mikrodalga ısıtma sistemleri genelde bir güç kaynağı, magnetron, kılavuz ve uygulayıcı gibi dört ana bileşenden oluşur (Şekil 2.4). Ek olarak dönüştürücü, doğrultucu, dalga dağıtıcı gibi yardımcı elemanlar da bulunabilmektedir. 2.45 GHz frekanstaki magnetronlar çoğunlukla 0.5 kW ile 10 kW aralığında güçlere sahiptir. Genellikle endüstriyel amaçlı kullanılan 0.915 GHz frekanslı magnetronların gücü ise 75 kW' a

kadar olabilmektedir (Haque, 1999). Mikrodalga ısıtma sistemleri çok modlu kavite ve tek modlu kavite olarak iki çeşitten oluşmaktadır. Mod, kavite olarak adlandırılan kapalı bir alana verilen elektromanyetik dalganın elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin dağılma şekli olarak tanımlanmaktadır. Bilinen mikrodalga fırınlar gibi çok modlu kaviteler, birkaç dalga boyu genişliğindeki metal kabinlerden oluşmaktadırlar. Bu tür fırınlarda küçük boyutlu malzemelerin ısıtılması zor olmaktadır. Tek modlu kaviteler ise çoğunlukla dikdörtgen veya silindirik bir metal boru şeklinde olup; küçük boyuttan dolayı homojen ve konsantre bir enerji temin ederler (Kingman ve ark., 2004). Yalnızca mikrodalga enerjisi kullanılarak geliştirilen mikro-kazı destek sistemi, tek modlu kavite tipinden faydalanılarak geliştirilmiştir (Jerby ve Dikhtyar, 2000).



Şekil 2.5. Multimod kaviteli bir mikrodalga sisteminin ısıtma prensibi (Samouhos ve ark., 2007).

Tez çalışması kapsamında yapılan mikrodalgaya maruz bırakma deneylerinde Hacettepe Üniversitesi Kaya Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunan 2.45 GHz frekansında 6 kW güce sahip multimod kaviteli endüstriyel tip kapalı fırın kullanılmıştır (Şekil 4.10).

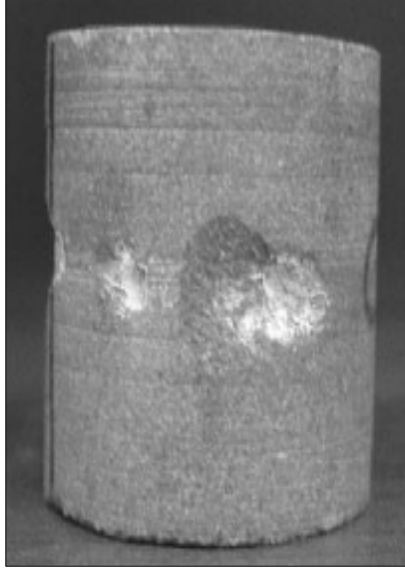
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Mineral ve cevherlerin mikrodalga enerjisine maruz bırakılmaları konusunda literatürde oldukça eskiye dayanan fazlaca çalışma bulunmaktadır. Cevher hazırlama konusunda yapılan araştırmalar bu tez konusuna girmediğinden, konuyla ilgili çalışmalara burada değinilmeyecektir.

Mikrodalgaya maruz bırakılan kayaçların fiziko-mekanik özellikleri üzerindeki değişimler hakkında yapılan çalışmalar daha yakın tarihlerde ve sınırlı sayıdadır. Bu çalışmalar genellikle düşük mikrodalga güçlerinde ve az sayıda kayaç çeşidi üzerinde yapılmış olup; aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Znamenackova ve ark. (2003), andezitler üzerinde mikrodalga enerjisi etkisini irdelenmiş; üç adet andezit numunesini çok modlu kavitede 2.45 GHz frekans ve 1350 W gücündeki mikrodalga enerjisine 10 dk süreyle maruz bırakmış ve süre sonunda numunelerin tamamen eridiğini görmüşlerdir. Yapılan incelemede numunelerin ağırlık kaybına uğramaksızın temel kimyasal yapılarını koruyarak amorf bir yapıya dönüştükleri gözlemlenmiştir.

Bazalt numunelerinin dayanımı üzerinde mikrodalga etkisinin araştırıldığı bir tezde (Satish, 2005; Satish ve ark., 2006), numuneler 150 W güç ve 2.45 GHz frekansta farklı sürelerde mikrodalgaya tabi tutulmuştur. Ardından numunelere nokta yük deneyleri uygulanmış ve sonuçlardan tek eksenli basınç dayanımı değerleri kestirilmiştir. Yapılan deneyler, 360 s süreyle mikrodalgaya maruz bırakma sonucunda bazı numunelerin yüzey sıcaklığının 115°C' ye kadar arttığını göstermiştir. Çalışmada, numuneler nispeten düşük güçte mikrodalgaya maruz bırakılmalarına rağmen mikrodalga'nın uygulanma süresine bağlı olarak basınç dayanımında önemli sayılabilecek derecede düşmeler gözlemlenmiştir. Öte yandan, 180 ve 360 s süre ile mikrodalgaya tabi tutulan numunelerde nokta yük deneyinde bölgesel çatlaklar gözlenmiştir (Şekil 3.1). Bu durumun, termal gerilmelere bağlı olarak numunelerde çatlak oluşumlarından kaynaklandığı ifade edilmiştir.



Şekil 3.1. Nokta yük deneyinde görülen lokal kırıklar (Satish, 2005).

Mikroalgaya maruz bırakılan farklı kayaçların dayanımlarında meydana gelen değişikliklerin irdelendiği çalışmada, 2.45 GHz frekanstaki mikrodalga 240 s süreye ve 3 kW'a kadar güçlerde uygulanmıştır (Motlagh, 2009). 3 kW mikrodalga gücünde kayaçların tek eksenli basınç dayanımı (UCS) değerlerinin yaklaşık %30 düştüğü gözlenmiştir. Dolaylı çekme dayanımı değerlerindeki azalmaların basınç dayanımına göre daha fazla olduğu, hatta bazaltta %80'lere kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Kayaçların Cerchar aşındırma değerlerinde de yaklaşık %30 düşüşler görülmüştür.

Mikroalgaya maruz bırakmanın bazaltın çatlak tokluğuna etkisini inceleyen Nejati ve ark. (2012), 2.45 GHz frekansında bir mikrodalga fırın ile 5 kW' a kadar değişen güçlerde ve 30 s' ye kadar değişen sürelerde numuneler üzerine mikrodalga uygulamışlardır. Araştırma sonucunda, artan mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresiyle kayacın yüzey sıcaklığının arttığı ve dolayısıyla çatlak tokluğunun azaldığı ortaya konulmuştur. Mikrodalga maruz bırakma süresinin artışıyla örneklerdeki çatlak yoğunluklarının da arttığı görülmüştür. Ayrıca, yüksek güçte kısa süreli mikrodalgaya uygulamanın çatlak tokluğunu azaltmada daha etkili olduğu ifade edilmiştir.

Feng ve ark. (2014), bazı kayaçları 2.45 GHz frekans ve 900 W güçte mikrodalgaya maruz bırakmışlar ve deneyler sonucunda test edilen kayaçların dayanımlarında görünür bir azalmanın olmadığını gözlemlemişlerdir. Makalede, kayacın basınç dayanımını

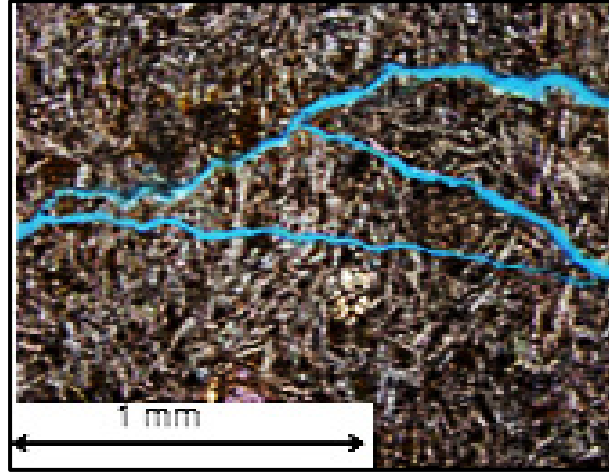
azaltmak için, halihazırda uygulanan 900 W güçten daha fazla gücün gerekli olduğu açıklanmıştır.

Peinsitt ve ark. (2008 ve 2010), kumtaşı, granit ve bazalt numunelerini kuru ve doymuş olarak mikrodalgaya maruz bıraktıktan sonra basınç dayanımı ve sonik hız deneyleri yapmışlardır. Çalışmada numuneler 2.45 GHz frekans ve 3 kW güçte mikrodalga enerjisine maruz bırakılmışlardır. Değerlendirme sonucunda, kuru numunelerle karşılaştırıldığında doymuş bazalt numunelerinin sıcaklıklarının eşit olmadığı, granit numunelerinin iki kat, kumtaşı numunelerinin ise dört kat fazla ısındıkları gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı değerleri çok farklılık gösterdiğinden ultrasonik P-dalga hızı yardımıyla analiz yapılmıştır. Kuru numunelerle karşılaştırılan suya doymuş bazalt numunelerinin P-dalga hızlarında bir değişiklik olmazken, granit numunelerine ait sonik hız değerlerinde düşüşler gözlenmiştir. Doymuş kumtaşı numuneleri mikrodalga enerjisinden aşırı derecede etkilenmiş ve 30 s' den sonra kırılmışlardır.

Hartlieb ve ark. (2012), bazalt numunelerine 2.45 GHz frekans ve 3.2 kW güçte mikrodalga uygulamışlardır. Numunelerde genellikle oldukça fazla çatlak yoğunluğu meydana geldiği görülmüştür (Şekil 3.2). Yapılan ince kesitlerin görüntüleri, çatlak düzlemlerinin tane sınırlarında gerçekleşmediğini ve çoğunlukla taneleri kestiğini göstermiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. 60 s mikrodalgaya maruz bırakma ile numunede gelişen çatlaklar (Hartlieb ve ark., 2012).



Şekil 3.3. 60 s süreyle mikrodalgaya maruz bırakılan numunede gelişen çatlakların ince kesit görüntüsü (Hartlieb ve ark., 2012).

Hassani ve arkadaşları (2016), mikrodalga enerjisinin etkinliğini, sayısal analiz metodu uygulayarak modellemiş ve mikrodalga enerjisinin kayaç dayanımını düşürmek için verimli bir yöntem olduğunu vurgulamıştır.

Zheng ve ark. (2017), mikrodalgaya maruz bırakmanın, gabrolardaki termal ve ultrasonik etkilerine yönelik yaptıkları çalışmada; 2.45 GHz frekanstaki magnetronla 0,5 kW ile 2 kW güç aralıklarında ve çeşitli sürelerde (30 s-120 s) mikrodalga enerjisi uygulamışlardır. Ultrasonik P-dalga hızı değerlerinde mikrodalga uygulanmamış numunelere göre %25'lik bir düşüş olmuştur. Çalışmada mikrodalga enerjisinin, mikro ya da makro çatlaklar oluşturmak suretiyle kayaçları zayıflatmada etkili olduğu belirtilmiştir. Buna ek olarak benzer mikrodalga enerjisinde, yüksek güçlerde ve kısa süreli mikrodalgaya maruz bırakmanın kayaçları daha iyi zayıflatmış olduğunu belirtmiştir.

Lu ve ark. (2019), yapmış oldukları çalışmada bazalt örneklerinin mikrodalgaya maruz bırakılması ile ısınma dereceleri ve dayanım değerlerini incelemişlerdir. Numunelerde çoğunlukla olivin ve plajiyoklaz taneleri içerisinde çatlaklar gözlenmiştir. Dayanım düşüşleri, mikrodalgaya duyarlı minerallerin ısınması neticesinde oluşan termal genleşme ile gerçekleşmiştir. Sonuç olarak mikrodalga destekli sert kayaç kazısının, kaya zayıflatımı ve tünel kazısı için yeni yöntemlerin ayrılmaz bir parçası olabileceği belirtilmiştir.

Mikrodalgaya maruz bırakmanın kayaçların mekanik dayanımlarına etkileri konusunda yapılan araştırmalar oldukça yeni ve sınırlı olmakla birlikte bu çalışmalarda önemli sonuçlar elde edilmiştir. Dolayısıyla, farklı mineral içeriğine sahip değişik kayaçlar için ayrıntılı çalışmalara gerek duyulmaktadır.



4. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasında uygulanan yöntemin adımları aşağıda verilmiştir:

- 1) Numune temini
- 2) Kayaçların fiziko-mekanik ve mineralojik özelliklerinin belirlenmesi
- 3) Mikrodalgaya maruz bırakma
- 4) Mikrodalgaya maruz bırakma sonrası mekanik deneyler

4.1. Numune Temini

Çalışmada, 6 çeşit granit, 2 çeşit siyenit ve 1 gabro olmak üzere farklı yörelere ait toplamda 9 farklı magmatik kayaç kullanılmıştır. 6 çeşit granitin kendi aralarındaki mineralojik içerikleri ve tane boyutları birbirinden farklıdır. Benzer şekilde her iki siyenit örneği de birbirlerinden farklı özelliktedirler. Deneyler için gerekli blok numuneler doğal taş fabrikalarından temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan numuneler Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan kayaç türleri.

Kayaç kodu	Kayaç tipi	Yöresi
1	Rosa Well (Granit)	İspanya
2	Rosa Minho (Granit)	İspanya
3	Volga Blue (Siyenit)	Ukrayna
4	Nublado (Granit)	İspanya
5	Jungle Green (Siyenit)	Mısır
6	Steppe Yellow (Granit)	Mısır
7	Nero Turka (Gablo)	Samsun
8	Kaman Rosa (Granit)	Kaman/Kırşehir
9	Kozak Granit (Granit)	Bergama/İzmir

4.2. Kayaçların Fiziko-Mekanik ve Mineralojik Özelliklerinin Belirlenmesi

4.2.1. Karot Alımı

Deneylerde kullanılmak üzere doğal taş fabrikalarından temin edilen blok numuneler laboratuvara taşınmıştır. Hacettepe Üniversitesi Mermer Teknolojileri laboratuvarında bulunan karot makinesi yardımıyla her bloktan NQ (47.6 mm) çapında 25-30 adet karot alınmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Karot alma işlemlerinde kullanılan makine.

4.2.2. Karot kesme ve düzeltme

Karotları standartlara uygun bir biçimde kesmek için Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm laboratuvarında bulunan tam otomatik karot kesme makinesi kullanılmıştır (Şekil 4.2). Deneylerde kullanmak üzere yaklaşık 95 mm uzunluğunda silindirik ve yaklaşık olarak 24 mm kalınlığında, disk şeklinde 600'den fazla numune hazırlanmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.2. Tam otomatik karot kesme makinesi.



Şekil 4.3. Tezde kullanılan kayalara ait karot ve disk numuneler.

4.2.3. Yoğunluk Deneyi

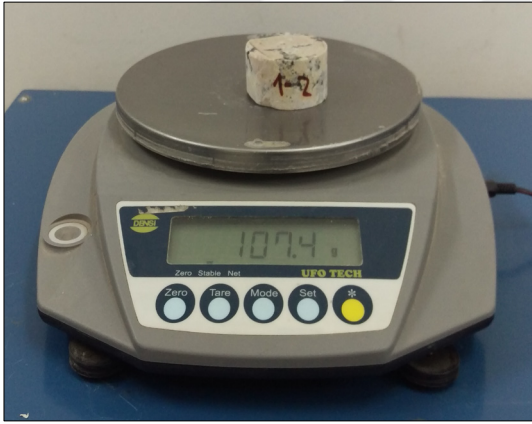
Uçları kesilip düzeltilmiş karot numunelerin çap ve boyları birkaç kumpas okuması ile ölçüldükten sonra hacimleri hesaplanmıştır. Kütleler ise hassas terazi ile belirlenmiştir. Kütleler toplam hacimlere bölünerek yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Her numune grubu için deney üç defa tekrarlanmış ve ortalama yoğunluk değerleri elde edilmiştir. Ortalama yoğunluk değerleri Çizelge 4.2’de, detaylı sonuçlar ise Ek 2’te sunulmuştur.

4.2.4. Porozite Deneyi

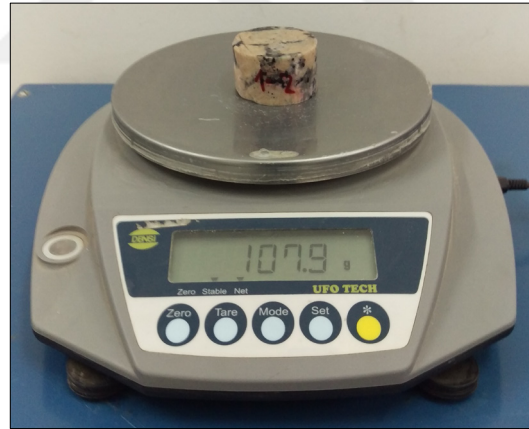
Her iki ucu düzgün bir şekilde kesilmiş ve düzeltilmiş karot numuneler 105-110 °C’de 24 saat kurutulmuş, soğuyuncaya kadar desikatörde bekletilmiş (Şekil 4.4) ve tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 4.5a). Daha sonra numuneler 48 saat saf suda bekletildikten sonra tartılarak doymuş ağırlıkları ölçülmüştür (Şekil 4.5b). Doymuş ve kuru ağırlıkların farkından boşluk hacimleri hesaplanmıştır. Boşluk hacimlerinin numune hacimlerine oranlanmasıyla porozite değerleri bulunmuştur. Her kayaç için, deney 3 ayrı numunede tekrarlanmış ve ortalama değer alınmıştır. Ortalama porozite değerleri Çizelge 4.2’de, detaylı sonuçlar ise Ek 2’de sunulmuştur.



Şekil 4.4. Disk numunelerin desikatörlerde soğuması amacıyla bekletilmesi.



(a)

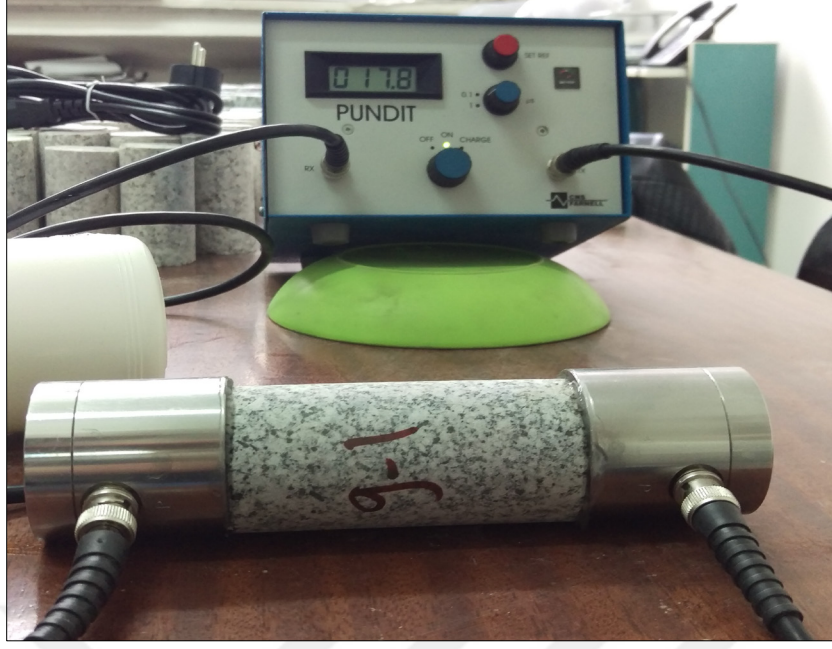


(b)

Şekil 4.5. Rosa Well kayacına ait bir numunenin kuru (a) ve doymuş (b) olarak tartılması.

4.2.5. Sonik Hız Deneyi

Sonik hız deneyinde P-dalga hızı ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler, 1 MHz frekanslı dönüştürücülere sahip PUNDIT cihazıyla basınç dayanımı için hazırlanan numuneler üzerinde yapılmıştır (Şekil 4.6). Beş numune üzerinde yapılan ölçümlere ait ortalama P-dalga hızı (V_p) değerleri Çizelge 4.2’ de, detaylı sonuçlar ise Ek 3’te verilmiştir.



Şekil 4.6. Kozak Graniti'ne ait P-dalgı hızı ölçümü.

4.2.6. Dolaylı Çekme Deneyi

Dolaylı çekme dayanımı (BTS) deneyleri kalınlığı yaklaşık yarıçapı kadar olan 47.6 mm çapındaki karot numuneler üzerinde yapılmıştır. Deneylerde en az 5 adet karot kullanılmış olup, standart sapma değeri yüksek olan numuneler için daha fazla sayıda karot test edilmiştir. Deney sonrası kırılan bazı numuneler Şekil 4.7'de görölmektedir. Ortalama BTS değeri Çizelge 4.2'de, detay değeri ise Ek 4'de verilmiştir.



Şekil 4.7. BTS deneyleri uygulanmış bazı disk numuneler.

4.2.7. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Tek eksenli basınç (UCS) deneyleri 47.6 mm çapa sahip ve boy/çap oranı 2.0-2.5 olan karot numuneler üzerinde yapılmıştır (Şekil 4.8). Deneylerde en az 5 adet karot kullanılmış olup, standart sapma değerleri yüksek olan numuneler için daha fazla sayıda karot test edilmiştir. Deney sonrası bazı numunelerin durumu Şekil 4.9’da görülmektedir. Ortalama UCS değerleri Çizelge 4.2’de, detay değerler ise Ek 5’de verilmiştir.



Şekil 4.8. UCS deneyinin Nero Turka gabrosuna uygulanması.



Şekil 4.9. UCS deneyi uygulanmış bazı silindirik numuneler.

Fiziko-mekanik deney sonuçlarına ait özet bilgiler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Test edilen kayaçların basınç dayanımı değerlerinin 95.5 MPa’dan 204.9 MPa’a kadar geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.2. Kayaçlara ait fiziko-mekanik deney sonuçları ve ultrasonik hız değerleri.

Kayaç no	UCS (MPa)	BTS (MPa)	Vp (km/s)	Yoğunluk (g/cm ³)	Porozite (%)
1	115.01	6.86	4.74	2.57	1.35
2	129.13	8.43	4.57	2.58	1.06
3	116.32	8.64	6.13	2.64	1.97
4	131.46	8.68	4.90	2.65	1.19
5	204.89	10.82	5.62	2.63	1.24
6	152.70	8.22	5.16	2.49	1.21
7	197.70	12.98	6.04	3.00	0.51
8	95.51	4.38	2.89	2.50	2.17
9	141.32	10.06	5.18	2.62	1.27

4.2.8. Mineralojik Analiz

Mikrodalgaya maruz bırakmanın mekanik özelliklere etki derecesi üzerinde mineralojik içeriğin etkisini görmek amacıyla her kayacın ince kesiti yaptırılarak, kayacın dokusu ile mineral içerik ve yüzdeleri Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde yapılan ince kesit analizi ile belirlenmiştir. Kayaçların doku özellikleri ile mineral içerik ve yüzdeleri Çizelge 4.3’te verilmiştir. Her bir kayacın ince kesitine ait mikrofotograflar ise Ek 1’de sunulmuştur.

İncelenen tüm kayaçların benzer genel dokusal özellik sergiledikleri görülmüştür. Ancak ortoklas ve mikroklin varlığına bağlı olarak “K-feldispat (ortoklas, mikroklin) mineralleri içerisinde Na-plajiyoklas (albit) lamel ve eksolüsyonları” olarak tanımlanan pertitleşme yapıları sonucu farklı özel dokular gözlenebilmektedir. Yaygın özel doku pertitik dokudur.

Çizelge 4.3. Kayaçların doku özellikleri ve mineralojik bileşimleri.

Kayaç kodu	Genel doku	Özel doku	Bozunma	Mineralojik bileşim	Petrografik kayaç adı
1	Holokristalen hipidiyomorf taneler	Pertitik Poiklitik	Killeşme Serisitleşme Kloritleşme Sossoritleşme Hidrobiyotitleşme	Ortoklas (%45) Mikroclin (%4) Kuars (%15) Plajiyoklas (%11) Biyotit (%9) Hidrobiyotit (%5) Serisit (%4) Klorit (%4) Titanit (%2) Piroksen (%1)	Alkali feldispat granit
2	Holokristalen hipidiyomorf taneler	Pertitik Poiklitik	Killeşme Serisitleşme Kloritleşme	Ortoklas (%27) Mikroclin (%3) Kuars (%27) Plajiyoklas (%12) Biyotit (%12) Serisit (%9) Klorit (%8) Epidot (%3)	Granit
3	Holokristalen hipidiyomorf taneler	Pertitik Poiklitik Mirmekitik	Serisitleşme Kloritleşme Opaklaşma Biyotitleşme	Ortoklas (%71) Biyotit (%14) Piroksen (%6) Serisit (%5) Hidrobiyotit (%4) Pirit (%3) Manyetit (%2)	Siyanit
4	Holokristalen hipidiyomorf taneler	Pertitik Poiklitik Grafik	Killeşme Serisitleşme Sossoritleşme	Ortoklas (%28) Mikroclin (%15) Kuars (%19) Plajiyoklas (%15) Biyotit (%11) Muskovit (%8) Serisit (%4)	Muskovit biyotit granit
5	Holokristalen hipidiyomorf taneler	Pertitik Poiklitik Grafik	Killeşme Serisitleşme Sossoritleşme	Ortoklas (%35) Nefelin (%32) Plajiyoklas (%8) Biyotit (%8) Turmalin (%6) Granat (%6) Serisit (%3) Klorit (%2)	Nefelin siyanit
6	Holokristalen hipidiyomorf taneler	Pertitik Antipertitik Poiklitik	Killeşme Serisitleşme Kloritleşme Epidotlaşma	Ortoklas (%38) Kuars (%23) Plajiyoklas (%18) Biyotit (%8) Piroksen (%4) Amfibol (%3) Epidot (%4) Klorit (%2) Kalsit (%2)	Muskovit biyotit granit

Çizelge 4.3.' den devam.

7	Holokristalen hipidiyomorf taneler	Poiklitik Subofitik	Kloritleşme Epidotlaşma Uralitleşme	Piroksen (%42) Plajiyoklas (%28) Ortoklas (%14) Biyotit (%8) Amfibol (%4) Klorit (%4) Epidot (%3)	Monzo gabro
8	Holokristalen hipidiyomorf taneler	Poiklitik Pertitik	Killeşme Serisitleşme	Ortoklas (%41) Kuars (%28) Plajiyoklas (%18) Biyotit (%9) Klorit (%4)	Granit
9	Holokristalen hipidiyomorf taneler	Poiklitik Mirmekitik Grafik	Killeşme Serisitleşme Kloritleşme	Plajiyoklas (%32) Ortoklas (%25) Biyotit (%16) Amfibol (%13) Kuars (%12) Klorit (%2)	Kuars monzonit

4.3. Mikrodalgaya Maruz Bırakma

Deneylerde 2.45 GHz frekansa ve ayarlanabilir 6 kW güce sahip endüstriyel kapalı tip mikrodalga fırın kullanılmıştır (Şekil 4.10). Uygulanacak mikrodalga gücünün ve sürenin üssel olarak arttırılması, güç artışının etkisini daha iyi ortaya çıkaracağından, deneylerde 1 kW, 2 kW ve 6 kW olmak üzere 3 farklı güç seviyesinde ve 60, 120, 180, 360, 420 s süre aralıklarında uygulanmıştır. Mikrodalgaya maruz bırakılmadan önce numuneler laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmışlardır.



Şekil 4.10. Deneylerde kullanılan 6 kW endüstriyel tip mikrodalga fırın.

4.4. Mikrodalgaya Maruz Bırakma Sonrası Mekanik Deneyler

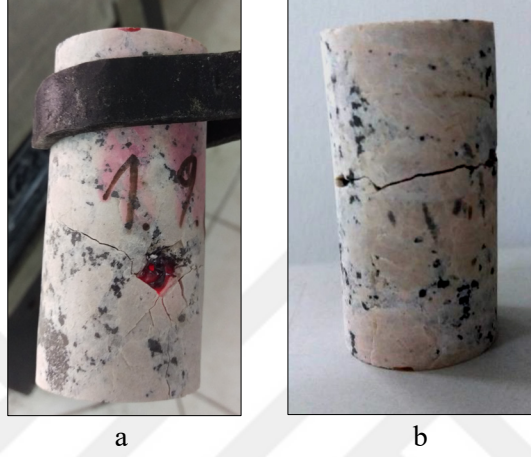
Mikrodalgaya maruz bırakılan numunelerin fırından çıkarılır çıkarılmaz kızılötesi termometre ile uzaktan sıcaklıkları ölçülmüş (Şekil 4.11), hemen ardından basınç ve çekme deneyleri yapılmıştır. Sıcaklık ölçümlerini yapan kızılötesi termometre, ölçümlerin evvelinde etüvden çıkan malzemelerin sıcaklıkları ile doğrulanarak kalibre edilmiştir. Bazı numunelerde makro çatlak oluşumu gözlemlenmiş ve bu numunelerde dayanım deneyleri tatbik edilmemiştir. Numunelerin ölçülen yüzey sıcaklıkları ile UCS ve BTS değerleri Ek 6 ve Ek 7’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Kızılötesi termometre ile numune sıcaklıklarının ölçülmesi.

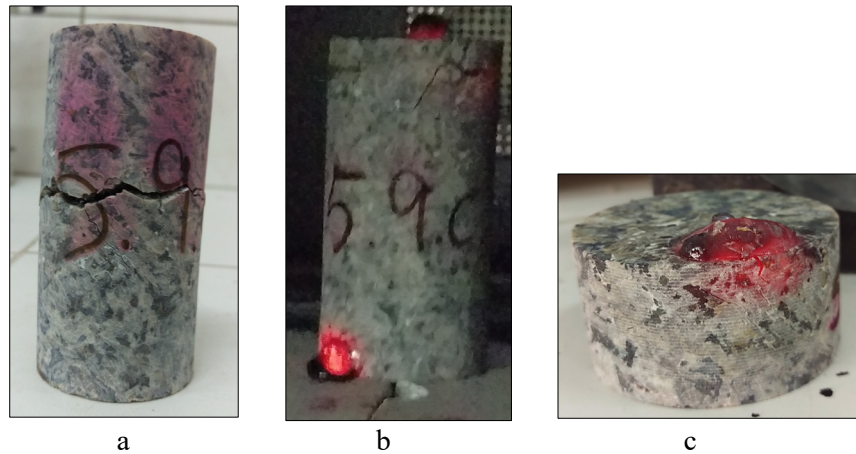
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Mikrodalga uygulanması esnasında bazı numunelerin yüzey sıcaklıklarının çok yüksek derecelere ulaşmasından dolayı makro çatlaklar ve bölgesel erimeler meydana gelmiştir. Şekil 5.1’de görüldüğü gibi, 6 kW güçte 360 s maruz bırakma süresinde Rosa Well granitine ait bazı numunelerde çatlama ve ergimeler görülmüştür.



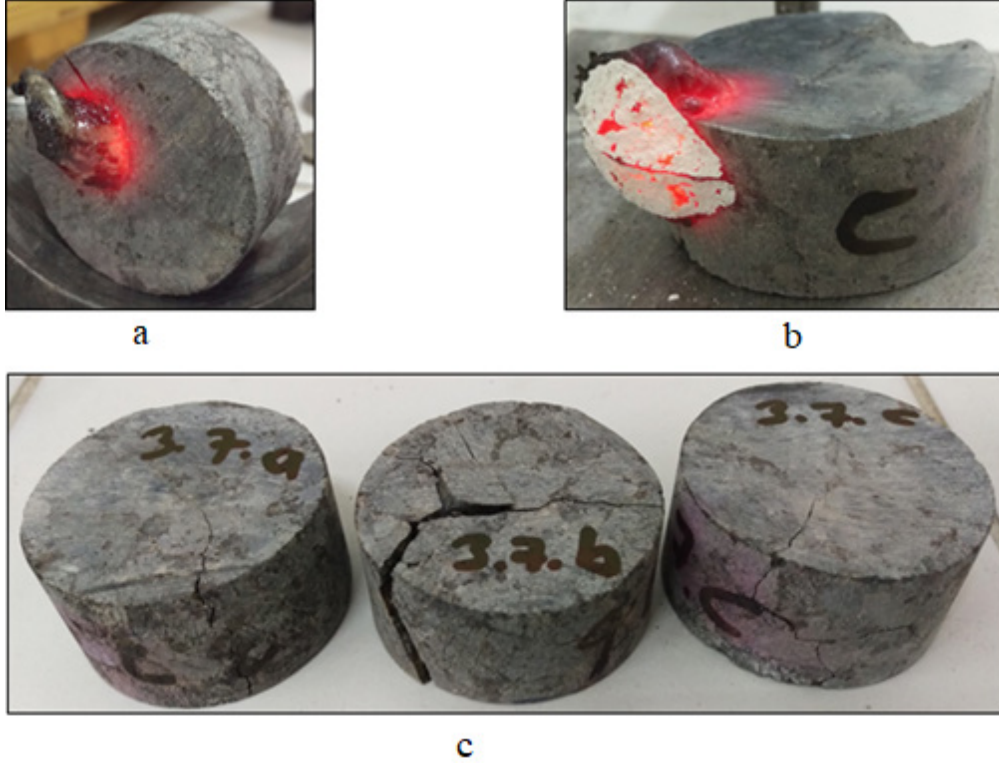
Şekil 5.1. 6 kW güçte ve 360 s maruz bırakma süresindeki uygulama sonrası Rosa Well granitine ait çatlama ve ergime.

Mikrodalgaya maruz bırakma sonrası bazı Jungle Green siyenit numunelerinde görülen çatlama ve ergimeler Şekil 5.2’de sunulmuştur. Bazı numunelerde sadece çatlama veya ergime görülürken bazılarında her ikisi de görülmüştür.

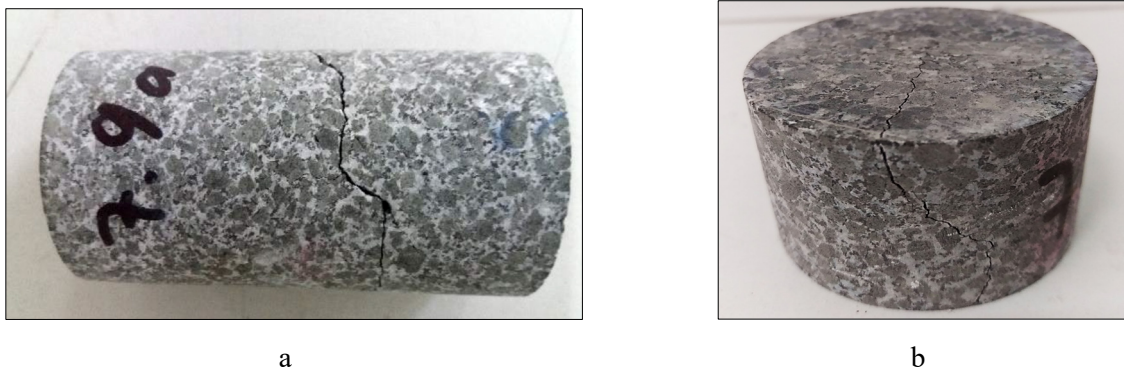


Şekil 5.2. Jungle Green siyenit numunelerinde 6 kW güç ve 360 s süre ile oluşan çatlama, metalik mineral ekstrüzyonu (a ve b) ve 180 s uygulanmasıyla oluşan ergime (c).

Mikrodalga enerjisi altında çatlayan ve ergiyen Volga Blue siyenitine ait bazı numunelerin fotoğrafları Şekil 5.3’de verilmiştir. Bazı numunelerde pek fazla çatlama görülmediği halde ergimeler ve metal ekstrüzyonları olmuştur. Bazı numunelerde ise ergime görülmeyip önemli derecede makro-çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. 6 kW güçte ve 120 s mikrodalga maruz bırakma süresinde Volga Blue siyenitinin disk numunesine ait çatlamlar ve metalik mineral ekstrüzyonları.



Şekil 5.4. 6 kW güç ile 180 s mikrodalga maruz bırakma süresinde (a) ve 180 s mikrodalga maruz bırakma süresinde (b) Nero Turka gabrosunda oluşan çatlamlar.

5.1. Mikrodalgaya Maruz Bırakma Sonrası Yüzey Sıcaklıklarının Değerlendirilmesi

Farklı mikrodalga güçleri için maruz bırakma süresinin bir fonksiyonu olarak numunelerin yüzey sıcaklıklarının değişimleri Şekil 5.5.-5.22.'de verilen grafiklerde görülmektedir. Grafiklerdeki noktalar üç numunenin ortalama değerini yansıtmaktadır. Çizelge 5.1'de ve Çizelge 5.2'de farklı mikrodalga gücü ve maruz bırakma süreleri için her bir kayaca ait farklı maruz bırakma süreleri için ortalama yüzey sıcaklıkları sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 5.1. Farklı mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresi için BTS numunelerinin yüzey sıcaklıkları.

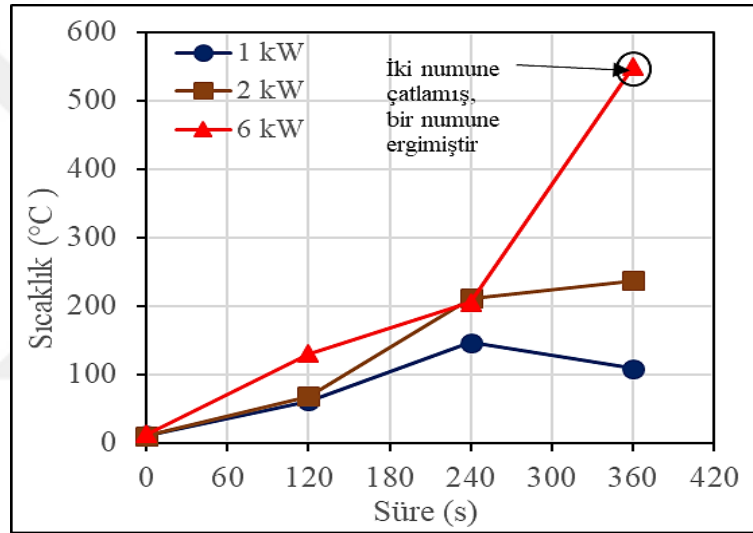
Kayaç no	Yüzey sıcaklığı (°C)								
	1 kW			2 kW			6 kW		
	60 s	120 s	180 s	60 s	120 s	180 s	60 s	120 s	180 s
1	37	53	73	34	65	64	53	134	164
2	26	51	78	33	49	50	45	87	106
3	161	319	435	208	372	381	573	815	-
4	34	43	52	32	35	43	53	84	120
5	37	47	57	39	73	69	117	116	419
6	30	42	71	70	62	83	148	158	197
7	110	184	244	203	268	358	328	572	643
8	45	43	82	31	57	51	106	135	217
9	59	87	155	53	93	86	188	190	329

Çizelge 5.2. Farklı mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresi için UCS numunelerinin yüzey sıcaklıkları.

Kayaç no	Yüzey sıcaklığı (°C)									
	1 kW			2 kW			6 kW			
	120 s	240 s	360 s	120 s	240 s	360 s	120 s	240 s	360 s	420 s
1	62	147	109	69	211	237	130	205	550	-
2	65	105	176	58	131	209	243	287	366	402
3*	67	99	186	111	196	279	327	409	575	-
4	71	113	189	121	156	156	167	271	320	-
5	67	93	141	72	166	195	170	322	476	-
6	75	130	97	159	307	186	267	353	413	-
7*	79	136	168	93	212	253	278	441	606	-
8	66	174	249	89	199	239	173	257	309	367
9	127	208	190	135	220	290	260	407	472	492

*Mikrodalga uygulama süreleri 60, 120 ve 180 s'dir.

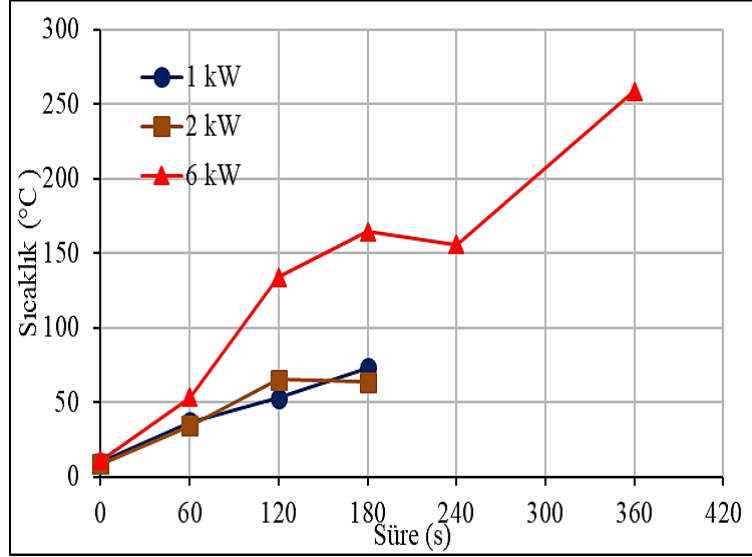
Rosa Well granitine ait UCS için hazırlanmış silindirik numunelerinin 6 kW güçte ve 360 s maruz bırakma süresindeki ortalama sıcaklıkları 550 °C'dir (Şekil 5.5). Numunelerden biri 670.5 °C sıcaklığa ulaşmış, çatlama ve ergime birlikte gözlemlenmiştir. Çatlama iki numunede görülmüştür. Her iki numunede de taneler arasından (intergranular) ve tane içlerinden (transgranular) çatlaklar oluşmuştur. Bu sonuçlar Walkiewicz ve ark. (1988) ve Kingman ve ark. (1998)'in elde etmiş oldukları sonuçlar ile benzerlik göstermektedir. Taneler arası çatlakların fazlalığı beklenirken ilginç bir şekilde tane içlerinde oluşan çatlaklar daha baskın halde görülmüşlerdir. 1 kW ve 2 kW'lık güçlerde ve benzer diğer koşullarda, sıcaklık genellikle 250 °C'nin altında seyretmiştir. 1 kW ve 2 kW'lık grafikler büyük ölçüde benzerlik göstermektedirler.



Şekil 5.5. Rosa Well granitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

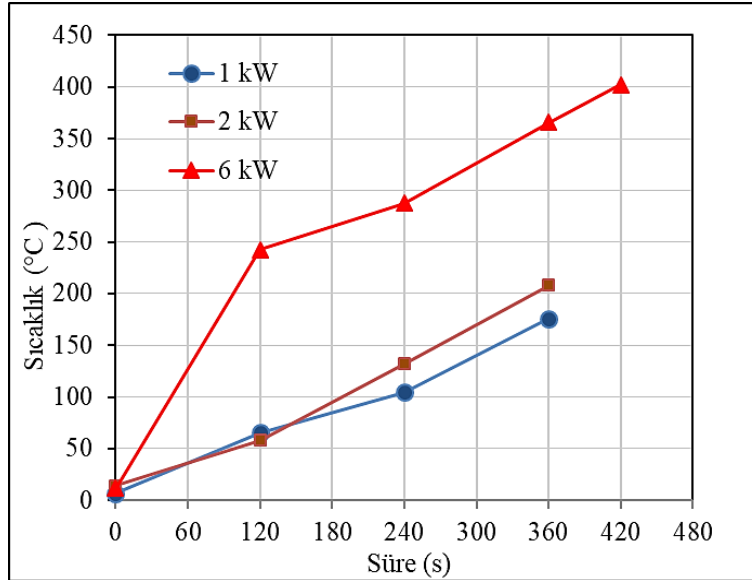
1 kW güç uygulamasında 240 s'ye göre 360 s'deki ısı değerinin düşük olması muhtemelen numunelerin heterojenliğinden kaynaklanmaktadır. Özellikle iri kristalli kayaçlarda bu tür durumlara rastlanmıştır. Bu tür kayaçlarda, aynı sürede deneye tabi tutulan üç numunenin sıcaklıklarında bile anormal farklar görülmüştür. Buradan, bir numunedeki mineral yüzdesinin o numunenin ısınma derecesini belirlediği sonucu çıkmaktadır.

Yine aynı tür granite ait BTS için hazırlanmış disk numune, 6 kW güçte ve 360 s'lik maruz bırakma süresinde yaklaşık 258 °C'ye ulaşmıştır. (Şekil 5.6.)

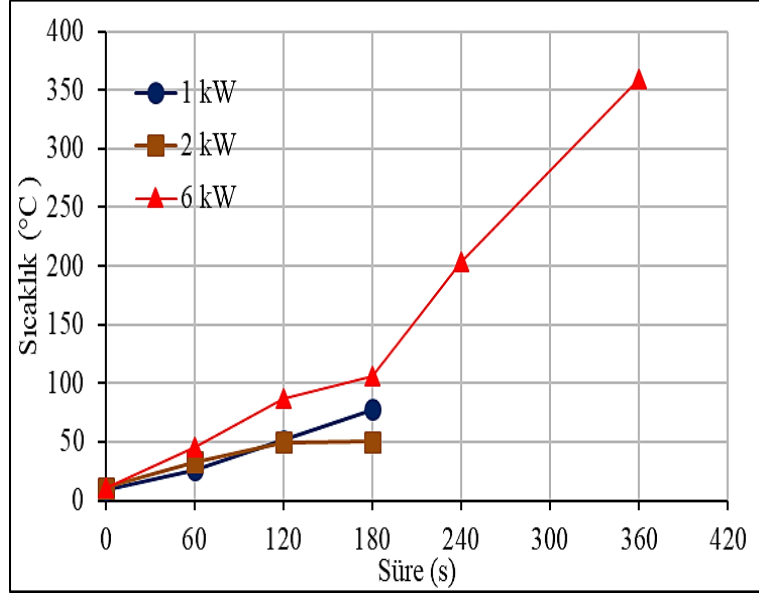


Şekil 5.6. Rosa Well granitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

Rosa Minho granitine ait silindirik ve disk numunelerin sıcaklıkları, 6 kW güçte ve 360 s'lik maruz bırakma süresinde 360 °C'ye yükselmiştir (Şekil 5.7 ve Şekil 5.8). Silindirik numunelerde, benzer koşullar altında 1 kW ve 2 kW'lık güçlerde sıcaklıklar yine benzerdir ve yaklaşık 200 °C olarak ölçülmüştür.

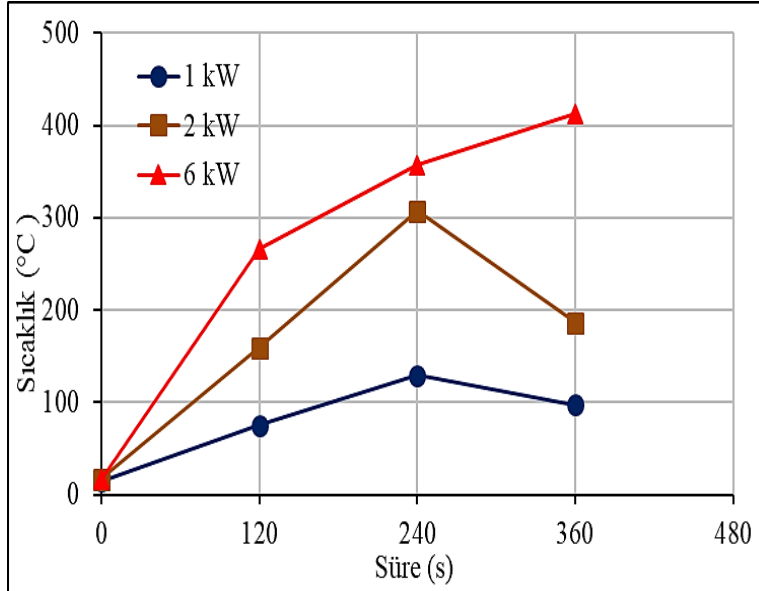


Şekil 5.7. Rosa Minho granitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

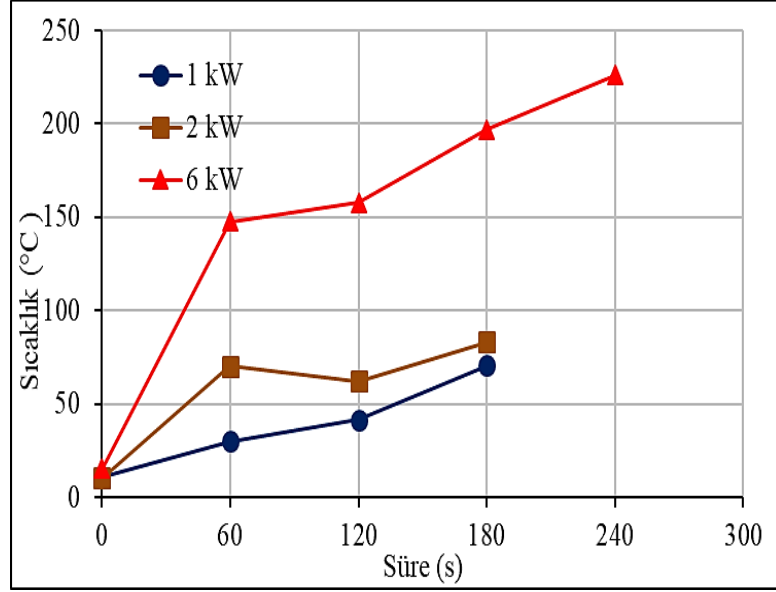


Şekil 5.8. Rosa Minho granitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

Steppe Yellow granitine ait silindirik numuneler, 6 kW güç ve 360 s maruz bırakma süresi sonunda 413 °C yüzey sıcaklığına ulaşmışlardır (Şekil 5.9). Yalnızca bir veri bu seriye anormallik arz etmiştir. Disk numuneler ise 6 kW güçte ve 240 s maruz bırakma süresinin ardından yaklaşık olarak 226 °C yüzey sıcaklığına ulaşmışlardır (Şekil 5.10).

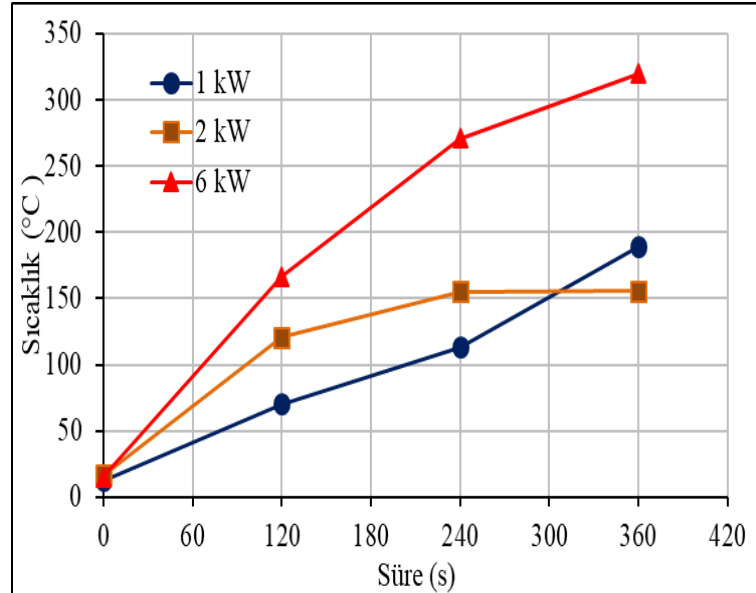


Şekil 5.9. Steppe Yellow granitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

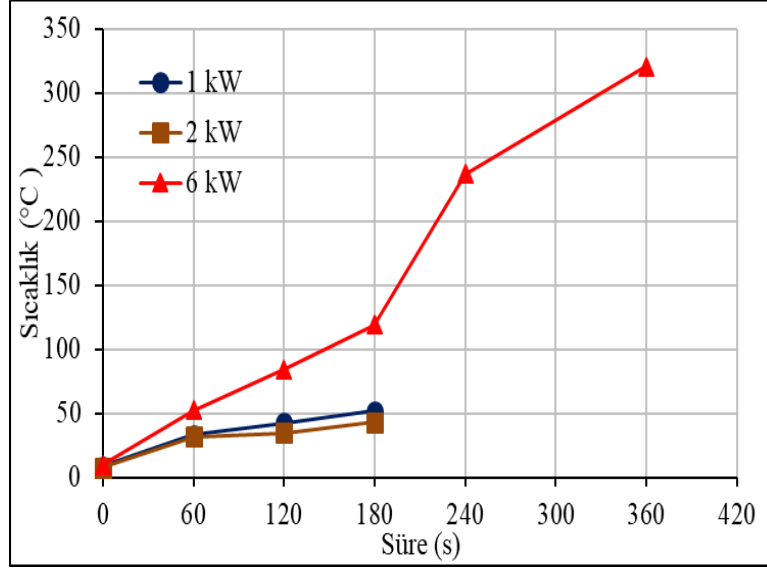


Şekil 5.10. Steppe Yellow granitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

Nublado granitine ait silindirik ve disk numunelerin sıcaklıkları, 6 kW güçte ve 360 s maruz bırakma süresinde 320 °C'ye çıkmıştır (Şekil 5.11 ve Şekil 5.12). 1 kW ve 2 kW'lık güçlere ait grafikler genel olarak benzerdir ve silindirik numuneler için sıcaklıklar; benzer koşullar altında genellikle 200 °C'nin altında kalmıştır.

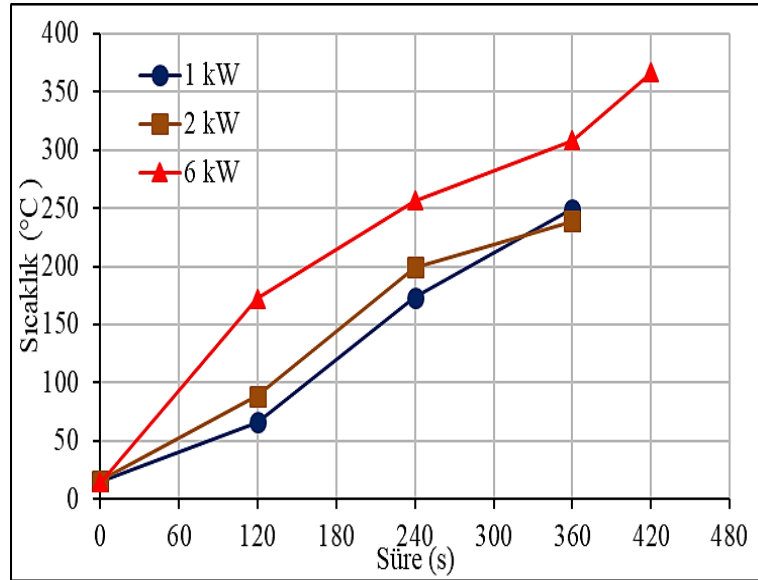


Şekil 5.11. Nublado granitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

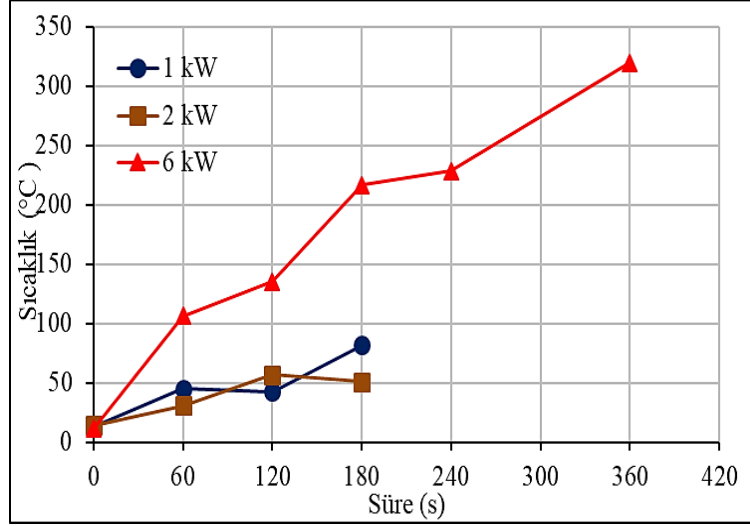


Şekil 5.12. Nublado granitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

Kırşehir yöresine ait Kaman Rosa granitine ait silindirik ve disk numuneler; 6 kW güçte ve 360 s maruz bırakma süresi neticesinde 360 °C sıcaklığa ulaşmıştır. (Şekil 5.13 ve Şekil 5.14). 1 kW ve 2 kW'lık güçlere ait grafikler benzerdir ve silindirik numuneler için sıcaklıklar; aynı koşullar altında yaklaşık olarak 250 °C'dir.

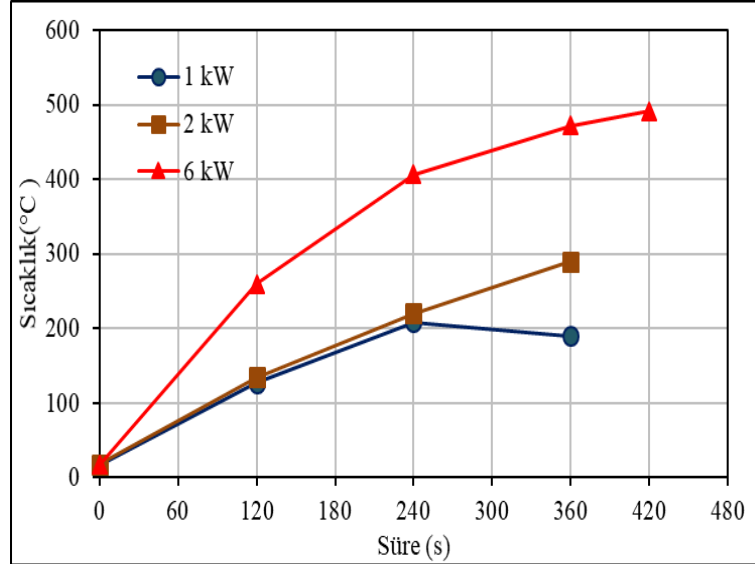


Şekil 5.13. Kaman Rosa granitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

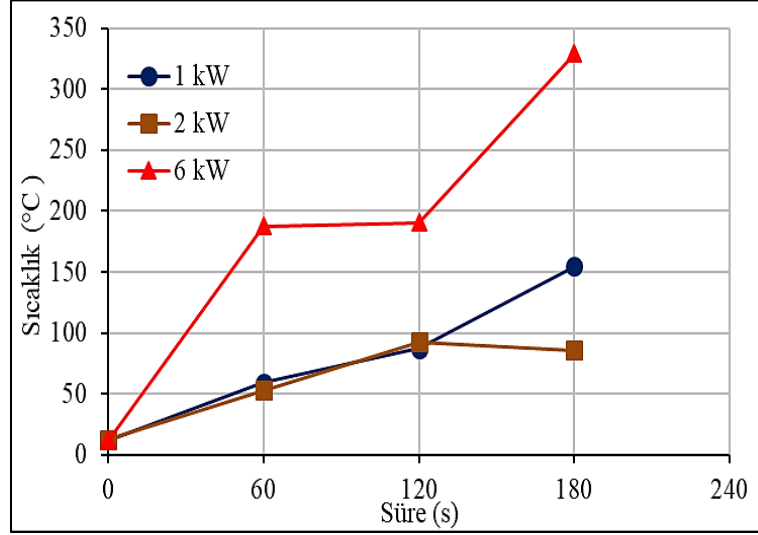


Şekil 5.14. Kaman Rosa granitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

Kozak Granit'ine ait silindirik numuneler 6 kW güçte ve 360 s maruz bırakma süresinde yaklaşık olarak 472 °C sıcaklığa ulaşmıştır (Şekil 5.15). Silindirik ve disk numunelerin sıcaklıkları 6 kW güç ve 180 s maruz bırakma süresinde yaklaşık olarak 325 °C'ye yükselmiştir (Şekil 5.15 ve Şekil 5.16). 1 kW ve 2 kW'lik güçlere ait grafikler hemen hemen benzerdir ve 360 s'lik maruz bırakma süresinde sıcaklıklar 200 °C ila 300 °C arasındadır.



Şekil 5.15. Kozak Graniti'nin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

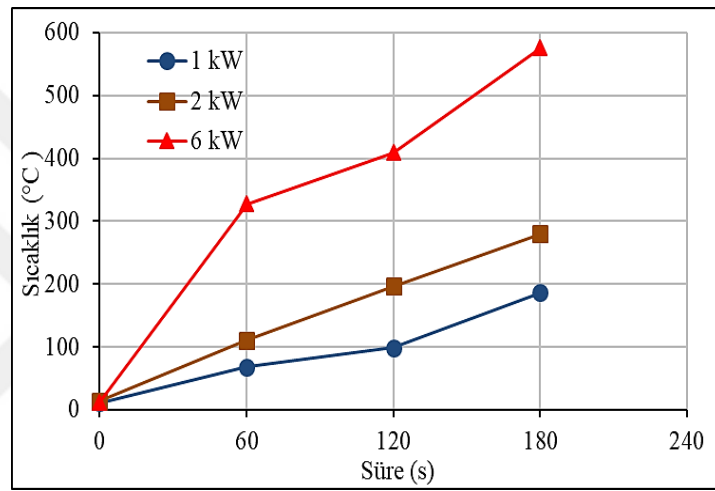


Şekil 5.16. Kozak Graniti'nin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

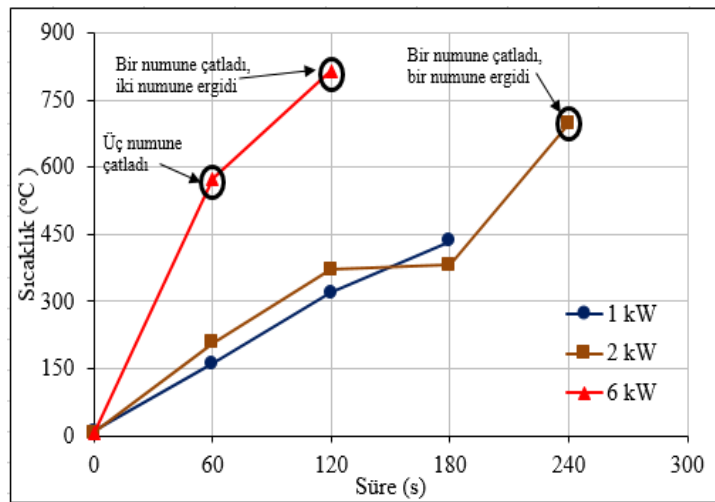
Granitlerin ana bileşenleri kuvars ve feldspat olup; bu mineraller aynı şartlar altında metalik mineral veya metalik element içeren minerallere göre mikrodalga enerjisini daha az soğurur (Chen ve ark., 1984; Walkiewicz ve ark., 1988). Ancak, bu araştırmada önceki çalışmalara kıyasla daha yüksek güçte mikrodalga enerjisi (6 kW) uygulandığından, 360 s maruz bırakma süresinde granitlerin yüzey sıcaklıkları 300 °C'nin üzerine çıkmıştır. Yukarıda bahsedildiği üzere, mikrodalga ile muamele sonrası yüksek yüzey sıcaklıkları (670.5 °C'nin üzerinde) gözlemlenen granitlerde bu gözlemin neden olduğu durum; bu tip granitlerin mikrodalga enerjisini fazlaca soğuran metalik mineraller barındırabilmesidir. Örneğin Rosa Well graniti, bu metalik minerallerden olan Titanit'ten %2 oranında içermektedir. Mikrodalga ile işlem sonrasında ikinci yüksek sıcaklığa ulaşmış (508.5 °C) bir başka granit olan Kozak Granit numuneleri de benzer biçimde bünyesinde demir, magnezyum ve alüminyum gibi metalik iyonlar barındıran amfibolden %13 oranında içermektedir. Amfibol, bünyesindeki metalik bileşenlerden dolayı mikrodalga enerjisini fazlaca soğuran minerallerden biridir.

Ukrayna yöresine ait Volga Blue siyenitlerine ait silindirik numuneler, 6 kW mikrodalga gücünde ve 180 s maruz bırakma süresinde 575 °C sıcaklığa ulaşmışlardır (Şekil 5.17). Bunun yanı sıra Volga Blue siyenitine ait disk numunelerin sıcaklıkları, 6 kW güçte ve 120 s'lik maruz bırakma süresinde 915 °C'nin üzerine çıkmıştır. Öyle ki, bazı numunelerde ergimelerle birlikte, metalik minerallerin numune dışına püskürdüğü gözlemlenmiştir (Şekil 5.3). 1 kW gibi nispeten düşük sayılabilecek bir güçte yapılan

mikrodalga muamelesinde bazı disk numunelerin sıcaklıklarının dakikalar sonra önemli seviyelere ulaştığı görülmüştür (Şekil 5.18). Siyenit örneklerinin (Volga Blue) sıcaklıklarının yüksek seviyelere çıkmasının bir nedeni, pirit (%3) ve manyetit (%2) gibi mikrodalga enerjisini kuvvetli bir biçimde soğuran metalik mineralleri içermesidir (Walkiewicz ve ark., 1988). Volga Blue siyeniti, metalik mineralleri her ne kadar düşük oranlarda muhteva etse de bu mineraller numune sıcaklığını önemli ölçüde arttırmaktadır. Ek olarak Volga Blue siyeniti, piroksen (%6) gibi metalik iyonları bünyesinde barındıran mineralleri de içermektedir. Piroksen de mikrodalga enerjisini fazlaca soğuran bir mineraldir (Hartlieb ve ark., 2016).



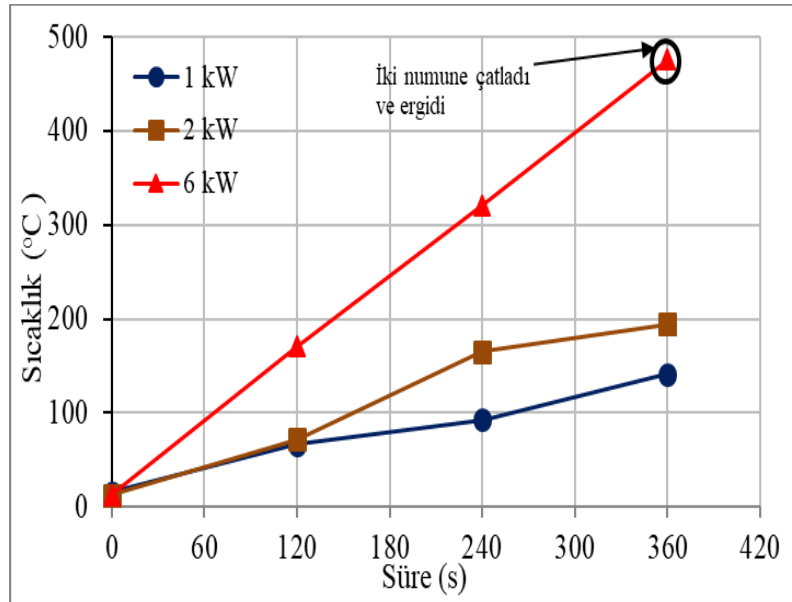
Şekil 5.17. Volga Blue siyenitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.



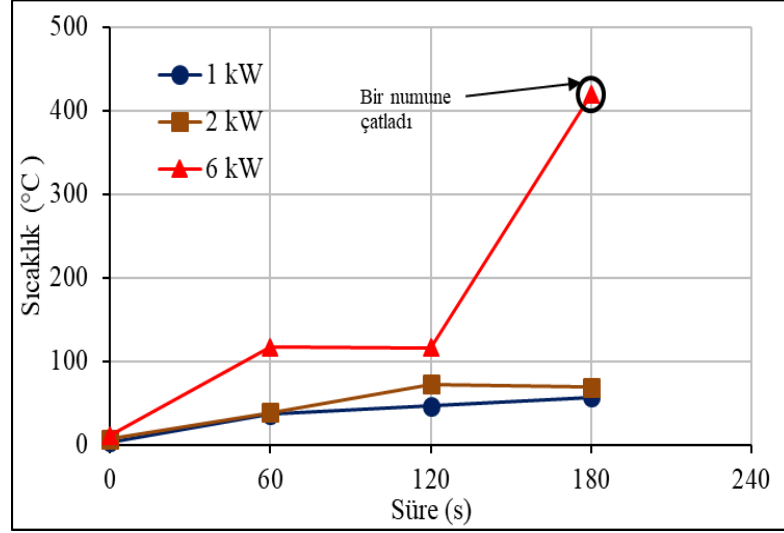
Şekil 5.18. Volga Blue siyenitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

Jungle Green siyenitine ait silindirik numunelerin yüzey sıcaklıkları 6 kW'lık güç ve 360 s'lik maruz bırakma süresinin ardından 476 °C' ye ulaşmıştır. İki numunenin sıcaklıklarının 545 °C 'ye ve 586 °C' ye ulaşmasıyla birlikte, çatlama ve ergime gözlemlenmiş; her iki örnekte de benzer şekilde metalik mineral ekstrüzyonu saptanmıştır (Şekil 5.2 ve Şekil 5.3). Jungle Green siyenitine ait 4 disk numunenin ortalama sıcaklığı 6 kW güç ve 180 s maruz bırakma süresi sonrasında 419 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 5.20). Bir numune 864.5 °C sıcaklığa ulaşmış ve ergimiştir.

Jungle Green siyenitinde gözlemlenen yüksek sıcaklıkların nedeni, bu numunelerin bünyesinde alüminyum, demir ve magnezyum gibi metalik elementleri barındıran turmalin minerali içermesindendir. Çizelge 4.3.'de gösterildiği üzere Jungle Green siyeniti %6 oranında turmalin ve %6 oranında garnet minerali içermektedir. Bazı numunelerin sıcaklıklarının nispeten düşük çıkmasının nedeni de bu mineralleri barındırmayan numuneler olmasından kaynaklanabilir. Öte yandan Jungle Green siyenitinin sıcaklığının, Volga Blue siyenitine göre az olması, %32 oranında nefelin minerali içermesinden kaynaklanabilir. Nefelin, mikrodalga enerjisini az soğuran bir mineraldir (Anonim, 1990).

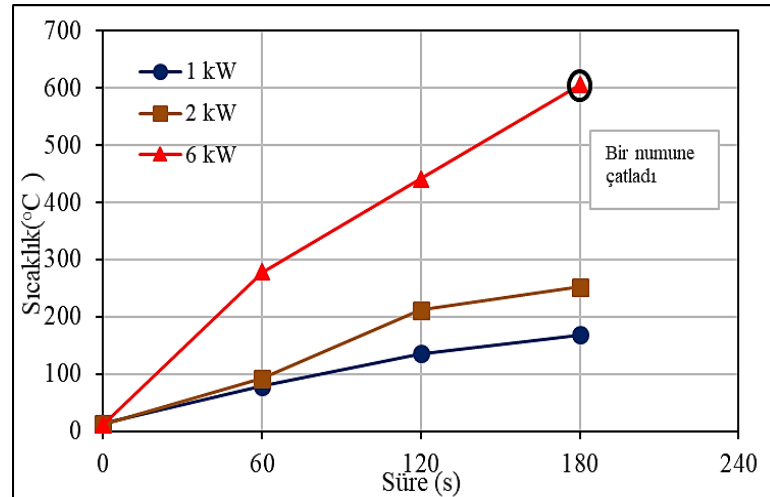


Şekil 5.19. Jungle Green siyenitinin UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.



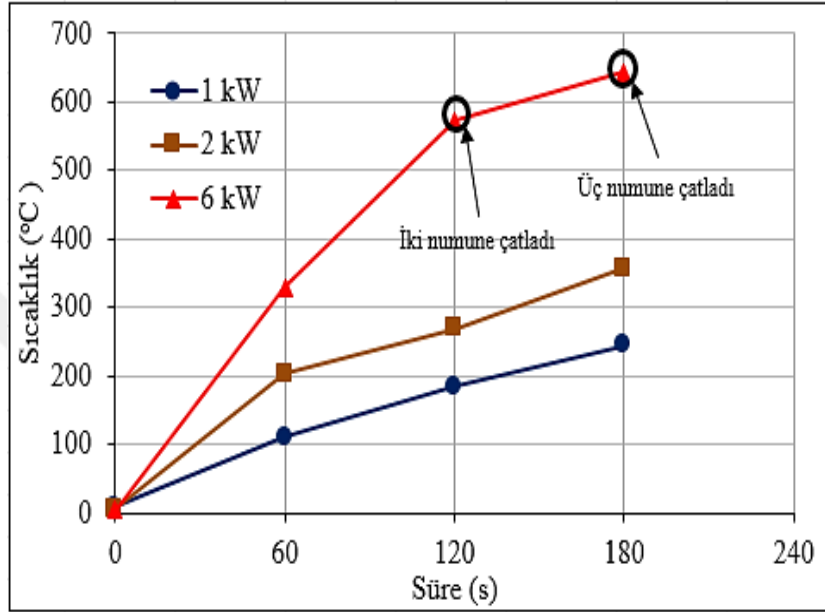
Şekil 5.20. Jungle Green siyenitinin BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

Nero Turka gabrosuna ait silindirik numunelerin 6 kW güç ve 180 s maruz bırakma süresinde yüzey sıcaklıkları 606 °C'ye ulaşmıştır. Bir numunenin sıcaklığı 667 °C'ye ulaşmış ve daha önce Şekil 5.4' de gösterildiği gibi numunede çatlaklar gözlenmiştir. 6 kW güç ve 120 s maruz bırakma süresinde, disk numunelerin ortalama sıcaklıkları 572 °C'dir (Şekil 5.21). Ek olarak iki numune, bahsedilen koşullar altında çatlamıştır. 6 kW güç ve 180 s maruz bırakma süresinde disk numunelerin ortalama sıcaklıkları 643 °C'dir ve bu koşullarda 3 numunede çatlamlar gözlemlenmiştir.



Şekil 5.21. Nero Turka gabrosunun UCS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

Nero Turka gabrosuna ait bazı disk numunelerde 1 kW güçte yapılan birkaç dakikalık mikrodalga maruz bırakma süresinde bile sıcaklıklar önemli seviyelere ulaşmıştır (Şekil 5.22). Mikrodalga muamelesinin ardından yüksek sıcaklıklara ulaşılmasının nedeni, Nero Turka gabrosunun %42 gibi yüksek oranlarda piroksen içermesinden dolayıdır. Piroksen mikrodalga enerjisini yüksek derecede soğuran bir mineraldir (Hartlieb ve ark., 2016).



Şekil 5.22. Nero Turka gabrosunun BTS deneylerindeki sıcaklıklarının farklı maruz bırakma sürelerine bağlı olarak çeşitli mikrodalga güçlerindeki değişim grafiği.

5.2. Mikrodalgaya Maruz Bırakma Sonrası Dayanım Değerlendirmesi

Farklı maruz bırakma süreleri için mikrodalga enerjinin artışına bağlı olarak UCS ve BTS değerlerinin değişimleri Şekil 5.23-5.40' da verilmiştir. Grafiklerdeki her bir veri noktası, üç numunenin ortalamasını yansıtmaktadır. Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4 her bir kayaç grubunun farklı mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresindeki dayanımlarını göstermektedir.

Çizelge 5.3. Farklı mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresi için BTS değerleri.

Kayaç no	BTS değerleri (MPa)								
	60 s			120 s			180 s		
	1 kW	2 kW	6 kW	1 kW	2 kW	6 kW	1 kW	2 kW	6 kW
1	8.14	7.62	7.39	6.75	7.33	6.45	7.74	6.90	6.57
2	9.61	9.10	8.44	9.29	7.02	7.80	9.37	8.47	8.23
3	6.57	6.31	Ç	5.65	5.29	Ç/E	5.53	5.13	-
4	7.49	6.54	7.34	6.66	6.45	6.82	6.88	6.86	6.65
5	12.04	11.43	10.51	10.22	11.47	8.36	10.90	11.36	5.67
6	8.78	6.69	7.38	8.32	9.28	7.77	7.70	6.98	6.62
7	9.11	9.57	9.58	9.26	9.71	8.41	8.38	8.47	Ç
8	4.30	3.72	3.87	3.41	4.31	3.36	3.90	3.34	3.34
9	9.08	8.63	7.19	9.60	9.81	8.14	8.56	7.10	6.20

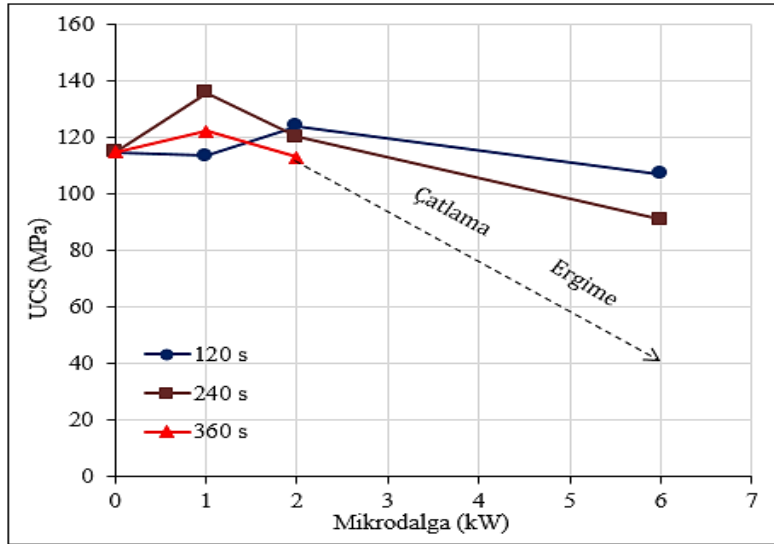
Ç: Çatlama, E: Ergime, Ç/E: Çatlama ve ergime

Çizelge 5.4. Farklı mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresi için UCS değerleri.

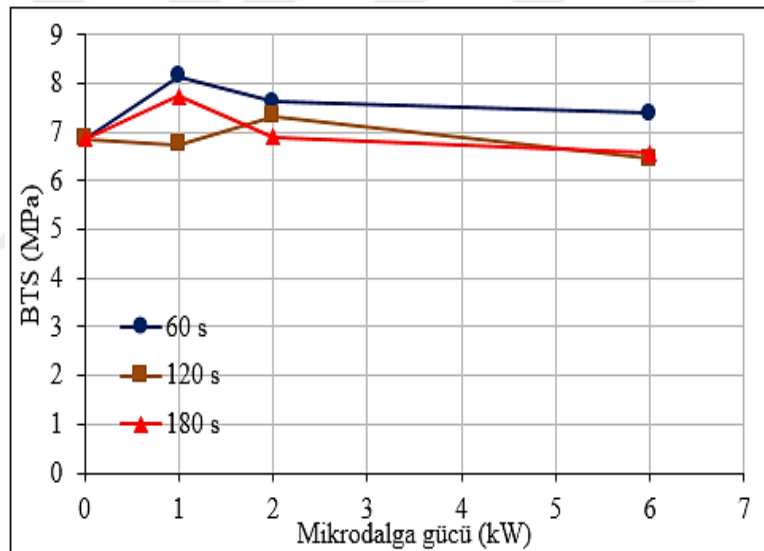
Kayaç no	UCS Değerleri (MPa)									
	120 s			240 s			360 s			420 s
	1 kW	2 kW	6 kW	1 kW	2 kW	6 kW	1 kW	2 kW	6 kW	6 kW
1	113.68	124.06	107.17	135.82	120.30	90.94	122.40	113.03	Ç/E	-
2	129.89	125.84	107.78	122.56	130.41	89.67	138.31	131.60	99.52	68.37
3*	91.18	91.52	84.29	72.35	86.84	71.06	67.12	60.62	57.75	-
4	112.58	99.40	121.18	112.41	118.53	112.38	105.76	125.83	111.63	-
5	199.84	115.45	153.58	206.39	146.02	151.27	143.80	129.70	112.17	-
6	128.42	114.88	112.51	108.08	111.57	101.33	114.24	62.09	84.07	-
7*	188.21	172.02	148.46	189.65	187.56	153.61	176.06	158.80	154.58	-
8	77.36	71.93	73.51	87.97	79.17	85.20	85.37	83.43	82.88	74.70
9	117.52	111.41	103.80	120.89	119.11	106.22	110.97	122.49	106.18	101.79

* Mikrodalga uygulama süreleri 60, 120 ve 180 s'dir.

Rosa Well granitinde 1 kW ve 2 kW'lık mikrodalga gücünde ve 120 s, 240 s, 360 s maruz bırakma sürelerindeki UCS değerlerinde herhangi bir düşüş olmamıştır (Şekil 5.23). 6 kW gücünde ve 120 s maruz bırakma süresinde UCS düşüşü nispeten azdır. Aynı gücünde ve 240 s maruz bırakma süresinde UCS düşüşü ise kayda değerdir. 6 kW güç ve 360 s maruz bırakma süresinde ise üç numunede çatlaklar gözlemlenmiştir ve bunlardan biri ergimmiştir (Şekil 5.1.). Öyle ki UCS değeri 115 MPa'dan 46.8 MPa'a düşmüştür. UCS değerindeki dayanım kaybı %59.3 oranına karşılık gelmektedir. BTS değerlerinde 180 s'ye kadar artırılan maruz bırakma süresinde 1 kW ve 2 kW gücünde herhangi bir düşüş gözlemlenmemiştir (Şekil 5.24.). 6 kW gücünde, 120 s ve 180 s maruz bırakma sürelerinde BTS düşüşü nispeten azdır. Fakat 240 s ve 360 s maruz bırakma sürelerinde BTS değeri düşüşü fazladır. BTS değerlerindeki dayanım kaybı oranı 360 s için %41.5'dir.



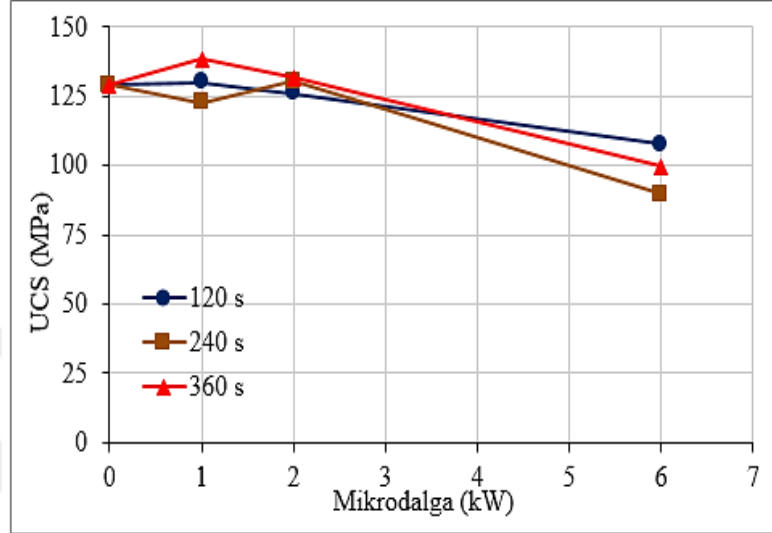
Şekil 5.23. Rosa Well granitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.



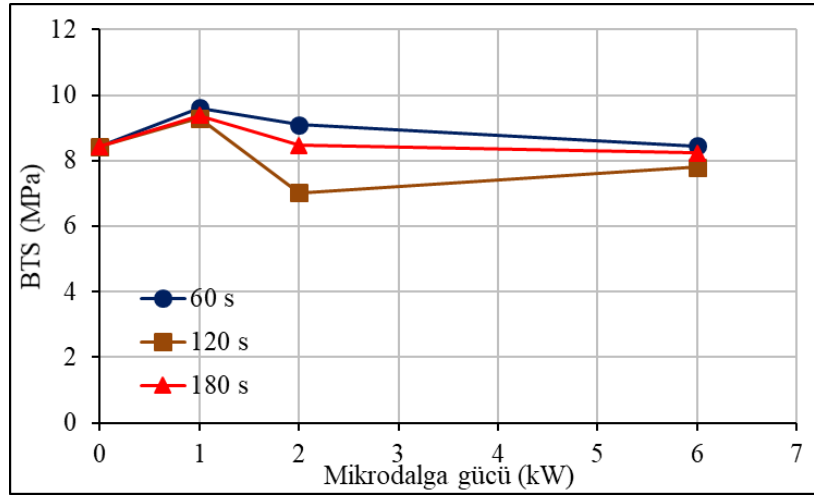
Şekil 5.24. Rosa Well granitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

Şekil 5.25’de görüldüğü üzere Rosa Minho graniti numunelerinin 1 kW ve 2 kW güçlerde 360 s maruz bırakma sürelerindeki UCS değerlerinde herhangi bir düşüş gözlemlenmemiştir. 6 kW güç ve 360 s için UCS düşüş değerleri nispeten artmıştır. 420 s için ise bu düşüşler önemli düzeydedir. 360 s maruz bırakma süresinde dayanım değeri 129.1 MPa’dan 99.5 MPa’a düşmüştür. Bu düşüş yaklaşık olarak %22.9’luk değer kaybına tekabül etmektedir. 420 s’lik maruz bırakma süresinde ise UCS dayanım değeri 129.1 MPa’dan 68.4 MPa’a düşmüştür. Bu dayanım düşüşü ise yaklaşık olarak %47’lik

bir orana denk gelmektedir. BTS numunelerinin 1 kW, 2 kW ve 6 kW güçteki mikrodalga deneylerinde 240 s'e kadar maruz bırakma sürelerinde kayda değer bir düşüş gözlemlenmemiştir (Şekil 5.8). Fakat 6 kW güç ve 360 s maruz bırakma süresindeki dayanım kaybı %29 oranındadır.



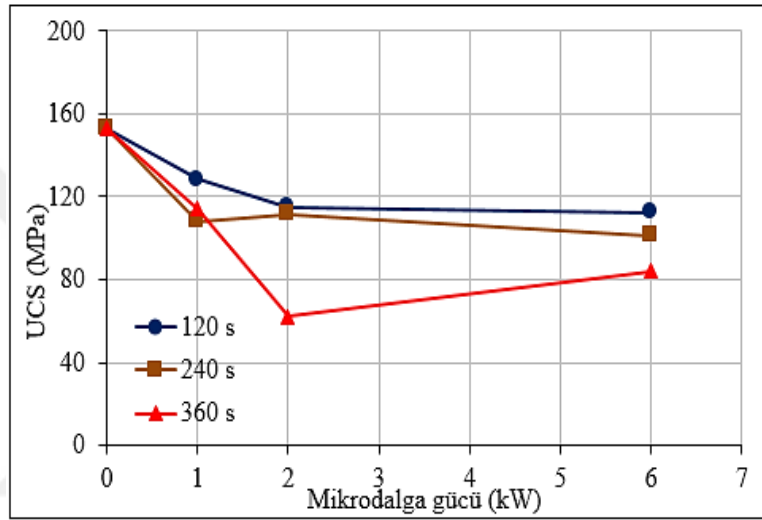
Şekil 5.25. Rosa Minho granitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.



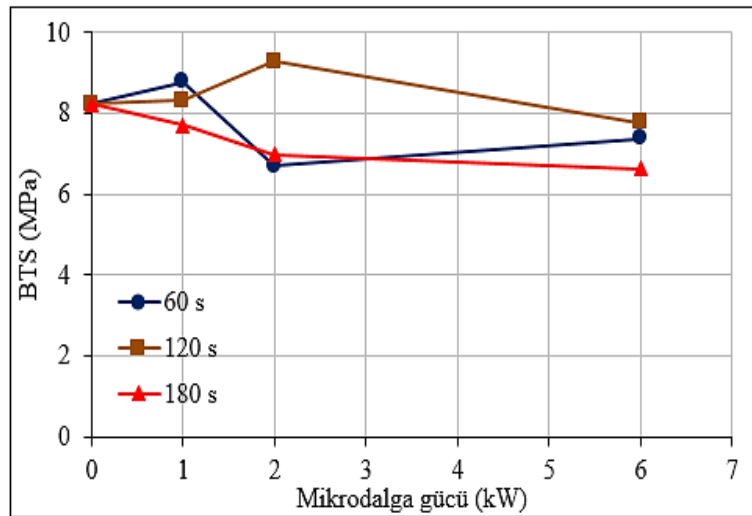
Şekil 5.26. Rosa Minho granitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

Steppe Yellow granitinin 1 kW, 2 kW mikrodalga güçlerinde ve 120 s 240 s 360 s maruz bırakma sürelerindeki UCS değerlerinde önemli düşüşler gözlemlenmiştir (Şekil 5.27.). Fakat UCS değerlerindeki dayanım düşüşü, 6 kW güçteki maruz bırakma sürelerinde

devam etmemiştir. UCS değeri 6 kW güç ve 360 s maruz bırakma süresinde 152.7 MPa'dan 84.1 MPa'a düşmüştür. Bu düşüş yaklaşık olarak %44.9'luk bir orana denk gelmektedir. BTS dayanımında 120 s maruz bırakma süresine kadar 1 kW, 2 kW ve 6 kW'de kayda değer bir düşüş gözlemlenmemiştir (Şekil 5.28). Muhtemelen bu durum numunelerin homojen olmamasından dolayıdır. Fakat 180 s'deki maruz bırakma süresinde, mikrodalga gücünün artmasıyla birlikte BTS değerinde kararlı bir düşüş gözlemlenmiştir. 6 kW mikrodalga gücü ile 240 s maruz bırakma süresinde dayanım kaybı artmıştır ve %26 olarak ölçülmüştür.

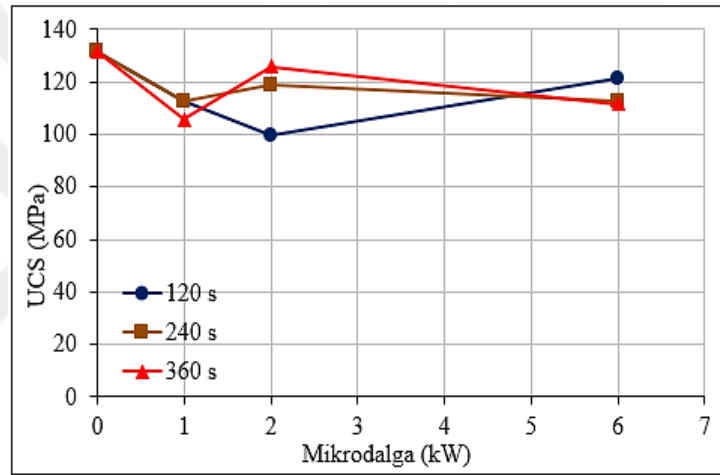


Şekil 5.27. Steppe Yellow granitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

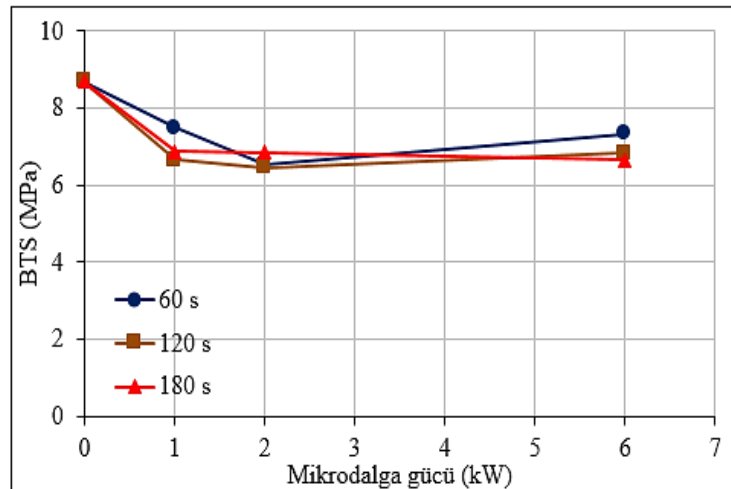


Şekil 5.28. Steppe Yellow granitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

Nublado granitinde 1 ve 2 kW'lık güçlerde ve 120 s, 240 s, 360 s'lik maruz bırakma sürelerindeki UCS değerlerinde göze çarpan bir düşüş gözlemlenmiştir (Şekil 5.29). 6 kW güçteki UCS dayanım kaybı, 1 kW ve 2 kW'deki dayanım kaybından çok fazla değildir. UCS değeri; 6 kW güçte, 360 s maruz bırakma süresinde 131.5 MPa'dan 111.6 MPa'a düşmüştür ve bu yaklaşık %15.1'lik bir orana tekabül etmektedir. 1, 2, ve 6 kW mikrodalga güçlerinde 180 s maruz bırakma süresine kadar yapılan BTS değerlerinde önemli dayanım düşüşleri vardır (Şekil 5.29). 6 kW güçteki BTS dayanım düşüşü, 1 kW ve 2 kW'deki dayanım düşüşünden fazla değildir. Dayanım kaybı, 6 kW güçte ve 240 s maruz bırakma süresinde yaklaşık olarak %30'dur. 6 kW güç ile 240 s ve 360 s sürelerindeki dayanım kaybı, daha kısa maruz bırakma sürelerindekiyle göre çok fazla değildir.

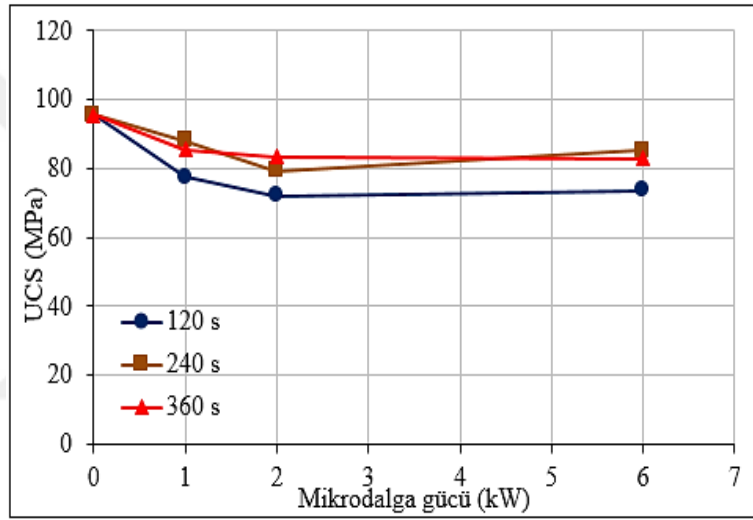


Şekil 5.29. Nublado granitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

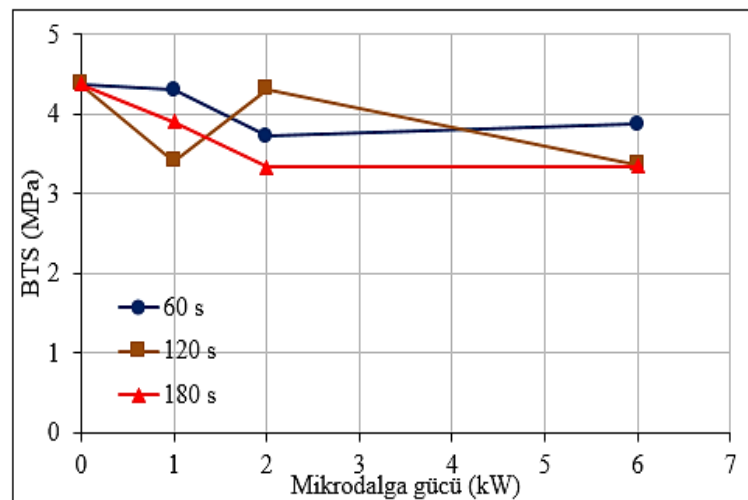


Şekil 5.30. Nublado granitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

Kaman Rosa granitinde 1 kW, 2 kW güçler ile 120 s, 240 s, 360 s maruz bırakma sürelerindeki UCS değerlerinde önemli düşüşler mevcuttur (Şekil 5.31). 6 kW mikrodalga gücündeki UCS değerleri düşüşü, 1 kW ve 2 kW'a göre çok fazla değildir. Esas düşüş 120 s'lik maruz bırakma süresinde gerçekleşmiştir. 6 kW güçte ve 120 s maruz bırakma süresinde UCS değeri 95.5 MPa'dan 73.5 MPa'a düşmüştür. Bu düşüş yaklaşık olarak %23'lük bir orana denk gelmektedir. 1 kW, 2 kW, 6 kW güçlerde ve 180 s'ye kadar olan maruz bırakma sürelerinde BTS değerlerinde genellikle önemli düşüşler gözlemlenmiştir (Şekil 5.32). Fakat 6 kW güçteki BTS dayanım düşüşü, 1 kW ve 2 kW güçlere nazaran çok fazla değildir. 6 kW güçte ve 240 s ile 360 s maruz bırakma sürelerindeki dayanım kaybı, daha düşük maruz bırakma sürelerine göre pek fazla değişmemektedir.

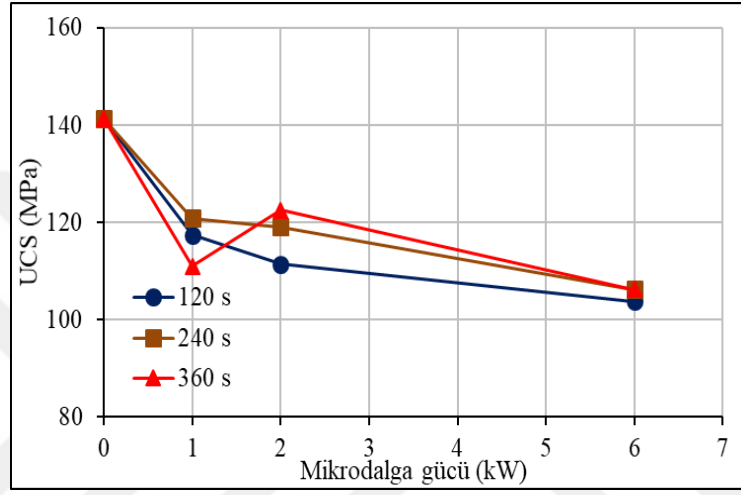


Şekil 5.31. Kaman Rosa granitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

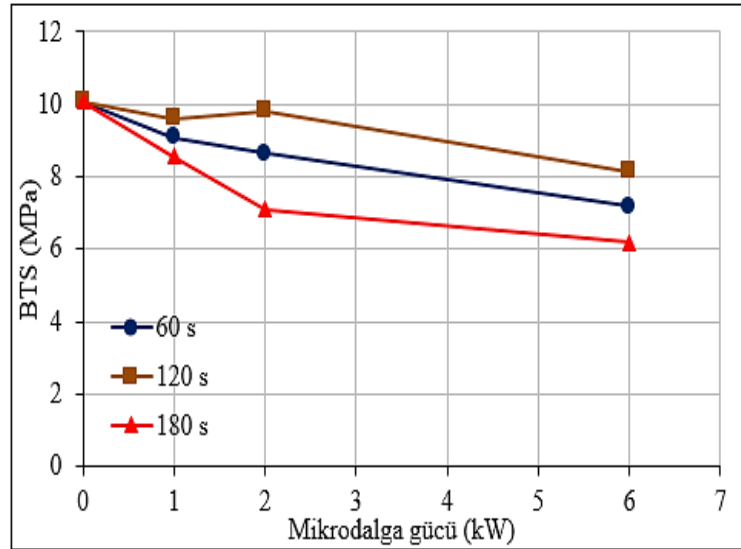


Şekil 5.32. Kaman Rosa granitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

Şekil 5.33’de gösterildiği üzere Kozak granitinin UCS değerlerinde 1, 2 ve 6 kW güçlerde 120 s, 240 s ve 360 s’lik maruz bırakma sürelerinde önemli düşüşler gözlemlenmiştir. 6 kW güçte 360 s maruz bırakma süresindeki dayanım düşüşü, düşük maruz bırakma sürelerine kıyaslandığında çok fazla değişmemiştir. UCS dayanımı 141.3 MPa’dan 106.2 MPa’a düşmüştür. Bu düşüş yaklaşık olarak %24.9’luk bir kayıp demektir. 60 s, 120 s ve 180 s maruz bırakma sürelerinde, mikrodalga gücünü arttırdıkça BTS değerlerinde ciddi düşüşler gözlemlenmiştir. 6 kW güç ve 180 s maruz bırakma süresindeki dayanım kaybı %38.4’tür.

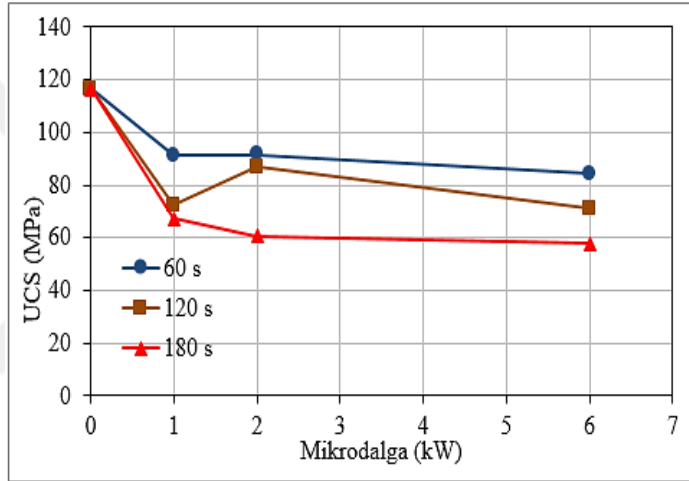


Şekil 5.33. Kozak Granit’e ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

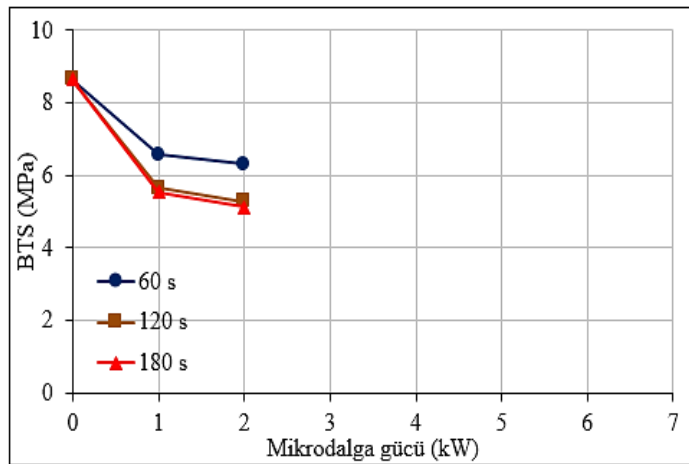


Şekil 5.34. Kozak Granit’e ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

Volga Blue siyenitine ait numunelerin UCS değerlerinde; 1 kW güçte ile 60 s, 120 s ve 180 s maruz bırakma sürelerinde önemli düşüşler söz konusudur (Şekil 5.35). UCS değerlerindeki bu düşüş 2 kW ve 6 kW mikrodalga güçlerinde tüm süreler boyunca azalarak olsa da devam etmiştir. 6 kW güçte ve 180 s maruz bırakma süresinde Volga Blue siyenitine ait UCS değerinde 116.3 MPa'dan 57.7 MPa'a düşerek, % 50.4 gibi büyük bir oranda dayanım kaybı gerçekleşmiştir. BTS değerlerine ait önemli düşüşler 1 kW gibi nispeten düşük bir güçte ve 60 s, 120 s, 180 s maruz bırakma sürelerinde gözlenmiştir (Şekil 5.36). İlgili dayanım düşüşü 2 kW'lık güçte de gözlenirken, 6 kW'lık mikrodalga gücünde çatlamlar ve ergimeler tespit edilmiş (Şekil 5.3 ve Şekil 5.5) ve bu numunelerde BTS deneyi yapılmamıştır. BTS değeri 2 kW güçte ve 180 s maruz bırakma süresinde 8.6 MPa'dan 5.1 MPa'a düşmüştür. Bu düşüş % 40.5'lik bir orana tekabül etmektedir.

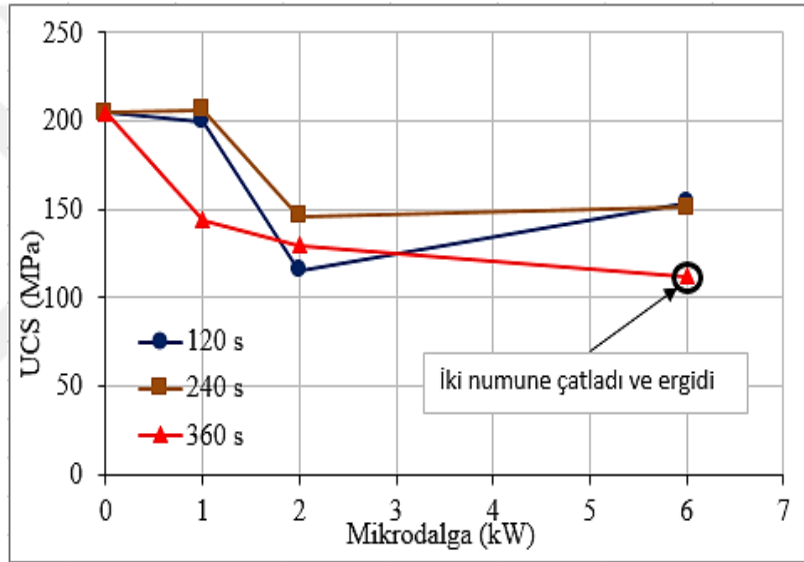


Şekil 5.35. Volga Blue siyenitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.



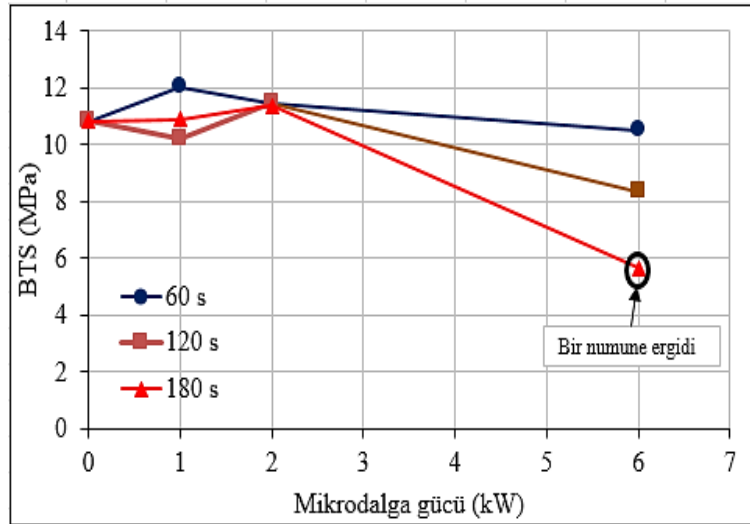
Şekil 5.36. Volga Blue siyenitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

Şekil 5.37’de gösterildiği üzere Jungle Green siyenitinde; 1 kW güç ile 120 s ve 240 s maruz bırakma sürelerinde önemli bir düşüş gözlenmemiştir. Fakat 2 kW güçte ve benzer maruz bırakma sürelerinde dik düşüşler söz konusudur. Fakat 6 kW güç ile 360 s maruz bırakma süresindeki UCS değerleri, nispeten daha düşük maruz bırakma süreleriyle kıyaslandığında pek bir değişim görülmemiştir. Öte yandan 360 s maruz bırakma süresi için 1 kW’lık güçte UCS değeri için herhangi bir düşüş olmamıştır ve 2 kW ile 6 kW güçlerde istikrarlı bir düşüş gözlemlenmiştir. İki numune, 6 kW güçte ve 360 s maruz bırakma süresinde çatlamış ve ergimiştir (Şekil 5.2 ve Şekil 5.3). UCS değeri 204.9 MPa’dan 112.2 MPa’a düşerek, yaklaşık %45.3 oranında bir dayanım kaybı elde edilmiştir.



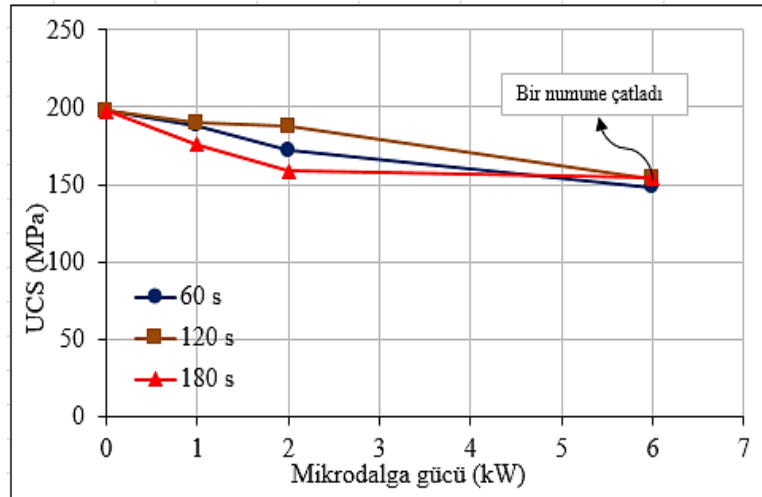
Şekil 5.37. Jungle Green siyenitine ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

Jungle Green siyenitine ait BTS numunelerinde 1 kW ve 2 kW güçteki tüm maruz bırakma süreleri için herhangi bir dayanım kaybı görülmemiştir (Şekil 5.38). Benzer şekilde 6 kW güç ile 60 s maruz bırakma süresi için de herhangi bir dayanım kaybı görülmemiştir. Fakat 6 kW için yapılan 120 s ve 180 s maruz bırakma süreleri için keskin düşüşler söz konusudur. 6 kW mikrodalga gücü ve 180 s maruz bırakma süresinde BTS değeri 10.8 MPa’dan 5.7 MPa’a düşerek, %47.6 oranında bir dayanım kaybı elde edilmiştir.



Şekil 5.38. Jungle Green siyenitine ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

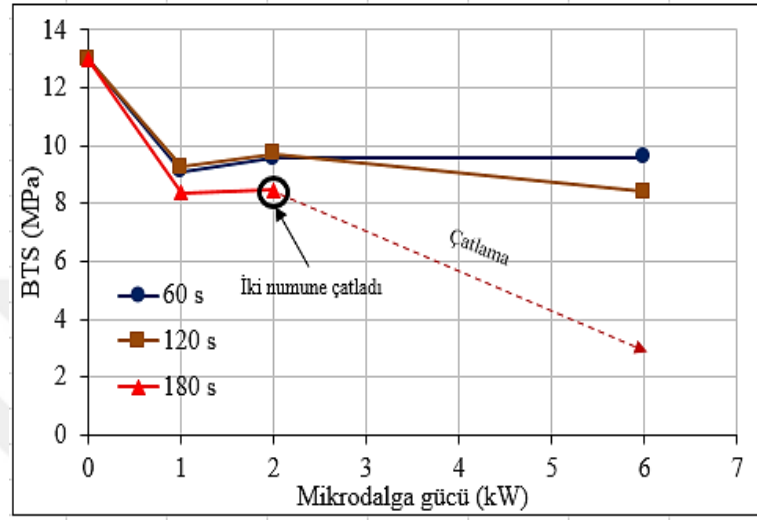
Nero Turka gabrosuna ait UCS değerlerinde, tüm maruz bırakma zamanlarında güç artışıyla orantılı olarak dayanım düşüşleri olmuştur (Şekil 5.39). 6 kW güçte ve 180 s maruz bırakma süresinde UCS değeri 197.7 MPa'dan 154.8 MPa'a düşmüştür. Bu düşüş yaklaşık olarak %21.8'lik bir dayanım kaybına tekabül etmektedir. Bir numune 6 kW güçte ve 180 s maruz bırakma süresi neticesinde çatlamıştır.



Şekil 5.39. Nero Turka gabrosuna ait UCS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

Nero Turka türü gabroya ait BTS değerlerinde, 1 kW güç için tüm maruz bırakma sürelerinde önemli düşüşler gözlenmiştir. 60 s ve 120 s'lik maruz bırakma süreleri için, 2

kW ile 6 kW mikrodalga güçlerindeki BTS değerleri ile 2 kW güçteki dayanım değerleri hemen hemen benzerdir. Fakat 2 numune, 2 kW güçte çatlamıştır. Ek olarak 3 numune de 6 kW güçte ve 180 s maruz bırakma süresinde çatlamışlardır (Şekil 5.40). 2 kW güç ile 180 s maruz bırakma süresinde BTS değeri 13.0 MPa'dan 8.5 MPa'a düşerek, %34.8 oranında bir dayanım kaybı elde edilmiştir.



Şekil 5.40. Nero Turka gabrosuna ait BTS değerlerinin farklı maruz bırakma sürelerindeki mikrodalga güçlerinin bir fonksiyonu olarak değişimi.

Mikrodalgaya maruz bırakılan numunelerin yüzey sıcaklıklarının ve dayanım değerlerinin değerlendirildiği grafiklerde bazı verilerde dalgalanmalar veya tutarsızlıklar görülmektedir. Bu duruma iri tanelere sahip olan granit numunelerine ait grafiklerde daha çok rastlanmaktadır. Diğer yandan, her veri noktasına ait üç deney verilerinin standart sapmaları da yüksektir. Bu durumun numunelerin genelden ziyade kendi özel mineral içerik yüzdelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şöyle ki, aynı kayaca ait iki numunenin mineral yüzdeleri birbirlerinden farklı olduğunda, her bir numune farklı derecelerde ısınacaktır ve dayanım kayıpları da bu çerçevede farklı olacaktır.

Mikrodalga ile muamele neticesinde oluşan dayanım kayıpları genellikle mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresinin artışına bağlı olarak artmaktadır. Her bir kayaç için 6 kW güçte yapılan deneylerdeki dayanım kayıpları Çizelge 5.5'de özetlenmiştir. Granit numunelerinin 360 s maruz bırakma süresindeki UCS dayanım kaybı %13.2 ile %59.3 aralığındadır. Rosa Well graniti ile Steppe Yellow graniti, mikrodalga ile işleme tabi tutulmasının ardından yüksek dayanım kaybına uğramışlardır. Çünkü Rosa Well graniti

titanit minerali içermektedir. Titanit metalik bir mineraldir ve mikrodalga enerjisini soğurma kapasitesi yüksek olduğu için kolay ve fazlaca ısınır; bu da kayacın dayanımını doğrudan düşürür. Steppe Yellow graniti ise bünyesinde mikrodalga enerjisini iyi soğuran metalik iyonları barındıran amfibol, piroksen ve epidot minerallerini içerir. Bundan dolayı sıcaklığı bağıl olarak artar ve sonuç olarak dayanım kaybı da artar. Nublado ve Kaman Rosa granitlerinde düşük dayanım kayıpları elde edilmiştir. Çünkü bünyelerinde mikrodalga enerjisini iyi soğuran mineraller bulunmamaktadır. Granit numunelerinin UCS ve BTS dayanım kayıpları tutarlı değildir. Bunun nedeni muhtemelen her bir numunenin, içerdiği mineraller bakımından heterojen olmasıdır.

Çizelge 5.5. Mikrodalgaya maruz bırakılan numunelerde oluşan dayanım kayıpları.

Kayaç kodu	Kayaç	Dayanım azalması (%)		Kuvars ve Feldspat miktarı (%)
		UCS	BTS	
1	Granit (Rosa Well)	Çatlama ve ergime*	4**	71
2	Granit (Rosa Minho)	23*	2**	66
3	Siyenit (Volga Blue)	50**	Çatlama ve ergime**	71
4	Granit (Nublado)	15*	23**	62
5	Siyenit (Jungle Green)	45*	48**	43
6	Granit (Steppe Yellow)	45*	19**	79
7	Gabro (Nero Turka)	22**	Çatlama**	42
8	Granit (Kaman Rosa)	13*	24**	87
9	Granit (Kozak Granit)	25*	38**	69

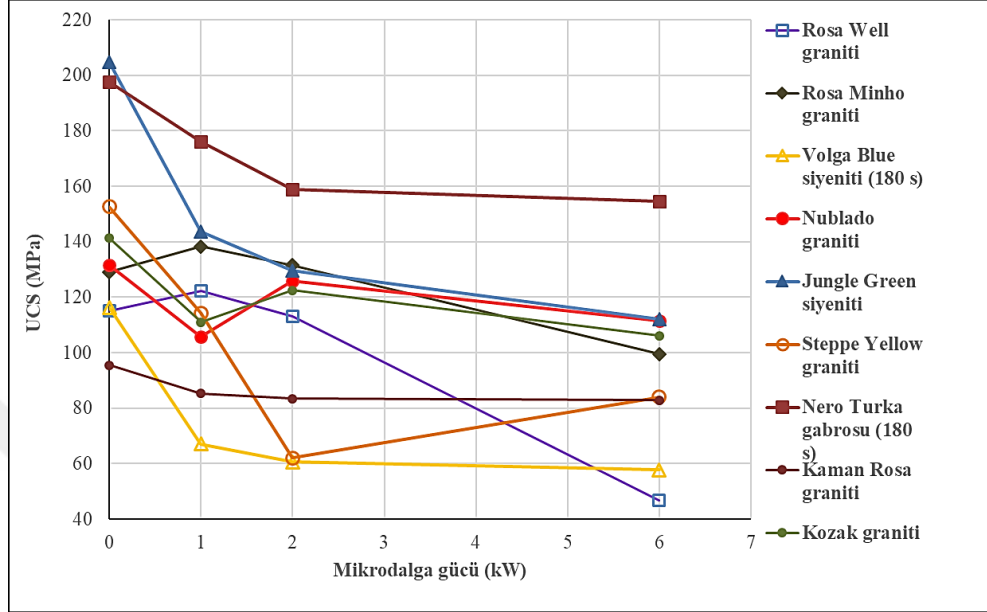
* 6kW, 360 s

** 6kW, 180 s

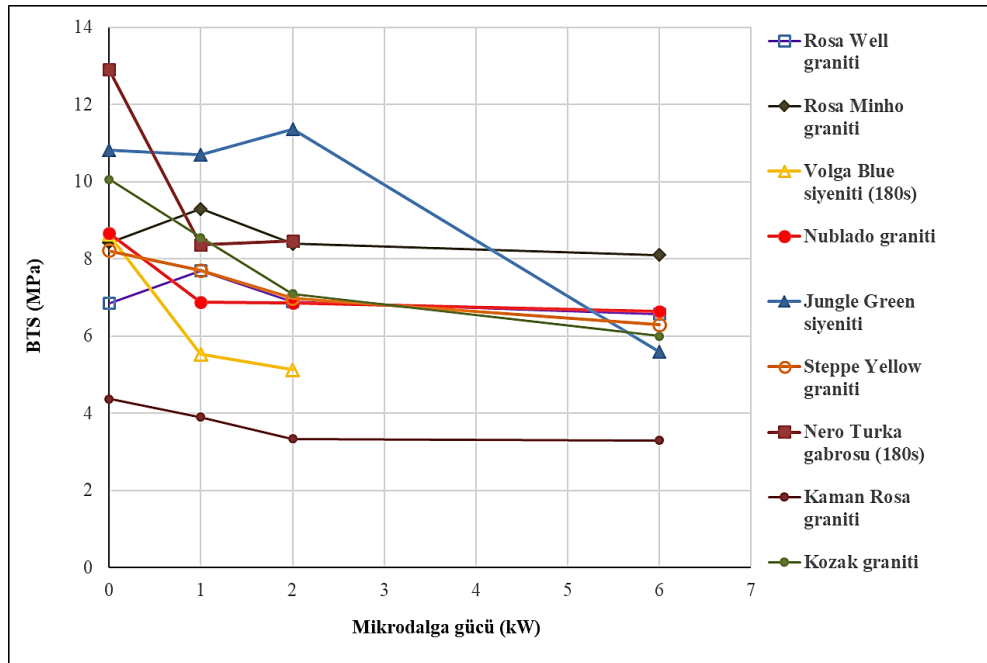
Volga Blue siyenitinin 180 s maruz bırakma süresinde UCS dayanım kaybı %50 oranındadır. BTS numuneleri ise 120 s maruz bırakma süresinde çatlamış ve ergimişlerdir. Bu durum muhtemelen numunelerin içeriğinde barındırdığı yüksek metalik mineral oranlarından dolayıdır. Jungle Green siyenitinin 360 s maruz bırakma süresindeki dayanım kaybı %50 oranındadır. Bazı numuneler bu maruz bırakma süresinde çatlamış ve ergimişlerdir. 180 s maruz bırakma süresinde BTS numunelerinin dayanım kaybı yaklaşık olarak %48'dir. Her iki siyenit tipinin mineral içeriklerinin birbirlerinden farklı olmasından dolayı, dayanım kayıpları da farklı olmaktadır.

Nero Turka gabrosunun 180 s maruz bırakma süresindeki dayanım kaybı %22'dir. Kayaca ait tüm BTS numuneleri, 180 s maruz bırakma süresinde çatlamıştır. Bundan dolayı Nero Turka kayacına ait BTS testleri tatbik edilememiştir.

Kayaç türleri için UCS ve BTS değerlerinin artan mikrodalga gücüyle değişimini toplu olarak Şekil 5.41 ve 5.42’de verilmiştir. Bu grafikler yardımıyla mikrodalga enerjisi altında kayaçların dayanımlarındaki değişimler karşılaştırmalı olarak incelenebilir.



Şekil 5.41. 360 s süreyle mikrodalgaya maruz bırakılan numunelerin UCS değerlerinin mikrodalga gücüyle değişimi

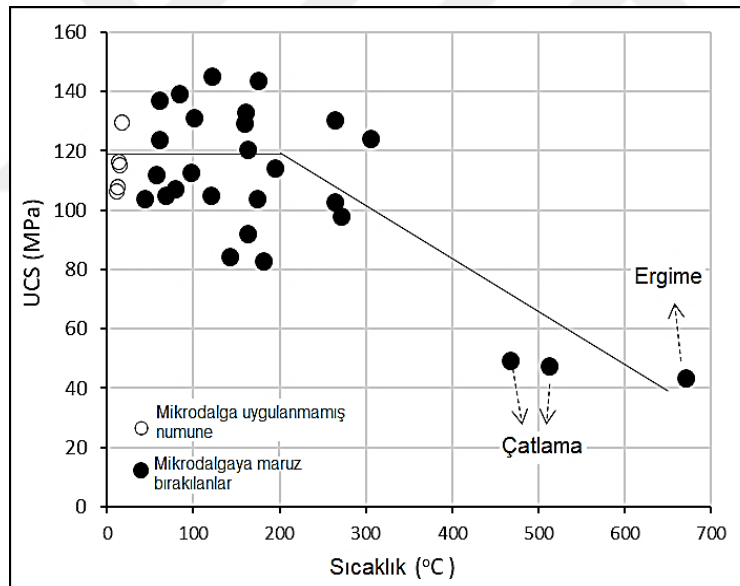


Şekil 5.42. 180 s süreyle mikrodalgaya maruz bırakılan numunelerin BTS değerlerinin mikrodalga gücüyle değişimi.

5.3. Mikrodalgaya Maruz Bırakma Sonrası Yüzey Sıcaklıkları ile Dayanım Arasındaki İlişkiler

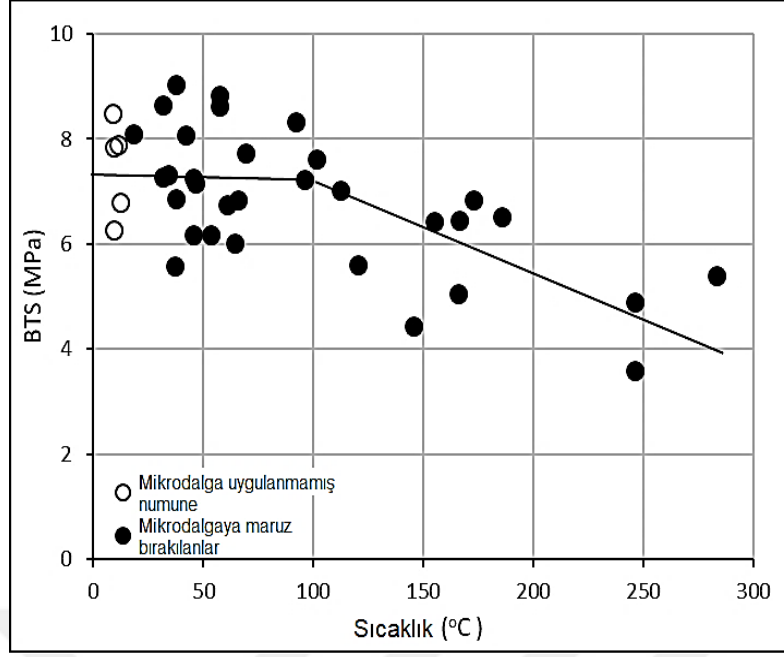
Deney yapılan numuneler üzerinde yüzey sıcaklığının dayanıma olan etkisi de incelenmiştir. Test edilen kayalarda UCS ve BTS dayanım değerleri, yüzey sıcaklığının bir fonksiyonu olarak Şekil 5.43 ile Şekil 5.60 arasındaki grafiklerde gösterilmiştir.

Rosa Well granitinin UCS değerleri Şekil 5.43’de gösterildiği üzere 200 °C’nin altında dağınık bir yapı göstermektedir. Bu durum, 200 °C’nin altındaki sıcaklıklarda UCS dayanım kaybı gözlenmeyebilir demektir. UCS dayanım kayıpları 200 °C’ye kadar belirli belirsiz seyrederken, 200 °C’ den sonra düşmeye başladığı ve 400 °C’ den sonra ise çok hızlı düştüğü söylenebilir. İki numunenin sıcaklığı 500 °C’nin üzerine çıkmıştır ve bu numunelerde Şekil 5.1’de gösterildiği üzere makro çatlaklar oluşmuştur. Bunun yanı sıra 670.5 °C sıcaklığa ulaşan bir numunede ergime gözlemlenmiştir (Şekil 5.1).



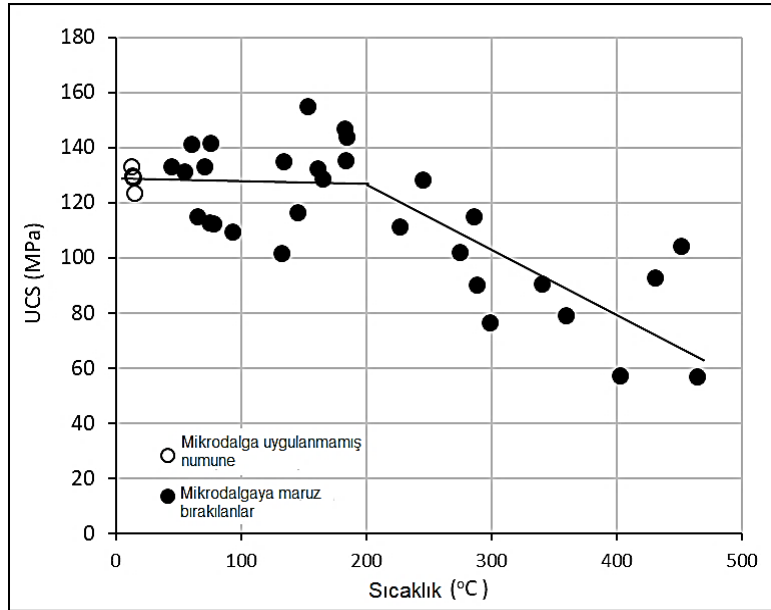
Şekil 5.43. Rosa Well graniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

Şekil 5.44’ de görüldüğü gibi Rosa Well granitinin BTS dayanım değerleri 100 °C’nin altında dağılmaktadır ve genellikle 100 °C’den sonra düşmektedir. Bu durum, 100 °C’nin altında BTS dayanım kaybının olmayabileceğini ima etmektedir. Çünkü BTS numunelerinin sıcaklıkları maksimum 283.3 °C’ye ulaşmıştır ve bu sıcaklıkta zaten bir çatlak yahut ergime gözlemlenmemiştir.

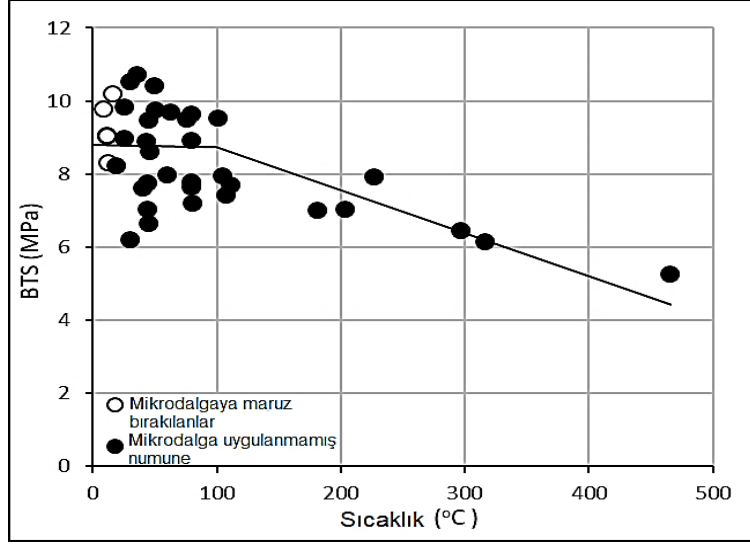


Şekil 5.44. Rosa Well graniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

Rosa Minho granitinde UCS ile sıcaklık arasındaki ilişki Şekil 5.45’ de verilmiştir. Veri noktaları göreceli olarak daha çok 200 °C’nin altında dağınıktır. UCS değerleri 200 °C’den sonra çok hızlı bir şekilde düşmektedir. BTS değerleri ise daha çok 100 °C’nin altında dağınık olup; bu sıcaklık değerinden sonra hızlıca düşüşe geçmektedir (Şekil 5.46).

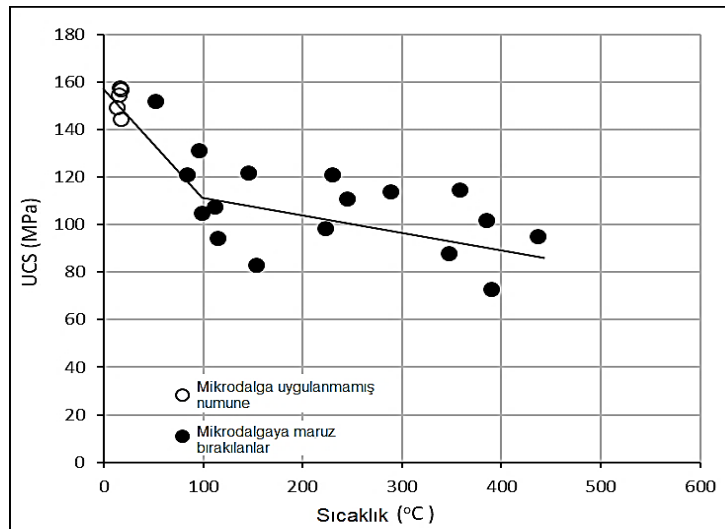


Şekil 5.45. Rosa Minho graniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

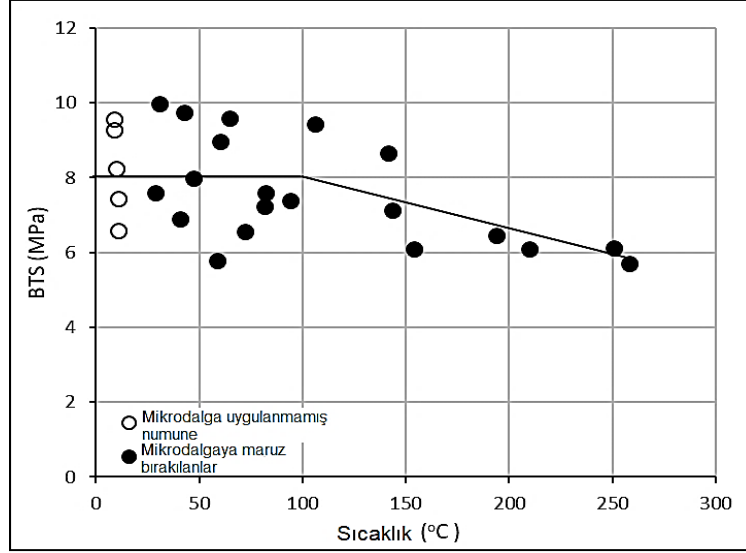


Şekil 5.46. Rosa Minho graniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

Steppe Yellow graniti UCS dayanımı ile sıcaklık arasındaki ilişki Şekil 5.47’te verilmiştir. UCS değeri 100 °C sıcaklık değerinde hızlıca düşmektedir. Bu düşüş 100 °C’den sonra azalan düşüş olarak devam etmektedir. UCS değerlerinin 100 °C’nin altında hızlıca düşmesinin nedeni, Steppe Yellow’un mikrodalga enerjisini iyi soğuran amfibol, piroksen ve epidot gibi minerallere sahip olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Dayanımın önemli derecede düşmesi için 100 °C’nin az olduğu eleştirisi yapılabilir. Ancak, daha önce bahsedildiği gibi, ölçülen sıcaklıklar yüzey sıcaklıkları olup; iç sıcaklıkların en az iki kat yüksek olabildiği hatırlanmalıdır. İlgili kayaca dair BTS değerleri ise daha çok 100 °C’nin altında kararsızdır ve bu sıcaklık değerinden sonra düşmeye eğilim göstermektedir (Şekil 5.48).

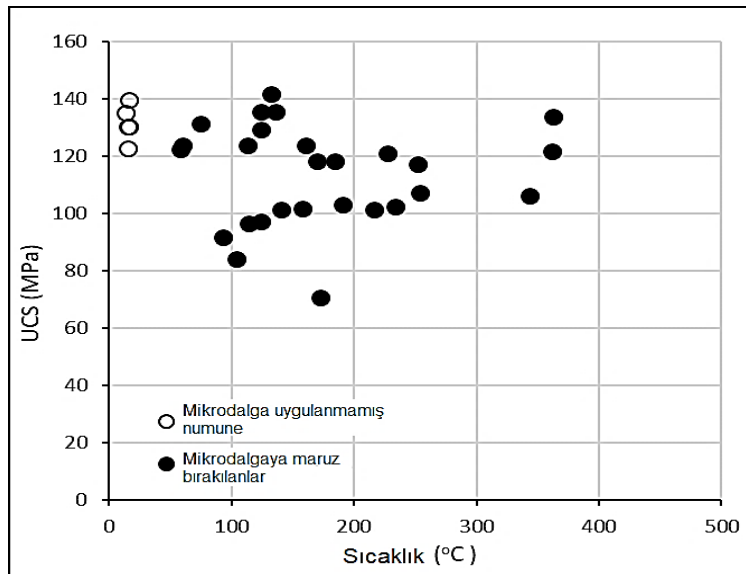


Şekil 5.47. Steppe Yellow graniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

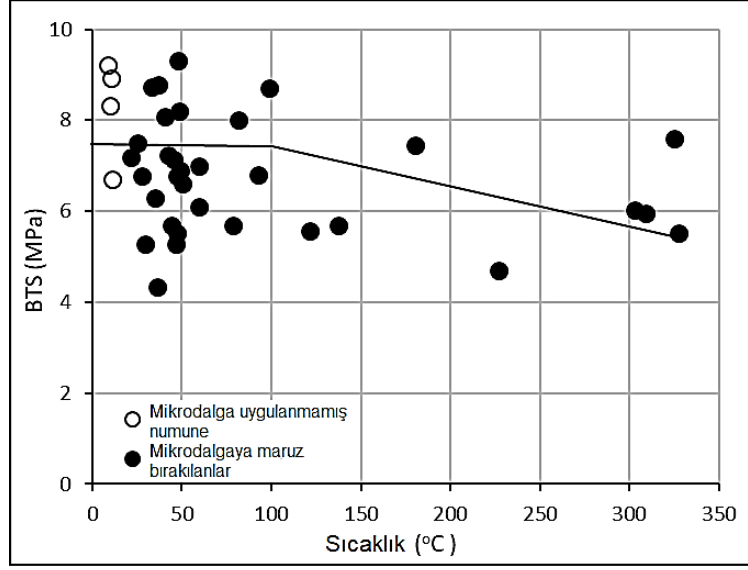


Şekil 5.48. Steppe Yellow graniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

Nublado graniti için UCS değerleri ile sıcaklık değerlerinin korelasyonu Şekil 5.49’de sunulmuştur. Veriler epeyce dağınık haldedir ve bu iki parametre arasında bir ilişki kurulamamıştır. Yorum yapmak oldukça zor görünmektedir. Fakat UCS değerleri daha çok 200 °C’nin altındaki sıcaklıklarda dağınıklardır. Muamele edilen UCS numunelerinin, işlem görmemiş numunelere nazaran çok az bir UCS düşüşü yaşadıkları söylenebilir. Şekil 5.50’de görüldüğü gibi BTS değerlerinin dağınıklığı, 100 °C’nin altında daha fazladır. 100 °C’den sonraki sıcaklıklarda BTS değerleri dağınık olsa da düşme eğilimi vardır.

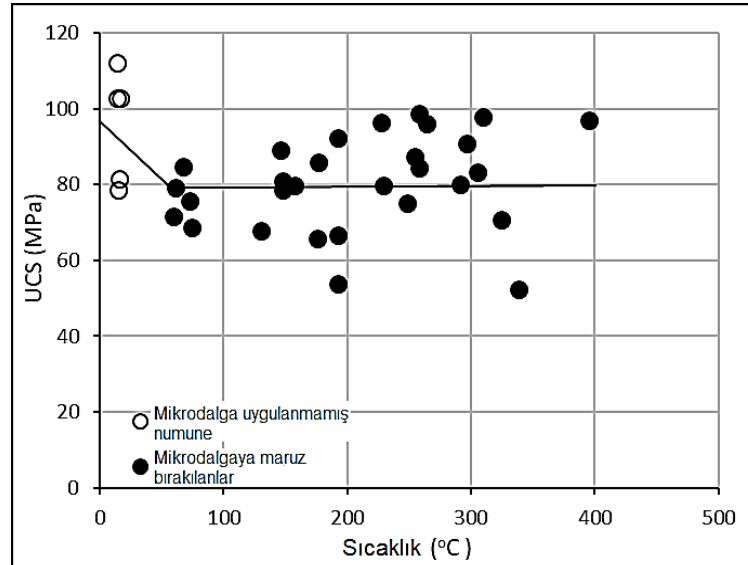


Şekil 5.49. Nublado graniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

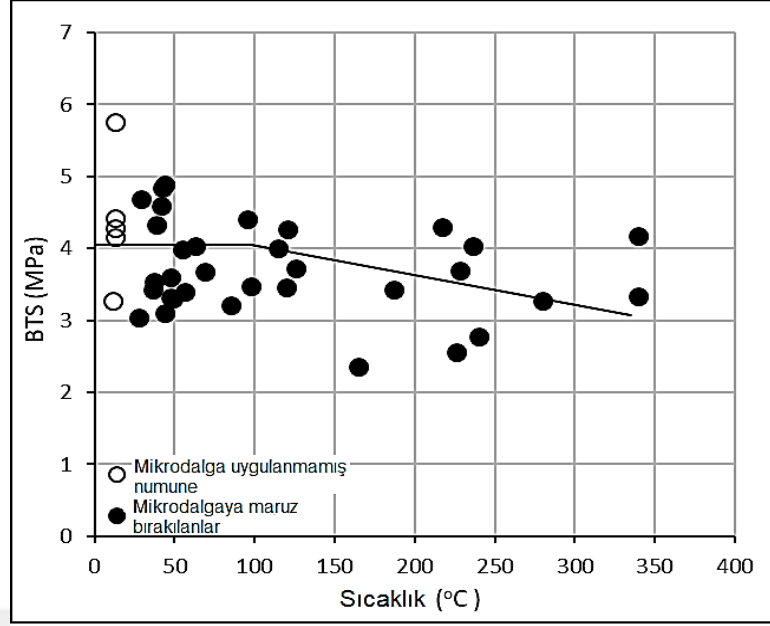


Şekil 5.50. Nublado graniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

Şekil 5.51’de Kaman Rosa granitinin UCS dayanımı, sıcaklık parametresinin bir fonksiyonu olarak sunulmuştur. UCS değerleri çok dağınıktır ve sıcaklık ile arasında bir korelasyona rastlanmamıştır. Fakat mikrodalgaya tabi tutulmuş numunelerin UCS değerlerinin, işlem görmemiş numunelere nazaran göreceli olarak düşük olduğunu da belirtmek gerekir. 100 °C’nin altındaki sıcaklık değerlerinde BTS değerleri Şekil 5.52’deki gibi dağılmıştır. 100 °C’nin üstündeki sıcaklıklarda dayanım düşmeleri kısmen söz konusudur.

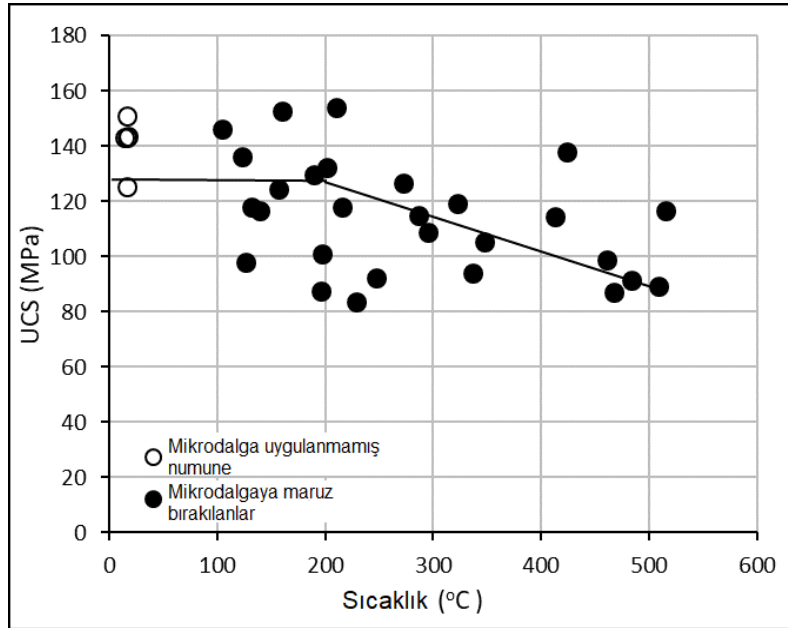


Şekil 5.51. Kaman Rosa graniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

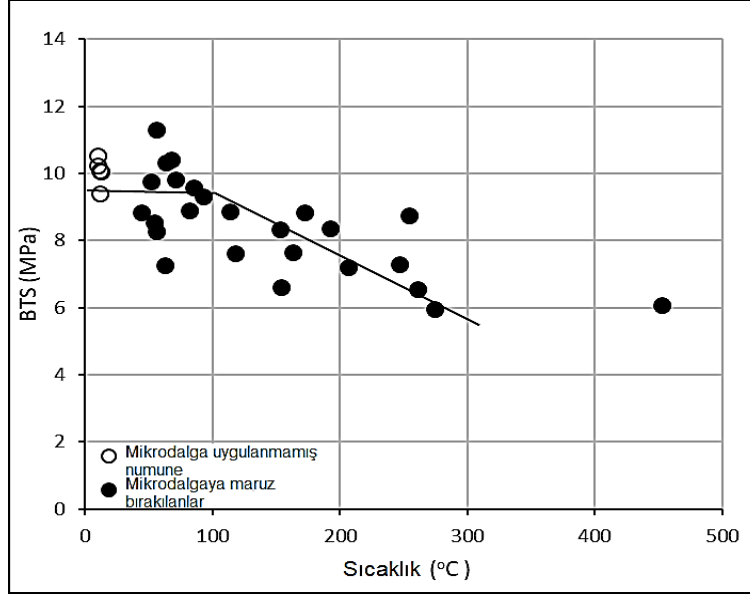


Şekil 5.52. Kaman Rosa graniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

Kozak granitinin UCS dayanım değerleri ile sıcaklık arasındaki korelasyon Şekil 5.53’ de görülmektedir. 1 kW güçte ve 120 s maruz bırakma süresinde bile numunelerin sıcaklığı 200 °C’nin üzerine çıkmıştır ve 200 °C civarlarında bu düşüşler önemli seviyelere gelmiştir. Şekil 5.54.’de görüldüğü üzere BTS dayanım değerleri 100 °C’nin altında daha çok dağılma göstermektedir. 100 °C’den sonra BTS değerleri hızlıca düşüşe geçmektedir.



Şekil 5.53. Kozak Granit’in UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

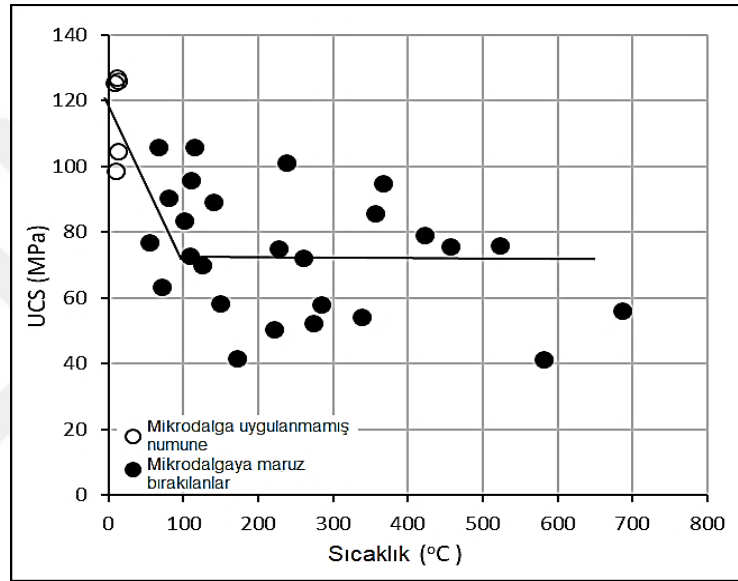


Şekil 5.54. Kozak Granit'in BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

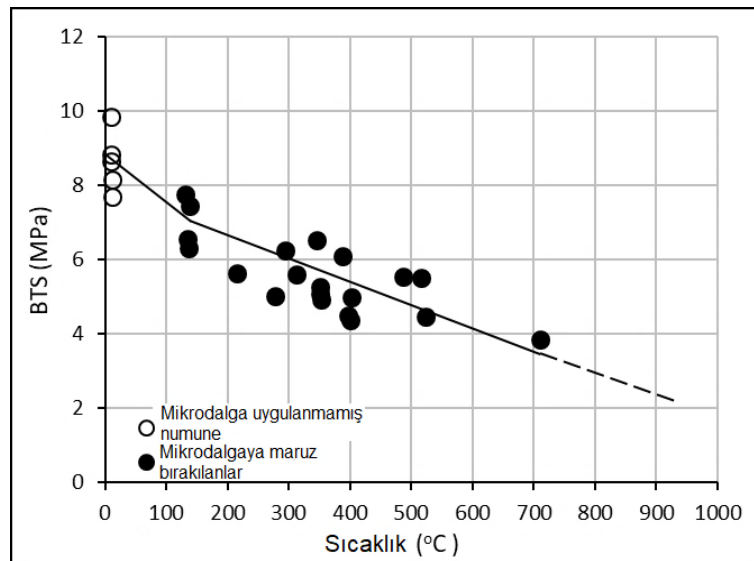
Bu tezde 6 farklı granit çeşidi teste tabi tutulmuştur. Bazı granit çeşitleri mineral içeriklerinden ötürü farklı davranışlar sergilemişlerdir. Yapılan değerlendirmelerde her ne kadar spesifik özellikler üzerinde durulsa da, elbette bazı genellemeler yapmak mümkündür. UCS dayanım değerleri 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda genellikle dalgalanmalar göstermektedir. Bünyesinde mikrodalga enerjisini iyi soğuran, küçük yahut önemli miktarlarda bir bileşen barındıran granitlerin UCS değeri, buna paralel olarak 200 °C'den sonraki sıcaklıklarda genellikle düşmektedir. BTS değerleri ise çoğunlukla 100 °C'nin altında dalgalanmalar göstermektedir ve bu düşüşler 100 °C'den sonra sıcaklığın artması ile birlikte gerçekleşmektedir. UCS ve BTS değerlerinin ortalama eşik değerleri, boyutlarının farklı olmasından dolayı birbirinden farklıdır. Küçük numuneler, büyük numunelere göre çok daha hızlı ısınmaktadırlar. Benzer bir sonuç Hassani ve ark. (2016) tarafından da elde edilmiştir. 100 °C'den düşük sıcaklıkların da BTS değerlerinde önemli düşüşlere neden olabileceği unutulmamalıdır. Bu durum büyük ihtimalle Peinsitt ve ark. (2010) ve Hartlieb ve ark. (2012)'in açıkladığı üzere numunelerin iç sıcaklıklarının, yüzey sıcaklıklarına nazaran daha yüksek olmasından dolayıdır.

Volga Blue siyeniti için UCS dayanımıyla sıcaklık arasındaki ilişki Şekil 5.55' de gösterilmiştir. UCS değerleri 100 °C civarlarında hızlıca düşme eğilimi göstermektedir. Fakat bazı UCS numunelerinin 100 °C dolaylarında ya da altındaki sıcaklıklarda dayanım kaybı yok veya çok düşüktür. Veri noktaları daha ziyade 100 °C sıcaklık değerinin

üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu durum muhtemelen numunelerin mineralojik dağılımlarının düzensiz olmasından kaynaklanmaktadır. 3 numunenin sıcaklığı yaklaşık 500 °C'nin üzerine çıkmasına rağmen herhangi bir çatlama yahut ergime gözlemlenmemiştir. Şekil 5.56'de belirtildiği gibi BTS numunelerin sıcaklığı 1 kW güçte ve 60 s maruz bırakma süresinde 100 °C'in üzerine çıkmıştır. 135 °C civarlarında BTS değerleri çok hızlı bir düşüşe geçmektedir. 415 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda 8 numune çatlamış ve ergimiştir. Bazı numunelerin sıcaklıkları 900 °C'nin üzerine çıkmıştır. Bu denli yüksek sıcaklıklara ulaşan numuneler, büyük oranda metalik mineral ihtiva ediyor olabilirler.

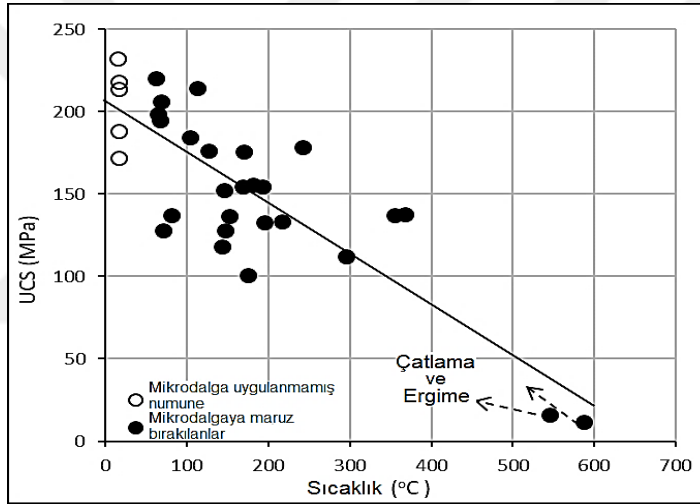


Şekil 5.55. Volga Blue siyeniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

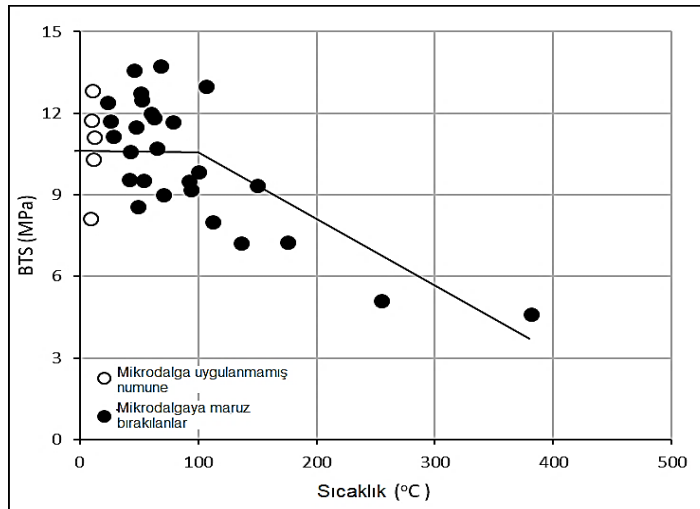


Şekil 5.56. Volga Blue siyeniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

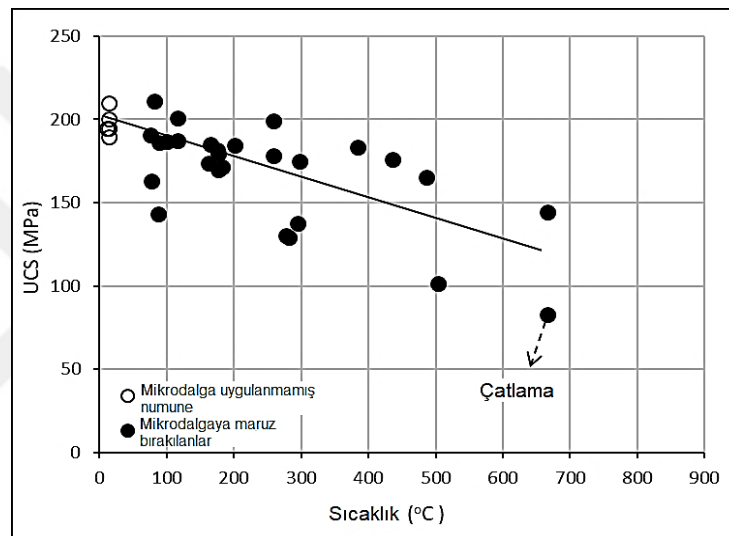
Şekil 5.57 Jungle Green siyeniti için UCS ve sıcaklık arasındaki korelasyonu göstermektedir. Veri noktaları 200 °C'nin altında fazlaca dalgalanmaktadır. Fakat, bazı numunelerin UCS dayanım kaybı 75 °C ve 150 °C'de fazladır. Veri noktalarının dağınık olmasına rağmen, artan sıcaklık değerlerinde UCS dayanımına ait dik bir düşüş gözlemlenmiştir. 500 °C'nin üzerinde çatlamlar ve ergimeler gözlemlenmiştir. Şekil 5.56'da görüldüğü üzere BTS değerleri 100 °C'nin altında daha çok dağılmaktadır. 100 °C'den sonra BTS dayanım değerleri çok hızlı bir şekilde düşmektedir. Sıcaklığı 864.5 °C'ye ulaşan bir numunenin ergidiği görülmüştür. Benzer koşullarda test edilen normal numunelere nazaran çok daha yüksek sıcaklıklara ulaşan bu tip numunelerin sıcaklık artışlarının nedeni, büyük olasılıkla yapılarında yüksek oranda turmalin ve garnet minerallerini bulundurmalarıdır.



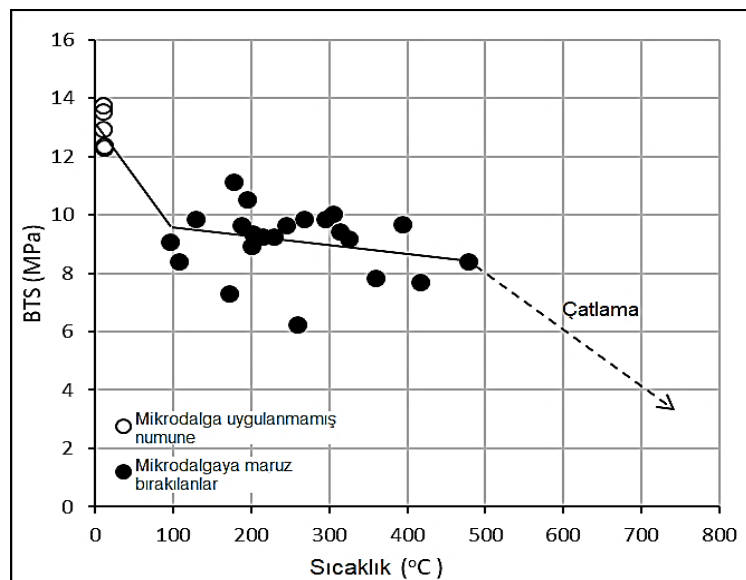
Şekil 5.57. Jungle Green siyeniti UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.



Şekil 5.58. Jungle Green siyeniti BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.



Şekil 5.59. Nero Turka gabrosu UCS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.



Şekil 5.60. Nero Turka gabrosu BTS değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi.

6. SONUÇLAR

Bu tezde mikrodalgaya maruz bırakmanın 9 farklı magmatik kayacın UCS ve BTS dayanımları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Mineralojileri ışığında, numunelerin ısınma dereceleri de değerlendirilmiştir. Çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Artan mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresine bağlı olarak incelenen magmatik kayaçların yüzey sıcaklıkları da artmaktadır.
- Test edilen magmatik kayaçların dayanımları, genellikle mikrodalga gücü ve maruz bırakma süresinin artmasıyla birlikte ters orantılı olarak azalmaktadır.
- Isınma dereceleri ve dayanım kayıpları, mineral içeriğine bağlı olarak mikrodalga enerjisine maruz bırakılan her kaya türü için farklıdır.
- Benzer kayaca ait her bir numunenin ısınma derecesi, mineral içeriklerinin farklı olmasından dolayı birbirlerinden büyük ölçüde farklı olabilmektedir.
- Mikrodalgaya maruz bırakılan numunelerde gözlemlenen çatlama ve/veya ergimeler, uygulanan mikrodalga gücüne, numunenin maruz bırakıldığı süreye ve numunenin mineral içeriğine bağlıdır.
- Numunenin içeriğindeki metalik mineral bileşeninin oranı çok düşük miktarlarda olsa bile, kayacın sıcaklığını fazlaca arttırmaktadır.
- Granitlerde, az ya da önemli miktarlarda mikrodalga enerjisini iyi soğuran bir mineral olması, genellikle 200 °C'den sonra UCS değerini düşürmektedir. Öte yandan test edilen tüm granitler için BTS değerleri genellikle 100 °C'den sonra düşme eğilimi göstermektedir. Testlere tabi tutulan gabro ve siyenitlerin davranışları, içeriklerindeki metalik bileşenlerden veya yüksek oranda mikrodalga enerjisini soğuran minerallerden dolayı farklıdır. Önemli sayılabilecek dayanım düşüşü, genellikle 100°C'nin altında sıcaklıklara sahip olan siyenitlerde ve gabrolarda gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, mikrodalgaya maruz bırakmanın uygulanan güç, maruz bırakma süresi ve mineral içeriğine bağlı olarak magmatik kayaçların dayanımlarında önemli etkilere sahip olduğu söylenebilir. Benzer koşullardaki testlerde mineral cinsi ve yüzdesi kayacın ısınma derecesinde en önemli parametrelerdir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, farklı mineralojik yapıya sahip değişik kayaçlar üzerinde daha fazla çalışmalar yapılmalıdır. Yüksek mikrodalga gleri ve daha düşük maruz bırakma sürelerinin etkileri konusu da araştırılması gereken bir konudur. Diğer bir araştırma konusu, kayaçları mikrodalgaya maruz bırakmanın etki derecesi üzerinde su içeriğinin rolü olabilir. Konuyla ilgili literatürde sadece birkaç çalışma mevcuttur. Artan su içeriğinin de mikrodalgaya maruz bırakmanın etki derecesini genellikle arttırdığı bilindiğinden bu konu da önem arz etmektedir.



7. KAYNAKLAR

- Asian Products, https://m.asianproducts.com/product/A14350293319117955_P14392623692217415/shield-twin-disc-cutters.amp (Erişim tarihi: 16 Ocak 2020).
- Beşergil, B., Elektromagnetik Spektrum, <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/elektromagnetik-spektrum.html> (Erişim tarihi: 4 Ocak 2020).
- Church, R.H., Webb, W.E. and Salsman, J. B. 1988. "Dielectric properties of low loss minerals." USBM Report of Investigations, No. 9194.
- Feng, G., Wang, Z., Wei, Z. 2014. "The Development of the Microwave Assisted Rock Breaking Device", *Advanced Materials Research*, 900, 627-630.
- Ghamgosar, M., & Erarslan, N. (2015). A Numerical Study On Oscillating Disc Cutting Technology For Hard Rock Cutting. *International Symposium on Rock Mechanics*. doi:10.13140/RG.2.1.3285.5202
- Grabcad, <https://grabcad.com/library/roadheader-ksp-35-v-101-1> (Erişim tarihi: 16 Ocak 2020).
- Gümüşderelioğlu, M. 2012. "Mikrodalgalar ve uygulamaları." *Bilim ve Teknik*, Temmuz, 38-42.
- Hassani, F., Nekoovaght, P.M., Gharib, N. 2016. "The influence of microwave irradiation on rocks for microwave assisted underground excavation. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 8 (2016) 1e15
- Haque, K. E. 1999. "Microwave energy for mineral treatment processes - A brief review", *International journal of mineral processing*, 57, 1-24.
- Hartlieb, P., Leindl, M, Kuchar, F. Antretter, T. Moser, P. 2012. "Damage of basalt induced by microwave irradiation." *Minerals Engineering*, 31, 82–89.
- Hartlieb, P., & Grafe, B. 2017, January. Experimental Study on Microwave Assisted Hard Rock. *BHM*, 77-81. doi:10.1007/s00501-016-0569-0
- Holland T., Powell R. "Calculation of phase relations involving haplogranitic melts using an internally consistent thermodynamic dataset" *J. Petrol.*, 2, pp. 673-683., 2001.
- Jacob, J; Chia, L. H. L., Boey, F. Y. C. 1995. "Review of thermal and non-thermal interaction of microwave radiation with materials". *Journal of materials science*, 30(21), 5123-5327.
- Jerby, E., Dikhtyar, V. 2000. "Method and device for drilling, cutting, nailing and joining solid non-conductive materials using microwave radiation", United States Patent No. US 6,14,676.

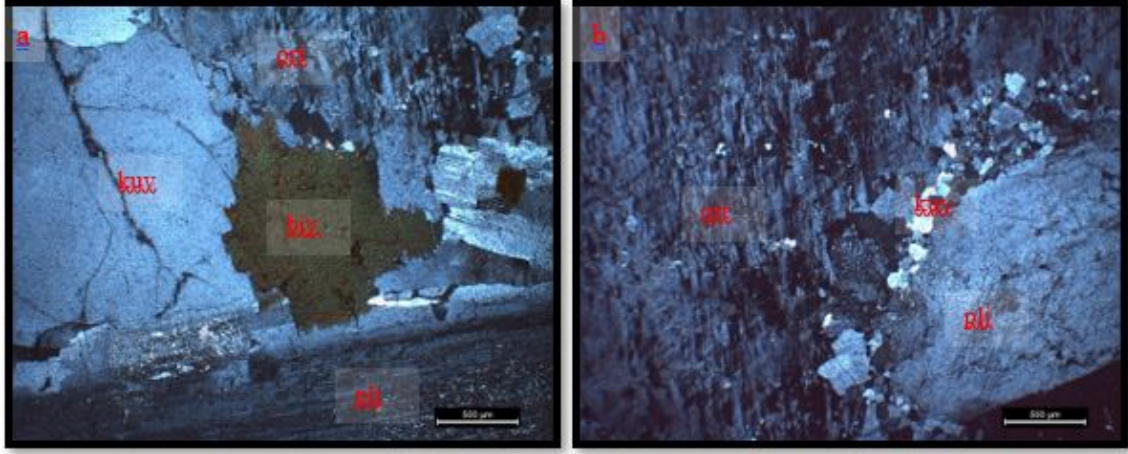
- Jones, D.A., Kingman, S.W., Whittles D.N., Lowndes, I.S. 2005. "Understanding microwave assisted breakage", *Minerals Engineering*, 18, 659–669.
- Karakurt, İ., Aydın, G., & Aydıner, K. 2010. Su Jeti Teknolojisinin Madencilik Sektöründeki Uygulamalarının Değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, XVI (1), 105-112.
- Kingman, S.W., Rowson, N.A. 1998. "Microwave treatment of mineral", *Minerals Engineering*, 11(11), 1081-1087.
- Kingman, S.W., Vorster, W., Rowson, N.A. 2000. "The Influence of mineralogy on microwave assisted grinding", *Minerals Engineering*, 13, 313-327.
- Kingman, S.W., Jacksona, K., Bradshawb, S.M., Rowsonc, N.A., Greenwood, R. 2004. "An investigation into the influence of microwave treatment on mineral ore comminution", *Powder Technology*, 146, 176-184.
- Kovalyshen, Y. 2015. "Analytical model of oscillatory disc cutting". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*.
- Like, Q., Jun, D., & Pengfei, T. 2015. "Study on the Effect of Microwave Irradiation on Rock Strength" *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 91-96.
- Liu, F. 2014. "Exploration of microwave-assisted breakage of rocks: The effect of size, shape, and internal discontinuity of rock on microwave distribution" Montreal, Quebec, Canada: McGill University.
- Lindroth, D.P., Morrell, R.J., Blair, J.R. 1991. Microwave assisted hard rock cutting. United States Patent No. 5,003,144.
- Lindroth, D.P., Berglund, W.R., Morrell, R.J., Blair, J.R. 1992. "Microwave-assisted drilling in hard rock", *Mining Engineering Journal*, 44, 1159 - 1163.
- Lindroth, D.P., Berglund, W.R., Morrell, R.J., Blair, J.R. 1993. "Microwave-assisted drilling in hard rock", *Tunnels and Tunnelling*, 25(6), 24-27.
- Metaxas, A. C., Meredith, R. J. 1983. "Industrial microwave heating", England: Short Run Press.
- Motlagh, P.N. 2009. "An investigation on the influence of microwave energy on basic mechanical properties of hard rocks", MSc. Thesis, Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia University.
- Muhlhauser, <https://muhlhauser.group/products/tunnel-boring-machines/> (Erişim tarihi: 16 Ocak 2020).

- Nekoovaght, P., Hassani, F. 2104. “The influence of microwave radiation on hard rocks as in microwave assisted rock breakage applications”, EUROCK 2014, 27 to 29 May, Vigo, Spain, 95-198.
- Nejati, H., Hassani, F., Radziszewski, P. 2012. “Experimental Investigating of Fracture Toughness Reduction and Fracture Development in Basalt Specimens under Microwave Illumination”, Earth and Space 2012: Proc. The 13th ASCE Aerospace Division Conf. on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments, California, April 15-18, 325-334.
- Ouellet, J., Radziszewski, P., Raghavan, V., Satish, H., Hassani, F. 2013. “Electromagnetic energy assisted drilling system and method”. United States Patent No. US 8,550,82.
- Peinsitt, T., Kuchar, F., Moser, P., Kargl, H., Restner, U., Sifferlinger, N. 2008. “Microwave heating of rocks with different water content”, Microwave Technology in Minerals Engineering (Microwave Technology 08), November 11-12, Cape Town, South Africa.
- Peinsitt, T., Kuchar, F., Hartlieb, P., Moser, P., Kargl, H., Restner, U., Sifferlinger, N.A. 2010. “Microwave heating of dry and water saturated basalt, granite and sandstone.” Int. J. Mining and Mineral Engineering, 2, 18-29.
- Pickles, C. A. 2008.” Microwaves in extractive metallurgy: A review of fundamentals”, Microwave technology '08, Mei Confrence proceeding, South Africa.
- Pozar, D.M. 2012. “Microwave Engineering”. John Wiley & Sons, Inc.
- Prokopenko, A. 2011. Microwave Heating for Emolliating and Fracture of Rocks. A. Prokopenko içinde, *Advances in Induction and Microwave Heating of Mineral and Organic Materials* (s. 313-336). Moscow: InTech.
- Robbins, <https://www.therobbinscompany.com/products/tunnel-boring-machines/single-shield/> (Erişim tarihi: 16 Ocak 2020).
- Ruisanchez, E., Arenillas, A., Juárez-Perez, E.J., Menendez, J.A. 2012. “Pulses of microwave radiation to improve coke grindability”, Fuel, 102, 65–71.
- Samouhos M., Angelopoulos P., Taxiarchou M., Tsakiridis P. “*Microwave oxidizing roasting of a sulphidic Au rich concentrate.*” Opportunities in Processing of Metal Resources in South East Europe (OPMR 2016), Budapest, Hungary, 2016.
- Santamarina, J. C. 1989. “Rock excavation with microwaves; A literature review.” Foundation engineering: current principles and practices proceedings, Evanston, Illinois, 459 - 473.

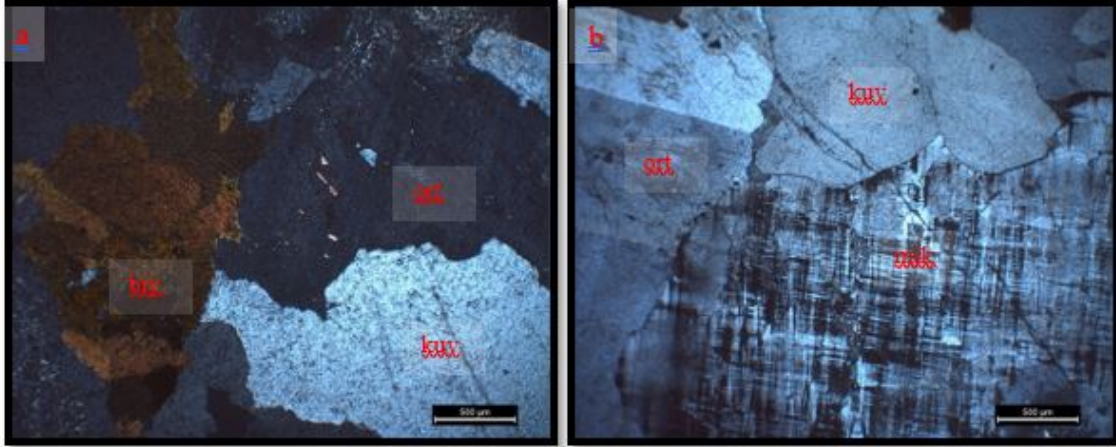
- Satish, H. 2005. "Exploring microwave assisted rock breakage for possible space mining applications", Mechanical Engineering, Masters of Engineering Thesis, McGill University.
- Satish, H., Ouellet, J., Raghavan, V., Radziszewski, P. 2006. "Investigating microwave assisted rock breakage for possible space mining applications", Mining Technology, 115(1), 34-40.
- Scott, G., Bradshaw, S.M., Eksteen, J.J. 2008. "The effect of microwave pretreatment on the liberation of a copper carbonatite ore after milling", Int. J. Miner. Process., 85, 121–128.
- Sutton, W. H. (1989). Microwave processing of ceramic materials. American Ceramic Society Bulletin, Vol. 68, pp. (376-386), 0002-7812.
- Toraman, Ö.Y., Depçi, T. 2007. "Kömürde mikrodalga ile önişlem uygulamaları." Madencilik, 46, 43-53.
- Walkiewicz, J.W., Kazonich, G., McGill, S.L. 1988. "Microwave heating characteristics of selected minerals and compounds." Mineral and metallurgical processing, 5(1), 39-42.
- Walkiewicz, J.W., Clark, T.E., McGill, S.L. 1991. "Microwave-Assisted Grinding", IEEE Trans. Ind. App., 27(2), 239 - 243.
- Wang, Z., Wei, Z, Han, L. 2013. "Microwave PDC Drill Bit", Advanced Materials Research, Vols. 774-776, 1414-1417
- Znamenackova, I., Lovas, M., Hajek, M., Jakabsky, S. 2003. "Melting of andesite in a microwave oven", Journal of Mining and Metallurgy, 39 (3-4) B, 549 - 557.
- Toraman Ö., Depçi T. 2007. "Kömürde Mikrodalga İle Önişlem Uygulamaları". Bilimsel Madencilik Dergisi, 46 (3), 43-53.
- <https://www.indiatoday.in/education-today/gk-current-affairs/story/microwave-invention-1281180-2018-07-09> (Erişim tarihi: 9 Ocak 2020).

EKLER

Ek 1 – Kayaçlara ait mikrofotoğraflar ve mineralojik veri analizleri

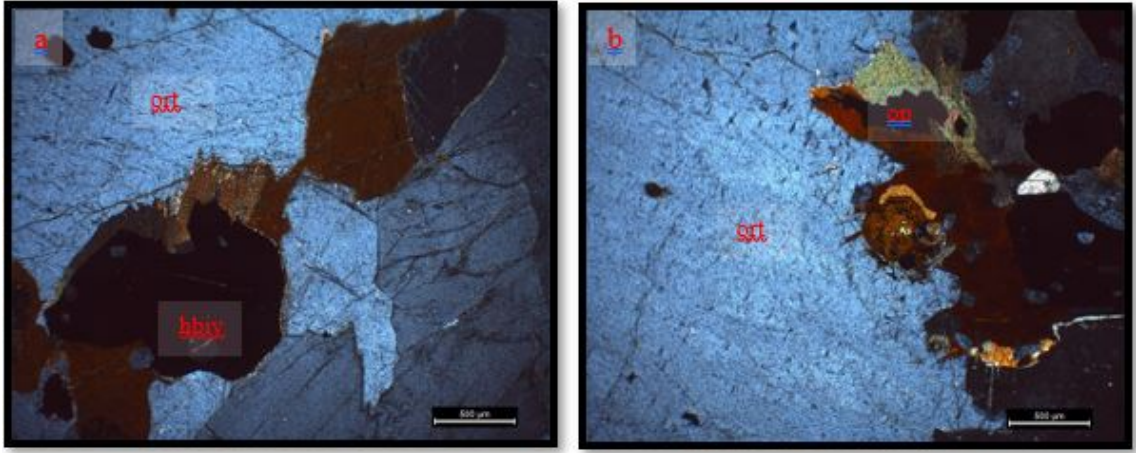


Rosa Well örneğinin mikrofotoğrafı; a: kayanın genel görüntüsü, (çapraz nikol, 4x), b: ortoklaslarda gözlenen pertitik doku ve kuvars mikrokristalleri, (çapraz nikol, 4x)
(Kısaltmalar: plj: plajiyoklas, kuv: kuvars, biy: biyotit, ort: ortoklas)



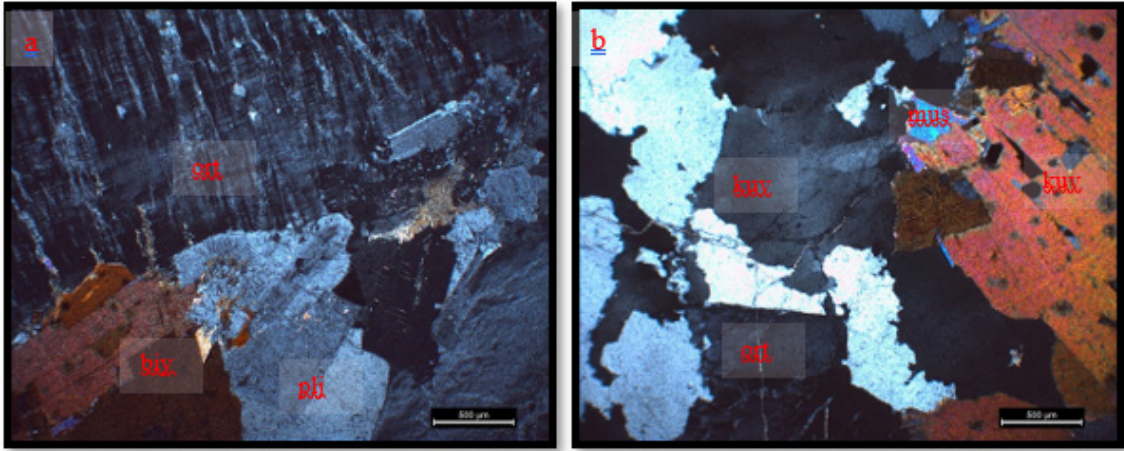
Rosa Minho örneğinin mikrofotoğrafı;

a: kayanın genel görüntüsü ve biyotit segregasyonu (çapraz nikol, 4x),
b: kayanın genel görüntüsü, (çapraz nikol, 4x)
(Kısaltmalar: biy: biyotit, kuv: kuvars, ort: ortoklas, mik: mikroklin)



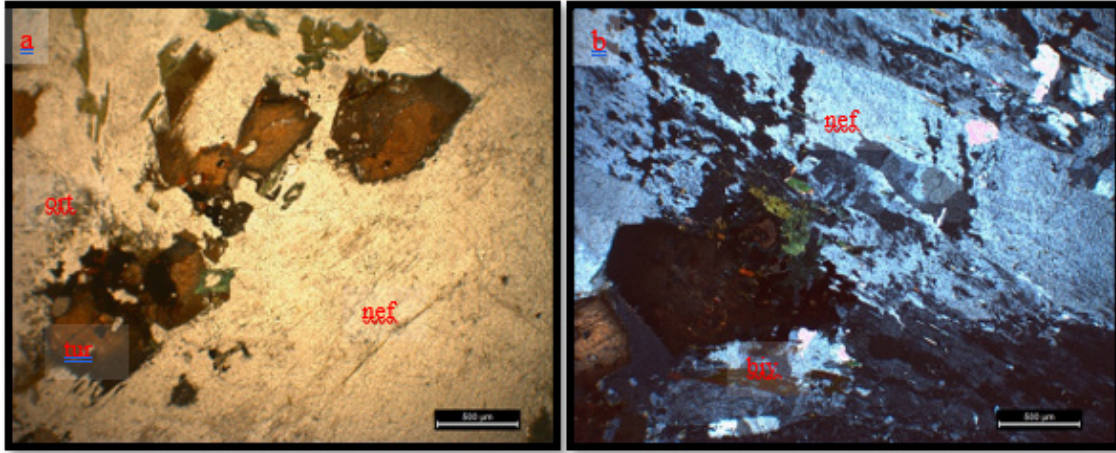
Volga Blue siyeniti örneğinin mikrofotografı;

- a: kayanın genel görüntüsü ve hidrobiyotitleşme, (paralel nikol, 4x),
b: kayanın genel görüntüsü, (çapraz nikol, 4x)
(Kısaltmalar: ort: ortoklas, hbiy: hidrobiyotit, op: opak mineral)



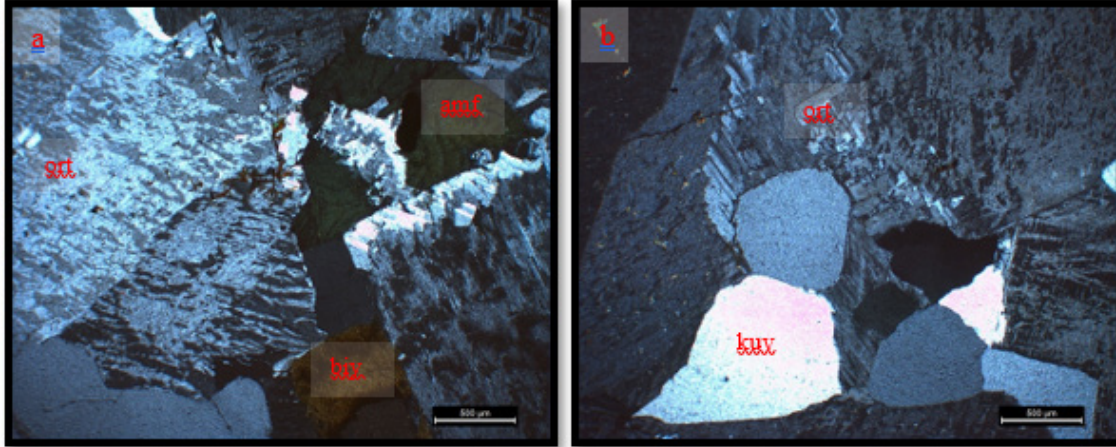
Nublado örneğinin mikrofotografı;

- a: kayanın genel görüntüsü, (çapraz nikol, 4x),
b: kayanın genel görüntüsü, (çapraz nikol, 4x)
(Kısaltmalar: biy: biyotit, kuv: kuvars, mus: muskovit, ort: ortoklas, plj: plajiyoklas)



Jungle Green örneğinin mikrofotoğrafı;

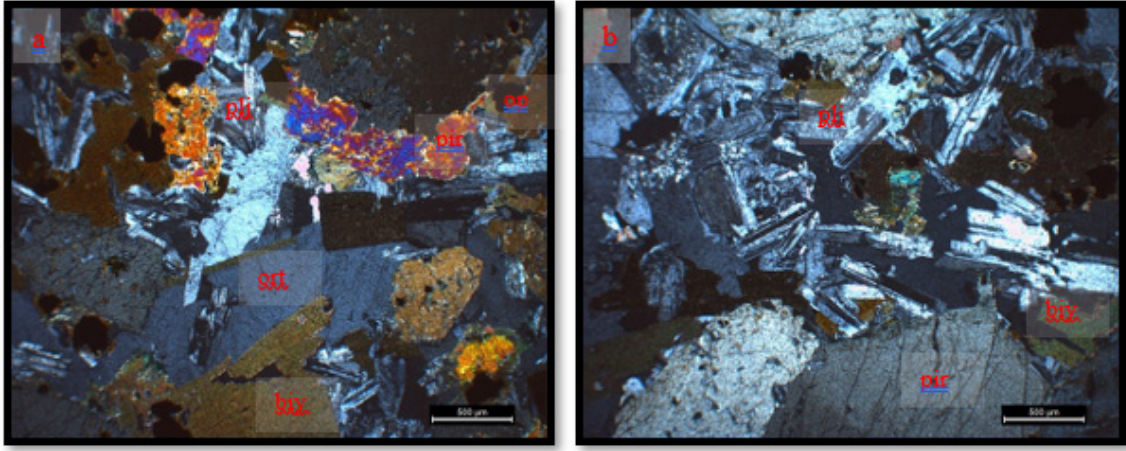
- a: kayanın genel görüntüsü ve turmalin mineralleri, (çapraz nikol, 4x),
b: kayanın genel görüntüsü ve nefelin mineralleri, (çapraz nikol, 4x)
(Kısaltmalar: tur: turmalin, nef: nefelin, biy: biyotit, ort: ortoklas)



Steppe Yellow örneğinin mikrofotoğrafı;

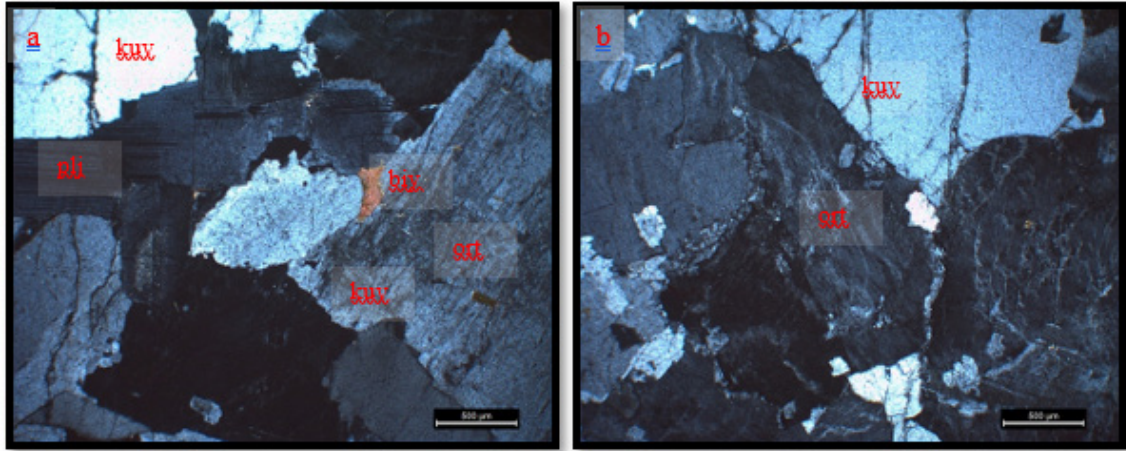
- a: kayanın genel görüntüsü ve pertitik yapı, (çapraz nikol, 4x),
b: kayanın genel görüntüsü, (çapraz nikol, 4x)
(Kısaltmalar: biy: biyotit, kuv: kuvars, amf: amfibol, ort: ortoklas)

EK 1'den devam



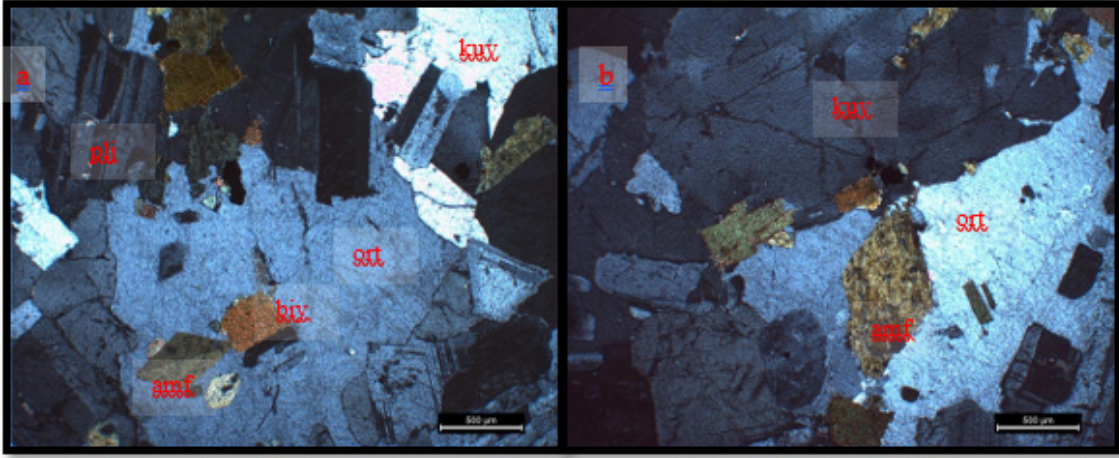
Nero Turka örneğinin mikrofotoğrafı;

- a: kayanın genel görüntüsü, (çapraz nikol, 4x),
b: kayanın genel görüntüsü ve subofitik doku, (çapraz nikol, 4x)
(Kısaltmalar: biy: biyotit, pir: piroksen, plj: plajiyoklas, ort: ortoklas)



Kaman örneğinin mikrofotoğrafı;

- a: kayanın genel görüntüsü, (çapraz nikol, 4x),
b: kayanın genel görüntüsü, (çapraz nikol, 4x)
(Kısaltmalar: biy: biyotit, kuv: kuvars, plj: plajiyoklas, ort: ortoklas)



Kozak örneğinin mikrofotoğrafı;

a: kayanın genel görüntüsü, (çapraz nikol, 4x),

b: kayanın genel görüntüsü, (çapraz nikol, 4x)

(Kısaltmalar: amf: amfibol, biy: biyotit, kuv: kuvars, plj: plajiyoklas, ort: ortoklas)

Ek 2 – Yoğunluk ve Porozite Deney Sonuçları

Kayaç kodu	Yoğunluk (g/cm ³)	Ortalama yoğunluk	Porozite (%)	Ortalama porozite
1	2.59, 2.58, 2.56	2.57±0.02	1.17, 0.96, 1.93	1.35±0.51
2	2.57, 2.61, 2.57	2.58±0.02	0.96, 1.44, 0.76,	1.06±0.35
3	2.62, 2.66, 2.64	2.64±0.02	1.68, 1.82, 2.42,	1.97±0.40
4	2.63, 2.66, 2.66	2.65±0.02	0.83, 1.76, 0.99	1.19± 0.50
5	2.65, 2.65, 2.60	2.63±0.03	1.43, 1.00, 1.30	1.24±0.22
6	2.43, 2.47, 2.58	2.49±0.08	1.26, 1.72, 0.65	1.21±0.53
7	3.01, 2.98, 3.01	3.00±0.02	0.43, 0.52, 0.57	0.51±0.07
8	2.51, 2.48, 2.52	2.50±0.02	2.45, 1.98, 2.09	2.17±0.25
9	2.60, 2.63, 2.62	2.62±0.02	1.21, 0.85, 1.74	1.27±0.45

Ek 3 – Sonik Hız Deney Sonuçları

Kayaç kodu	P-dalga hızı değerleri (km/s)	Ortalama P-dalga hızı
1	4.62, 5.09, 4.58, 4.86, 4.56	4.74±0.23
2	5.49, 4.33, 4.39, 4.39, 4.23	4.57±0.52
3	6.16, 5.96, 6.09, 6.02, 6.42	6.13±0.18
4	4.90, 5.17, 4.64, 4.67, 5.10	4.90±0.24
5	5.70, 5.44, 5.80, 5.69, 5.49	5.62±0.15
6	5.24, 5.15, 5.14, 5.14, 5.14	5.16±0.04
7	5.99, 6.17, 5.88, 6.22, 5.96	6.04±0.14
8	2.74, 2.93, 2.77, 3.01, 3.02	2.89±0.13
9	5.40, 5.43, 5.46, 4.81, 4.78	5.18±0.35

Ek 4 – Brazilian Çekme Deneyi Sonuçları

Kayaç kodu	Çekme dayanımı değerleri (MPa)	Ortalama çekme dayanımı
1	7.86, 6.80, 7.91, 6.28, 5.46	6.86±1.05
2	9.79, 5.90, 8.31, 9.05, 9.09	8.43±1.51
3	7.70, 8.64, 9.85, 8.84, 8.16	8.64±0.81
4	6.71, 10.21, 9.22, 8.92, 8.33	8.68±1.29
5	10.31, 11.73, 12.82, 11.11, 8.13	10.82±1.76
6	6.58, 9.29, 7.44, 8.25, 9.55	8.22±1.25
7	12.29, 13.54, 12.36, 12.93, 13.76	12.98±0.67
8	4.16, 4.42, 4.28, 3.27, 5.75	4.38±0.89
9	10.06, 9.39, 10.09, 10.52, 10.23	10.06±0.41

Ek 5 – Tek Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları

Kayaç kodu	Tek eksenli basınç dayanımı değerleri (MPa)	Ortalama tek eksenli basınç dayanımı
1	116.14, 129.57, 107.86, 106.42, 115.05	115.01±9.19
2	129.29, 129.50, 123.54, 133.30, 130.02	129.13±3.52
3	127.03, 125.44, 104.55, 98.63, 125.97	116.32±13.62
4	134.90, 130.08, 122.73, 130.19, 139.38	131.46±6.21
5	214.01, 218.03, 171.80, 232.30, 188.30	204.89±24.38
6	157.01, 144.61, 154.55, 149.49, 157.82	152.70±5.57
7	194.39, 194.79, 189.56, 209.70, 200.07	197.70±7.67
8	102.68, 81.50, 112.11, 102.79, 78.46	95.51±14.72
9	125.27, 143.12, 143.64, 151.22, 143.35	141.32±9.60

**Ek 6 – Mikrodalgaya Maruz Bırakılan Numunelerin Yüzey Sıcaklıkları ve
Brazilian Çekme Dayanımı (BTS) Deney Sonuçları**

Granit (Rosa Well)

Numune no	Mikrodalg gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık-1 (C°)	İlk sıcaklık-2 (C°)	Ort. ilk ısı (C°)	Son sıcaklık-1 (C°)	Son sıcaklık-2 (C°)	Ort. Son sıcaklık (C°)	BTS (MPa)	Ort. BTS (MPa)
1.1.a	1	60	9.1	9.3	9.2	31.3	31.3	31.3	7.28	8.14 ± 0.89
1.1.b			12.1	9.5	10.8	37.3	37.5	37.4	9.05	
1.1.c			14.5	15.9	15.2	41.2	42.3	41.75	8.09	
1.2.a	1	120	9.4	8.7	9.05	37.5	36	36.75	5.59	6.75 ± 1.65
1.2.c			8.9	8.5	8.7	66.9	62	64.45	6.03	
1.2.d			9.2	9.4	9.3	58.2	56.8	57.5	8.64	
1.3.a	1	180	9.1	9.2	9.15	60.1	61.1	60.6	6.76	7.74 ± 1.04
1.3.b			9.4	8.9	9.15	100	103	101.5	7.62	
1.3.c			8.9	8.9	8.9	55.5	59.1	57.3	8.83	
1.4.a	2	60	7.6	8.6	8.1	36.1	31.9	34	7.33	7.62 ± 0.92
1.4.b			7.3	7.4	7.35	30.6	32.5	31.55	8.64	
1.4.c			11	12.2	11.6	36.2	39.2	37.7	6.88	
1.5.a	2	120	7.7	8.5	8.1	17.7	18.5	18.1	8.10	7.33 ± 0.68
1.5.b			5.6	5.6	5.6	65.1	65.9	65.5	6.84	
1.5.c			13.9	14.6	14.25	114.3	110.4	112.35	7.04	
1.6.a	2	180	8.7	8.3	8.5	92.3	92	92.15	8.34	6.90 ± 1.24
1.6.b			8.3	7.5	7.9	54.5	52.1	53.3	6.19	
1.6.c			7.5	8.4	7.95	43.8	47.1	45.45	6.19	
1.7.a	6	60	10.1	10	10.05	44.9	45.5	45.2	7.26	7.39 ± 0.30
1.7.b			10.8	11.1	10.95	66.6	71.3	68.95	7.74	
1.7.c			10.6	10.9	10.75	44.4	48.4	46.4	7.17	
1.8.a	6	120	10	9.6	9.8	193	178	185.5	6.52	6.45 ± 0.82
1.8.b			11.9	9.7	10.8	126.9	113.3	120.1	5.60	
1.8.c			11.4	9.8	10.6	85.3	106.3	95.8	7.23	
1.9.a	6	180	8.4	8.8	8.6	169.9	175.5	172.7	6.84	6.57 ± 0.23
1.9.b			8.7	8.9	8.8	156.1	153.5	154.8	6.42	
1.9.c			14.2	14.9	14.55	168.8	163.9	166.35	6.46	
1.10.a	6	240	6.50	4.50	5.5	158.1	173.6	165.85	5.05	4.75 ± 0.43
1.10.b			11.3	12.40	11.85	145	146.3	145.65	4.45	
1.11.a	6	320	13.7	14.6	14.15	242.4	249.9	246.15	4.91	4.64 ± 0.92
1.11.b			12.9	13.7	13.3	249.1	243	246.05	3.61	
1.11.c			15.2	14.3	14.75	295	271.7	283.35	5.39	

Ek 6'dan devam

Granit (Rosa Minho)

Numune no	Mikrodalg gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık 1 (C°)	İlk sıcaklık 2 (C°)	Ort. ilk sıcaklık (C°)	Son sıcaklık 1 (C°)	Son sıcaklık 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	BTS (MPa)	Ort. BTS (MPa)
2.1.a	1	60	3.90	4.10	4.00	26.30	24.10	25.20	9.86	9.61 ± 1.27
2.1.b			5.40	5.70	5.55	17.00	19.80	18.40	8.23	
2.1.c			8.40	10.20	9.30	36.00	35.20	35.60	10.74	
2.2.a	1	120	6.00	6.00	6.00	47.90	51.00	49.45	10.42	9.29 ± 1.23
2.2.c			8.20	8.40	8.30	44.80	43.90	44.35	9.48	
2.2.d			15.50	15.50	15.50	58.40	61.10	59.75	7.98	
2.3.a	1	180	12.00	11.70	11.85	78.10	79.30	78.70	9.64	9.37 ± 0.38
2.3.b			11.30	11.30	11.30	75.10	74.80	74.95	9.53	
2.3.c			10.30	11.20	10.75	81.90	77.00	79.45	8.94	
2.4.a	2	60	8.70	8.60	8.65	28.90	29.60	29.25	10.53	9.10 ± 1.39
2.4.b			11.20	12.30	11.75	25.70	25.10	25.40	9.00	
2.4.c			10.20	11.40	10.80	43.30	43.30	43.30	7.77	
2.5.a	2	120	8.20	8.30	8.25	28.90	29.60	29.25	6.21	7.02 ± 0.74
2.5.b			12.70	12.60	12.65	73.10	87.60	80.35	7.22	
2.5.c			13.40	12.60	13.00	40.40	39.10	39.75	7.64	
2.6.a	2	180	13.10	13.40	13.25	64.70	59.10	61.90	9.72	8.47 ± 1.35
2.6.b			11.40	10.60	11.00	44.80	43.00	43.90	7.04	
2.6.c			11.00	11.10	11.05	41.90	48.10	45.00	8.64	
2.7.a	6	60	7.50	7.50	7.50	44.10	41.40	42.75	8.89	8.44 ± 1.59
2.7.b			10.80	11.10	10.95	43.40	56.10	49.75	9.76	
2.7.c			7.50	7.50	7.50	45.60	43.10	44.35	6.67	
2.8.a	6	120	8.50	8.70	8.60	87.10	70.20	78.65	7.78	7.80 ± 0.15
2.8.b			9.60	10.80	10.20	103.90	104.40	104.15	7.96	
2.8.c			6.20	8.10	7.15	79.00	79.40	79.20	7.65	
2.9.a	6	180	9.60	11.80	10.70	112.30	108.70	110.50	7.71	8.23 ± 1.15
2.9.b			10.50	9.20	9.85	108.30	106.30	107.30	7.44	
2.9.c			10.80	10.60	10.70	101.40	99.30	100.35	9.55	
2.10.a	6	240	11.90	12.00	11.95	207.20	199.50	203.35	7.05	7.34 ± 0.52
2.10.b			12.10	13.50	12.80	223.10	230.20	226.65	7.93	
2.10.c			12.20	14.20	13.20	182.20	179.30	180.75	7.03	
2.11.a	6	320	12.80	11.60	12.20	497.60	431.90	464.75	5.27	5.96 ± 0.62
2.11.b			10.80	11.40	11.10	304.40	327.70	316.05	6.16	
2.11.c			12.60	12.80	12.70	284.60	308.10	296.35	6.46	

Ek 6'dan devam

Siyenit (Volga Blue)

Numune no	Mikro-dalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık-1 (C°)	İlk sıcaklık-2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık-2 (C°)	Son sıcaklık-2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	BTS (MPa)	Ort. BTS (MPa)	
3.1.a	1	60	14.40	14.40	14.40	144.30	129.50	136.90	6.32	6.57 ± 1.02	
3.1.b			10.60	10.60	10.60	125.40	135.90	130.65	7.76		
3.1.c			10.50	10.60	10.55	235.40	196.70	216.05	5.63		
3.2.a	1	120	10.40	8.20	9.30	360.40	341.60	351.00	5.09	5.65 ± 0.36	
3.2.b			7.70	14.30	11.00	306.20	319.10	312.65	5.61		
3.2.c			10.30	7.20	8.75	289.10	299.80	294.45	6.25		
3.3.a	1	180	8.20	8.40	8.30	495.20	536.60	515.90	5.51	5.53 ± 0.37	
3.3.b			8.90	9.10	9.00	399.10	405.70	402.40	4.99		
3.3.d			10.30	10.20	10.25	395.20	379.30	387.25	6.09		
3.4.a	2	60	12.30	16.30	14.30	341.20	364.30	352.75	4.92	6.31 ± 1.17	
3.4.b			4.50	2.00	3.25	133.20	136.60	134.90	6.57		
3.4.c			3.40	5.70	4.55	125.00	150.10	137.55	7.44		
3.5.b	2	120	3.20	0.20	1.70	335.10	366.20	350.65	5.28	5.29 ± 0.19	
3.5.c			7.30	10.10	8.70	289.40	264.20	276.80	5.02		
3.5.d			4.50	5.60	5.05	490.00	484.40	487.20	5.56		
3.6.a	2	180	2.10	2.30	2.20	346.10	346.20	346.15	6.52	5.13 ± 1.52	
3.6.b			2.20	2.30	2.25	408.10	392.30	400.20	4.38		
3.6.c			2.30	5.80	4.05	445.10	350.20	397.65	4.48		
3.ek2.a	2	240	12.80	13.10	12.95	490.30	557.20	523.75	4.45	Çatladı, kısmen ergidi	
3.ek2.b			13.00	12.90	12.95	905.70	804.40	855.05	3.84		Çatladı
3.ek2.c			11.60	11.70	11.65	688.90	732.10	710.50	3.84		
3.7.a	6	60	9.60	12.20	10.90	473.60	457.50	465.55	Çatladı		
3.7.b			4.60	9.30	6.95	820.20	860.10	840.15	Çatladı		
3.7.c			2.50	6.30	4.40	410.00	419.00	414.50	Çatladı		
3.8.a	6	120	3.20	3.30	3.25	630.00	643.00	636.50	Çatladı		
3.8.b			6.60	3.20	4.90	913.00	920.00	916.50	Çatladı, kısmen ergidi		
3.8.c			2.70	1.10	1.90	902.00	879.00	890.50	Çatladı, kısmen ergidi		

Ek 6'dan devam

Granit (Nublado)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık-1 (C°)	İlk sıcaklık-2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık 1 (C°)	Son sıcaklık 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	BTS (MPa)	Ort. BTS (MPa)
4.1.a	1	60	4.50	4.10	4.30	26.30	24.10	25.20	7.50	7.49 ± 0.71
4.1.c			7.20	7.50	7.35	26.60	28.40	27.50	6.77	
4.1.d			11.20	11.90	11.55	50.00	46.70	48.35	8.20	
4.2.a	1	120	6.70	8.90	7.80	45.20	49.20	47.20	5.52	6.66 ± 1.83
4.2.b			12.30	13.90	13.10	38.60	35.40	37.00	8.77	
4.2.c			6.90	8.20	7.55	43.10	45.50	44.30	5.68	
4.3.a	1	180	8.40	8.90	8.65	61.20	58.20	59.70	6.99	6.88 ± 0.11
4.3.b			12.90	13.60	13.25	48.00	46.10	47.05	6.77	
4.3.c			7.60	8.70	8.15	48.60	49.20	48.90	6.89	
4.4.a	2	60	7.10	11.90	9.50	42.10	49.10	45.60	7.15	6.54 ± 1.09
4.4.b			6.60	6.00	6.30	30.80	27.90	29.35	5.28	
4.4.c			11.90	10.60	11.25	22.00	21.00	21.50	7.18	
4.5.a	2	120	12.50	9.00	10.75	34.50	35.50	35.00	6.29	6.45 ± 2.21
4.5.b			9.70	10.90	10.30	36.20	36.60	36.40	4.32	
4.5.c			8.90	9.00	8.95	34.20	31.80	33.00	8.74	
4.6.a	2	180	4.80	5.90	5.35	46.90	45.80	46.35	5.27	6.86 ± 1.44
4.6.b			4.10	5.20	4.65	40.20	40.50	40.35	8.08	
4.6.c			6.40	5.20	5.80	43.10	42.10	42.60	7.22	
4.7.a	6	60	6.90	6.80	6.85	54.70	46.20	50.45	6.60	7.34 ± 1.72
4.7.b			3.90	4.60	4.25	52.00	44.00	48.00	9.30	
4.7.c			6.50	6.20	6.35	56.50	62.00	59.25	6.10	
4.8.a	6	120	8.90	10.90	9.90	88.40	97.20	92.80	6.79	6.82 ± 1.16
4.8.b			7.70	7.10	7.40	83.10	80.00	81.55	8.00	
4.8.c			12.60	12.10	12.35	89.70	67.70	78.70	5.68	
4.9.a	6	180	8.00	8.30	8.15	121.10	154.10	137.60	5.68	6.65 ± 1.78
4.9.b			12.80	8.60	10.70	116.10	127.10	121.60	5.57	
4.9.c			14.00	12.00	13.00	104.00	94.00	99.00	8.70	
4.10.a	6	240	12.50	10.10	11.30	300.00	306.20	303.10	6.01	6.05 ± 1.37
4.10.b			13.30	12.20	12.75	218.70	235.20	226.95	4.70	
4.10.c			12.60	14.20	13.40	187.80	173.00	180.40	7.44	
4.11.a	6	360	12.10	12.20	12.15	335.40	319.90	327.65	5.51	6.35 ± 1.10
4.11.b			11.90	11.10	11.50	325.40	292.50	308.95	5.95	
4.11.c			12.80	12.20	12.50	333.70	316.30	325.00	7.60	

Ek 6'dan devam

Siyenit (Jungle Green)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık-1 (C°)	İlk sıcaklık-2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık - 1 (C°)	Son sıcaklık- 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	BTS (MPa)	Ort. BTS (MPa)
5.1.a	1	60	2.30	1.50	1.90	56.90	64.10	60.50	11.98	12.04 ± 0.35
5.1.b			1.80	1.80	1.80	24.60	27.40	26.00	11.72	
5.1.c			1.80	2.30	2.05	22.50	25.00	23.75	12.41	
5.2.a	1	120	3.30	3.20	3.25	51.20	47.00	49.10	8.58	10.22 ± 1.50
5.2.b			1.60	1.90	1.75	46.30	48.40	47.35	11.51	
5.2.c			3.30	1.80	2.55	42.00	44.00	43.00	10.59	
5.3.a	1	180	5.40	5.40	5.40	53.00	54.50	53.75	9.52	10.90 ± 1.49
5.3.b			8.20	5.40	6.80	66.00	64.00	65.00	10.70	
5.3.c			4.10	6.00	5.05	50.90	53.90	52.40	12.48	
5.4.a	2	60	10.40	8.20	9.30	47.20	36.20	41.70	9.55	11.43 ± 2.03
5.4.b			2.60	3.20	2.90	29.00	28.00	28.50	11.16	
5.4.c			3.60	4.60	4.10	45.00	47.00	46.00	13.58	
5.5.a	2	120	2.90	3.80	3.35	80.00	78.00	79.00	11.69	11.47 ± 2.36
5.5.b			4.10	3.00	3.55	72.00	65.00	68.50	13.73	
5.5.c			4.10	4.10	4.10	55.00	85.70	70.35	9.01	
5.6.a	2	180	11.20	11.90	11.55	65.00	61.00	63.00	11.85	11.36 ± 1.68
5.6.b			14.20	14.10	14.15	87.00	98.00	92.50	9.49	
5.6.c			17.30	9.80	13.55	53.00	50.00	51.50	12.73	
5.7.a	6	60	10.80	12.40	11.60	93.00	120.00	106.50	13.00	10.51 ± 2.16
5.7.b			10.90	9.40	10.15	170.00	130.00	150.00	9.34	
5.7.c			10.80	11.20	11.00	96.00	92.00	94.00	9.19	
5.8.a	6	120	16.20	12.90	14.55	140.00	132.20	136.10	7.21	8.36 ± 1.35
5.8.b			11.10	7.10	9.10	102.00	98.60	100.30	9.85	
5.8.c			7.00	8.00	7.50	113.00	111.00	112.00	8.01	
5.9.a	6	180	9.00	9.30	9.15	896.00	833.00	864.50	Çatladı, kısmen ergidi	
5.9.b			16.00	17.30	16.65	180.00	171.10	175.55	7.27	5.67 ± 1.41
5.9.c			15.00	11.20	13.10	248.50	260.60	254.55	5.11	
5.9.d			10.30	11.20	10.75	390.00	373.30	381.65	4.62	

Ek 6'dan devam

Granit (Steppe Yellow)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık-1 (C°)	İlk sıcaklık-2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık-1 (C°)	Son sıcaklık-2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	BTS (MPa)	Ort. BTS (MPa)
6.1.a	1	60	8.70	8.70	8.70	37.00	21.00	29.00	7.59	8.78 ± 1.69
6.1.b			9.10	9.10	9.10	30.60	31.00	30.80	9.98	
6.2.a	1	120	9.50	8.20	8.85	42.00	43.20	42.60	9.76	8.32 ± 2.03
6.2.b			8.90	8.90	8.90	42.30	39.10	40.70	6.89	
6.3.a	1	180	18.20	18.90	18.55	60.00	60.00	60.00	8.18	7.70 ± 0.68
6.3.b			13.60	12.60	13.10	84.00	79.20	81.60	7.23	
6.4.a	2	60	11.90	9.90	10.90	84.00	80.00	82.00	7.61	6.69 ± 1.29
6.4.b			8.30	9.40	8.85	61.00	56.00	58.50	5.78	
6.5.a	2	120	9.30	12.40	10.85	64.00	65.30	64.65	9.58	9.28 ± 0.43
6.5.b			9.80	10.30	10.05	62.00	58.00	60.00	8.98	
6.6.a	2	180	9.20	8.90	9.05	68.00	76.80	72.40	6.57	6.98 ± 0.58
6.6.b			13.80	12.90	13.35	90.40	98.10	94.25	7.39	
6.7.a	6	60	13.80	14.40	14.10	156.70	151.10	153.90	6.11	7.38 ± 1.80
6.7.b			13.60	13.10	13.35	148.00	135.30	141.65	8.65	
6.8.a	6	120	12.90	8.90	10.90	216.30	203.40	209.85	6.10	7.77 ± 2.36
6.8.b			18.10	20.30	19.20	108.00	104.20	106.10	9.44	
6.9.a	6	180	10.60	15.50	13.05	244.30	256.80	250.55	6.12	6.62 ± 0.71
6.9.b			12.00	16.00	14.00	146.20	140.40	143.30	7.13	
6.10.a	6	240	18.70	18.20	18.45	248.30	267.50	257.90	5.71	6.08 ± 0.52
6.10.b			17.80	18.30	18.05	191.20	196.70	193.95	6.45	

Ek 6'dan devam

Gabro (Nero Turka)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık-1 (C°)	İlk sıcaklık-2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık-1 (C°)	Son sıcaklık-2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	BTS (MPa)	Ort. BTS (MPa)
7.1.a	1	60	5.10	5.30	5.20	127.70	129.80	128.75	9.86	9.11 ± 0.73
7.1.b			6.30	4.30	5.30	106.10	107.10	106.60	8.41	
7.1.d			5.00	4.60	4.80	94.40	96.10	95.25	9.06	
7.2.a	1	120	4.80	5.10	4.95	172.70	171.20	171.95	7.30	9.26 ± 1.91
7.2.b			4.10	5.40	4.75	169.00	185.00	177.00	11.12	
7.2.c			10.70	9.80	10.25	204.50	200.00	202.25	9.36	
7.3.a	1	180	12.10	16.10	14.10	260.10	258.40	259.25	6.23	8.38 ± 1.87
7.3.b			15.50	14.20	14.85	233.10	255.40	244.25	9.64	
7.3.c			7.70	6.60	7.15	231.50	226.60	229.05	9.27	
7.4.b	2	60	2.30	3.20	2.75	198.90	191.00	194.95	10.52	9.57 ± 0.84
7.4.d			11.60	12.80	12.20	190.30	210.70	200.50	8.93	
7.4.e			10.80	11.20	11.00	212.00	216.50	214.25	9.26	
7.5.b	2	120	4.90	4.10	4.50	309.10	318.00	313.55	9.43	9.71 ± 0.31
7.5.c			4.40	3.90	4.15	315.70	292.90	304.30	10.05	
7.5.d			4.30	4.50	4.40	192.50	183.10	187.80	9.65	
7.6.b	2	180	3.30	1.60	2.45	420.50	411.50	416.00	7.69	8.47 ± 1.22
7.6.c			2.20	2.70	2.45	362.90	354.80	358.85	7.84	
7.6.d			11.60	11.90	11.75	307.20	282.20	294.70	9.87	
7.7.a	6	60	4.20	4.20	4.20	388.10	398.80	393.45	9.68	9.58 ± 0.34
7.7.b			3.60	3.80	3.70	318.40	331.70	325.05	9.20	
7.7.c			3.90	2.60	3.25	258.20	275.70	266.95	9.85	
7.8.a	6	120	5.10	4.20	4.65	586.60	575.20	580.90	Çatladı	
7.8.b			3.90	4.20	4.05	478.00	477.70	477.85	8.41	8.41
7.8.c			3.20	2.60	2.90	613.00	700.00	656.50	Çatladı	
7.9.a	6	180	2.00	1.80	1.90	550.50	530.80	540.65	Çatladı	
7.9.b			3.00	4.00	3.50	779.60	709.40	744.50	Çatladı	
7.9.c			6.40	6.40	6.40	653.10	633.10	643.10	Çatladı	

Ek 6'dan devam

Granit (Kaman Rosa)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık 1 (C°)	İlk sıcaklık 2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık 1 (C°)	Son sıcaklık 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	BTS (MPa)	Ort. BTS (MPa)
8.1.a	1	60	15.00	12.00	13.50	54.00	55.80	54.90	3.98	4.30 ± 0.30
8.1.b			12.00	10.30	11.15	39.50	37.20	38.35	4.33	
8.1.c			11.50	10.30	10.90	34.20	48.80	41.50	4.59	
8.2.a	1	120	18.40	16.30	17.35	42.80	44.80	43.80	3.10	3.41 ± 0.27
8.2.b			11.10	9.60	10.35	36.90	37.80	37.35	3.54	
8.2.c			10.70	8.60	9.65	45.90	48.50	47.20	3.59	
8.3.a	1	180	15.70	16.10	15.90	114.30	114.60	114.45	4.00	3.90 ± 0.19
8.3.b			14.60	16.10	15.35	62.00	63.30	62.65	4.03	
8.3.c			12.10	13.60	12.85	65.90	71.30	68.60	3.68	
8.4.a	2	60	17.50	17.40	17.45	27.00	28.40	27.70	3.05	3.72 ± 0.86
8.4.b			16.50	16.90	16.70	36.00	36.20	36.10	3.42	
8.4.c			15.80	16.70	16.25	29.00	29.40	29.20	4.69	
8.5.a	2	120	12.80	12.60	12.70	41.50	43.00	42.25	4.84	4.31 ± 0.96
8.5.b			12.70	12.80	12.75	42.40	44.60	43.50	4.89	
8.5.c			12.70	12.60	12.65	82.30	87.40	84.85	3.21	
8.6.a	2	180	14.10	16.40	15.25	48.50	49.60	49.05	3.30	3.34 ± 0.06
8.6.b			12.90	13.40	13.15	48.30	46.20	47.25	3.32	
8.6.c			9.60	9.60	9.60	55.10	57.50	56.30	3.40	
8.7.a	6	60	12.70	12.70	12.70	107.50	83.80	95.65	4.40	3.87 ± 0.48
8.7.b			8.60	10.00	9.30	89.50	105.80	97.65	3.48	
8.7.c			11.30	6.70	9.00	145.70	105.40	125.55	3.73	
8.8.a	6	120	7.40	5.00	6.20	118.60	122.80	120.70	4.27	3.36 ± 0.96
8.8.b			12.00	13.00	12.50	117.50	122.00	119.75	3.46	
8.8.c			7.00	6.00	6.50	172.40	156.80	164.60	2.36	
8.9.a	6	180	8.20	10.10	9.15	202.70	171.10	186.90	3.43	3.34 ± 0.74
8.9.b			7.00	8.20	7.60	234.90	238.20	236.55	4.03	
8.9.c			7.40	10.30	8.85	225.30	227.10	226.20	2.56	
8.10.a	6	240	13.40	12.80	13.10	239.50	239.80	239.65	2.78	3.59 ± 0.77
8.10.b			15.80	15.80	15.80	222.20	212.20	217.20	4.30	
8.10.c			19.60	18.90	19.25	228.50	227.60	228.05	3.69	
8.11.a	6	360	13.60	12.80	13.20	271.20	288.40	279.80	3.28	3.60 ± 0.50
8.11.b			12.80	13.10	12.95	343.80	334.60	339.20	3.34	
8.11.c			14.60	13.20	13.90	338.20	340.20	339.20	4.17	

Ek 6'dan devam

Granit (Kozak Granit)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık 1 (C°)	İlk sıcaklık 2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık 1 (C°)	Son sıcaklık 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	BTS (MPa)	Ort. BTS (MPa)
9.1.a	1	60	14.00	17.50	15.75	63.90	71.70	67.80	10.43	9.08 ± 1.18
9.1.b			9.30	13.60	11.45	55.00	53.80	54.40	8.54	
9.1.c			10.60	12.60	11.60	54.00	57.30	55.65	8.27	
9.2.a	1	120	12.90	7.10	10.00	86.70	83.50	85.10	9.59	9.60 ± 0.73
9.2.b			8.50	9.20	8.85	117.00	110.50	113.75	8.87	
9.2.c			9.70	14.40	12.05	62.80	63.90	63.35	10.32	
9.3.a	1	180	13.10	14.10	13.60	227.00	282.00	254.50	8.75	8.56 ± 0.87
9.3.b			13.90	14.60	14.25	95.70	89.10	92.40	9.31	
9.3.c			8.60	13.30	10.95	114.50	120.00	117.25	7.61	
9.4.a	2	60	12.00	13.80	12.90	52.10	51.40	51.75	9.76	8.63 ± 1.26
9.4.b			11.00	12.90	11.95	42.70	46.10	44.40	8.85	
9.4.c			11.80	13.80	12.80	62.90	61.30	62.10	7.27	
9.5.a	2	120	10.10	12.30	11.20	70.30	70.90	70.60	9.80	9.81 ± 1.48
9.5.b			21.60	20.00	20.80	163.60	141.40	152.50	8.33	
9.5.c			9.50	10.50	10.00	55.60	55.30	55.45	11.30	
9.6.a	2	180	14.70	13.60	14.15	101.20	79.30	90.25	6.78	7.10 ± 1.65
9.6.b			10.30	11.30	10.80	77.00	94.40	85.70	5.63	
9.6.c			10.60	11.70	11.15	84.00	79.40	81.70	8.89	
9.7.a	6	60	14.70	17.30	16.00	248.70	244.70	246.70	7.28	7.19 ± 0.53
9.7.b			13.70	16.70	15.20	147.70	178.50	163.10	7.66	
9.7.c			13.40	12.70	13.05	145.70	161.10	153.40	6.61	
9.8.a	6	120	7.70	8.50	8.10	198.70	214.60	206.65	7.19	8.14 ± 0.85
9.8.b			5.70	5.10	5.40	176.70	208.20	192.45	8.37	
9.8.c			8.70	8.70	8.70	174.30	169.30	171.80	8.85	
9.9.a	6	180	12.60	12.60	12.60	255.30	266.90	261.10	6.55	6.20 ± 0.31
9.9.b			13.60	16.40	15.00	282.20	265.70	273.95	5.95	
9.9.c			17.20	14.00	15.60	447.50	457.80	452.65	6.09	

Ek 7 – Mikrodalgaya Maruz Bırakılan Numunelerin Isınma Dereceleri ve Tek Eksenli Basınç Dayanımı (UCS) Deney Sonuçları

Granit (Rosa Well)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık 1 (C°)	İlk sıcaklık 2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık 1 (C°)	Son sıcaklık 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	UCS (MPa)	Ort. UCS (MPa)
1.1.a	1	120	13.50	15.50	14.50	59.70	53.30	56.50	112.23	113.68 ± 9.39
1.1.b			7.30	7.50	7.40	63.30	58.80	61.05	123.71	
1.1.d			17.00	17.00	17.00	71.90	63.00	67.45	105.10	
1.2.a	1	240	12.60	12.30	12.45	158.10	160.30	159.20	129.27	135.82 ± 8.24
1.2.b			11.20	10.70	10.95	165.80	154.60	160.20	133.13	
1.2.c			7.40	7.40	7.40	117.00	126.00	121.50	145.07	
1.3.a	1	360	6.40	8.40	7.40	153.90	171.80	162.85	120.56	122.40 ± 15.98
1.3.b			10.20	11.20	10.70	87.40	80.80	84.10	139.22	
1.3.c			14.30	14.80	14.55	80.30	76.90	78.60	107.42	
1.4.a	2	120	8.40	8.10	8.25	101.30	99.60	100.45	131.14	124.06 ± 17.68
1.4.b			8.10	8.20	8.15	67.20	54.90	61.05	137.10	
1.4.c			6.80	7.80	7.30	48.10	39.40	43.75	103.94	
1.5.a	2	240	10.80	11.50	11.15	245.30	282.50	263.90	102.72	120.30 ± 21.16
1.5.b			10.20	10.90	10.55	203.10	185.30	194.20	114.39	
1.5.c			8.70	8.60	8.65	176.80	173.90	175.35	143.78	
1.6.a	2	360	14.90	14.20	14.55	284.80	243.30	264.05	130.53	113.03 ± 24.99
1.6.b			13.40	14.90	14.15	312.60	297.60	305.10	124.15	
1.6.c			14.20	14.90	14.55	140.30	143.20	141.75	84.41	
1.7.a	6	120	11.80	11.50	11.65	167.20	181.40	174.30	103.85	107.17 ± 4.83
1.7.b			11.60	11.60	11.60	114.20	125.70	119.95	104.95	
1.7.c			10.50	11.20	10.85	91.50	102.20	96.85	112.71	
1.8.a	6	240	10.60	10.90	10.75	277.50	265.80	271.65	97.93	90.94 ± 7.58
1.8.b			13.30	15.50	14.40	160.00	164.80	162.40	92.00	
1.8.c			17.30	17.10	17.20	174.60	187.20	180.90	82.89	
1.9.a	6	360	15.60	14.30	14.95	490.10	534.40	512.25	Çatladı	
1.9.b			13.60	13.40	13.50	500.90	433.40	467.15	Çatladı	
1.9.c			12.10	10.10	11.10	650.30	690.80	670.55	Çatladı , kısmen ergidi	

Ek 7'den devam

Granit (Rosa Minho)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık 1 (C°)	İlk sıcaklık 2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık 1 (C°)	Son sıcaklık 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	UCS (MPa)	Ort. UCS (MPa)
2.1.a	1	120	6.80	8.30	7.55	64.60	77.00	70.80	133.21	129.89 ± 13.41
2.1.b			8.10	8.40	8.25	60.20	69.20	64.70	115.13	
2.1.c			8.90	8.60	8.75	61.30	59.10	60.20	141.32	
2.2.a	1	240	5.10	5.10	5.10	77.90	73.70	75.80	141.83	122.56 ± 17.07
2.2.b			4.20	4.20	4.20	140.80	149.60	145.20	116.51	
2.2.c			4.80	4.80	4.80	89.20	96.40	92.80	109.35	
2.3.a	1	360	7.40	7.90	7.65	184.50	181.30	182.90	146.97	138.31 ± 7.64
2.3.b			4.90	8.60	6.75	196.80	170.00	183.40	135.43	
2.3.c			7.90	7.90	7.90	159.70	161.80	160.75	132.53	
2.4.a	2	120	10.70	11.80	11.25	43.50	45.20	44.35	133.25	125.84 ± 11.37
2.4.c			13.40	13.20	13.30	57.10	52.10	54.60	131.52	
2.4.d			16.20	17.00	16.60	74.70	74.80	74.75	112.75	
2.5.a	2	240	14.10	14.20	14.15	130.00	137.60	133.80	134.91	130.41 ± 16.12
2.5.b			13.40	15.00	14.20	82.30	72.70	77.50	112.52	
2.5.c			15.10	14.80	14.95	173.30	194.60	183.95	143.81	
2.6.a	2	360	12.10	13.60	12.85	217.60	234.90	226.25	111.37	131.60 ± 22.10
2.6.b			13.20	15.10	14.15	148.70	158.10	153.40	155.18	
2.6.c			14.80	14.90	14.85	251.90	238.60	245.25	128.25	
2.7.a	6	120	12.20	15.60	13.90	469.10	391.20	430.15	92.91	107.78 ± 18.66
2.7.b			6.80	6.70	6.75	139.10	126.10	132.60	101.71	
2.7.c			6.50	6.10	6.30	165.50	164.20	164.85	128.72	
2.8.b	6	240	6.80	8.50	7.65	280.10	296.40	288.25	90.29	89.67 ± 12.81
2.8.d			17.60	16.90	17.25	278.70	270.90	274.80	102.16	
2.8.e			16.10	16.50	16.30	301.60	296.10	298.85	76.56	
2.9.a	6	360	9.50	9.10	9.30	478.40	424.40	451.40	104.18	99.52 ± 18.36
2.9.c			10.20	10.20	10.20	284.00	288.00	286.00	115.10	
2.9.d			17.10	17.00	17.05	359.30	358.60	358.95	79.27	
2.10.a	6	420	17.60	17.70	17.65	404.70	399.90	402.30	57.39	68.37 ± 19.35
2.10.b			17.20	16.30	16.75	472.90	455.10	464.00	57.02	
2.10.c			16.80	18.10	17.45	350.00	330.50	340.25	90.71	

Ek 7'den devam

Siyenit (Volga Blue)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık 1 (C°)	İlk sıcaklık 2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık 1 (C°)	Son sıcaklık 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	UCS (MPa)	Ort. UCS (MPa)
3.1.a	1	60	11.70	10.70	11.20	51.20	57.40	54.30	77.09	91.18 ± 14.42
3.1.c			10.20	9.70	9.95	58.60	74.80	66.70	105.90	
3.1.d			11.20	12.90	12.05	73.00	86.00	79.50	90.54	
3.2.a	1	120	14.60	12.10	13.35	74.10	68.50	71.30	63.51	72.35 ± 10.21
3.2.b			10.50	9.80	10.15	113.10	136.10	124.60	70.01	
3.2.c			8.60	9.40	9.00	108.70	93.00	100.85	83.52	
3.3.a	1	180	11.80	8.00	9.90	138.30	160.50	149.40	58.36	67.12 ± 30.75
3.3.b			9.70	8.70	9.20	184.00	291.20	237.60	101.30	
3.3.d			12.50	12.50	12.50	161.30	183.10	172.20	41.69	
3.4.a	2	60	13.40	11.00	12.20	133.70	87.20	110.45	95.78	91.52 ± 16.81
3.4.b			13.10	13.10	13.10	103.60	113.00	108.30	72.99	
3.4.c			14.80	11.00	12.90	109.90	117.70	113.80	105.79	
3.5.a	2	120	10.70	9.50	10.10	119.80	159.10	139.45	89.22	86.84 ± 35.15
3.5.b			13.80	9.80	11.80	193.60	248.30	220.95	50.56	
3.5.c			13.50	13.00	13.25	245.00	212.20	228.60	120.73	
3.6.a	2	180	16.30	16.30	16.30	376.30	299.00	337.65	54.38	60.62 ± 12.56
3.6.b			15.40	16.20	15.80	249.90	202.70	226.30	75.07	
3.6.c			14.30	16.00	15.15	290.60	257.70	274.15	52.40	
3.7.a	6	60	8.20	8.40	8.30	370.20	342.50	356.35	85.88	84.29 ± 11.45
3.7.b			9.30	9.40	9.35	355.80	376.80	366.30	94.86	
3.7.c			11.20	10.30	10.75	280.50	238.90	259.70	72.13	
3.8.a	6	120	16.20	16.50	16.35	287.00	280.90	283.95	58.01	71.06 ± 11.42
3.8.b			18.20	14.40	16.30	389.80	453.30	421.55	79.21	
3.8.c			17.30	18.10	17.70	493.80	550.90	522.35	75.96	
3.9.a	6	180	9.40	10.80	10.10	697.70	675.90	686.80	56.11	57.75 ± 17.30
3.9.c			9.70	9.10	9.40	447.10	466.90	457.00	75.81	
3.9.d			12.40	11.20	11.80	625.50	537.80	581.65	41.32	

Ek 7'den devam

Granit (Nublado)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık 1 (C°)	İlk sıcaklık 2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık 1 (C°)	Son sıcaklık 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	UCS (MPa)	Ort. UCS (MPa)
4.1.a	1	120	10.20	9.80	10.00	90.00	96.60	93.30	91.77	112.58 ± 18.04
4.1.b			10.20	10.20	10.20	60.00	56.40	58.20	122.35	
4.1.d			9.60	10.40	10.00	59.50	61.10	60.30	123.63	
4.2.a	1	240	9.80	10.60	10.20	100.00	107.00	103.50	84.12	112.41 ± 24.65
4.2.b			9.70	10.70	10.20	110.50	115.20	112.85	123.81	
4.2.c			15.90	15.60	15.75	131.50	115.80	123.65	129.30	
4.3.a	1	360	15.70	15.30	15.50	197.00	183.70	190.35	103.01	105.76 ± 10.36
4.3.c			15.00	14.80	14.90	124.70	123.70	124.20	97.06	
4.3.d			16.00	16.20	16.10	250.70	253.40	252.05	117.22	
4.4.a	2	120	13.80	14.60	14.20	116.06	112.60	114.33	96.55	99.40 ± 30.49
4.4.b			14.20	17.30	15.75	73.30	76.90	75.10	131.21	
4.4.c			15.10	14.70	14.90	169.10	175.80	172.45	70.43	
4.5.a	2	240	13.80	14.20	14.00	189.40	178.60	184.00	118.32	118.53 ± 16.87
4.5.b			14.30	17.80	16.05	120.40	128.10	124.25	135.51	
4.5.c			19.40	18.60	19.00	157.30	157.60	157.45	101.77	
4.6.a	2	360	18.70	15.60	17.15	150.40	122.10	136.25	135.51	125.83 ± 8.85
4.6.b			19.10	19.80	19.45	165.00	174.10	169.55	118.17	
4.6.c			19.90	17.20	18.55	149.60	171.90	160.75	123.80	
4.7.b	6	120	16.80	16.80	16.80	141.20	123.70	132.45	141.49	121.18 ± 20.15
4.7.c			16.50	16.30	16.40	125.20	155.50	140.35	101.20	
4.7.d			16.70	15.60	16.15	238.60	215.80	227.20	120.85	
4.8.a	6	240	13.10	14.60	13.85	273.80	193.60	233.70	102.35	112.38 ± 18.33
4.8.c			11.60	12.70	12.15	203.00	229.30	216.15	101.25	
4.8.d			15.30	15.80	15.55	355.60	368.80	362.20	133.54	
4.9.a	6	360	12.50	12.70	12.60	358.90	327.90	343.40	106.14	111.63 ± 8.66
4.9.b			14.90	15.20	15.05	236.20	272.30	254.25	107.13	
4.9.c			13.80	15.30	14.55	357.80	365.70	361.75	121.61	

Ek 7'den devam

Siyenit (Jungle Green)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık 1 (C°)	İlk sıcaklık 2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık 1 (C°)	Son sıcaklık 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	UCS (MPa)	Ort. UCS (MPa)
5.1.a	1	120	13.10	13.70	13.40	61.10	74.40	67.75	194.98	199.84 ± 5.63
5.1.b			13.40	15.00	14.20	65.00	71.00	68.00	206.01	
5.1.c			15.10	15.50	15.30	62.20	67.20	64.70	198.54	
5.2.a	1	240	15.70	16.60	16.15	111.10	114.60	112.85	214.16	206.39 ± 19.08
5.2.b			16.00	16.70	16.35	100.70	106.60	103.65	184.65	
5.2.c			15.80	16.30	16.05	58.30	65.30	61.80	220.36	
5.3.a	1	360	16.50	16.80	16.65	152.70	152.40	152.55	136.69	143.80 ± 29.55
5.3.b			15.40	15.70	15.55	147.00	139.40	143.20	118.45	
5.3.c			16.00	16.20	16.10	120.80	133.70	127.25	176.25	
5.4.a	2	120	14.50	11.20	12.85	67.00	59.70	63.35	81.28	115.45 ± 29.97
5.4.b			11.90	13.20	12.55	76.30	66.60	71.45	127.74	
5.4.c			15.30	11.20	13.25	72.60	88.60	80.60	137.32	
5.5.a	2	240	12.70	12.00	12.35	162.90	173.60	168.25	154.77	146.02 ± 15.79
5.5.b			11.80	11.60	11.70	164.80	197.50	181.15	155.51	
5.5.c			12.50	12.70	12.60	130.50	163.70	147.10	127.79	
5.6.a	2	360	13.30	9.20	11.25	207.70	225.10	216.40	133.65	129.70 ± 27.27
5.6.b			10.80	11.00	10.90	193.10	156.40	174.75	100.67	
5.6.c			12.40	17.10	14.75	206.70	179.40	193.05	154.77	
5.7.a	6	120	14.40	14.30	14.35	112.60	226.70	169.65	175.64	153.58 ± 21.48
5.7.b			12.20	12.00	12.10	162.30	228.80	195.55	132.73	
5.7.c			12.20	11.70	11.95	159.20	131.70	145.45	152.36	
5.8.a	6	240	13.60	12.40	13.00	418.20	315.80	367.00	137.90	151.27 ± 23.56
5.8.b			11.50	12.40	11.95	234.60	250.20	242.40	178.48	
5.8.c			13.20	13.80	13.50	353.30	355.60	354.45	137.44	
5.9.a	6	360	13.60	12.40	13.00	636.60	536.40	586.50	Çatladı, kısmen ergidi	
5.9.b			11.50	12.40	11.95	297.40	294.40	295.90	112.17	112.17
5.9.c			13.20	13.80	13.50	465.70	625.40	545.55	Çatladı, kısmen ergidi	

Ek 7'den devam

Granit (Steppe Yellow)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık 1 (C°)	İlk sıcaklık 2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık 1 (C°)	Son sıcaklık 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	UCS (MPa)	Ort. UCS (MPa)
6.1.a	1	120	15.30	14.80	15.05	49.40	53.70	51.55	151.96	128.42 ± 33.30
6.1.b			16.50	16.00	16.25	101.50	98.60	98.60	104.87	
6.2.a	1	240	16.50	14.90	15.70	139.00	150.40	144.70	121.88	108.08 ± 19.52
6.2.b			14.70	16.70	15.70	105.00	123.80	114.40	94.28	
6.3.a	1	360	10.50	9.30	9.90	82.50	84.50	83.50	121.08	114.24 ± 9.67
6.3.b			15.90	16.20	16.05	108.70	113.10	110.90	107.40	
6.4.a	2	120	15.70	17.90	16.80	104.10	87.30	95.70	131.29	114.88 ± 23.21
6.4.b			16.20	15.90	16.05	236.50	208.80	222.65	98.46	
6.5.a	2	240	15.50	17.80	16.65	238.30	220.30	229.30	121.08	111.57 ± 13.46
6.5.b			16.00	16.10	16.05	381.90	388.60	385.25	102.05	
6.6.a	2	360	18.80	17.60	18.20	151.80	154.20	153.00	73.06	62.09 ± 15.52
6.6.b			19.20	19.30	19.25	222.90	215.70	219.30	51.11	
6.7.a	6	120	17.20	16.20	16.70	279.10	297.10	288.10	113.95	112.51 ± 2.04
6.7.c			12.00	11.70	11.85	253.60	234.90	244.25	111.07	
6.8.a	6	240	17.40	17.20	17.30	375.50	340.80	358.15	114.70	101.33 ± 18.92
6.8.b			17.80	17.00	17.40	328.40	366.10	347.25	87.95	
6.9.a	6	360	17.70	17.40	17.55	377.30	401.70	389.50	72.94	84.07 ± 15.74
6.9.b			17.80	17.40	17.60	476.40	396.40	436.40	95.20	

Ek 7'den devam

Gabro (Nero Turka)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık 1 (C°)	İlk sıcaklık 2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık 1 (C°)	Son sıcaklık 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	UCS (MPa)	Ort. UCS (MPa)
7.1.a	1	60	15.30	15.30	15.30	74.20	78.60	76.40	190.66	188.21 ± 23.92
7.1.b			14.20	15.40	14.80	82.30	79.60	80.95	210.82	
7.1.d			14.60	16.20	15.40	82.60	73.10	77.85	163.16	
7.2.a	1	120	13.60	12.60	13.10	192.50	157.20	174.85	181.42	189.65 ± 9.81
7.2.b			10.40	12.60	11.50	104.60	128.90	116.75	200.51	
7.2.c			13.70	13.80	13.75	107.90	123.60	115.75	187.02	
7.3.a	1	180	13.80	13.40	13.60	170.60	159.10	164.85	184.72	176.06 ± 7.75
7.3.b			13.20	13.10	13.15	141.80	183.30	162.55	173.70	
7.3.c			13.30	13.00	13.15	177.10	177.20	177.15	169.77	
7.4.a	2	60	12.60	13.00	12.80	91.20	87.00	89.10	186.22	172.02 ± 25.04
7.4.b			8.90	9.70	9.30	100.50	100.30	100.40	186.73	
7.4.c			9.20	9.60	9.40	80.50	95.60	88.05	143.10	
7.5.b	2	120	12.10	13.00	12.55	204.50	196.50	200.50	184.55	187.56 ± 10.19
7.5.c			10.20	10.90	10.55	177.80	175.20	176.50	179.21	
7.5.d			15.50	17.70	16.60	274.90	242.80	258.85	198.92	
7.6.a	2	180	11.60	11.30	11.45	184.50	181.60	183.05	171.69	158.80 ± 24.85
7.6.b			10.60	12.70	11.65	310.20	285.60	297.90	174.56	
7.6.d			15.60	17.20	16.40	261.60	292.60	277.10	130.15	
7.7.a	6	60	8.70	8.90	8.80	242.40	276.30	259.35	178.40	148.46 ± 26.26
7.7.c			10.50	11.90	11.20	262.70	299.70	281.20	129.32	
7.7.d			14.60	15.70	15.15	296.90	291.20	294.05	137.67	
7.8.a	6	120	9.80	8.70	9.25	432.20	438.80	435.50	176.00	153.61 ± 45.13
7.8.b			8.60	9.20	8.90	392.60	374.50	383.55	183.17	
7.8.d			15.30	16.40	15.85	523.30	482.80	503.05	101.66	
7.9.a	6	180	9.70	9.80	9.75	699.40	634.40	666.90	Çatladı	
7.9.b			10.40	9.60	10.00	498.80	473.30	486.05	165.00	154.58 ± 14.74
7.9.c			16.70	16.90	16.80	730.10	601.10	665.60	144.16	

Ek 7'den devam

Granit (Kaman Rosa)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık 1 (C°)	İlk sıcaklık 2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık 1 (C°)	Son sıcaklık 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	UCS (MPa)	Ort. UCS (MPa)
8.1.a	1	120	15.30	14.30	14.80	54.50	63.40	58.95	71.61	77.36 ± 6.71
8.1.b			15.20	14.80	15.00	70.70	63.10	66.90	84.73	
8.1.c			14.60	15.30	14.95	66.70	78.10	72.40	75.75	
8.2.a	1	240	15.00	16.30	15.65	125.50	166.80	146.15	89.10	87.97 ± 8.94
8.2.b			13.80	14.60	14.20	221.40	232.40	226.90	96.29	
8.2.c			15.80	15.70	15.75	159.20	136.60	147.90	78.52	
8.3.a	1	360	14.30	16.60	15.45	192.10	192.40	192.25	66.61	85.37 ± 16.69
8.3.b			16.40	16.40	16.40	257.70	258.80	258.25	98.60	
8.3.c			14.80	15.70	15.25	295.30	298.40	296.85	90.89	
8.4.a	2	120	15.30	16.00	15.80	114.40	145.60	130.00	67.94	71.93 ± 6.18
8.4.b			15.20	16.50	15.85	73.30	74.40	73.85	68.80	
8.4.c			14.60	15.30	14.95	61.10	61.70	61.40	79.04	
8.5.a	2	240	15.40	14.90	15.15	227.80	230.70	229.25	79.61	79.17 ± 13.33
8.5.b			15.20	17.20	16.20	153.20	197.70	175.45	65.63	
8.5.c			17.70	18.20	17.95	184.00	200.70	192.35	92.27	
8.6.a	2	360	17.20	15.20	16.20	290.20	319.50	304.85	83.24	83.43 ± 3.69
8.6.b			16.20	15.50	15.85	250.80	258.00	254.40	87.21	
8.6.c			16.20	16.20	16.20	162.00	152.40	157.20	79.84	
8.7.a	6	120	15.60	16.20	15.90	176.50	208.20	192.35	53.70	73.51 ± 17.34
8.7.b			16.70	16.10	16.40	141.30	155.00	148.15	80.88	
8.7.c			18.20	17.20	17.70	173.30	180.20	176.75	85.94	
8.8.a	6	240	12.50	14.60	13.55	256.10	271.30	263.70	96.12	85.20 ± 10.53
8.8.b			14.20	12.40	13.30	256.20	260.30	258.25	84.39	
8.8.c			13.30	12.50	12.90	247.10	249.60	248.35	75.10	
8.9.a	6	360	12.60	13.10	12.85	307.40	311.50	309.45	97.91	82.88 ± 13.81
8.9.b			12.40	14.20	13.30	276.90	372.00	324.45	70.76	
8.9.c			13.10	12.60	12.85	290.20	292.20	291.20	79.96	
8.10.a	6	420	15.30	16.20	15.75	388.90	401.10	395.00	96.93	74.70 ± 31.44
8.10.b			16.00	16.20	16.10	340.20	335.90	338.05	52.47	

Ek 7'den devam

Granit (Kozak Granit)

Numune no	Mikrodalga gücü (kW)	Süre (s)	İlk sıcaklık 1 (C°)	İlk sıcaklık 2 (C°)	Ort. ilk Sıcaklık (C°)	Son sıcaklık 1 (C°)	Son sıcaklık 2 (C°)	Ort. Son Sıcaklık (C°)	UCS (MPa)	Ort. UCS (MPa)
9.1.a	1	120	16.00	15.90	15.95	111.20	134.50	122.85	136.29	117.42 ± 19.11
9.1.b			16.20	15.40	15.80	125.50	127.10	126.30	98.07	
9.1.c			18.10	20.50	19.30	141.70	122.30	132.00	117.89	
9.2.a	1	240	16.80	19.30	18.05	158.40	163.00	160.70	152.65	120.89 ± 30.36
9.2.b			11.30	14.30	12.80	228.80	265.60	247.20	92.15	
9.2.c			17.30	17.00	17.15	199.10	233.40	216.25	117.86	
9.3.a	1	360	17.70	17.20	17.45	180.40	222.40	201.40	132.39	110.97 ± 24.91
9.3.b			16.50	16.50	16.50	137.80	140.20	139.00	116.88	
9.3.c			16.90	17.10	17.00	230.40	227.20	228.80	83.64	
9.4.a	2	120	16.70	16.70	16.70	116.00	93.00	104.50	146.39	111.41 ± 43.05
9.4.b			17.60	18.30	17.95	182.30	132.00	157.15	124.52	
9.4.c			17.80	17.80	17.80	158.80	126.20	142.50	63.33	
9.5.a	2	240	17.00	17.20	17.10	188.00	190.90	189.45	129.80	119.11 ± 15.85
9.5.b			17.10	18.10	17.60	207.50	187.10	197.30	100.90	
9.5.c			17.60	17.80	17.70	299.30	246.30	272.80	126.64	
9.6.a	2	360	17.70	17.80	17.75	330.50	314.30	322.40	119.35	122.49 ± 30.26
9.6.b			17.70	17.90	17.80	228.50	192.50	210.50	154.20	
9.6.c			20.00	22.40	21.20	394.30	279.50	336.90	93.92	
9.7.b	6	120	17.60	16.30	16.95	311.50	278.80	295.15	108.78	103.80 ± 14.50
9.7.c			18.70	17.60	18.15	287.20	286.00	286.60	115.16	
9.7.d			17.40	18.20	17.80	193.90	198.60	196.25	87.47	
9.8.b	6	240	15.40	14.20	14.80	415.80	410.70	413.25	114.30	106.22 ± 7.71
9.8.c			17.10	17.90	17.50	461.10	459.30	460.20	98.94	
9.8.e			18.60	18.30	18.45	348.80	345.80	347.30	105.42	
9.9.b	6	360	16.20	16.10	16.15	476.60	490.60	483.60	91.41	106.18 ± 27.39
9.9.c			16.30	16.90	16.60	422.90	423.80	423.35	137.78	
9.9.d			16.50	17.00	16.75	513.20	503.90	508.55	89.34	
9.10.a	6	420	16.90	16.50	16.70	461.30	472.80	467.05	86.98	101.79 ± 20.94
9.10.b			17.20	16.40	16.80	530.60	500.20	515.40	116.60	

Ek 8 – Tezden Türetilmiş Yayınlar

Kahraman S., Canpolat A.N., Fener M., “*The influence of microwave treatment on the compressive and tensile strength of igneous rocks*” International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences (Düzeltilme istenildi).

Kahraman S., Canpolat A.N., Fener M., “*The effects of microwave heating on the mineralogy of igneous rocks*”. Bulletin of Engineering Geology and the Environment (İncelemede).



Ek 9 – Tezden Türetilmiş Bildiriler

Canpolat A. N., Kahraman S., Çolak A., Yurdacan Ş. A., “*Derinlik kayaçlarının basınç ve çekme dayanımının P-dalga hızından tahmin edilebilirliğinin araştırılması*” KAYAMEK’2018- 12. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Trabzon 2018.

Canpolat A. N., Kahraman S., Fener M., Yurdacan Ş. A., Çolak A., “*The Effect of Mineralogy on the Microwave Heating of Igneous Rocks*” IV.th International Underground Excavations Symposium and Exhibition, Tünelcilik Derneği, İstanbul 2018.

Kahraman S., Canpolat A.N., Fener M., Çolak A., Yurdacan Ş.A., “*Effect of Microwave Treatment on Strength of Igneous Rocks*” IV.th International Underground Excavations Symposium and Exhibition, Tünelcilik Derneği, İstanbul 2018.

Kahraman S., Canpolat A.N., Fener M., “*Evaluating the surface temperatures and the strength of igneous rocks treated by microwave*”. ISRM International Symposium EUROCK 2020 – Hard Rock Engineering, Trondheim, Norway, 14-19 June (Sunum için kabul edildi)



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/~~DOKTORA~~ TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 22/01/2020

Tez Başlığı / Konusu: Mikrodalgaya Maruz Bırakmanın Magmatik Kayaçların Dayanımı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler, d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 78 sayfalık kısmına ilişkin, 22/01/2020 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 5 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

22.01.2020
Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Ahmet Niyazi CANPOLAT
Öğrenci No: N17121108
Anabilim Dalı: Maden Mühendisliği
Programı:
Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Sair KAHRAMAN
(Unvan, Ad Soyad, İmza)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Niyazi CANPOLAT
Doğum yeri : ANKARA
Doğum tarihi : 10.07.1992
Medeni hali : Bekar
Yazışma adresi :
Telefon :
Elektronik posta adresi : a.niyazicanpolat@gmail.com
Yabancı dili : İngilizce

EĞİTİM DURUMU

Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi – Maden Mühendisliği
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi – Polimer Bilimi ve Teknolojileri
(2017-Maden Müh. geçiş)
Hacettepe Üniversitesi – Maden Mühendisliği (2017-2020)