

Magmatik Kökenli Doğal Taşların
Elmas Soketli Dairesel Testerelele
Kesilebilirlik Analizleri

Nurdan YILMAZ

DOKTORA TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2009

Sawability Analyzes of Magmatic-origin Natural Stones
Using Diamond Segmented Circular Saws

Nurdan YILMAZ
Ph.D. Thesis
In Mining Engineering
December-2009

Magmatik Kökenli Doğal Taşların
Elmas Soketli Dairesel Testerelerle
Kesilebilirlik Analizleri

Nurdan YILMAZ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden İşletme Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Prof. Dr. R.Mete GÖKTAN

Aralık-2009

ONAY

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Nurdan Yılmaz' ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “Magmatik Kökenli Doğal Taşların Elmas Soketli Dairesel Testerelerle Kesilebilirlik Analizleri” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN

İkinci Danışman: -

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Yaşar KİBİCİ

Üye: Prof.Dr. Osman Zeki HEKİMOğLU

Üye: Doç. Dr. Hürriyet AKDAŞ

Üye: Doç. Dr. Raşit ALTINDAğ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Dünya doğal taş ticaretinde granitlere olan ilgi giderek artmaktadır. Çevresel dış tesirlere karşı yüksek dayanıklılıkları ve estetik görünümleri, bu ilginin başlıca nedenleri arasında sayılabilir. Bununla birlikte, sert ve aşındırıcı özellikleri nedeniyle, granitlerin ocaklarda ve doğal taş işleme tesislerindeki kesme işlemlerinde bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Mermer ve traverten gibi diğer doğal taşlarla karşılaştırıldığında, bu güçlükler görece düşük kesme verimi ve yüksek testere tüketimleri ile ilgilidir.

Granitlerin dairesel testerele kesilebilirlik özelliklerinin incelendiği bu çalışmada; çalışma parametrelerinin (kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme hızı) kesilebilirlik parametreleri (kesme kuvvetleri, aktif güç tüketimi, ortalama talaş kalınlığı, özgül kesme enerjisi, gürültü seviyesi) üzerindeki etkilerinin ve kayaca ait özelliklerin (mineralojik-petrografik ve fiziko-mekanik) kesilebilirlik parametreleri üzerindeki etkilerinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, bir doğal taş işleme tesisinden seçilen farklı mineralojik-petrografik ve fiziko-mekanik özelliklere sahip 12 adet granit örneği, çeşitli deneysel koşullarda kesme deneylerine tabi tutulmuştur.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, kesme veriminin kesme hızıyla orantılı olarak arttığını göstermektedir. Bununla birlikte, kesme hızının artırılması istenildiğinde, kesme derinliğini düşük tutup ilerleme hızını yükseltme şeklindeki bir uygulamanın daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Kesme derinliğini yüksek tutup ilerleme hızını azaltmak şeklindeki uygulamalarda, kuvvet ve enerji gereksinimlerinin görece daha fazla olduğu gözlenmiştir. Yüksek kesme hızlarının testere özgül aşınma değerlerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Shore sertlik değeri hariç, granitlerin fiziko-mekanik özellikleri ile kesilebilirlik parametreleri arasında istatistiksel anlamda güvenilir hiçbir ilişki bulunamamıştır. Granitlerin kesilebilirlik karakteristiklerini etkileyen en önemli parametrenin mineralojik-petrografik özellikleri olduğu belirlenmiştir. Kesim esnasında oluşan gürültü seviyesinin çalışma parametrelerinin bir fonksiyonu olduğu ve kayaç özelliklerinden bağımsız olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Granit, doğal taş, dairesel testere, aşınma, özgül enerji, kesme kuvveti.

SUMMARY

In the world natural stone trade, there is a continuously growing demand for granites. This is mainly due to their high resistance to environmental influences and aesthetic properties. However, it is known that the sawing of granites both in the quarries and processing plants exhibits some difficulties to their hardness and abrasive characteristics. These difficulties can be mainly related to their relatively low processing productivity and high tool consumption, compared to other natural stones such as marble and travertine. Hence, many investigations are being carried out in order to improve their production efficiency and reduce the costs.

In this work, circular sawing experiments on granites were undertaken to (i) analyze the effect of operating conditions (sawing speed, cutting depth, feed velocity) on the sawability parameters (cutting forces, active power consumption, mean chip thickness, specific cutting energy and noise level), and (ii) to analyze the effects of rock properties (mineralogical-petrographical and physico-mechanical) on the sawability parameters. To achieve this goal, samples of 12 granites having different mineralogical-petrographical and physico-mechanical properties were selected from a stone processing plant, and were subjected to circular sawing experiments under various experimental conditions. Circular sawing experiments were performed on a high-precision fully instrumented side-cutting machine.

The results obtained from the experimental studies indicate that increasing the sawing rate improves the efficiency of the process in terms of specific cutting energy. However, achieving higher sawing rates by increasing the feed velocity while employing a shallower cutting depth was found to be more advantageous than the alternative of increasing the cutting depth and employing a lower feed velocity. This latter processing technique results with higher cutting forces and power requirements. It was also determined that higher sawing rates adversely affected the tool life. Except the Shore hardness value, no statistically meaningful relation could be established between rock physico-mechanical properties and the sawability parameters. It was determined that the mineralogical-petrographical properties of granites dominated their sawability characteristics. Finally, it was also observed that noise level was a function of the operating parameters, rather than rock properties.

Keywords: Granite, sawing, natural stone, sawblade, wear, specific energy, cutting force.

TEŞEKKÜR

Akademik kariyerim boyunca, her konuda desteğini gördüğüm değerli hocam Prof. Dr. R. Mete GÖKTAN'a sonsuz teşekkürler.

Ayrıca, deney çalışmaları esnasında bana tüm kolaylıkları sağlayan ESOGÜ Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hüseyin ÖZDAĞ'a; doktora çalışmalarım esnasında mineralojik-petrografik analizlerle yakından ilgilenen ve derin bilgileriyle beni aydınlatan, Prof. Dr. Yaşar KİBİCİ'ye; deneylerim için gerekli olan tüm numuneleri sağlayan ve değerli tecrübelerini paylaşan GRANİTAŞ Firması Genel Müdürü Sayın Suat SARISOY'a; büyük bir özveri ile numunelerimi hazırlayan GRANİTAŞ Firmasının değerli çalışanlarına ve özellikle GRANİTAŞ Firması Müdürü Sayın Suat YILMAZ'a ve Sayın Esin ORUÇ'a; jeolojik bilgileriyle çalışmalarına destek olan Prof. Dr. Rifat BOZKURT'a ve Prof. Dr. Selahattin Kadir'e; kesme deneylerinin gerçekleşmesi esnasında Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvar olanaklarından yararlanmamı sağlayan TUAM Müdürü Yrd. Doç. Dr. Aytekin HİTİT'e; fiziko-mekanik deneylerim esnasında Afyon Kocatepe Üniversitesi Afyon Meslek Yüksekokulu inşaat laboratuvarında yardımlarını gördüğüm Öğr. Grv. Kurtuluş ARTIK'a ve Sayın Hüseyin UYSAL'a; kesme deneyleri esnasında benden yardımlarını esirgemeyen Arş. Grv. Sait Mahmut ÇINAR'a, Arş. Grv. İsmail UCUN'a, Proje Asistanı Onur ÖZBEK'e, Proje Asistanı Fuat KARA'ya; Proje Asistanı Zencani ÇELİK'e; Arş. Grv. Sevgi GÜRÇAN'a, Yrd. Doç. Dr. Ali SARIŞIK'a ve UNİMAS Firması çalışanlarından Sayın Mustafa Kemal KAYA'ya; SDÜ Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvar olanaklarından yararlanmamı sağlayan Doç. Dr. Raşit ALTINDAĞ'a ve Arş. Grv. Nazmi ŞENGÜN'e; analizlerim esnasında bilgilerinden yararlandığım Arş. Grv. Hacı Murat ARPAT'a, Arş. Grv. Mehmet DEMİRBİLEK'e, Arş. Grv. Semih ERGİN'e, Arş. Grv. Dr. Hakan GAŞAN'a, Arş. Grv. Hüseyin SENDİR, Arş. Grv. Hülya ERKOYUN, Arş. Grv. Dr. İbrahim ÇELİKYÜREK'e, Bilim Uzmanı Arslan TEKER'e, Sayın Kürşat Osman AY'a katkılarından dolayı tekrar teşekkür ediyorum.

Çalışmalarım esnasında desteklerini gördüğüm değerli hocam Doç. Dr. Hürriyet AKDAŞ'a ve Arş. Grv. Murat YURDAKUL'a; fiziko-mekanik deneyler esnasında yardımlarını esirgemediği gibi, manevi desteğini de üzerimden hiç çekmeyen Yrd. Doç. Dr. Zeki KARACA'ya; her konuda destek ve teşviklerini gördüğüm çok değerli hocam Öğr. Grv. Orhan TAŞKIN'a; çalışmalarım boyunca benden dostluklarını ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Ziyet YILDIZ ve Sayın Rabia ÇATPINAR'a ve dostluğu ile her zaman yanımda olan, bana bir çok konuda yol gösteren Sayın Ayferi GÖKTAN'a en samimi duygularıyla teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmalarımın her aşamasında yanımda olan, benden hiçbir desteği esirgemeyen, en zor anlarda bile hoşgörüsüyle arkamdaki güç olan Sevgili Eşim Alper YILMAZ'a; hayatımın her döneminde benimle olan aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖZET | v |
| SUMMARY | vi |
| TEŞEKKÜR | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xvii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xviii |
| | |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Türkiye ve Dünya Doğal Taş Sektörü | 1 |
| 1.2. Çalışmanın Amacı | 3 |
| 2. ELMAS SOKETLİ DAİRESEL TESTERELER | 7 |
| 2.1. Elmas Soketli Dairesel Testerelerin Yapısal Özellikleri | 7 |
| 2.1.1. Testere gövdesi | 8 |
| 2.1.2. Soket | 9 |
| 2.1.2.1. Matriks | 9 |
| 2.1.2.2. Elmas taneleri | 10 |
| 2.2. Dairesel Testerelerde Kesme Performansına Etki Eden Çalışma Parametreleri | 13 |
| 2.2.1. Çevresel hız | 13 |
| 2.2.2. Kesme hızı | 14 |
| 2.2.3. Kesme yöntemi | 14 |
| 2.2.4. Soğutma suyu | 15 |
| 2.2.5. Makina ile ilgili özellikler | 16 |
| 2.2.6. Kesilecek doğal taşın özellikleri | 16 |
| 2.3. Kesme Mekanizması | 16 |
| 2.4. Soketlerde İzlenen Aşınma Mekanizmaları | 18 |
| 2.4.1. Elmas aşınması | 18 |
| 2.4.2. Matriks aşınması | 20 |
| 3. MAGMATİK KAYAÇLARIN KESİLEBİLİRLİKLERİ ÜZERİNE YAPILAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR | 22 |

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 4. KESME DENEYLERİNDE KULLANILAN KAYAÇLARIN MİNERALojİK-PETROGRAfİK ve FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİ | 29 |
| 4.1. Mineralojik ve Petrografik Özellikler | 29 |
| 4.2. Fiziko-Mekanik Özellikler | 54 |
| 4.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi | 54 |
| 4.2.2. Brazilian çekme dayanımı deneyi | 55 |
| 4.2.3. Eğilme dayanımı deneyi | 56 |
| 4.2.4. Shore sertliği | 57 |
| 4.2.5. Sismik hız | 57 |
| 4.2.6. Atmosfer basıncında su emme deneyi | 58 |
| 4.2.7. Görünür yoğunluk ve açık gözeneklilik | 59 |
| 5. ÇALIŞMADA KULLANILAN DAİRESEL TESTERELİ DENEY SETİNİN TANITIMI | 62 |
| 5.1. Makinada Kontrol Edilen Çalışma Parametreleri | 63 |
| 5.1.1. Deney seti mekanik yapısının tasarımı | 63 |
| 5.1.2. Deney setinin otomasyonel tasarımı | 63 |
| 5.1.2.1. Elektrik kumanda sisteminin tasarımı | 64 |
| 5.1.2.2. Kontrol sisteminin tasarımı | 65 |
| 5.1.2.3. Ara yüz yazılımı | 66 |
| 6. ÇALIŞMA PARAMETRELERİNE BAĞLI VARYASYON DENEYLERİ | 70 |
| 6.1. Kesme Deneylerinin Düzenlenmesi | 70 |
| 6.2. Kesilebilirlik Parametreleri | 73 |
| 6.2.1. Kesme kuvvetleri | 74 |
| 6.2.2. Ortalama talaş kalınlığı | 75 |
| 6.2.3. Aktif güç tüketimi | 77 |
| 6.2.4. Özgül kesme enerjisi | 78 |
| 6.2.5. Özgül aşınma | 79 |
| 6.2.6. Gürültü (Ses) | 82 |
| 6.3. Kesme Hızının Kesilebilirlik Parametreleri Üzerindeki Etkileri | 86 |
| 6.3.1. Kesme hızı | 86 |
| 6.3.1.1. Kesme hızı-kesme kuvvetleri ilişkileri | 86 |

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 6.3.1.2. Kesme hızı-ortalama talaş kalınlığı ilişkileri | 93 |
| 6.3.1.3. Kesme hızı-aktif güç ilişkileri | 95 |
| 6.3.1.4. Kesme hızı-ölgül kesme enerjisi ilişkileri | 98 |
| 6.3.1.5. Kesme hızı-ölgül aşınma ilişkileri | 102 |
| 6.3.1.6. Kesme hızı-gürültü (ses) ilişkileri | 105 |
| 7. KAYAÇ ÖZELLİKLERİNİN KESİLEBİLİRLİK PARAMETRELERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ | 109 |
| 7.1. Kayaçların Kesilebilirlik Özelliklerinin Değerlendirilmesi | 111 |
| 7.1.1. Mineralojik-Petrografik Özelliklerin Kesilebilirlik Parametreleri Üzerindeki Etkileri | 111 |
| 7.1.1.1. Kuvars içeren taşlar için yapılan kesilebilirlik analizleri | 112 |
| 7.1.1.2. Kuvars içermeyen taşlar için yapılan kesilebilirlik analizleri | 121 |
| 7.1.2. Kayaçların Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Kesilebilirlik Parametreleri Üzerindeki Etkileri | 129 |
| 7.1.3. Kesilebilirlik Parametrelerinin Tahminine Yönelik Geliştirilen Regresyon Modelleri | 131 |
| 8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER | 140 |
| KAYNAKLAR | 144 |
| EKLER | 150 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 1.1. Türkiye doğal taş dış satım gelirleri | 2 |
| 1.2. Türkiye granit dış satım değerleri | 4 |
| 2.1. Blok kesici (a) ve Yan kesme makinası (b) | 7 |
| 2.2. Elmas soketli dairesel testere ve elemanları | 8 |
| 2.3. Elmas tanesinin arkasında oluşan kuyruk yapısı | 10 |
| 2.4. Elmas tane boyutu-kayaç sertliği arasındaki genel ilişki | 12 |
| 2.5. Elmas soketli dairesel testerelede kesme yöntemleri | 15 |
| 2.6. Testere ve taş arasındaki mekanik etkileşim | 18 |
| 2.7. Elmas tanelerinde görülen aşınma türleri | 20 |
| 2.8. Talaş bulamacının matris aşınmasına etkisi | 21 |
| 2.9. a) Üç gövdeli abrasiv aşınma b) Erozyonlu aşınma | 21 |
| 4.1. QAP diyagramı | 29 |
| 4.2. G1 örneğine ait (a) çift nikol (b) tek nikol ince kesit görüntüleri | 31 |
| 4.3. G2 örneğine ait (a) çift nikol (b) tek nikol ince kesit görüntüleri | 33 |
| 4.4. G3 örneğine ait (a) çift nikol (b) tek nikol ince kesit görüntüleri | 35 |
| 4.5. G4 örneğine ait (a) çift nikol (b) tek nikol ince kesit görüntüleri | 37 |
| 4.6. G5 örneğine ait (a) çift nikol (b) tek nikol ince kesit görüntüleri | 39 |
| 4.7. G6 örneğine ait (a) çift nikol (b) tek nikol ince kesit görüntüleri | 41 |
| 4.8. G7 örneğine ait (a) çift nikol (b) tek nikol ince kesit görüntüleri | 43 |
| 4.9. G8 örneğine ait (a) çift nikol (b) tek nikol ince kesit görüntüleri | 45 |
| 4.10. G9 örneğine ait (a) çift nikol (b) tek nikol ince kesit görüntüleri | 47 |
| 4.11. G10 örneğine ait (a) çift nikol (b) tek nikol ince kesit görüntüleri | 49 |
| 4.12. G11 örneğine ait (a) çift nikol (b) tek nikol ince kesit görüntüleri | 51 |
| 4.13. G12 örneğine ait (a) çift nikol (b) tek nikol ince kesit görüntüleri | 53 |
| 4.14. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi | 54 |
| 4.15. Brazilian çekme dayanımı düzeneği ve kırılmış numuneler | 55 |
| 4.16. Eğilme dayanımı presi ve kırılmış numuneler | 56 |
| 4.17. Shore sertlik cihazı | 57 |
| 4.18. Sismik hız cihazı ve ölçme yöntemi | 58 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 5.1. Kesme deneyi setinin mekanik yapısı | 62 |
| 5.2. Veri toplama sistemi | 65 |
| 5.3. Deneysel verilerin kullanıcı tarafından kontrol edilmesi | 66 |
| 5.4. Ara yüz yazılımı ana pencere görüntüsü | 67 |
| 5.5. Manuel kontrol penceresinin görüntüsü | 67 |
| 5.6. Veri izleme ve kayıt penceresi | 69 |
| 6.1. Kesme deneylerinde kullanılan bazı granit blokları | 71 |
| 6.2. Aşağı-yönlü kesme yönteminin kinematığı | 72 |
| 6.3. Anlık kuvvet ve güç tüketimi kayıtları | 73 |
| 6.4. Elmas tanesi üzerine etkiyen kuvvetler | 75 |
| 6.5. Elmas tanelerinin çalışma yüksekliği | 76 |
| 6.6. Ortalama talaş kalınlığı | 76 |
| 6.7. Soket üzerindeki elmas tanelerinin SEM görüntüsü | 77 |
| 6.8. Aktif güç-zaman eğrisi | 78 |
| 6.9. Lazer ölçme prensibi (a) ve ölçme aralığı (b) | 80 |
| 6.10. Soketler üzerindeki ölçme seviyeleri | 81 |
| 6.11. Aşınma ölçümlerinin gerçekleştirildiği düzenek | 81 |
| 6.12. Veri depolama penceresi | 82 |
| 6.13. Gürültü ölçme cihazı | 83 |
| 6.14. Kesme hızı-teğetsel kuvvet ilişkileri ($d= 30$ mm sabit) | 87 |
| 6.15. Kesme hızı-teğetsel kuvvet ilişkileri ($V_f= 0.50$ m/dak sabit) | 87 |
| 6.16. Kesme hızı-normal kuvvet ilişkileri ($d= 30$ mm sabit) | 88 |
| 6.17. Kesme hızı-normal kuvvet ilişkileri ($V_f= 0.50$ m/dak sabit) | 88 |
| 6.18. G1 Kayacına ait kesme hızı-kuvvetler ilişkisi | 89 |
| 6.19. G2 Kayacına ait kesme hızı-kuvvetler ilişkisi | 89 |
| 6.20. G3 Kayacına ait kesme hızı-kuvvetler ilişkisi | 90 |
| 6.21. Kesme hızı- F_t/F_n ilişkileri ($d= 30$ mm sabit) | 91 |
| 6.22. Kesme hızı- F_t/F_n ilişkileri ($V_f= 0.50$ m/dak sabit) | 91 |
| 6.23. Geçiş sayısı-kesme kuvvetleri ilişkisi | 92 |
| 6.24. Geçiş sayısı- F_t/F_n oranı ilişkisi | 92 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| 6.25. Kesme hızı - ortalama talaş kalınlığı ilişkisi | 93 |
| 6.26. Ortalama talaş kalınlığı-teğetsel kuvvet ilişkisi | 94 |
| 6.27. Ortalama talaş kalınlığı-normal kuvvet ilişkisi | 94 |
| 6.28. Kesme hızı-aktif güç ilişkisi (d= 30 mm sabit) | 95 |
| 6.29. Kesme hızı-aktif güç ilişkileri ($V_f= 0.50$ m/dak sabit) | 96 |
| 6.30. Geçiş sayısı-aktif güç tüketimi ilişkileri | 96 |
| 6.31. G1 kayacına ait kesme hızı-aktif güç ilişkisi | 97 |
| 6.32. G2 kayacına ait kesme hızı-aktif güç ilişkisi | 97 |
| 6.33. G3 kayacına ait kesme hızı-aktif güç ilişkisi | 98 |
| 6.34. Kesme hızı-özgül kesme enerjisi ilişkileri (d = 30 mm sabit) | 99 |
| 6.35. Kesme hızı-özgül kesme enerjisi ilişkileri ($V_f= 0.50$ m/dak sabit) | 99 |
| 6.36. G1 kayacı ait kesme hızı-özgül kesme enerjisi ilişkisi | 100 |
| 6.37. G2 kayacı ait kesme hızı-özgül kesme enerjisi ilişkisi | 100 |
| 6.38. G3 kayacı ait kesme hızı-özgül kesme enerjisi ilişkisi | 101 |
| 6.39. G3 kayacına ait ortalama talaş kalınlığı-özgül kesme enerjisi ilişkisi | 101 |
| 6.40. Kesme hızı-özgül aşınma ilişkileri (d = 30 mm sabit) | 103 |
| 6.41. Kesme hızı-özgül aşınma ilişkileri ($V_f = 0.50$ m/dak sabit) | 103 |
| 6.42. G1 kayacına ait kesme hızı-özgül aşınma ilişkileri | 104 |
| 6.43. G2 kayacına ait kesme hızı-özgül aşınma ilişkileri | 104 |
| 6.44. G3 kayacına ait kesme hızı-özgül aşınma ilişkileri | 104 |
| 6.45. G3 kayacına ait ortalama talaş kalınlığı-özgül aşınma ilişkisi | 105 |
| 6.46. Kesme hızı-gürültü ilişkileri (d = 30 mm sabit) | 106 |
| 6.47. Kesme hızı-gürültü ilişkileri ($V_f = 0.50$ m/dak sabit) | 106 |
| 6.48. G1 kayacına ait kesme hızı-gürültü ilişkisi | 107 |
| 6.49. G2 kayacına ait kesme hızı-gürültü ilişkisi | 107 |
| 6.50. G3 kayacına ait kesme hızı-gürültü ilişkisi | 108 |
| 7.1. Kesilebilirlik analizlerinde kullanılan kayaç blokları | 110 |
| 7.2. Kuvars maksimum tane boyutu-teğetsel kuvvet ilişkisi | 113 |
| 7.3. Kuvars miktarı-teğetsel kuvvet ilişkisi | 113 |
| 7.4. Anlık teğetsel kuvvetler | 114 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 7.5. Alkali feldspat maksimum tane boyutu-teğetsel kuvvet ilişkisi | 114 |
| 7.6. Kuvars maksimum tane boyutu-normal kuvvet ilişkisi | 115 |
| 7.7. Kuvars ortalama tane boyutu-normal kuvvet ilişkisi | 116 |
| 7.8. Anlık normal kuvvetler | 116 |
| 7.9. Kuvars maksimum tane boyutu-özgül aşınma ilişkisi | 117 |
| 7.10. Alkali feldspat maksimum tane boyutu-özgül aşınma ilişkisi | 117 |
| 7.11. Alkali feldspat ortalama tane boyutu-özgül aşınma ilişkisi | 118 |
| 7.12. Kuvars maksimum tane boyutu-özgül kesme enerjisi ilişkisi | 119 |
| 7.13. Kuvars miktarı-özgül kesme enerjisi ilişkisi | 119 |
| 7.14. Anlık aktif güç tüketimi | 120 |
| 7.15. Alkali feldspat maksimum tane boyutu-özgül kesme enerjisi ilişkisi | 120 |
| 7.16. Farklı mineral içeriğindeki kayalarda geçiş sayısı-teğetsel kuvvet ilişkisi | 122 |
| 7.17. Farklı mineral içeriğindeki kayalarda geçiş sayısı-normal kuvvet ilişkisi | 123 |
| 7.18. Farklı mineral içeriğindeki kayalarda geçiş sayısı- F_t/F_n ilişkisi | 123 |
| 7.19. Farklı mineral içeriğindeki kayalarda geçiş sayısı- aktif güç ilişkisi | 124 |
| 7.20. Teğetsel kuvvetlerin kayalara göre değişimi | 125 |
| 7.21. Normal kuvvetlerin kayalara göre değişimi | 125 |
| 7.22. Kuvvetler oranının kayalara göre değişimi | 126 |
| 7.23. Özgül aşınmanın kayalara göre değişimi | 126 |
| 7.24. Aktif gücün kayalara göre değişimi | 127 |
| 7.25. Özgül kesme enerjisinin kayalara göre değişimi | 127 |
| 7.26. Gürültü seviyesinin kayalara göre değişimi | 128 |
| 7.27. Mineral tanesinin kesilmesi | 129 |
| 7.28. Shore sertlik değeri-özgül aşınma ilişkisi | 130 |
| 7.29. Görünür yoğunluk-gürültü ilişkisi | 130 |
| 7.30. Hesaplanan teğetsel kuvvet değerleri ile 1 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen teğetsel kuvvet değerleri arasındaki ilişki | 132 |
| 7.31. Hesaplanan teğetsel kuvvet değerleri ile 2 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen teğetsel kuvvet değerleri arasındaki ilişki | 133 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Sekil</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| 7.32. Hesaplanan teğetsel kuvvet değerleri ile 3 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen teğetsel kuvvet değerleri arasındaki ilişki | 133 |
| 7.33. Hesaplanan normal kuvvet değerleri ile 1 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen normal kuvvet değerleri arasındaki ilişki | 134 |
| 7.34. Hesaplanan normal kuvvet değerleri ile 2 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen normal kuvvet değerleri arasındaki ilişki | 135 |
| 7.35. Hesaplanan özgül aşınma değerleri ile 1 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen özgül aşınma değerleri arasındaki ilişki | 136 |
| 7.36. Hesaplanan özgül aşınma değerleri ile 2 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen özgül aşınma değerleri arasındaki ilişki | 136 |
| 7.37. Hesaplanan özgül aşınma değerleri ile 3 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen özgül aşınma değerleri arasındaki ilişki | 137 |
| 7.38. Hesaplanan özgül kesme enerjisi değerleri ile 1 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen özgül aşınma değerleri arasındaki ilişki | 138 |
| 7.39. Hesaplanan özgül kesme enerjisi değerleri ile 2 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen özgül aşınma değerleri arasındaki ilişki | 138 |
| 7.40. Hesaplanan özgül kesme enerjisi değerleri ile 3 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen özgül aşınma değerleri arasındaki ilişki | 139 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>Çizelge</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 2.1. Elmas soketli dairesel testereleer ile ilgili özellikler | 9 |
| 2.2. Farklı taşlar için önerilen çevresel hızlar | 14 |
| 4.1. G1 kayacına ait mineralojik özellikler | 30 |
| 4.2. G2 kayacına ait mineralojik özellikler | 32 |
| 4.3. G3 kayacına ait mineralojik özellikler | 34 |
| 4.4. G4 kayacına ait mineralojik özellikler | 36 |
| 4.5. G5 kayacına ait mineralojik özellikler | 38 |
| 4.6. G6 kayacına ait mineralojik özellikler | 40 |
| 4.7. G7 kayacına ait mineralojik özellikler | 42 |
| 4.8. G8 kayacına ait mineralojik özellikler | 44 |
| 4.9. G9 kayacına ait mineralojik özellikler | 46 |
| 4.10. G10 kayacına ait mineralojik özellikler | 48 |
| 4.11. G11 kayacına ait mineralojik özellikler | 50 |
| 4.12. G12 kayacına ait mineralojik özellikler | 52 |
| 4.13. Fiziko-mekanik deneylerin sonuçları | 61 |
| 6.1. G1 kayacına ait kesme deneyleri sonuçları | 84 |
| 6.2. G2 kayacına ait kesme deneyleri sonuçları | 85 |
| 6.3. G3 kayacına ait kesme deneyleri sonuçları | 85 |
| 7.1. Kesilebilirlik analizlerinde uygulanan bazı kesme koşulları | 110 |
| 7.2. Kesme deneylerine ait deney sonuçları | 111 |
| 7.3. Mineralojik-petrografik özellikler ile kesilebilirlik parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı olan ilişkiler | 121 |
| 7.4. Fiziko-Mekanik özellikler ile kesilebilirlik parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı olan ilişkiler | 131 |
| 7.5. Teğetsel kuvvetin tahminine yönelik regresyon denklemleri | 132 |
| 7.6. Normal kuvvet tahminine yönelik regresyon denklemleri | 134 |
| 7.7. Özgöl aşınmanın tahminine yönelik regresyon denklemleri | 135 |
| 7.8. Özgöl kesme enerjisinin tahminine yönelik regresyon denklemleri | 137 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklamalar</u> |
|-----------------|----------------------------------|
| S/T | : Blok kesici |
| mm | : Milimetre |
| kW | : Kilo watt |
| SDA | : Sentetik elmas aşındırıcı |
| MDA | : Metal-bağlı elmas aşındırıcı |
| V_c | : Çevresel hız |
| D | : Testere çapı |
| n | : Testerenin devri |
| m | : Metre |
| s | : Saniye |
| dak | : Dakika |
| Q_w | : Kesme hızı |
| h_c | : Maksimum talaş kalınlığı |
| F_t | : Teğetsel kuvvet |
| F_n | : Normal kuvvet |
| G1 | : Alkaleen granit |
| G2 | : Monzonit |
| G3 | : Monzonit |
| G4 | : Granodiyorit |
| G5 | : Porfiroidal granit - alkaleen |
| G6 | : Kalko alkaleen granit |
| G7 | : Monzonit (granodiyorit geçişi) |
| G8 | : Monzonit (granodiyorit geçişi) |
| G9 | : Granodiyorit |
| G10 | : Labradorit |
| G11 | : Dolerit |
| G12 | : Gabro |
| <i>Min</i> | : Minimum |

Simgeler Açıklamalar

| | |
|----------------------|---------------------------------------|
| <i>Ort</i> | : Ortalama |
| <i>Max</i> | : Maksimum |
| <i>M</i> | : Mikroklin |
| <i>O</i> | : Ortoklaz |
| <i>q</i> | : Kuvars |
| <i>Pl</i> | : Plajiyoklas |
| <i>B</i> | : Biyotit |
| <i>Hrn</i> | : Hornblend |
| <i>E</i> | : Epidot |
| <i>L</i> | : Labrador |
| <i>Px</i> | : Piroksen |
| <i>Ol</i> | : Olivin |
| <i>UCS</i> | : Tek eksenli basınç dayanımı |
| <i>F</i> | : Maksimum kırılma yükü |
| <i>A</i> | : Numunenin kesit alanı |
| <i>BTS</i> | : Brazilian çekme dayanımı |
| <i>D</i> | : Numune çapı |
| <i>t</i> | : Numune kalınlığı |
| <i>BS</i> | : Eğilme dayanımı |
| <i>L</i> | : Destek mesnetleri arasındaki mesafe |
| <i>b</i> | : Numune genişliği |
| <i>h</i> | : Numune yüksekliği |
| <i>V_p</i> | : Kayacın sismik hız değeri |
| <i>L_n</i> | : Deney örneğinin uzunluğu |
| <i>A_b</i> | : Atmosfer basıncında su emme (%) |
| <i>m_s</i> | : Suya doymun numunenin kütlesi (gr) |
| <i>m_d</i> | : Kuru numunenin kütlesi (gr) |
| <i>ρ_o</i> | : Numunenin görünür porozitesi, % |
| <i>m_s</i> | : Doymunlaştırılmış numune kütlesi, g |

Simgeler Açıklamalar

| | |
|-------------|--|
| m_d | : Kuru numune kütlesi, g |
| m_h | : Su içerisine batırılmış numune kütlesi, g |
| ρ_b | : Numunenin görünür yoğunluğu, kg/m ³ |
| ρ_{th} | : Suyun yoğunluğu, kg/m ³ |
| Hz | : Hertz |
| F_h | : Yatay kesme kuvveti |
| F_v | : Düşey kesme kuvveti |
| P | : Testere motorunun anlık güç tüketimi |
| F_z | : Yanal kuvvet |
| ϕ | : Testere-kayaç temas açısı |
| α | : Normal kuvvetin etki açısı |
| f_t | : Bir elmas tanesi üzerine etki eden ortalama teğetsel kuvvet |
| f_n | : Bir elmas tanesi üzerine etki eden ortalama normal kuvvet |
| C | : Soket yüzeyinde birim alana düşen aktif elmas sayısı |
| d | : Kesme derinliği |
| b | : Soket genişliği |
| h_m | : Ortalama talaş kalınlığı |
| λ | : Soket oranı |
| r | : Talaş genişliği/talaş kalınlığı oranı |
| l_s | : Soket uzunluğu+su kanalı genişliği |
| l_t | : Soket uzunluğu |
| l_c | : Kayaç-testere temas yüzeyi uzunluğu |
| SE | : Özgül kesme enerjisi |
| E_t | : Kesme süresince tüketilen toplam enerji |
| Q | : Testerenin kesim süresince taş içerisinde açtığı kanalın hacmi |
| μm | : Mikrometre |
| μs | : Mikrosaniye |
| dB | : Desibel |
| dB_{ort} | : Ortalama desibel |
| \log | : Logaritma |

Simgeler Açıklamalar

| | |
|-----------------------|--------------------------------------|
| SW | : Özgül aşınma |
| GS | : Gürültü seviyesi |
| h | : Saat |
| N | : Newton |
| R ² | : Belirlilik katsayısı |
| q | : Kuvars miktarı |
| q _{ort} | : Kuvars ortalama tane boyu |
| q _{max} | : Kuvars maksimum tane boyu |
| Pl | : Plajiyoklas miktarı |
| Pl _{ort} | : Plajiyoklas ortalama tane boyu |
| Pl _{max} | : Plajiyoklas maksimum tane boyu |
| K-feld | : Alkali feldspat miktarı |
| K-feld _{ort} | : Alkali feldspat ortalama tane boyu |
| K-feld _{max} | : Alkali feldspat maksimum tane boyu |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Türkiye ve Dünya Doğal Taş Sektörü

Çeşitli üretim yöntemleri uygulanarak yerkabuğundan çıkartılıp, işlenmeden veya kesme, boyutlandırma, parlatma gibi işlemlerden geçirilerek, değişik amaçlar için kullanılan taşlara “Doğal Taş” denilmektedir. Estetik görünümündeki zenginlik ve dış tesirlere karşı duraylılıkları gibi nedenlerden ötürü, doğal taşlar yapı ve dekorasyon malzemesi olarak geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Doğal taş sektöründe ticareti yapılan taşlar genel olarak dört ana grup altında toplanmaktadır:

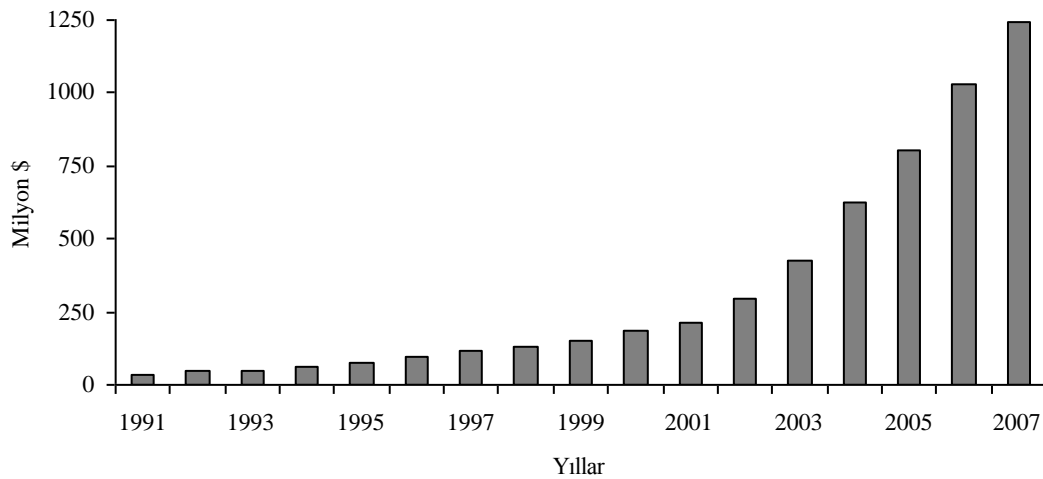
- i) Mermerler (gerçek mermerler ve kireçtaşı mermerleri)
- ii) Traverten ve oniks
- iii) Granitler (sert taşlar)
- iv) Diğer doğal taşlar

Doğal taşların blok üretiminde ve işlenmesinde kullanılan teknolojilerdeki gelişmelerin bir sonucu olarak, yüksek kaliteli ürünlerin giderek daha ekonomik bir şekilde elde edilmesi mümkün olmuştur. Bunun bir sonucu olarak, bu tür malzemelere olan ilgi ve tüketici sayısı da artmıştır. Dünya doğal taş sektöründeki ticaret hacmi her yıl % 8 civarında bir büyüme göstermektedir [1]. Doğal taş sektöründeki bu olumlu gelişmeler, Türkiye gibi zengin rezervlere sahip ülkeler için umut vericidir.

Dünya doğal taş ticaretinde önde gelen ülkeler (Çin, İtalya, İspanya, Hindistan, Türkiye, Brezilya) toplam ticaret hacminin % 75’ini kontrol etmektedir. Alp-Himalaya kuşağı içinde kalan İspanya, Portekiz, İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran ve Pakistan gibi ülkeler karbonatlı kayalar (mermer, kireçtaşı, traverten ve oniks) açısından büyük potansiyele sahiptir. Çin, Hindistan, Brezilya, Norveç, Finlandiya, Ukrayna, Rusya,

Pakistan, ve Güney Afrika ise işletilebilir magmatik kayaç (sert taş) potansiyeli yüksek olan ülkelerdir.

Türkiye, üretim ve pazar payı bakımından, dünya doğal taş sektöründe en hızlı gelişme gösteren ülkeler arasındadır. Türkiye'nin 1991 yılında elde ettiği 33,6 milyon dolarlık dışsatım, 2007 yılında 1 milyar 242 milyon dolar seviyesine ulaşmıştır (Şekil 1.1). Türkiye son yıllardaki üretim artışı ile Çin, İtalya, Hindistan ve İspanya'dan sonra dünya pazarında beşinci sıraya yükselmiştir [1]. Tüm bu gelişmeler sonucunda doğal taş dışsatımı, bor minerallerini de geçerek, % 55' lik bir pay ile Türkiye toplam maden ihracatında birinci sıraya yükselmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye'nin doğal taş dış satım gelirleri [2,3].

Dış satımların % 96'sını traverten ve mermer oluşturmaktadır. Türkiye'den yapılan dış satımlarda uzun yıllar mermer-traverten-granit sıralaması hakim olmakla birlikte, traverten dış satımı 2000 yılından itibaren hızlı bir yükseliş göstererek birinci sıraya yükselmiştir. Diğer yandan, Türkiye halen dünyanın en önde gelen traverten dış satıcısı olma durumunu da korumaktadır. Türkiye'den dış satımı yapılan doğal taşlarda, işlenmiş ürünlerin payı son yıllarda hızlı bir artış göstermiştir. 2006 yılında yapılan dış

satımın yaklaşık % 75'i işlenmiş ürün, % 16'sı ham ürün ve % 9'u yarı-işlenmiş ürün olarak gerçekleşmiştir [4].

Türkiye doğal taş sektöründe yaklaşık olarak 1 000 adet ocak, küçük- orta ölçekli 1 500 fabrika ve 7 500 küçük ölçekli atölyede 250 000 kişi istihdam edilmektedir [5]. Dünya doğal taş tüketimindeki artışlara ve taleplere paralel olarak, son dönemlerde birçok tesis devreye girmiş ve işlenmiş doğal taş üretiminde büyük artışlar kaydedilmiştir. Bu tesislerde işlenen ürünlerin dış pazarlara ihraç edilmesiyle birlikte, ülkemizin dış satım hacmi de genişlemiştir. Türkiye'nin doğal taş üretimi ve ihracatı sürekli artmakla birlikte, uluslararası piyasada henüz istenilen konuma gelememiştir. Dünya rezervlerinin önemli bir bölümüne sahip olmasına rağmen, Türkiye'nin dünya doğal taş pazardaki payı % 5 civarındadır. Dış satım gelirlerindeki artışlar, uluslararası standartlara uygun kalitede işleme tekniklerinin de geliştirilmesi zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. Dünya doğal taş pazarının önemli bir miktarı (yaklaşık % 71'i) işlenmiş ürünlerden oluşmaktadır [6]. Bu nedenle, doğal taşların daha kaliteli ve rekabet edebilir fiyatlarla işlenip dış pazarlara sunulabilmesi ülkemiz ekonomisi için büyük önem taşımaktadır.

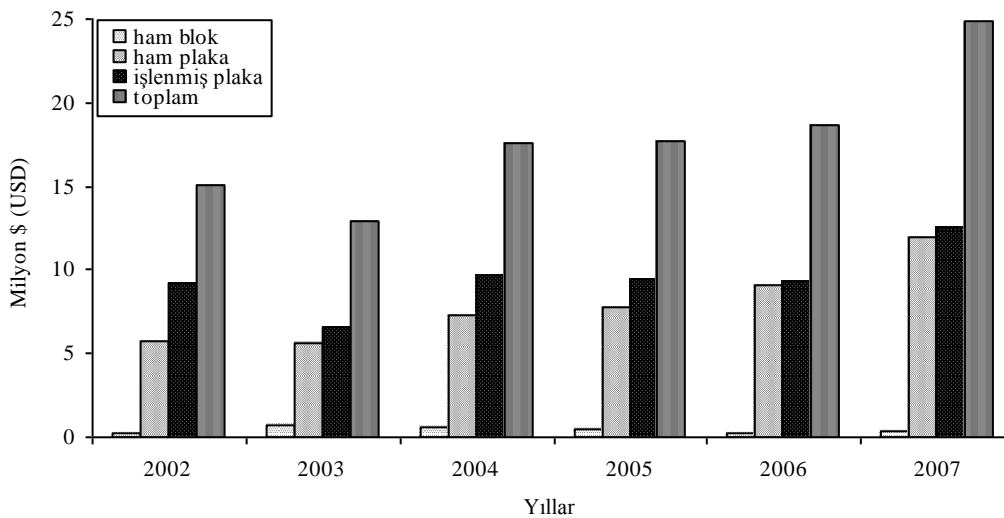
1.2. Çalışmanın Amacı

Doğal taş sektöründe kısaca 'granitler' olarak adlandırılan sert taşlar dünya doğal taş ticaretinde giderek artan bir talep görmektedir. Dünyanın en önde gelen doğal taş ithalatçı ülkesi olan Amerika Birleşik Devletleri'nde izlenen eğilimler bu konuda önemli bir gösterge olarak verilebilir. Nitekim 2003 yılı öncesine kadar Amerika'ya ithal edilen doğal taşlar ağırlıklı olarak mermer ve traverten gibi karbonatlı taşlar olmasına rağmen, 2003 yılı sonrasında bu durum magmatik kökenli sert taşlar lehine gelişmiştir ve halen bu konumu korumaktadır. Dünya granit pazarı sürekli olarak bir artış göstermektedir [7]. Dünya doğal taş ticaretinde granitlerin, mermer ve traverten gibi diğer doğal taşlara göre, giderek artan bir ilgi görmesinin başlıca nedenleri:

- Basınca, aşınmaya ve dış etkilere daha dayanıklı olmaları;

- Değişik minerallerden oluşmaları nedeniyle, renk ve desen bakımından çeşitlilik göstermeleri;
- Çok iyi cila kabul etmeleri ve parlaklıklarını çok uzun süre koruyabilmeleri;
- Mimari projelerde oldukça önemli olan renk homojenliğini mükemmel olarak sağlamalarıdır.

Yukarıda değinilen bu gelişmeler, Türkiye'nin granit (sert taş grubu) dış satımlarını da olumlu yönde etkilemeye devam etmektedir. Örneğin, 2007 istatistikleri incelendiğinde (Şekil 1.2), dış satımı yapılan işlenmiş ve ham plakalardan elde edilen gelirlerde dikkate değer artışlar elde edilmiş olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, Türkiye'deki granit üretimi ihtiyacı karşılayamadığı için, tüketimin yaklaşık % 58'i dış alımlardan karşılanmaktadır. Dışalımı yapılan doğal taşların yaklaşık % 80'nini granitler oluşturmaktadır. Yurtdışından ham levha ya da blok olarak satın alınan bu taşların büyük bir bölümü, işlenmiş ürün haline getirildikten sonra iç ve dış piyasalara sunulmaktadır. Katma değeri yüksek olan işlenmiş ürünlerin daha düşük maliyetlerle ve rekabet edebilir kalitede sunulması, Türkiye'nin pazardaki payını arttıracaktır. Bu ürünlerin daha verimli bir şekilde işlenebilmesi açısından, araştırma-geliştirme çalışmalarına yoğunluk verilmesi büyük önem taşımaktadır.



Şekil 1.2. Türkiye granit dışsatım değerleri [3].

Bu çalışmada, elmas soketli sert taş grubu kapsamındaki magmatik kökenli kayaçların kesilebilirlik analizleri hedeflenmiştir. Doğal taşların kesilebilirlik özelliklerinin önceden belirlenmesi, işleme tesislerinde donanım seçimi, maliyet analizleri ve ürün kalitesinin izlenmesi gibi konularda yol gösterici olmaktadır. Bu çalışmada, mineralojik-petrografik ve fiziko-mekanik özellikler açısından farklılıklar gösteren 12 adet magmatik kayacın kesilebilirlik karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel, 400 mm çaplı bir dairesel testerenin kullanıldığı, tam otomasyonel bir laboratuvar kesme deneyi setinde gerçekleştirilmiştir. Başlıca kesme performansı ölçütleri olarak *kesme kuvvetleri*, *aktif güç tüketimi*, *ortalama talaş kalınlığı*, *özellik kesme enerjisi*, *özellik aşınma* ve *gürültü seviyesi* gibi parametreler değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulguların, doğal taş sektörüne olduğu kadar, sert taşlar üzerinde yürütülecek sonraki çalışmalara da ışık tutacağı düşünülmüştür.

Çalışmanın 2. bölümünde, elmas soketli dairesel testerelelerin yapısal özellikleri, kesme performanslarına etki eden parametreler ve aşınma mekanizmaları hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3'te, granitlerin dairesel testerelelelelelele kesimi konusunda literatürde yer alan çalışmalara yer verilmiştir.

Bölüm 4'te, üzerinde kesme deneyleri uygulanan taşlara ait mineralojik-petrografik ve fiziko-mekanik özellikler ayrıntılı olarak verilmiştir.

Bölüm 5'te, kesme deneylerinin gerçekleştirildiği deney seti, ölçme ve veri kaydetme cihazları tanıtılmıştır.

Bölüm 6'da, varyasyon deneylerinden elde edilen sonuçlara dayanılarak, çalışma parametrelerinin kesilebilirlik parametreleri üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

Bölüm 7'de, kayaçların mineralojik-petrografik ve fiziko-mekanik özelliklerinin kesilebilirlik parametreleri üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Ayrıca, regresyon analizleri yardımıyla, kesilebilirlik parametrelerine ait değerlerin tahmininde kullanılan istatistiksel modeller geliştirilmiştir.

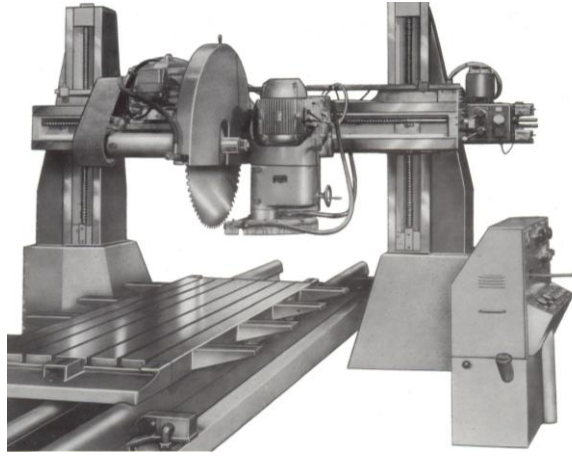
Son bölümde ise, çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlara yer verilmiş ve sonraki çalışmalar için bazı önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2

ELMAS SOKETLİ DAİRESEL TESTERELER

2.1. Elmas Soketli Dairesel Testerelerin Yapısal Özellikleri

Elmas soketli dairesel testereler doğal taş sektöründe blok kesiciler (S/T) ve levha-plaka ebatlama (baş kesme makinası, yan kesme makinası, köprülü kesme makinası, yatay yarma makinası) gibi makinaların kesici elemanları olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.1).



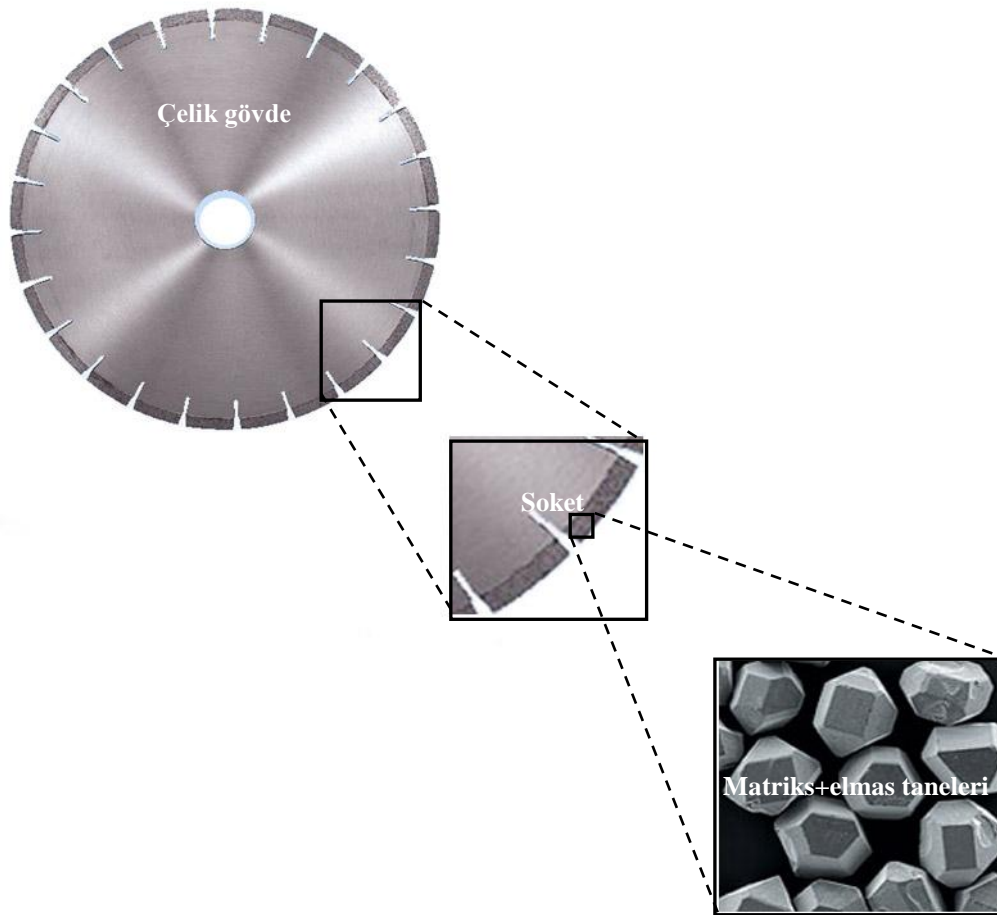
(a)



(b)

Şekil 2.1. Blok kesici (a) ve Yan kesme makinası (b).

Bu tür makinalarda kullanılan dairesel testerelerin ana elemanları çelik gövde ve bu gövdeye kaynak edilmiş soketlerdir. Kesme işlemini gerçekleştiren soketler ise matriks ve matriks içine yerleştirilen yapay elmas taneciklerinden oluşur (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Elmas soketli dairesel testere ve elemanları.

2.1.1. Testere gövdesi

Elmas soketli dairesel testerelerin gövdesi, ısıl işlemlerden geçirilmiş özel alaşımlı çeliklerden üretilir. Kullanım amacına göre; farklı çap ve gövde kalınlıklarında üretilmektedir. Testerenin dönme hareketi, ortasından geçen bir mil tarafından gerçekleştirilmekte olup, testerenin bu mil üzerine sağlamca oturtulması için uygun çapta flanşlar kullanılır. Kullanılan soketlerin sayısı ve geometrik özellikleri testere

çapına göre değişmektedir [8, 9]. Elmas soketli dairesel testerelerle ilgili bazı teknik özellikler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Elmas soketli dairesel testereler ile ilgili özellikler [10].

| Testere Çapı (mm) | Soket Adedi | Soket Ölçüleri (mm) | | | Gövde Kalınlığı (mm) | Gövde Göbek Çapı (mm) | Minimum Flanş Çapı (mm) | Motor Gücü (kW) | Su (lit/dak) |
|-------------------|-------------|---------------------|-----------|-----|----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|--------------|
| | | En | Yükseklik | Boy | | | | | |
| 250 | 15 | 2.2 | 7 | 33 | 1.6 | 30 | 100 | 5.5-7.5 | 6-10 |
| 300 | 21 | 2.6 | 7 | 38 | 2.2 | 60 | 120 | 7.5-11 | 10-15 |
| 350 | 21 | 3.0 | 7 | 38 | 2.2 | 60 | 140 | 7.5-11 | 10-15 |
| 350 | 25 | 3.0 | 7 | 40 | 2.2 | 60 | 140 | 7.5-11 | 10-15 |
| 400 | 28 | 3.4 | 7 | 40 | 2.5 | 60 | 150 | 7.5-11 | 10-15 |
| 450 | 32 | 3.8 | 7 | 40 | 2.8 | 60 | 160 | 11-15 | 15-20 |
| 500 | 36 | 4.0 | 7 | 40 | 3.0 | 60 | 170 | 11-15 | 15-20 |
| 600 | 36 | 4.6 | 7 | 40 | 3.4 | 60 | 180 | 15-18.5 | 20-30 |
| 600 | 40 | 4.6 | 7 | 40 | 3.4 | 60 | 180 | 15-18.5 | 20-30 |
| 700 | 42 | 5.3 | 7 | 40 | 4.0 | 60 | 200 | 22-30 | 30-40 |
| 800 | 46 | 5.8 | 7 | 40 | 4.5 | 80 | 225 | 30-37 | 30-40 |
| 900 | 64 | 6.5 | 7 | 24 | 4.75 | 80 | 250 | 30-37 | 30-40 |
| 1000 | 70 | 7.0 | 7 | 24 | 5.0 | 80 | 250 | 37-45 | 40-50 |
| 1200 | 80 | 7.5 | 8 | 24 | 5.5 | 80 | 300 | 45-55 | 50-60 |
| 1400 | 92 | 8.0 | 8 | 24 | 6.0 | 120 | 325 | 45-75 | 60-70 |
| 1600 | 104 | 9.0 | 9 | 24 | 7.0 | 120 | 375 | 45-75 | 60-70 |
| 1800 | 120 | 10 | 10 | 24 | 7.5 | 120 | 400 | 55-75 | 70-80 |
| 2000 | 132 | 11 | 10 | 24 | 8.0 | 120 | 425 | 55-75 | 70-80 |
| 2500 | 140 | 13 | 11 | 24 | 9.0 | 120 | 450 | 75-90 | 80-100 |

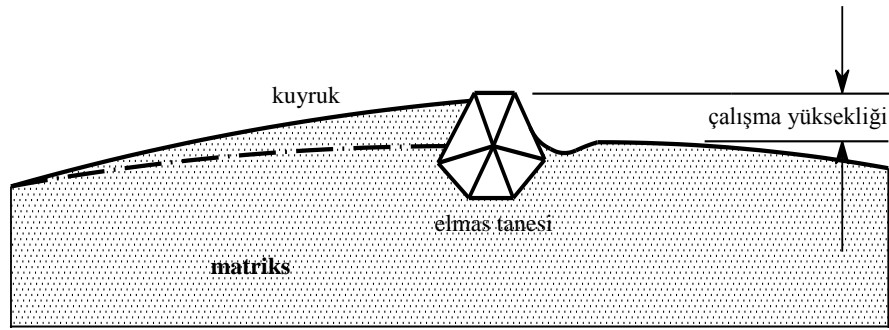
2.1.2. Soket

Elmas soketli dairesel testerelerde, aktif olarak kesme işlemini yapan kısım soketlerdir. Kesilecek taşın uygun soket seçimi, testerenin çalışma ömrünü ve kesme performansını doğrudan etkilemektedir. Verimli bir kesim için, soketi oluşturan matriks ile elmas tanelerinin birbirleriyle uyumlu olarak aşınmaları son derece önemlidir.

2.1.2.1. Matriks

Matriks, elmas tanelerini bir arada tutmaya yarayan bağlayıcı soket elemanıdır. İyi bir matriksten beklenen, elmas tanelerini sıkıca kavraması ve kesim esnasında elmas tanelerini destekleyerek kopmaları engellemesidir. Matriksin elmas tanelerini tutma yeteneği, matriksi oluşturan metal tozlarının bileşimi ve sinterleme koşulları (sıcaklık,

basınç ve süre) ile yakından ilgilidir. Doğaltaşlar için matriks tasarımı genel olarak Co, Ni, Fe ve Cu-Sn tozları üzerinden yapılmaktadır [11]. Matriksten beklenen bir diğer özellik ise, kesilecek malzemenin aşındırıcılık-sertlik özelliklerine bağlı olarak, elmas taneleriyle eşzamanlı aşınmasıdır. Böylece, aşınmış elmasların yerine yeni elmasların yüzeye çıkmasına olanak sağlanır. Eğer matriks elmas tanelerine göre yumuşak bir yapıya sahipse, elmas tanelerinden önce aşınır ve elmas taneleri çalışma ömürlerini tamamlamadan kopar. Bunun aksine, matriks görece daha sert yapıda olursa, elmas tanelerinde kırılmalar meydana gelir yada çalışma yükseklikleri sürekli azalır ve bir süre sonra soket kesme işlemini gerçekleştiremez duruma gelir [12-16]. Bu nedenle, sert taşların kesiminde matriksin ‘yumuşak’; görece yumuşak taşların kesiminde ise matriksin ‘sert’ yapıda olması elmas tanelerini tutma yeteneğini artırmaktadır. Matriksin elmas tanelerini tutma yeteneğini artıran bir diğer faktör ise, kesme yönüne bağlı olarak gelişen ve ‘kuyruk’ adı verilen koruyucu yapıdır (Şekil 2.3). Kuyruk, matriksin elmas tanesinin arkasında erozyona uğramadan kalan parçası olup, elmas tanesini destekleyici bir görev üstlenir [12-14].



Şekil 2.3. Elmas tanesinin arkasında oluşan kuyruk yapısı [17].

2.1.2.2. Elmas taneleri

Elmas taneleri, taş yüzeyi ile temasa geçerek kesim işlemini gerçekleştiren soket elemanlarıdır. Uygulamada, kesimi yapılacak malzemeye uygun tür, boyut ve konsantrasyondaki elmas tanelerinin seçimi büyük önem taşımaktadır [14-17]:

(i) Elmas tanelerinin türü:

- *SDA Serisi*: Doğal taş endüstrisinde en çok tercih edilen SDA (sentetik elmas aşındırıcı) tipi elmaslardır. SDA'lar 60 US mesh ve üzeri boyutlarda üretilmektedirler. Aşınmalara karşı dayanıklı olmalarını ve gelen kuvvetleri iyi karşılamalarını sağlayan kübik-oktahedral şekilde üretilebilmeleri ve görece ucuz olmaları nedeniyle doğal taş sektöründe yaygın olarak kullanılırlar. SDA85+ ve SDA85 türü elmaslar geniş aralıkta sertliğe sahip taşlar için genel amaçlı olarak kullanılırken; orta sertlikte ve orta aşındırıcı kayalarda SDA+ ve SDA tipi elmaslar tercih edilmektedir. Yüksek konsantrasyona sahip SDA100+ ve SDA100 türü elmas taneleri ise çok sert taşlarda yüksek kesme hızlarının gerekli olduğu durumlarda kullanılmaktadır.
- *MDA Serisi*: Şekil ve dayanım bakımından SDA serisine benzemekle birlikte, boyutları 60 US mesh ve altındadır. Bu nedenle daha pürüzsüz yüzey işlemleri gerektiren kesimlerde tercih edilirler.
- *Doğal elmas taneleri*: Diğer elmas türlerine göre matriksle daha kuvvetli bir bağ oluşturabilmeleri, daha pürüzlü ve keskin yüzeylere sahip olmaları ve daha yüksek sıcaklıklara dayanabilmeleri gibi üstünlüklere sahiptirler. Ancak, pahalı olmaları nedeniyle, günümüzde sadece bazı özel uygulamalarda tercih edilmektedirler.

(ii) Tane boyutu

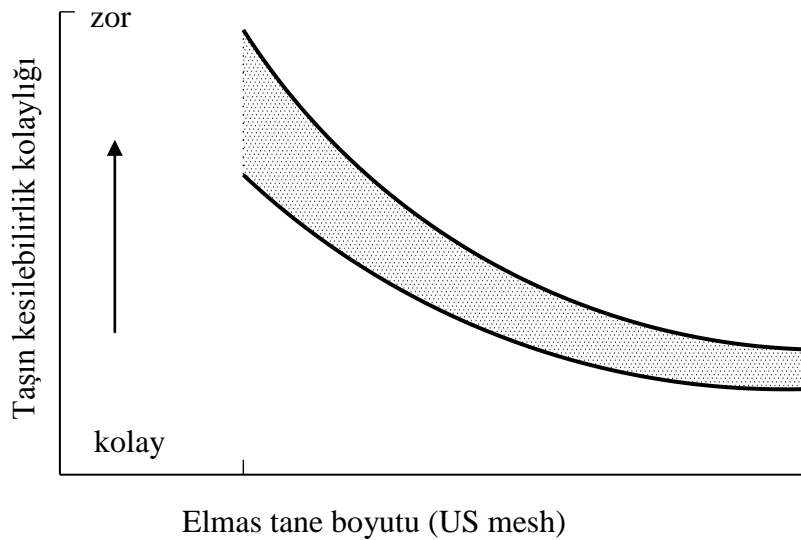
Elmas tanelerinin boyutu, elmasların matriks yüzeyindeki çalışma yüksekliği ve kesme zonunda oluşan talaşların atılmasında önemli rol oynar. Çeşitli uygulamalar için kesilecek malzemenin özelliklerine bağlı olarak önerilen elmas tane boyutları aşağıda verilmiştir:

40/50 US mesh – sert ve ince taneli malzemeler (granit, bazalt)

30/40 US mesh – orta sertlikteki malzemeler (gerçek mermerler)

20/30 US mesh – görece yumuşak malzemeler (kireçtaşı, traverten)

İri taneli elmas içeren soketlerin en önemli avantajı daha hızlı kesim yapabilmeleridir. Ancak, iri taneli elmasları içeren soketler sert ve aşındırıcı kayalarda kullanıldığında, her bir elmas tanesinin ulaşabileceği kesme derinliği sınırlı olacağından, elmasların matriksten kopma olasılıkları artmaktadır. Bu nedenle, sert ve aşındırıcı kayaların kesiminde elmas taneciklerinin küçük ve yüksek konsantrasyonlu; yumuşak kayaların kesiminde ise iri ve düşük konsantrasyonlu tercih edilmesi gerekmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Elmas tane boyutu-kayaç sertliği arasındaki genel ilişki [17].

(iii) Elmas konsantrasyonu

Elmas soketli testerelerde matriks ve elmas tanelerinin oranı kesme performansını etkileyen önemli bir faktördür. Herhangi bir soket üzerindeki elmas tanelerinin oranı % cinsinden ifade edilmektedir. Bir karat elmas 0.205 gramdır ve 4.4 karat/cm^3 %100 konsantrasyon (yoğunluk) olarak kabul edilmektedir. Bu değerlere göre, kesilecek taşın fiziko-mekanik ve mineralojik-petrografik özelliklerine bağlı olarak, elmas

konsatrasyonu %20-%50 civarında (840-294 μ) olan soketler doğal taşların kesimi için uygun olmaktadır. Elmas konsatrasyonunun düşük olması durumunda, elmas başına düşen kesme kuvvetleri artacağından, matriks içindeki elmas tanelerinin kopma olasılığı artacaktır. Elmas konsantrasyonu yüksek tutulduğunda, elmas tanelerinin kesici uçları daha kolay korunur ve testerenin ömrü artar. Ancak yüksek konsantrasyonlu elmaslar kullanıldığında kesme enerjisinin yüksek tutulması gerekmektedir. Aksi halde, elmas tanelerinin kayaca uyguladıkları yük düşük olduğundan, kesme derinliği de düşer. Bu durumda, tanelerde parlama (polishing) şeklinde aşınmalar olur ve sık sık bilenmeleri gerekir [17-18].

2.2. Dairesel Testelerde Kesme Performansına Etki Eden Çalışma Parametreleri

Elmas soketli dairesele testerelerde kesme performansına, çalışma koşulları (çevresel hız, kesme hızı, kesme yöntemi, soğutma suyu, makina özellikleri, vb.) ve kesilecek doğal taşın özellikleri etki etmektedir.

2.2.1. Çevresel hız

Farklı çaplardaki testereler, kesilecek taşın sertlik ve aşındırıcılık özelliklerine bağlı olarak, farklı devirlerde çalıştırılır. Testerenin uygun devirde çalıştırılması, testerenin ömrünü olumlu bir şekilde etkiler. Belirli bir devirde çalışmakta olan testerenin çevresel hızı (V_c)

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (\text{m/s}) \quad (2.1)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanır. Burada; D testere çapı (m) ve n testerenin devri (devir/dak) dır.

Çevresel hız, kesilecek her taş için farklı olup, doğal taş sektöründeki uygulamalarda genellikle 20 – 65 m/s civarındadır [10]. Gereğinden küçük çevresel

hızlarda, elmasın kesme işlemini gerçekleştirebileceği çarpma hızı azalacağından, verimsiz bir kesme işlemine neden olacağı gibi, testerenin aşınmasını da hızlandırır. Gereğinden yüksek çevresel hızlarda ise, elmas tanecikleri yeterli kesme işlemi yapmadan matriksten koparak ayrılır ve testerenin çabuk tükenmesine yol açar. Farklı taş grupları için önerilen çevresel hızlar ve kesme hızları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Farklı taşlar için önerilen çevresel hızlar [19].

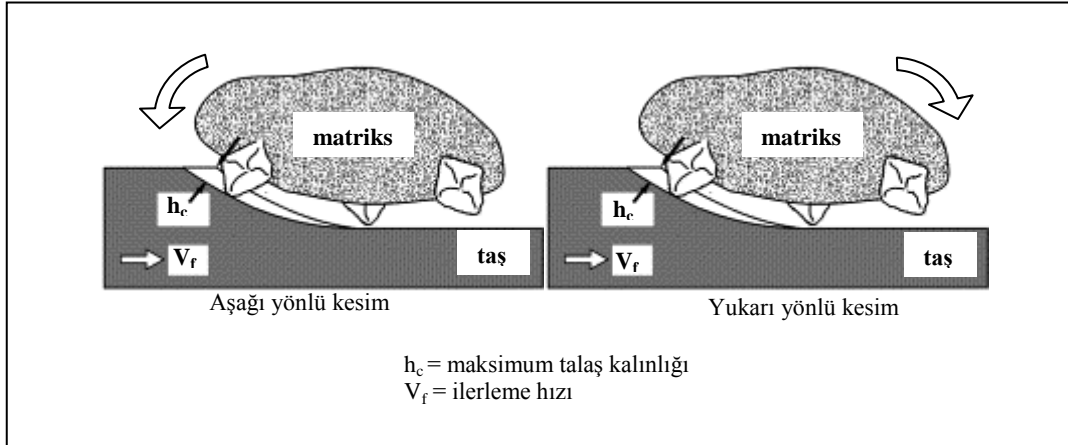
| Taş türü | Çevresel hız (m/s) | Kesme hızı (cm ² /dak) |
|-----------|--------------------|-----------------------------------|
| Granit | 25 - 40 | 100 - 150 |
| Mermer | 35 - 50 | 800 - 2500 |
| Traverten | 45 - 60 | 1000 - 3000 |

2.2.2. Kesme hızı

Doğal taş sektöründe, ekonomiklik açısından bakıldığında kesme hızı (üretim hızı) ve testere ömrü en önemli faktörler olmaktadır. Bununla birlikte, bu parametrelerin taşıdığı önem sırası tesisin gereksinimleri ve öncelikleri tarafından belirlenmektedir. Genel olarak, çok yüksek kesme hızları matriksin çabuk aşınmaya yol açmakta, çok düşük kesme hızları ise elmas tanelerinin yeterli kesim yapamadan körülenmelerine (parlamasına) neden olmaktadır. Kesilecek taş türüne göre önerilen kesme hızları, Çizelge 2.2’de verilmiştir.

2.2.3. Kesme yöntemi

Elmas soketli dairesel testerele yapılan kesme işlemlerinde *aşağı yönlü kesme* (down cutting) ve *yukarı yönlü kesme* (up cutting) olmak üzere, iki farklı kesme yöntemi kullanılabilir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Elmas soketli dairesel testerelerde kesme yöntemleri [20].

Aşağı ve yukarı yönlü kesme şekillerinin birbirlerine göre üstünlükleri ve sakıncaları bulunmaktadır [16, 17, 20-22]:

- Aşağı yönlü kesme yönteminde, başlangıçta kesme kuvveti maksimum olup kademeli olarak azalır. Bu durum, özellikle sert kayaların kesilmesinde, elmas soketlerin ani darbeler sonucu hızla aşınmasına neden olur. Bu sakıncaya karşın, testerenin kayaktan koparılan parçacıkları aşağı doğru bastırmaya çalışması sonucu titreşimler azalır ve buna bağlı olarak, elde edilen ürünün kalitesi artar.
- Yukarı yönlü kesme yönteminde ise, testereye gelen kesme kuvvetleri başlangıçta minimum olup kademeli olarak artar. Bu kesme yönteminde, testerenin kayaktan kopan parçacıkları yukarıya doğru kaldırmaya çalışması testerede oluşan titreşimlerin artmasına neden olur. Bunu sonucu olarak, elmas soketler daha hızlı aşınır ve elde edilen ürünün yüzeyinde pürüzlülük meydana gelir.

2.2.4. Soğutma suyu

Soğutma suyu, kesme işlemi esnasında oluşan talaşların ortamdan uzaklaştırılması ve testere ile elmas soketler arasındaki sürtünmeler sonucu oluşan ısının azaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Kesim esnasında suyun testerenin her iki yanına eşit

miktarda verilmesi, testere ömrü ve kesim performansı açısından oldukça büyük öneme sahiptir. Suyun miktarının yetersiz olması durumunda, oluşan talaşlar ortamdaki uzaklaştırılmaz ve soketin vaktinden önce aşınmasına neden olur. Su miktarı genellikle testere çapına bağlı olarak seçilir (Çizelge 2.1).

2.2.5. Makina ile ilgili özellikler

Elmas soketli testerelelerin üzerine monte edildiği makinadan beklenen en önemli özellikler yeterli motor gücüne sahip olması ve titreşimsiz çalışmasıdır. Titreşim, soketlerin aşınmasını hızlandırır. Ayrıca, vagon testere ile tam paralel şekilde hareket etmelidir, aksi halde kesim hassasiyeti azalır ve ürün kalitesi düşer [10,19]

2.2.6. Kesilecek doğal taşın özellikleri

Kesimi yapılacak taşın mineralojik-petrografik ve fiziko-mekanik özellikleri kesilebilirlik kolaylığının belirlenmesinde, soket seçiminde ve kesme şartlarının belirlenmesinde büyük önem taşır. Bu özellikler taşı oluşturan minerallerin türleri, tane boyutu ve dağılımları, sertliği ve aşındırıcılığı ile ilgilidir. Doğal taşlar bu özelliklerine göre *sert, yumuşak, aşındırıcı olmayan veya aşındırıcı* olarak sınıflandırılır. Yumuşak, orta-sert ve aşındırıcılığı düşük olan sınıfa ait kayaların kesilebilirliği görece daha kolaydır. Genel olarak, karbonat kökenli kayalar (mermer, traverten, oniks vb.) bu sınıf içerisinde değerlendirilir. Kesilebilirliği en zor olan kayalar ise sertlikleri ve aşındırıcılıkları yüksek olan magmatik kökenli taşlardır (granit, siyenit, gabro vb). [12,17, 23, 24]. Bu nedenle, elmas soketli dairesel testereleler her taş grubu için farklı özelliklerde üretilirler (Örneğin; granit testeresi, traverten testeresi vb).

2.3. Kesme Mekanizması

Doğal taşların dairesel testerelelerle işlenmesinde yapılan işlem gerçekte 'aşındırma' (grinding) olmasına rağmen, 'kesme' (sawing/cutting) terimi daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Elmas tanelerinin etkisiyle parça (chip) oluşumu mekanizması,

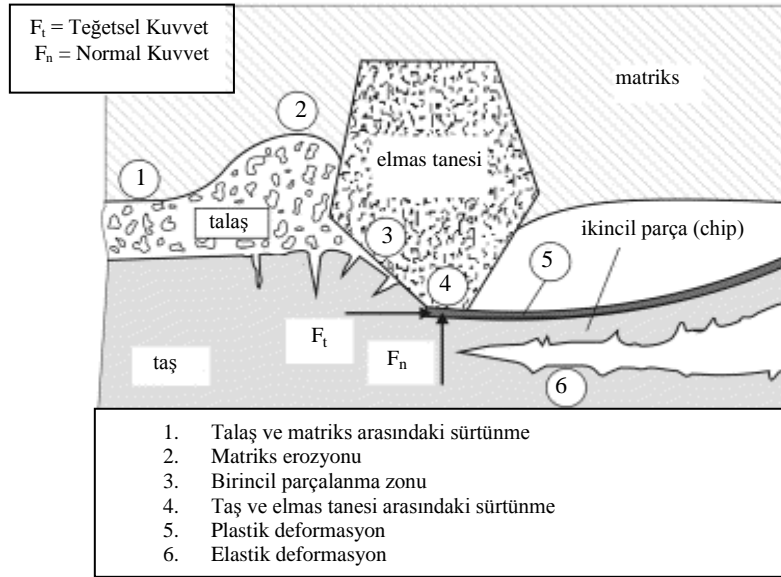
Tönshoff ve diğeri [20] tarafından geliştirilen modellerle açıklanabilir (Şekil 2.6). Bu modelde, parça oluşumunu doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen faktörler şunlardır:

- i) Taşın tane boyutu veya mekanik dayanımı gibi fiziksel özellikleri,
- ii) Elmas taneleri ve taş arasında kuvvetler,
- iii) Taştaki gerilme dağılımı ve
- iv) Testere-taş temas zonundaki sıcaklıklar.

Testere ve taşın karşılıklı mekanik etkileşimi sonucunda oluşan kuvvetler genel olarak aşağıdaki faktörlerden kaynaklanmaktadır:

- Kesici uçların taşa oluşturduğu elastik ve plastik deformasyonlar,
- Taş ve elmas taneler arasındaki sürtünme,
- Taş ve matriks arasındaki sürtünme ve
- Talaş ve matriks arasındaki sürtünme.

Kesme işlemi esnasında, elmas tanesinin ön yüzünde oluşan basınç ve çekme gerilmeleri sonucu talaş oluşumu gerçekleşir ki, bu mekanizmaya ‘birincil parça oluşumu’ denir. Elmas tanesinin altındaki taş üzerine uygulanan basınç gerilmesi kalktığında, elastik davranış sonucu taşa çekme gerilmeleri oluşur. Çekme gerilmelerinin neden olduğu ve gevrek kırılmaya (brittle fracture) yol açan bu mekanizma ise ‘ikincil parça oluşumu’ olarak adlandırılır. Kesim esnasında oluşan talaşlar, soğutucu su yardımıyla dışarı atılır.



Şekil 2.6. Testere ve taş arasındaki mekanik etkileşim [20].

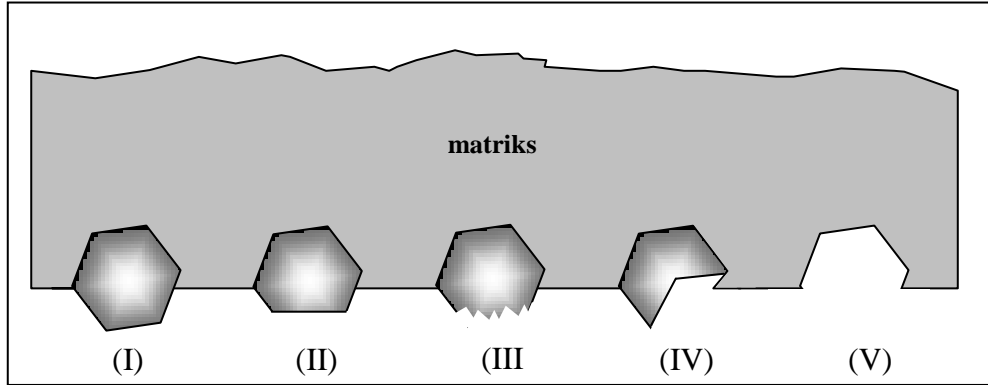
2.4. Soketlerde İzlenen Aşınma Mekanizmaları

Soketin metalürjik bileşimine, çalışma koşullarına ve kesilecek olan taşın mineralojik özelliklerine göre, soketlerde değişik aşınma mekanizmaları gözlenir. Soketlerde gözlenen aşınmalar esas olarak, '*elmas aşınması*' ve '*matriks aşınması*' şeklinde incelenebilir [25].

2.4.1. Elmas aşınması

Elmas tanelerinin aşınmasını doğrudan etkileyen en önemli parametreler, taşın aşındırıcılığı ve elmas tanesi üzerinde etkili olan mekanik ve termal yüklerdir. Kesim yapmakta olan elmas soketli bir dairesel testerede, mikro-gözlemler sonucu ayırt edilebilecek elmas aşınma türleri (Şekil 2.7) şunlardır [26]:

- i) *Yeni taneler:* Kristal şekli korunmuş olup, elmas tanesi üzerinde belirgin bir aşınma gözlenmez. Elmas tanesi, matriks yüzeyinden yeterli bir çalışma yüksekliği kadar çıkmış olduğundan, verimli bir kesme işlemine yardımcı olur.
- ii) *Düzleşmiş taneler:* Elmas tanelerinin uçlarında, yüksek termal yükler nedeniyle pürüzsüz ve düz yüzeyler oluşur. Mekanik yükler elmas taneleri üzerinde çatlaklar oluşturacak seviyede değildir (Örneğin; tane yüzey alanı ve/veya kesme hızı çok düşük olabilir). Azalan çalışma yüksekliği nedeniyle, bu tür tanelerin kesme yetenekleri daha düşüktür.
- iii) *Mikro-çatlaklı taneler:* Genellikle, tekrarlanan darbe etkisi veya yüzey yorulmasından kaynaklanan, ezilmiş ve mikro-çatlaklı bir yüzeye sahiptirler. Bu tür kristaller üzerinde kesime yardımcı yeni kesici köşeler oluşmasına rağmen, çalışma yükseklikleri oldukça azalmış olduğundan, yeterli bir kesme derinliği sağlayamazlar.
- iv) *Makro-çatlaklı taneler:* Mikro-çatlaklı tanelerin ileri derecede zarar görmesi durumunda, elmas yüzeyinde makro-çatlaklar oluşur. Elmas yüzeyindeki kesici köşelerin sayısında ve çalışma yüksekliğinde oluşan azalmalar nedeniyle, testerenin kesme kapasitesi olumsuz yönde etkilenir.
- v) *Kopmuş taneler:* Elmas tanelerinin bütünüyle kopmuş olması nedeniyle, soket yüzeyinde krater şeklinde gözlenirler. Bu tür kopmalar eğer elmas tanesi etkin kesme görevini tamamlamadan oluşuyorsa, matriksin aşınmasını da hızlandıracağından, testere ekonomik ömrünü çok kısa bir sürede tamamlayacaktır.

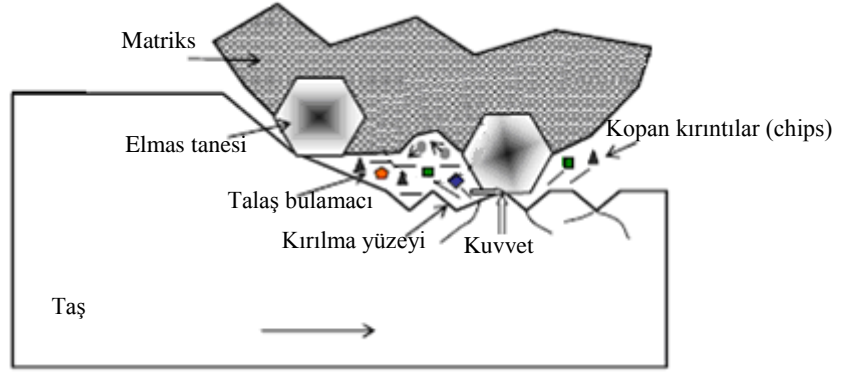


Şekil 2.7. Elmas tanelerinde görülen aşınma türleri: (I) yeni; (II) düzleşmiş (parlamış); (III) mikro-çatlaklı; (IV) makro-çatlaklı; (V) kopmuş [27;28].

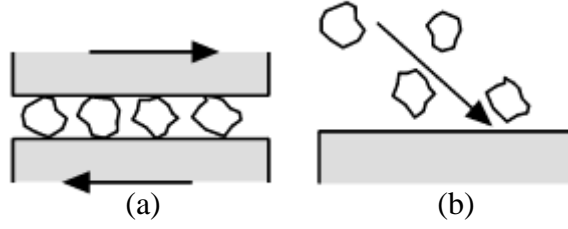
2.4.2. Matriks aşınması

Matriksin aşınmasında etkili olan başlıca faktör, soğutma suyu-talaş karışımından oluşan aşındırıcı bulamaç ortamıdır (Şekil 2.8). Yoğun bulamaçlarda, serbest taş kırıntıları matriks yüzeyinde yuvarlanarak veya kayarak onun hızlı bir şekilde aşınmasına neden olur. Bu tür aşınma ‘üç-gövde abrasiv aşınma’(three-body abrasive wear) olarak bilinir (Şekil 2.9a). Matriksin bu tür bir mekanizmayla hızlı bir şekilde aşınmasını önleyebilmek amacıyla, bulamaç ortamının seyreltilmesine çalışılır. Seyreltilmiş bulamaçlarda, serbest taş kırıntıları matriks yüzeyine belirli bir açıda çarparak aşınmasına yol açar (Şekil 2.9 b). Bu tür aşınma ‘erozyonlu aşınma’ (Erosive wear) olarak adlandırılır [15].

Eğer matriks çok yumuşak bir yapıya sahipse ve hızlı bir şekilde aşınıyorsa, elmas taneleri normal çalışma sürelerini tamamlayamadan yerlerinden koparlar. Matriksin elmaslardan daha geç aşınması durumunda ise, elmasların çalışma yüksekliği sürekli olarak azalacağından, talaş etkin bir şekilde uzaklaştırılmaz ve sonuçta socketin kesme yeteneği düşer. Bu nedenle, matriks ve elmasların eşzamanlı olarak aşınmaları, kesim performansı açısından büyük önem taşır.



Şekil 2.8. Talaş bulamacının matriks aşınmasına etkisi [29].



Şekil 2.9. a) Üç-gövdeli abraziv aşınma b) erozyonlu aşınma [30].

BÖLÜM 3

MAGMATİK KAYAÇLARIN KESİLEBİLİRLİKLERİ ÜZERİNE YAPILAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, magmatik kayaçların elmas soketli dairesel testerelerle kesilebilirliği konusunda yapılmış önceki çalışmalara belirli bir ayrıntıda yer verilmiştir. Burada “magmatik kayaç” terimi, doğal taş sektöründe ticari olarak kullanılmakta olan “sert taş” veya “granit” terimleri ile aynı anlamda kullanılmıştır.

Konstanty [13], doğal taşların elmas soketli dairesel testerelerle kesilmesinde kesme yönünün soket aşınması üzerindeki etkisini, talaş oluşumunu ve talaş uzaklaştırma mekanizmalarını teorik olarak incelemiştir.

Konstanty [14], yaygın olarak kullanılmakta olan soket üretim yöntemleri, matrislerin metalürjik özellikleri ve elmas seçimi gibi konularda izlenmesi gereken genel prensipler üzerinde durarak, doğal taşların kesilmesinde oluşan soket aşınmaları hakkında teorik görüşler öne sürmüştür.

Konstanty [15], yedi farklı soket özelliği taşıyan dairesel testerelerle yapmış olduğu kesme deneyleri sonucunda, granit türü sert taşların kesiminde, soketlerdeki aşınmanın önemli bir bölümünün elmas tanelerinin yerinden koparak matristen ayrılmaları sonucunda oluştuğunu belirlemiştir.

Ertingshausen [16], Colombo Red graniti üzerinde 600 mm çaplı dairesel testerelerle kesme deneyleri uygulamıştır. Testere çevresel hızının 45 m/s olarak sabit tutulduğu bu deneylerde, farklı kesme derinliği (10-60 mm) ve farklı ilerleme hızları (41.7-250 cm/dak) kombinasyonlarında, kesme hızı 250 cm²/dak sabit olacak şekilde çalışılmıştır. Deneysel çalışmalar, kesme derinliğinin 20-25 mm'nin altında olması durumunda, enerji tüketimi açısından yukarı-yönlü kesme yönteminin aşağı-yönlü kesme yöntemine göre daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, aşağı yönlü kesme

yöntemiyle karşılaştırıldığında, yukarı yönlü kesmede testeredeki aşınmanın daha az olduğu kritik bir derinliğin belirlenebileceği görüşü savunulmuştur. Testere soketleri üzerindeki aşınma dokusunun yukarı-yönlü kesmede genellikle daha homojen olduğu, aşağı-yönlü kesimde ise belirgin bir şekilde değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir.

Jennings ve Wright [17], doğal taşların elmas soketli dairesel testerele işlenmesinde kesme performansı üzerinde rol oynayan parametreleri değerlendirerek, optimum testere seçimi konusunda izlenmesi gereken temel kuralları vurgulamıştır.

Tönshoff vd. [20], doğal taşların işlenmesinde kesme prensipleri ve testere aşınma mekanizmaları konularında genel bilgiler vermişlerdir. Elmas soketli dairesel testerele elmas ve matristeki aşınma mekanizmalarının izlenmesiyle, herhangi bir uygulamada optimum proses parametrelerinin belirlenmesinin mümkün olabileceği öne sürülmüştür.

Mamalis vd. [21], Colombo ve Impala granitleri üzerinde yapmış oldukları laboratuvar ölçekli kesme deneylerinde, farklı kesme koşullarında testereye gelen kesme kuvvetlerini ve soket aşınmasını incelemişlerdir. Çalışmadan elde edilen başlıca bulgular: (i) deneyleri yapılan her iki granitin, aynı kesim şartlarında, farklı mineralojik dokularından dolayı farklı aşınma davranışları göstermiştir (ii) genel olarak, soket boyu (uzunluğu) arttıkça kesme kuvvetleri de artmaktadır (iii) testereye etkiyen yanıl kuvvetler önemsiz mertebededir (iv) granit anizotropinin kesme işlemi üzerinde belirgin bir etkisi gözlemlenmemiştir.

Luo ve Liao [22], farklı soket özellikleri içeren üç tür dairesel testere kullanarak Indian Red granitinin kesiminde elmaslarda oluşan aşınma türlerini incelemiştir. Deneyler sonrasında, soketler üzerinde elektron mikroskopuyla yapılan incelemelerde elmas tanelerinin çok az aşınmış, yassılaştı, mikro-çatlaklı, makro-çatlaklı ve matristen koparak ayrılmış şeklinde beş farklı sınıfa ayrılabilceği gözlemlenmiştir. Yüksek dayanımlı elmasların kullanıldığı testerede “az aşınmış” ve “yerinden koparak ayrılmış” tanelerin çoğunlukta bulunduğu, “yassılaştı” ve “makro-çatlaklı” tanelerin ise azınlıkta olduğu belirlenmiştir. Bunun sonucu olarak, kesimlerde daha düşük kesme

kuvvetleri kaydedilmiş ve daha iyi bir testere performansına ulaşılmıştır. Ayrıca, aynı konsantrasyona sahip görece daha küçük tane boyutundaki elmaslardan oluşan testere kullanıldığında, testere performansının daha iyi olduğu fakat kesme kuvvetlerinin görece daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Hausberger [23], inşaat sektöründe sıkça kullanılan 32 tür sert taşın kesilebilirlik özelliklerinin göreceli olarak değerlendirildiği, altı sınıftan oluşan bir kesilebilirlik sınıflandırması oluşturmuştur. Önerilen sınıflama sisteminde, kesilebilirlik kriteri olarak testere aşınması dikkate alınmıştır. Buna göre, gabronun testereyi aşındırma değeri esas alınarak, diğer granitler göreceli bir şekilde sınıflanmıştır.

Unver [24], yedi farklı türdeki granit üzerinde kesilebilirlik analizleri gerçekleştirmiştir. Tüm deneylerde, 300 cm²/dak'lık sabit bir kesme hızını veren 300 cm/dak'lık ilerleme hızı ve 10 mm'lik kesme derinliği uygulanmıştır. Testere çapı 600 mm ve çevresel hız 35 m/s sabit tutulmuştur. Deneysel verilerin çoklu regresyon yöntemiyle değerlendirilmesiyle, testeredeki özgül aşınma ve kesme kuvvetinin ortalama kuvars tane boyutu, NCB koni delici sertliği ve ortalama plajiyoklaz tane boyutu gibi parametreler yardımıyla istatistiksel anlamda güvenilir olarak kestirilebileceği gösterilmiştir.

Kesme işlemi mekanizmasının daha iyi anlaşılmasında ve kesilecek taşın uygun özelliklerde testere seçiminde elmas soketlerdeki aşınmanın izlenmesinin önemini vurgulayan Tönshoff ve Asche [25], bu amaç için geliştirdikleri makroskopik ve mikroskopik iki aşınma ölçme yöntemini uygulamalı olarak tanıtmışlardır.

Luo [31], granitlerin kesiminde testerelerdeki elmas soketlerin aşınma yüzeylerini incelemiştir. Aşağı-yönlü kesme yönteminin uygulandığı ve 300-350 mm çaplı dairesel testerelerin kullanıldığı deneylerde testere çevresel hızı 30-35 m/s, ilerleme hızı 3-3.7 m/dak ve kesme derinliği 20-30 mm tutularak 600-1100 cm²/dak aralığında değişen kesme hızları gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda, yüksek oranda kuvars içeren sert granitin kesiminde elmas tanelerinin genellikle makro-çatlaklı kristaller ve/veya yerinden kopmuş tanecikler halinde olduğu gözlemlenmiştir. Görece daha

az kuvars içeren diğer bir granitin kesiminde ise, elmasların genellikle mikro-çatlaklı olduğu ve matrikse daha sıkıca bağlı kalmaları sonucunda kesme veriminin yükseldiği belirlenmiştir.

Xu [32], elmas soketli dairesel testerele granit kesimi esnasında oluşan sürtünme mekanizmasını incelemiştir. Bu amaçla, beş farklı granit türünün kesiminde ölçülen kesme kuvvetlerinden yararlanılarak, özgül kesme enerjileri hesaplanmıştır. Çalışmalar sonucunda, kesme enerjisinin önemli bir bölümünün elmas ve granit arasındaki sürtünmeye harcandığını ve bu nedenle sürtünmeyi azaltıcı önlemlerin kesme verimi üzerinde önemli bir rol oynayabileceği vurgulanmıştır.

Buyuksagis [33], aşağı-yönlü ve yukarı-yönlü kesme yöntemlerinin granitlerin kesilebilirliği üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Bu amaçla, 400 mm çaplı elmas soketli bir dairesel testere kullanılarak, altı farklı türe ait granitler üzerinde kesme deneyleri yapılmıştır. Deneylerde testere çevresel hızı 65 m/s, ilerleme hızı 0,45 m/dak ve kesme derinliği 20 mm sabit tutulmuştur. Deneysel sonuçlar, uygulanan çalışma koşulları için geçerli olmak üzere, özgül kesme enerjisi ve testere özgül aşınma hızı bakımından yukarı-yönlü kesme yönteminin daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, yapılan çoklu-regresyon analizi sonucunda, granitlerin kesilebilirliğini etkileyen en önemli kayaç parametrelerinin eğilme dayanımı ve plajiyoklas yüzdesi olduğu belirlenmiştir.

Li vd. [34], Xipeng ve Yiging [35] ve Webb [36] yapmış olduğu deneysel çalışmalarda, Cr-Ti ile kaplanmış elmaslardan oluşan soketlerin, kaplanmamış olanlara göre, çok daha yüksek bir kesme performansına sahip olduklarını göstermiştir. Bunun nedeni olarak, kaplama malzemesinin elmas-matris arasında daha kuvvetli bir bağ oluşturması olarak açıklanmıştır.

Xu vd. [37], iki farklı tür granit üzerinde yapmış oldukları kesme deneylerinde, elmasların üzerine etkileyen kuvvetleri incelemiştir. 350 mm çaplı bir dairesel testerenin kullanıldığı deneylerde çevresel hız 30 m/s sabit tutularak, 40-450 cm²/dak aralığında kesme hızlarında çalışılmıştır. Elmas-granit temas noktasındaki sıcaklıkların

bir sıcaklık sensörü yardımıyla ölçüldüğü çalışmada, temas noktalarındaki yüksek sıcaklıkların elmasların aşınmasıyla yakından ilgili olduğu, bu sıcaklığın matrisle iletilmesiyle elmasların matristen koparak ayrıldığı sonucuna varılmıştır.

Ilio ve Togna [38], elmas soketli dairesel testerelerdeki aşınma mekanizmasını açıklamaya yönelik matematiksel bir model geliştirmiştir. Model, soket aşınmasının matris ve elmaslardaki aşınmanın bir fonksiyonu olduğu varsayımına dayanmaktadır. Buna göre, matris malzemesi sadece elmas tanelerini yerinde tutmakla kalmamalı, aynı zamanda kesme verimini sabit tutmak için uygun bir hızda aşınmalıdır.

Wei vd. [39], bulanık mantık yardımıyla granitler için bir kesilebilirlik sınıflama sistemi geliştirmişlerdir. Sistemde kesilebilirlik kıstasları olarak kesme kuvveti ve testere aşınma performansı esas alınmakta olup, kayacın kuvars içeriği, kuvars tane boyutu, Shore sertliği ve tek eksenli basınç dayanımı, girdi parametreleri olarak kullanılmaktadır. Sınıflandırma sistemini oluşturan kesme parametreleri ise; testere çapı 600 mm, kesme derinliği 10 mm, çevresel hız 35 m/s ve ilerleme hızı 3 m/dak olarak seçilmiştir. Bu tür bir yaklaşımla, kesilebilirlik özellikleri bilinmeyen yeni bir granitin sadece petrografik ve mekanik özellikleri yardımıyla kesim kolaylığının belirlenebileceği vurgulanmıştır.

Eyupoglu vd. [40], Ankara andezitleri üzerinde yaptıkları çalışmada, testere soketlerindeki aşınma ve kayaç özellikleri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Çoklu-regresyon yöntemi kullanılarak oluşturdukları modelde, testere aşınma hızı yedi girdi parametresi (tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, nokta yük dayanımı, Shore sertliği, NCB koni-delici değeri, Böhme aşınma dayanımı ve Los Angeles aşınma dayanımı) yardımıyla tahmin edilebilmektedir.

Xipeng Xu vd. [41], çeşitli granitler üzerinde farklı kesme şartları altında yapmış oldukları deneysel çalışmalarda, testere ile granit arasındaki sürtünme miktarının bir göstergesi olan Teğetsel Kuvvet/Normal Kuvvet (F_t/F_n) oranının incelenen granitlerde beklenildiği kadar farklılıklar göstermediğini belirlemişlerdir. Diğer yandan, uzun süren

bir kesme işleminde testerenin bilenmemesi halinde, testerenin giderek aşınmasıyla birlikte, teğetsel ve normal kuvvetler arasındaki oranın azaldığı gözlemlenmiştir.

Ersoy vd. [42], çeşitli sert ve aşındırıcı özelliklerdeki taşlar üzerinde yapmış oldukları kesme deneyleri sonucunda, testere aşınma performansının tahminine yönelik istatistiksel bir model geliştirmişlerdir. Deneysel çalışmalarda testere çevresel hızı 65 m/s sabit tutularak, farklı kesme derinliği (10-90 mm) ve ilerleme hızı (0.2-1.0 m/dak) aralıklarında çalışılmıştır. Geliştirilen modele göre testerenin aşınma performansı kayacın özgül kesme enerjisi, kuvars içeriği, eğilme dayanımı ve Schmidt sertliği parametreleri yardımıyla kestirilebilmektedir.

Delgado vd. [43], granitlerin mikro-sertlik ve kesilebilirlik özellikleri arasındaki ilişkileri incelemiştir. Çalışmada granitlerin kesilebilirlik kriteri olarak kesme hızı, mikro-sertlik ölçütü olarak ise Vickers mikro-sertliği kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, Vickers mikro-sertlik değerlerinden yararlanılarak, granitler için en uygun çalışma parametrelerinin belirlenebileceğini göstermiştir.

Wright ve Cassapi [44], granit türü sert kayaçların kesilebilirlikleri üzerinde rol oynayan kayaç özelliklerini belirlemeye yönelik deneysel çalışmalar yapmışlardır. Sonuç olarak, granitlerin mineralojik-petrografik özelliklerinin tek başına testere aşınmasını ve güç tüketimini açıklayıcı bilgiler vermediği, bu özelliklerin yanı sıra kayaca ait diğer fiziko-mekanik özelliklerin de kesilebilirlik analizlerinde göz önünde tutulması gerektiği vurgulanmıştır.

Wright [45], Cornish Grey graniti üzerinde yapmış olduğu çalışmada, soketlerdeki elmas kalitesinin aşınma üzerinde önemli bir rol oynadığını gözlemlemiştir. Buna göre, düşük kaliteli elmaslar yüksek kuvvetler altında kolayca kırılırken, SDA 100 gibi yüksek kaliteli elmaslar kontrollü bir aşınma performansı göstererek, testere ömrü ve kesme hızı üzerinde olumlu katkıda bulunmaktadır. Yazar, çalışmasının diğer bölümünde, Cerchar aşınma deneyi cihazı üzerinde bazı tasarım değişiklikleri yaparak,

kayaçların aşındırıcılıkları ile testere ömrü arasında güvenilir ilişkiler kurulabileceğini göstermiştir.

Xu vd.[46], granitlerin dairesel testerelerle kesimi esnasında oluşan kuvvetlerin ve enerji tüketiminin etkin çalışma parametrelerinin seçiminde önemli göstergeler olduğunu deneysel olarak göstermişlerdir. Yazarlar, tüketilen kesme enerjisinin yaklaşık % 30'nun kesim esnasında oluşan talaşın matris ve su ile karşılıklı etkileşiminden kaynaklanabileceğini öne sürmüşlerdir.

C.Y. Wang vd. [47], üç farklı granit türü üzerinde yapmış oldukları deneysel çalışmalarda, farklı kimyasal özelliklerde hazırlanan soğutma sıvılarının dairesel testerelerin kesim performansına olan etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonuçları, soğutucuların testere ömrünü uzattığını ve kesme enerjisini azalttığını göstermiştir. Bununla birlikte, soğutma sıvısı etkisinin sıvının kimyasal özelliklerinin yanı sıra, kullanılan soketin metallurjik özellikleri ve elmas konsantrasyonunun soğutucu etkisi üzerinde önemli rol oynadığı gözlenmiştir. Ayrıca, kesimi yapılan granitin mineralojik özelliklerinin de soğutma sıvısının etkisi üzerinde rol oynadığı belirlenmiştir. Buna göre, yüksek oranda kuvars içeren iri taneli granitlerde soketler daha hızlı aşınmakta ve soğutma suyunun etkisini azaltmaktadır.

Asche [48], yapmış olduğu laboratuvar ölçekli çalışmada, derin kesim koşullarında üç farklı granitin kesilebilirlik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada, granitlerin kesilebilirlik özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerin, kuvars içeriği ve kuvars tane boyutu olduğu vurgulanmıştır. Kesme derinliğinin veya ilerleme hızının artırılması durumunda, testere üzerinde etkili olan termal yüklerin de arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, sabit bir kesme hızı için, kesme derinliğinin 40 mm'den 100 mm'ye artırılması durumunda, kesim esnasında oluşan titreşim kaynaklı gürültünün yaklaşık 5 dB(A) kadar azaldığı gözlemlenmiştir.

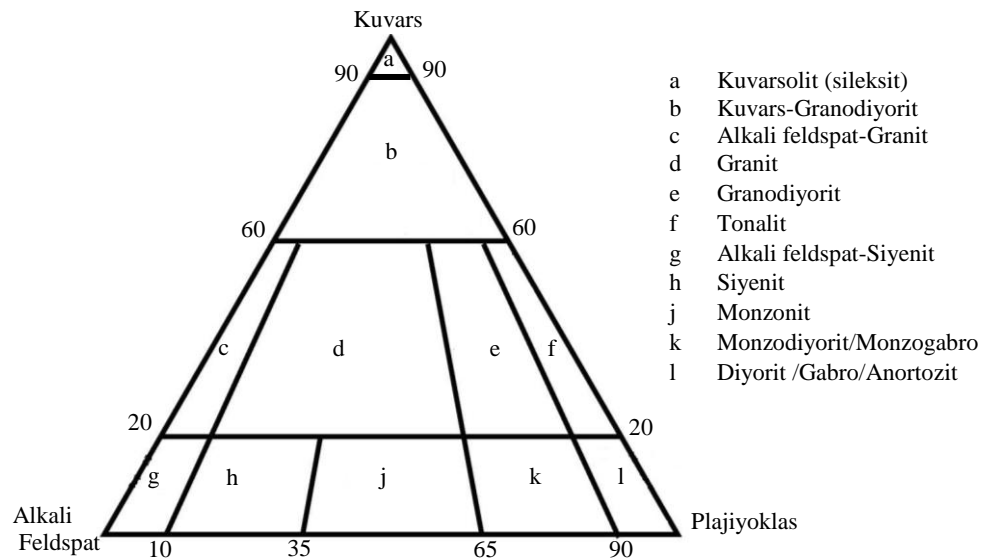
BÖLÜM 4

KESME DENEYLERİNDE KULLANILAN KAYAÇLARIN MİNERALOJİK- PETROGRAFİK VE FİZİKO-MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Kesilebilirlik analizleri yapılacak granitlerin seçiminde farklı mineralojik, petrografik ve fiziko-mekanik özelliklerde olmalarına özen gösterilmiştir. Bu amaçla, ticari olarak faaliyet göstermekte olan bir granit işleme tesisinden, 12 farklı türde granit örneği temin edilerek çalışma kapsamına alınmıştır. Seçilen granit örneklerinin mineralojik, petrografik ve fiziko-mekanik özellikleri laboratuvar çalışmalarıyla belirlenerek, kesilebilirlik karakteristikleriyle ilişkilendirilmesi hedeflenmiştir.

4.1. Mineralojik ve Petrografik Özellikler

Granit örneklerinden hazırlanan ince kesitler petrografik mikroskop yardımıyla incelenerek, tane boyutu ve modal bileşimleri belirlenmiştir. Mineralojik analizlerde Nikon Eclipse LV100POL modeli polarize mikroskop kullanılmıştır. Görece iri taneli granitlerin incelenmesinde el örneklerinden de yararlanılmıştır. İncelenen kayaçlar, mineralojik bileşimlerine bağlı olarak Streckeisen [49] sınıflama sistemine göre adlandırılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 QAP Diyagramı.

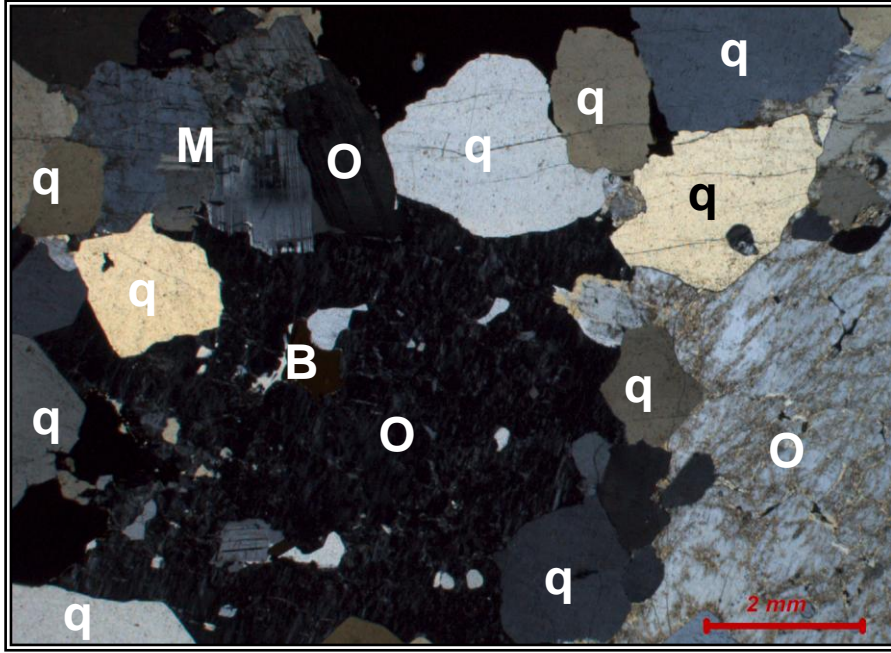
ALKALEN GRANİT G1

Ana bileşenlerden alkali feldspat mineralleri mikroklin ve ortoklaz bileşiminde olup, taneler oldukça iridir. Alkali feldspatlar içerisinde albit lamelleri şeklinde pertitik doku oluşumları dikkat çekmektedir (*albitleşme*). Mikroklin kısmen çeşitli doğrultularda kırılmalar göstermektedir. Bu kırılma dilinimleri boyunca yer yer serisitleşme mevcuttur. Kırılmalar arasındaki boşlukları sekonder kuvars doldurmuştur. Kuvars subtomorf ve anhedral tane şeklinde gelişim göstermektedir. Örnek içerisinde az miktarda bulunan plajiyoklas mineralleri polisentetik albit ikizlenmeleri şeklinde tipik özelliklere sahiptir ve az miktarda serisitleşmiştir. Koyu renkli mineralleri tipik optik özelliklere sahip, yeşilimsi renk tonlarında ve kuvvetli pleokroizması olan biyotit mineralleri oluşturmaktadır. Ayrıca, örnek içinde genellikle kapanım halinde yer alan mika, zirkon ve biyotitin dilinim düzlemlerine uyumlu yerleşmiş opak minerallere rastlanılmıştır.

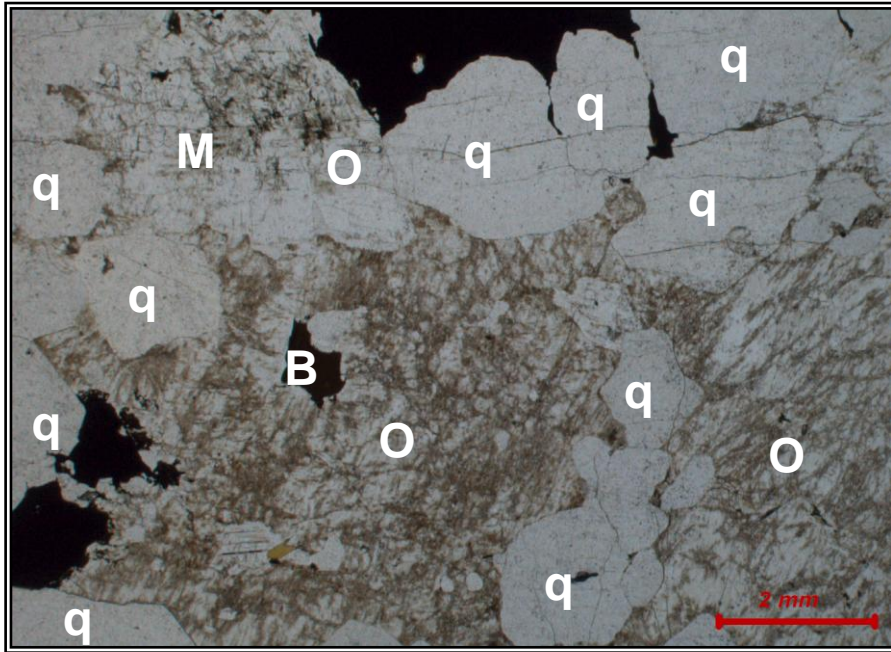
Kayaç holokristalin dokuda olup, sahip olduğu mineralojik bileşim ve dokusal özelliklerine bakılarak, *alkalen granit* olarak adlandırılmıştır. Kayacı oluşturan minerallerin bileşenleri ve tane boyutları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. G1 kayacına ait mineralojik özellikler.

| Mineral adı | % | Tane boyu (mm) | | |
|--|------|----------------|-------------|--------------|
| | | <i>Min.</i> | <i>Ort.</i> | <i>Maks.</i> |
| Alkali Feldspat (<i>mikroklin, ortoklaz</i>) | % 48 | 0.02 | 15.0 | 38.0 |
| Kuvars | % 36 | 0.04 | 7.5 | 30 |
| Plajiyoklas | % 9 | 0.6 | 1.6 | 3.3 |
| Biyotit | % 6 | 0.06 | 0.6 | 2.8 |
| Diğer (<i>zirkon, apatit, opak mineraller</i>) | % 1 | - | - | - |



(a)



(b)

Şekil 4.2. G1 örneğine ait (a) çift nikol; (b) tek nikol ince kesit görüntüleri.

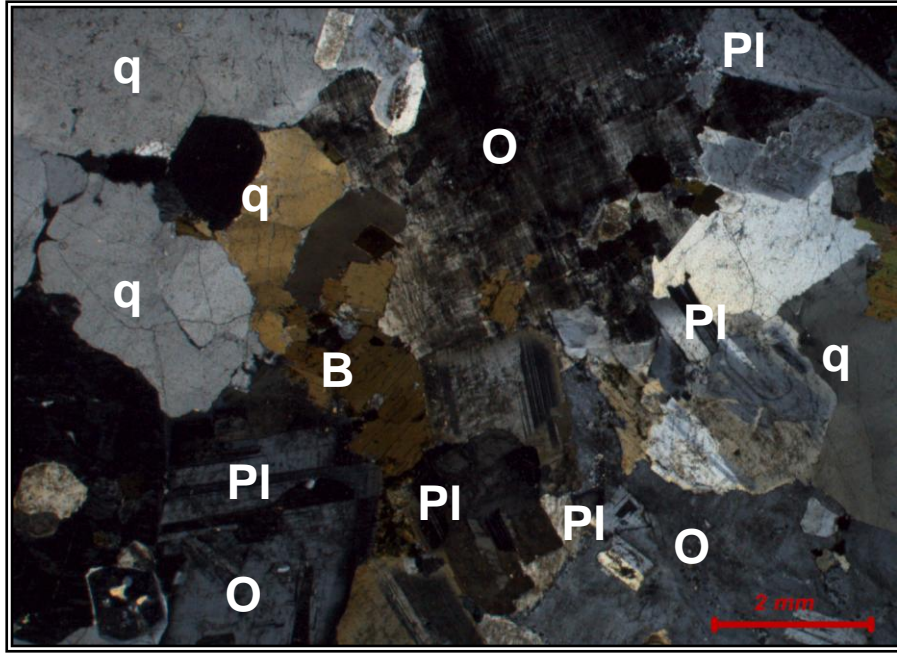
MONZONİT G2

Kayaç holokristalin dokudadır. Ana bileşenlerden plajiyoklas mineralleri (*albit / oligoklas*) polisentetik ikiz lamelleriyle tipiktir. Ayrıca, bazı kristallerde hem polisentetik ikizlenme lamelleri hem de zonlanmalar birlikte görülmektedir. Bununla birlikte, merkez kesiminden itibaren serisitleşme mevcuttur. Diğer önemli bileşenleri alkali feldspatlar (*ortoklaz / mikroklin*) ve kuvars mineralleri oluşturmaktadır. Bu minerallerin, az miktarda killeştikleri (*kaolenleşme*) gözlenmiştir. Alkali feldspatların içerisinde albit lamelleri şeklinde pertitik doku yer almaktadır. Kuvars ise, ksenomorf (*anhedral*) olup, dalgalı sönme göstermektedir. Örnek içerisinde koyu renkli mineralleri, yeşilimsi renk tonunda ve kuvvetli pleokroizması ile tipik biyotit mineralleri ve daha az miktarda bulunan yeşilimsi renkte ve öz şekilsiz taneler halinde amfibol grubu mineraller (*yeşil ve kahverengi hornblend*) oluşturmaktadır. Tali mineralleri, genellikle kapanım şeklinde zirkon, subtomorf kristaller şeklinde titanit (*sfen*) ve opak mineraller oluşturmaktadır.

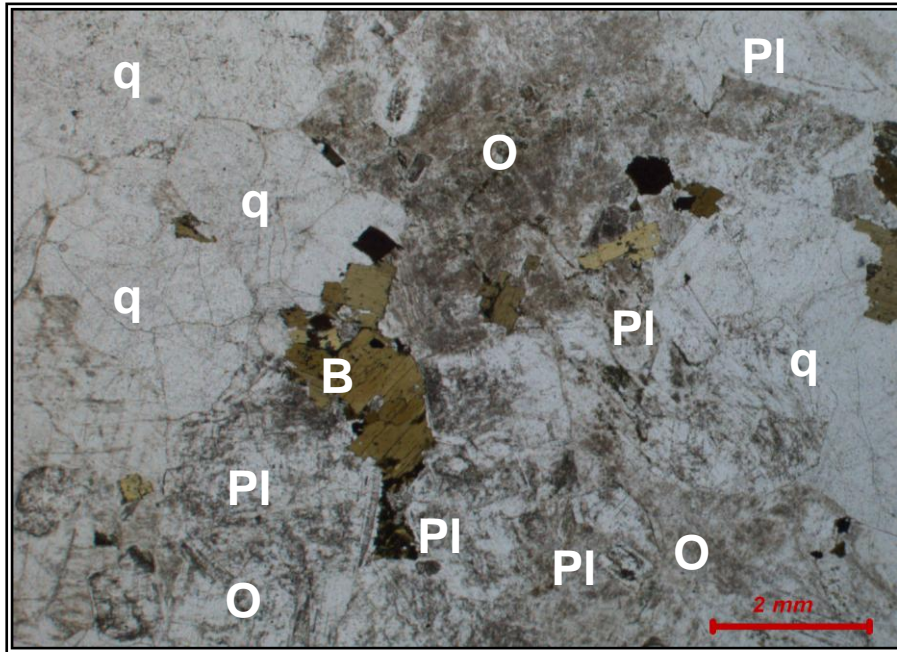
Sahip olduğu mineralojik bileşim ve dokusal özelliklerine bakılarak, kayaca *monzonit* olarak adlandırılmıştır. Kayacı oluşturan minerallerin bileşenleri ve tane boyutları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. G2 kayacına ait mineralojik özellikler.

| Mineral adı | % | Tane boyu (mm) | | |
|---|------|----------------|-------------|--------------|
| | | <i>Min.</i> | <i>Ort.</i> | <i>Maks.</i> |
| Plajiyoklas | % 32 | 0.04 | 4.0 | 15 |
| Alkali Feldspat (<i>mikroklin, ortoklaz</i>) | % 28 | 0.04 | 8.0 | 35 |
| Kuvars | % 27 | 0.04 | 5.0 | 15 |
| Biyotit | % 7 | 0.02 | 0.3 | 0.5 |
| Amfibol (<i>hornblend</i>) | % 4 | 0.02 | 2.0 | 3.0 |
| Diğer (<i>titanit, zirkon, apatit, opak mineraller</i>) | % 2 | - | - | - |



(a)



(b)

Şekil 4.3. G2 örneğine ait (a) çift nikol; (b) tek nikol ince kesit görüntüleri.

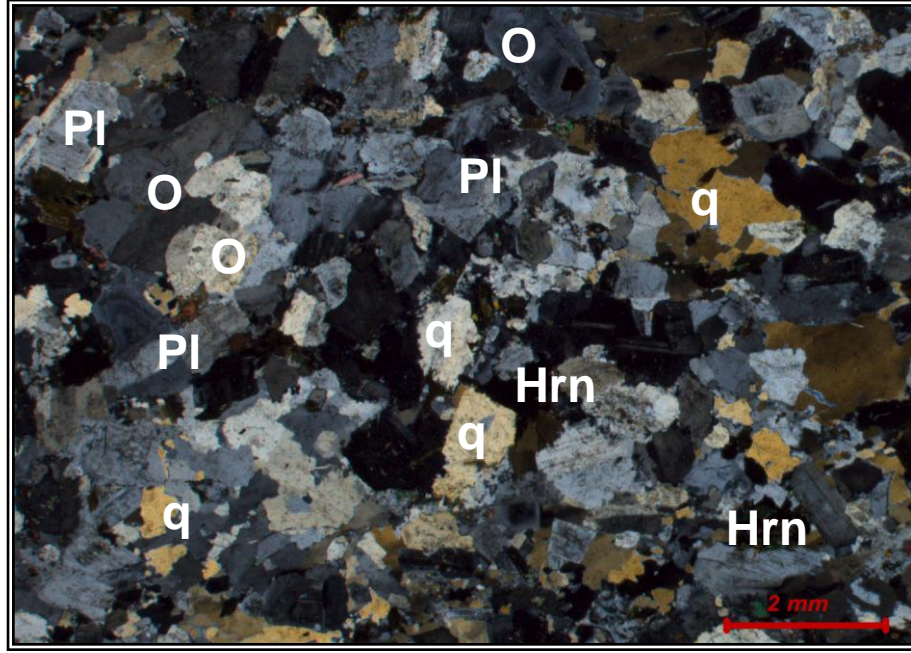
MONZONİT G3

Kayaç holokristalin dokuda olup, alkali feldspatlar, mikroklin ve ortoklaz minerallerinden oluşmaktadır. Tipik optik özelliklere sahip, alkali feldspatlarda yer yer serisitleşme mevcuttur. Örnek içerisindeki diğer önemli bileşen olan plajiyoklas (*albit / oligoklas*) minerallerinde, hem polisentetik ikizlenme lamelleri hem de zonlanma görülmektedir. Bununla birlikte, merkezden itibaren serisitleşmenin varlığı dikkat çekmektedir. Kuvars mineralleri ise, mineraller arasındaki boşlukları dolduracak şekilde, ksenomorf (*anhedral*) kristaller halinde bulunmaktadır. Kayaç içinde ana bileşen minerallerinin tane boyutu hemen hemen eşit dağılım göstermektedir. Örnek içerisinde koyu renkli mineraller, yeşilimsi renkte subtomorf ve otomorf (*idiyomorf*) kristaller halinde amfibol grubu mineraller (*hornblend*) yer almaktadır. Aynı zamanda, yeşilimsi renk tonunda ve kloritleşmiş biyotit mineralleri bulunmaktadır. Ayrıca, biyotit ve plajiyoklas mineralleri içerisinde dağınık halde ve oldukça küçük taneli, öz şekilsiz epidot mineralleri görülmektedir. Tali mineral olarak, genellikle kapanım şeklinde zirkon, idiyomorf (*otomorf*) şeklinde bol miktarda titanit (*sfen*) ve eser miktarda apatit mineralleri ile opak mineraller bulunmaktadır.

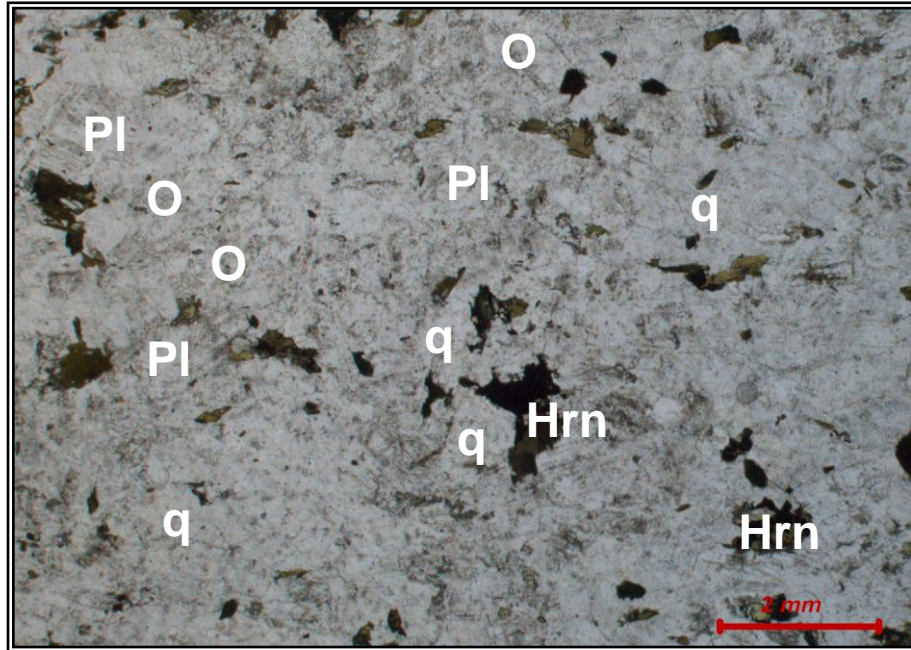
Sahip olduğu mineralojik bileşim ve dokusal özelliklerine bakılarak, kayaç *monzonit* olarak adlandırılmıştır. Kayacı oluşturan minerallerin bileşenleri ve tane boyutları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. G3 kayacına ait mineralojik özellikler.

| Mineral adı | % | Tane boyu (mm) | | |
|---|------|----------------|-------------|--------------|
| | | <i>Min.</i> | <i>Ort.</i> | <i>Maks.</i> |
| Alkali Feldspat (<i>mikroklin, ortoklaz</i>) | % 30 | 0.1 | 0.5 | 2.0 |
| Plajiyoklas | % 29 | 0.04 | 1 | 4.0 |
| Kuvars | % 24 | 0.06 | 1 | 4.0 |
| Amfibol (<i>hornblend</i>) | % 8 | 0.06 | 0.2 | 0.7 |
| Biyotit | % 5 | 0.02 | 0.2 | 0.8 |
| Epidot | % 2 | - | - | - |
| Diğer (<i>titanit, zirkon, apatit, opak mineraller</i>) | % 2 | - | - | - |



(a)



(b)

Şekil 4.4. G3 örneğine ait (a) çift nikol; (b) tek nikol ince kesit görüntüleri.

GRANODİYORİT (G4)

Kayaç holokristalin dokuda olup, ana bileşenlerden birini oluşturan plajiyoklas mineralleri tipik polisentetik albit ikizlenmesi şeklinde gelişmiştir. İkiz lameller küçük sönme açılara sahip olup, yer yer zonlanmalar göstermektedir. Zonlu plajiyoklaslar merkezde yoğun olmak üzere serisitleşmiştir. Ana kayaç tazedir ve çok az altere olmuş yapı mevcuttur.

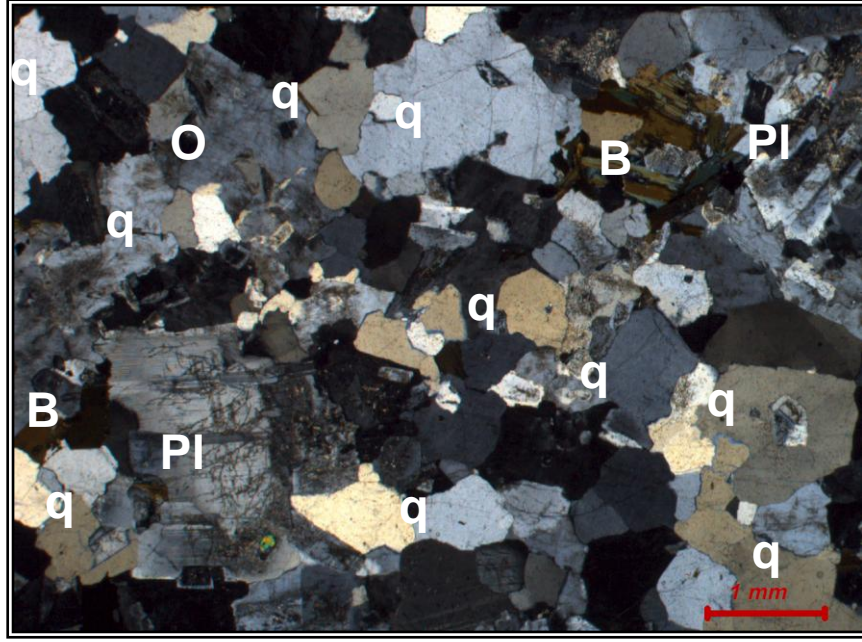
Diğer önemli bileşeni oluşturan kuvars en son kristalleşen mineral olması nedeniyle önce oluşan diğer minerallerin aralarını dolduran ksenomorf mineraller şeklinde olup, konsertal doku göstermektedir. Kayaç içindeki alkali feldspat mineralleri ortoklaz (*ortoz*) bileşimindedir. Bu mineraller kaolenleşme sonucu büyük oranda ayrılmıştır.

Ana bileşenleri oluşturan minerallerin tane boyu dağılımı hemen hemen eşit olup holokristalin bir dokuya sahiptir. Biotit, ince çubuklar şeklinde olup, kahverengi renk tonları ve kuvvetli pleokroizması ile karakteristiktir. Subtomorf (*hipidiomorf*) tane şekline sahip olan biyotit kristalleri kenarlarından itibaren kısmen veya çok büyük oranlarda kloritleşmiştir. Kloritleşme sonucu biyotit dilinimleri boyunca opak mineraller oluşmuştur.

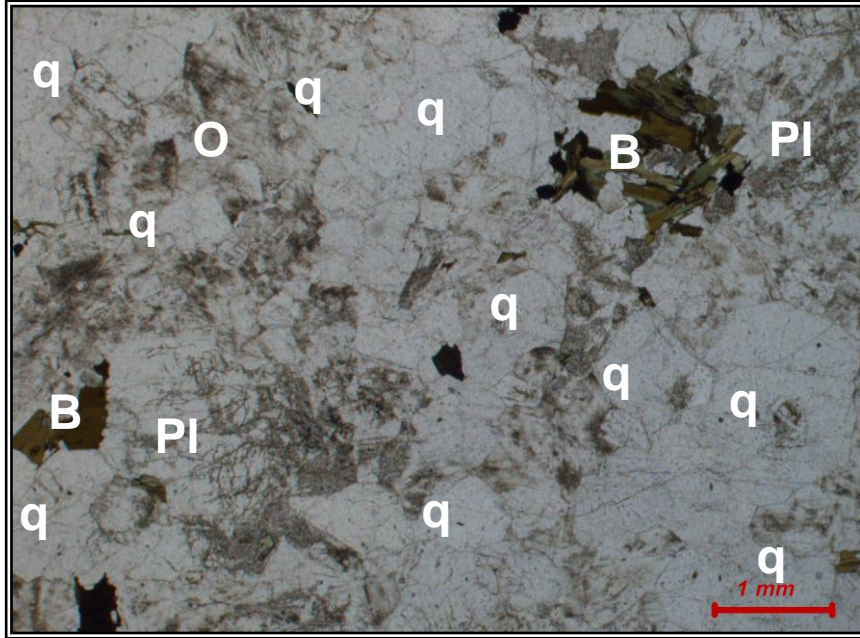
Sahip olduğu mineralojik bileşimine ve dokusal özelliklerine bakılarak, kayaç *granodiyorit* olarak adlandırılmıştır. Kayacı oluşturan minerallerin bileşenleri ve tane boyutları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. G4 kayacına ait mineralojik özellikler

| Mineral adı | % | Tane boyu (mm) | | |
|---|------|----------------|-------------|--------------|
| | | <i>Min.</i> | <i>Ort.</i> | <i>Maks.</i> |
| Plajiyoklas (<i>albit</i>) | % 39 | 0.2 | 3.5 | 10 |
| Kuvars | % 25 | 0.1 | 2.5 | 8.0 |
| Alkali Feldspat (<i>ortoklaz</i>) | % 22 | 0.2 | 10 | 15 |
| Biyotit | % 12 | 0.1 | 0.4 | 0.8 |
| Diğer mineraller (<i>titanit, zirkon, opak mineral</i>) | % 2 | - | - | - |



(a)



(b)

Şekil 4.5. G4 örneğine ait (a) çift nikol; (b) tek nikol ince kesit görüntüleri.

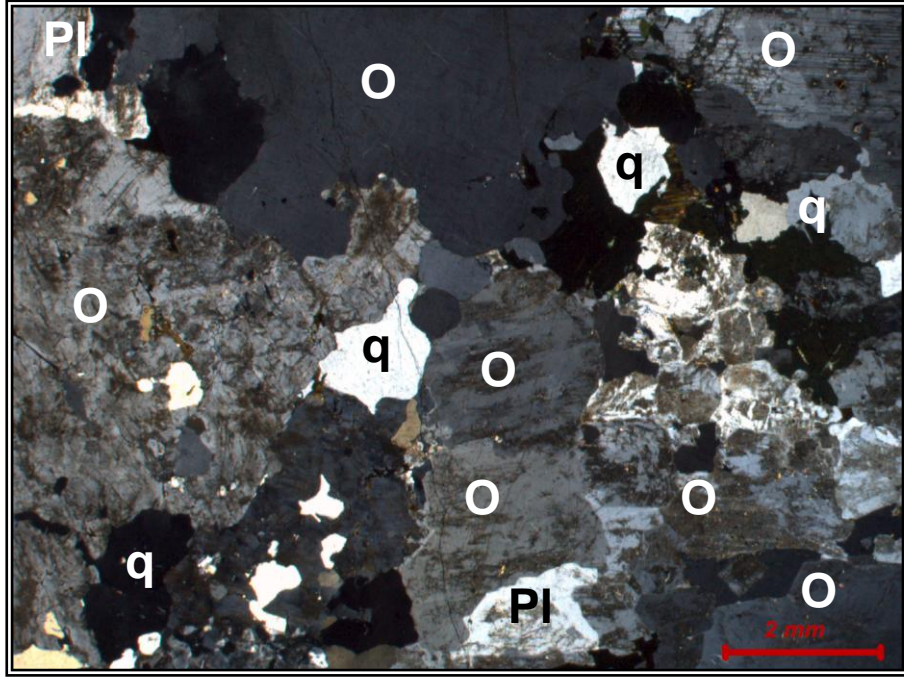
PORFİROİDAL GRANİT - ALKALEN – (G5)

Kayaç bol miktarda içerdiği fenokristaller nedeniyle porfirik dokuya sahiptir. Alkali feldspatlar tipik optik özelliklere sahip ortoklaz (*ortoz*) minerallerinden oluşmaktadır. Alterasyon çok azdır. Ortoz minerallerinin özellikle diğer bileşenlere oranla oldukça iri kristallere sahip olmaları nedeniyle porfirik dokunun varlığı dikkat çekmektedir. Yer yer ortoklaz çatlaklarının arasına sekonder kuvars yerleşmiştir ve dalgalı sönme gösterir. Plajiyoklaslar tipik polisentetik albit ikizlenmeleri ve çokuzlar halinde görülmektedir. Plajiyoklaslar, ortoklazlar üzerinde pertetik doku oluşturmuşlardır ve mineraller üzerinde az miktarda serisitleşme söz konusudur. Ayrıca, kayaç içerisinde koyu renkli minerallerden yeşilimsi renk tonunda ve ksenomorf (*anhedral*) kristaller halinde amfibol ile kahverengimsi renk tonunda ve pleokroizması ile tipik biyotit mineralleri bulunmaktadır. Bunların dışında tali mineral olarak, eser miktarda apatit, zirkon ve opak minerallere rastlanılmıştır.

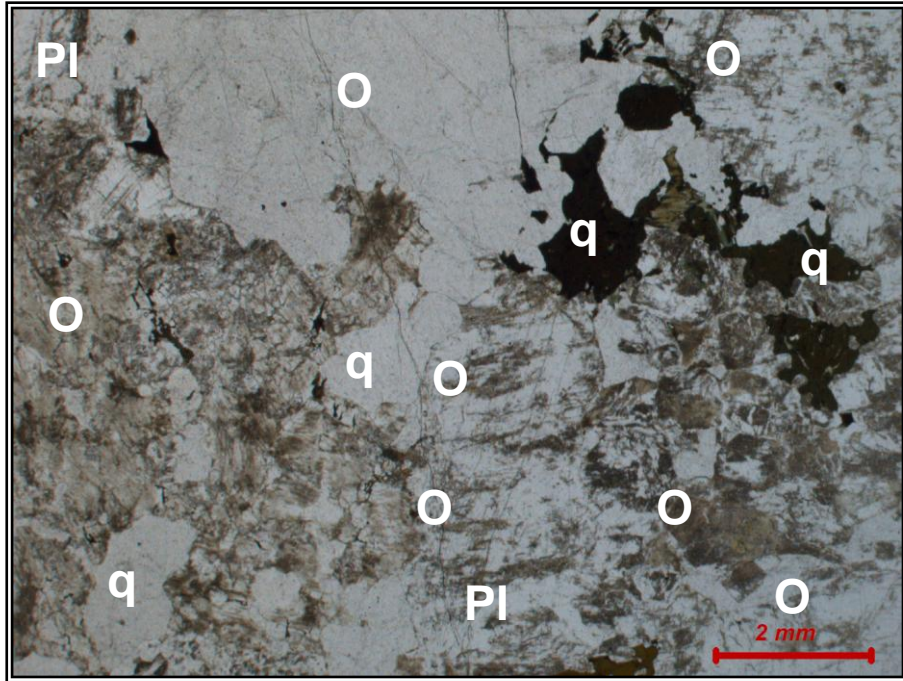
Sahip olduğu mineralojik bileşime ve doku özelliklerine bakılarak, kayaç *porfiroidal granit – alkaleen –* olarak adlandırılmıştır. Kayacı oluşturan minerallerin bileşenleri ve tane boyutları Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. G5 kayacına ait mineralojik özellikler.

| Mineral adı | % | Tane boyu (mm) | | |
|---|------|----------------|-------------|--------------|
| | | <i>Min.</i> | <i>Ort.</i> | <i>Maks.</i> |
| Alkali Feldspat (<i>ortoklaz</i>) | % 56 | 0.3 | 25.0 | 50.0 |
| Kuvars | % 20 | 0.02 | 5.0 | 17.0 |
| Plajiyoklas | % 14 | 0.06 | 0.4 | 3.2 |
| Amfibol (<i>hornblend</i>) | % 7 | 0.02 | 0.24 | 0.7 |
| Biyotit | % 2 | 0.06 | 0.4 | 5.0 |
| Diğer (<i>titanit, zirkon, opak mineraller</i>) | % 1 | - | - | - |



(a)



(b)

Şekil 4.6. G5 örneğine ait (a) çift nikol; (b) tek nikol ince kesit görüntüleri.

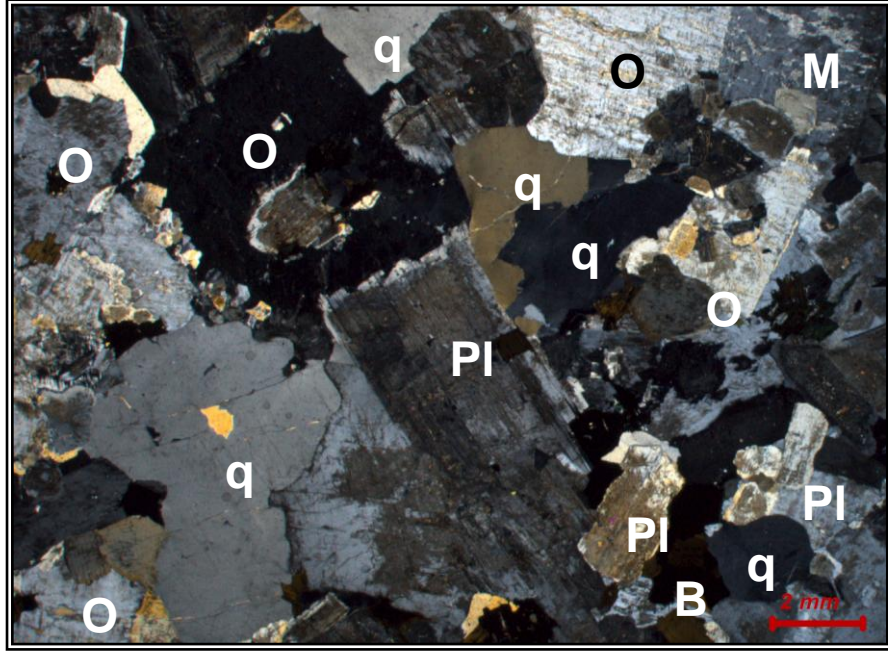
KALKO ALKALEN GRANİT G6

Kayaç holokristalin dokuya sahiptir. Ana bileşenlerden alkali feldspatlar, mikroklin ve ortoklaz minerallerinden oluşmaktadır. Bu minerallerin, az miktarda serisitleştikleri görülmektedir. Ortoklaz (ortoz) üzerinde albit lamelleri yer almakta ve pertitik doku oluşturmaktadır. Alkali feldspat kristalleri, diğer bileşenlere oranla daha iri tanelidir. Plajiyoklas kristalleri polisentetik ikizlenme lamelleri şeklindedir. Kuvars, en son kristalleşen mineral olması nedeniyle, diğer mineraller arasındaki boşlukları dolduracak şekilde allotriyamorf (*ksenomorf – anhedral*) kristaller halindedir. Örnek içerisinde koyu renkli mineral olarak biyotitler bulunmaktadır. Kahverengimsi renk tonuna sahip biyotit, pleokroizması ve levhamsı şekli ile tipiktir. Biyotit dilinim yüzeylerinde de kısmen de olsa klorit minerallerine dönüşümler mevcuttur. Ayrıca biyotit mineralleri içinde yer yer apatit kapanımlarının varlığı dikkat çekmektedir. Kayaç içinde eser miktarda tali mineral olarak; zirkon, apatit ve titanit (sfen), opak mineral olarak da biyotitin klortleşmesiyle biyotitin dilinim düzlemlerine paralel olarak oluşan hematit yer alır.

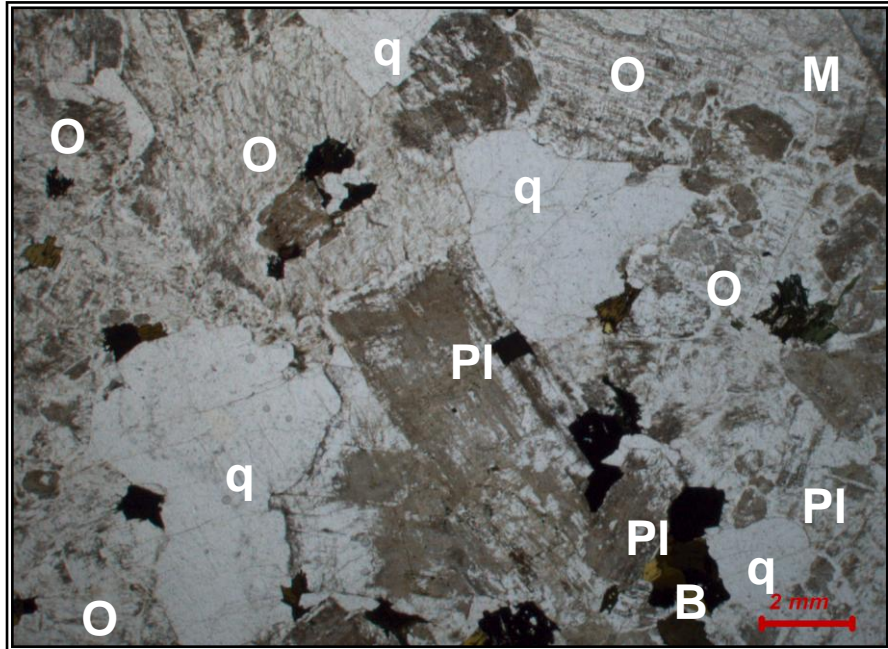
Sahip olduğu mineralojik bileşim ve dokusal özelliklerine bakılarak, kayaç *kalkoalkalen granit* olarak adlandırılmıştır. Kayacı oluşturan minerallerin bileşenleri ve tane boyutları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. G6 kayacına ait mineralojik özellikler.

| Mineral adı | % | Tane boyu (mm) | | |
|--|------|----------------|------|-------|
| | | Min. | Ort. | Maks. |
| Alkali Feldspat (<i>ortoklaz, mikroklin</i>) | % 62 | 0.16 | 10.0 | 25.0 |
| Plajiyoklas | % 17 | 0.12 | 5.0 | 9.0 |
| Kuvars | % 12 | 0.06 | 6.0 | 12.0 |
| Biyotit | % 7 | 0.18 | 1.3 | 2.7 |
| Diğer (<i>opak mineraller, zirkon, apatit</i>) | % 2 | - | - | - |



(a)



(b)

Şekil 4.7 G6 örneğine ait (a) çift nikol; (b) tek nikol ince kesit görüntüleri.

MONZONİT (GRANODİYORİT GEÇİŞİ) G7

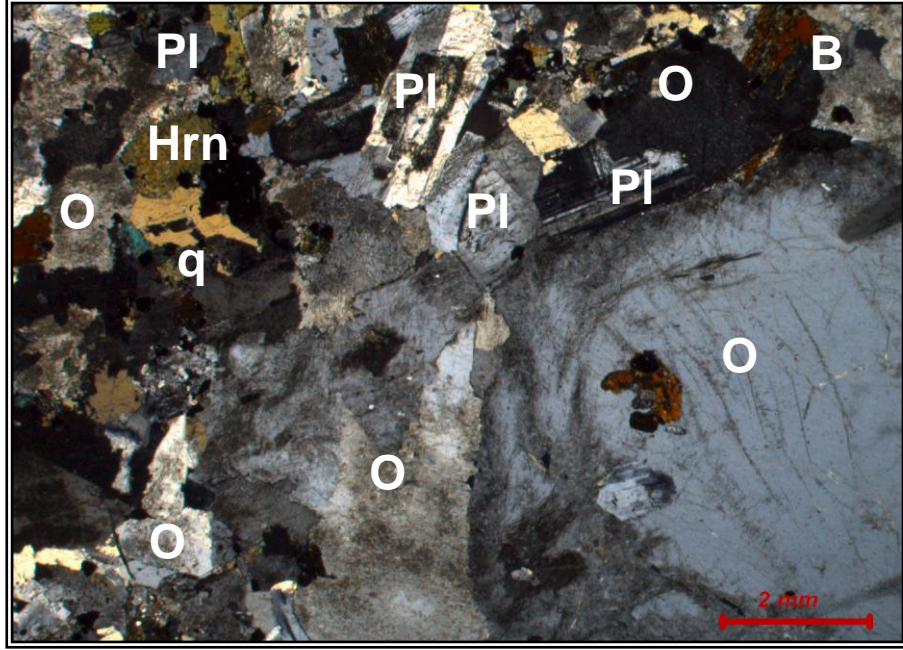
Kayaç holokristalin dokuda olup, ana bileşenlerden plajiyoklaslar polisentetik ikizlenme lamelleri ile tipiktir. Eşit taneli plajiyoklas kristalleri zonlanma gösterip, merkezden itibaren altere olmuştur. Diğer önemli ana bileşenlerden ortoklaz ve mikroklin mineralleri, tipik optik özelliklere sahiptir. Ortoklaz ve mikroklin mineralleri oldukça fazla miktarda serisitleşmiştir. Kaolenleşme ve karbonatlaşma azdır. Alkali feldspatlar içerisinde, ikiz lameller şeklinde pertitik doku ortaya çıkmaktadır. Kuvars miktarı diğer ana bileşen miktarlarına göre azdır. Fraksiyonel kristalleşme sırasında en son kristalleşen mineral olması nedeniyle, daha önceden oluşan mineraller arasındaki boşlukları ksenomor (anhedral) taneler şeklinde doldurur. Örnek içerisinde koyu renkli mineralleri, amfibol (*yeşil hornblend*) grubu mineraller ile biyotit ve eser miktarda piroksen mineralleri oluşturmaktadır.

Hornblend, koyu yeşilimsi renk tonu, pleokrizması ve sönmesi ile; biyotitler kahverengimsi renk tonu, pleokroizması ve levhamsı şekli ile; piroksenler ise tipik optik özellikleri ile dikkat çekmektedir. Ayrıca, tali bileşen olarak yer yer kapanım halinde bulunan zirkon, apatit, titanit (*sfen*) mineralleri ile opak minerallere rastlanmıştır.

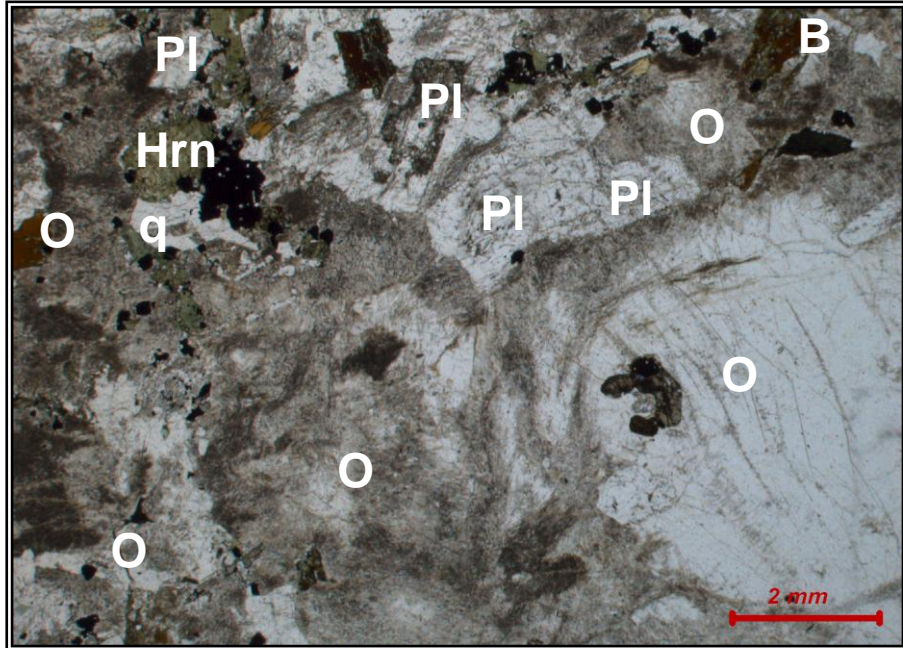
Sahip olduğu mineralojik bileşim ve dokusal özelliklerine bakılarak, kayaç *monzonit-granodiyorit (Monzo granit)* olarak adlandırılmıştır. Kayacı oluşturan minerallerin bileşenleri ve tane boyutları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. G7 kayacına ait mineralojik özellikler.

| Mineral adı | % | Tane boyu (mm) | | |
|---|------|----------------|-------------|--------------|
| | | <i>Min.</i> | <i>Ort.</i> | <i>Maks.</i> |
| Plajiyoklas | % 41 | 0.06 | 5.0 | 15.0 |
| Alkali Feldspat (<i>ortoklaz, mikroklin</i>) | % 30 | 0.06 | 2.0 | 4.0 |
| Kuvars | % 11 | 0.06 | 2.0 | 4.0 |
| Amfibol (<i>hornblend</i>) | % 12 | 0.06 | 0.6 | 1.2 |
| Biyotit | % 4 | 0.10 | 0.8 | 1.7 |
| Diğer (<i>opak mineraller, zirkon, apatit, titanit</i>) | % 2 | | | |



(a)



(b)

Şekil 4.8. G7 örneğine ait (a) çift nikol; (b) tek nikol ince kesit görüntüleri.

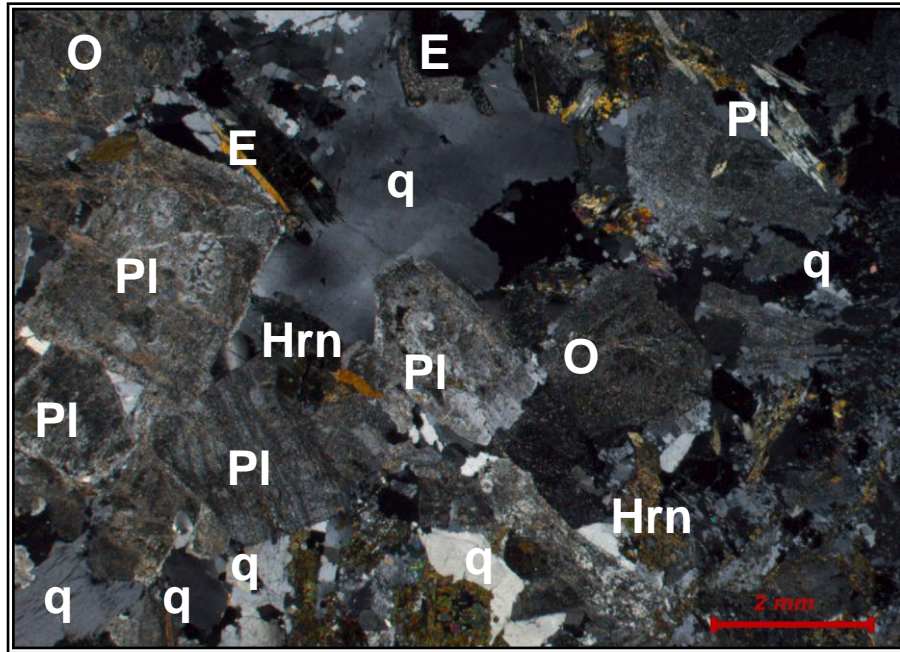
MONZONİT (GRANODİYORİT GEÇİŞİ) G8

Kayaç holokristalin dokuda olup, ana bileşenlerden alkali feldspat mineralleri ortoklazlardan oluşmaktadır. Tipik optik özelliklere sahip ortoklaz minerallerinin büyük ölçüde serisitleştikleri gözlenmektedir. Ortoklaz içinde albit lamelleri şeklinde pertitik doku varlığı dikkat çekmektedir (*albitleşme*). Diğer önemli bileşen olan plajiyoklas mineralleri polisentetik albit ikizlenmeleri şeklindedir. Plajiyoklasların, merkezden itibaren hemen hemen tamamı serisitleşmiştir. Daha az miktarda belirlenen kuvars mineralleri ise ksenomorf (*anhedral*) taneler şeklinde olup, dalgalı sönme özelliğine sahiptir ve konsertal doku oluşturur. Örnek içerisinde koyu renkli mineralleri epidot ve amfibol grubu mineraller oluşturmaktadır. Amfibol (*yeşil ve kahverengi hornblend*) mineralleri, yeşilimsi renk tonunda ve otomorf (*idiomorf*) kristaller halinde bulunmakla birlikte, yer yer çubuksu ya da prizmatik şekilleri ile tipiktir. Özellikle epidot mineralleri ve yer yer klorit minerallerine rastlanması nedeniyle, klorit ve epidot minerallerinin plajiyoklasların kompleks ayrışması sonucu sekonder mineral (*ayrışma ürünü*) olarak geliştiği düşünülmektedir. Bunların dışında pulsu kristaller halinde ve tipik optik özellikleri ile kolayca tanımlanabilen renksiz mika grubu minerallere rastlanılmıştır. Söz konusu mineraller dışında, idiomorf kristaller halinde titanit (*sfen*) mineralleri ve eser miktarda zirkon ve opak mineralleri kayaç içerisinde yer almaktadır.

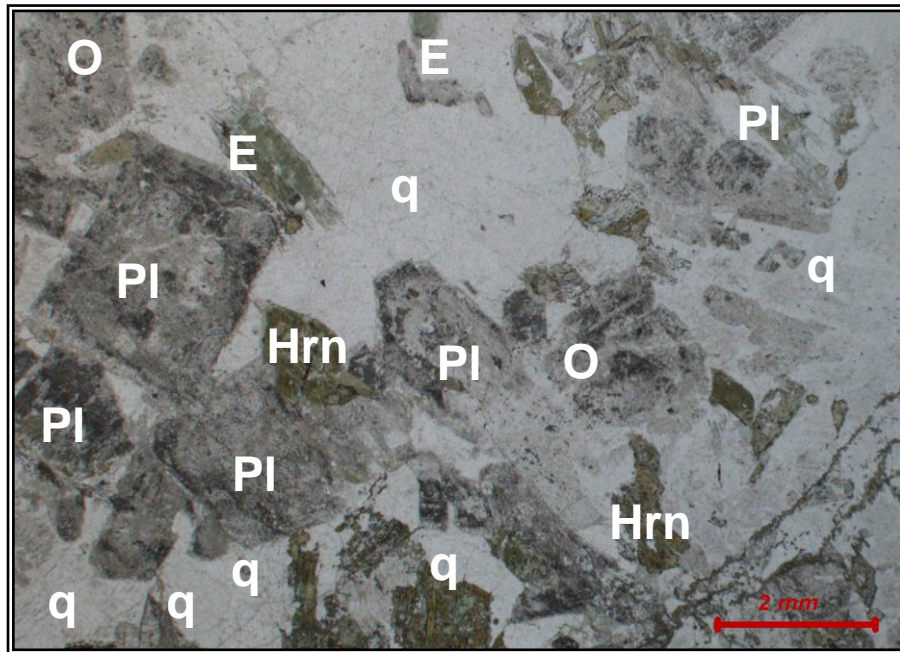
Sahip olduğu mineralojik bileşim ve dokusal özelliklerine bakılarak, kayaç *monzonit-granodiyorit (monzo granit)* olarak adlandırılmıştır. Kayacı oluşturan minerallerin bileşenleri ve tane boyutları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. G8 kayacına ait mineralojik özellikler.

| Mineral adı | % | Tane boyu (mm) | | |
|---|------|----------------|-------------|--------------|
| | | <i>Min.</i> | <i>Ort.</i> | <i>Maks.</i> |
| Alkali Feldspat (<i>ortoklaz</i>) | % 36 | 0.14 | 1.3 | 4.8 |
| Plajiyoklas | % 25 | 0.20 | 0.8 | 2.7 |
| Kuvars | % 18 | 0.04 | 4.5 | 12.0 |
| Amfibol (<i>hornblend</i>) | % 15 | 0.04 | 0.3 | 0.6 |
| Epidot | % 3 | - | - | - |
| Diğer (<i>opak mineraller, zirkon, apatit, titanit</i>) | % 3 | - | - | - |



(a)



(b)

Şekil 4.9. G8 örneğine ait (a) çift nikol; (b) tek nikol ince kesit görüntüleri.

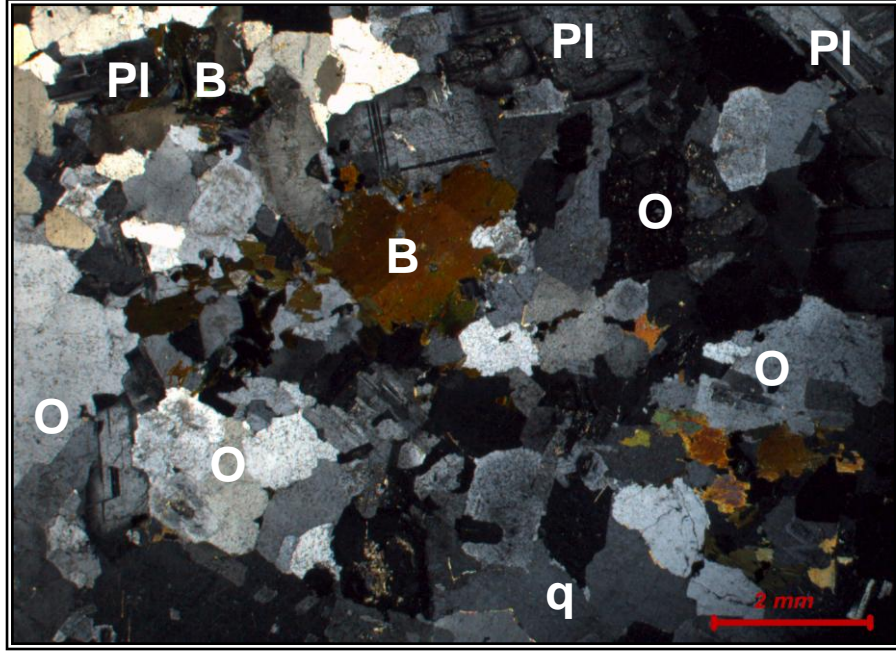
GRANODİYORİT G9

Hakim mineral plajiyoklas kristalleri olup, polisentetik albit ikizlenme lamelleri ve zonlu yapılar birlikte görülmektedir. Merkezden itibaren fazla miktarda serisitleşme mevcuttur. Alkali feldspat genellikle ortoklaz bileşimindedir. Ancak mikroklin minerallerine de rastlanılmıştır. Alkali feldspat mineralleri üzerinde de yer yer serisitleşme görülmektedir. Plajiyoklas (*albit / oligoklas*) ve alkali feldpat (*ortoklaz*) minerallerinin tane boyutları genelde birbirine yakın olup, homojen bir dağılım göstermektedir. Diğer önemli bileşen olan kuvars minerallerinin tane büyüklükleri diğer ana bileşenlere göre daha küçüktür. Örnek içerisinde, koyu mineralleri yeşilimsi renk tonunda ve kuvvetli pleokroizması ile biyotit mineralleri ve çubuksu şekilli amfibol grubu mineraller oluşturmaktadır. Söz konusu mineraller dışında, tali mineralleri; kapanım halinde zirkon, subtomorf kristaller şeklinde titanit (*sfen*) ve opak mineraller oluşturmaktadır. Kayaçta holokristalin doku görülmektedir.

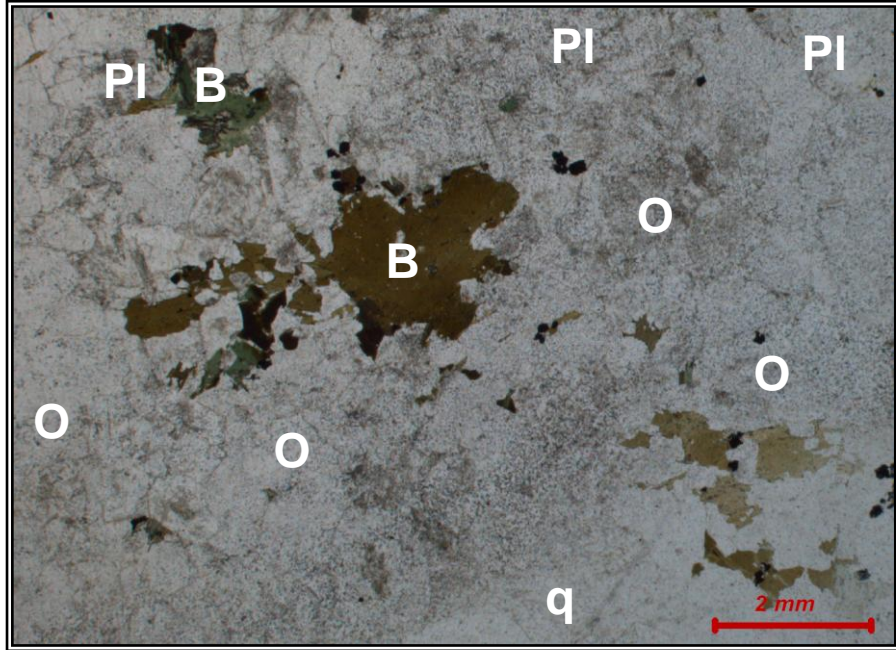
Sahip olduğu mineralojik bileşim ve dokusal özelliklerine bakılarak, kayaç *granodiyorit* olarak adlandırılmıştır. Kayacı oluşturan minerallerin bileşenleri ve tane boyutları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. G9 kayacına ait mineralojik özellikler.

| Mineral adı | % | Tane boyu (mm) | | |
|---|------|----------------|-------------|--------------|
| | | <i>Min.</i> | <i>Ort.</i> | <i>Maks.</i> |
| Plajiyoklas | % 40 | 0.06 | 4.5 | 13.0 |
| Alkali Feldspat (<i>ortoklaz, mikroklin</i>) | % 24 | 0.06 | 7.5 | 19.0 |
| Kuvars | % 22 | 0.02 | 4.0 | 10.0 |
| Biyotit | % 8 | 0.06 | 0.36 | 3.4 |
| Amfibol (<i>hornblend</i>) | % 4 | 0.06 | 0.36 | 0.7 |
| Diğer (<i>titanit, zirkon, opak mineraller</i>) | % 2 | - | - | - |



(a)



(b)

Şekil 4.10. G9 örneğine ait (a) çift nikol; (b) tek nikol ince kesit görüntüleri.

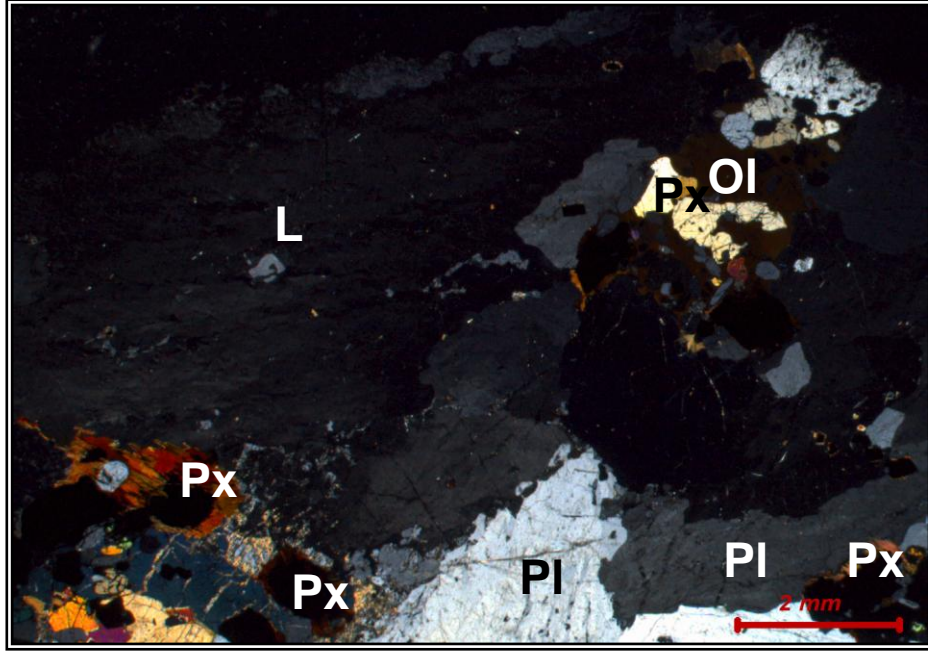
LABRADORİT G10

Ana bileşenlerden hakim mineral olan plajiyoklas (*labrador*) mineralleri çok iri kristaller şeklinde birbirine kenetlenmiş durumdadır. Plajiyoklas mineralleri üzerinde küçük küçük kırıklı yapılar mevcuttur ve çatlaklar boyunca çok az miktarda karbonatlaşma görülmektedir. Örnek içerisinde daha az miktarda bulunan diğer önemli bileşenleri koyu renkli piroksen, mika ve olivin mineralleri oluşturmaktadır. Piroksen mineralleri soluk kahverengimsi renk tonuna sahip olup, tipik optik özelliklere sahiptir. Olivin yüksek optik engebesiyle (*röliyef*) tipiktir ve dilinimli bir görünüme sahiptir. Dilinim düzlemlerinden itibaren kısmen de olsa bir alterasyon mevcuttur. Bu mineraller dışında, örnek içerisinde tipik optik özelliklere sahip amfibol (*hornblend*) mineralleri yer almaktadır. Tali mineral olarak, bol miktarda kısa-prizmatik şekilli apatit ve opak minerallere rastlanmıştır. Opak mineral olarak kübik görümlü pirit ve manyetit bol miktarda yayılım göstermektedir.

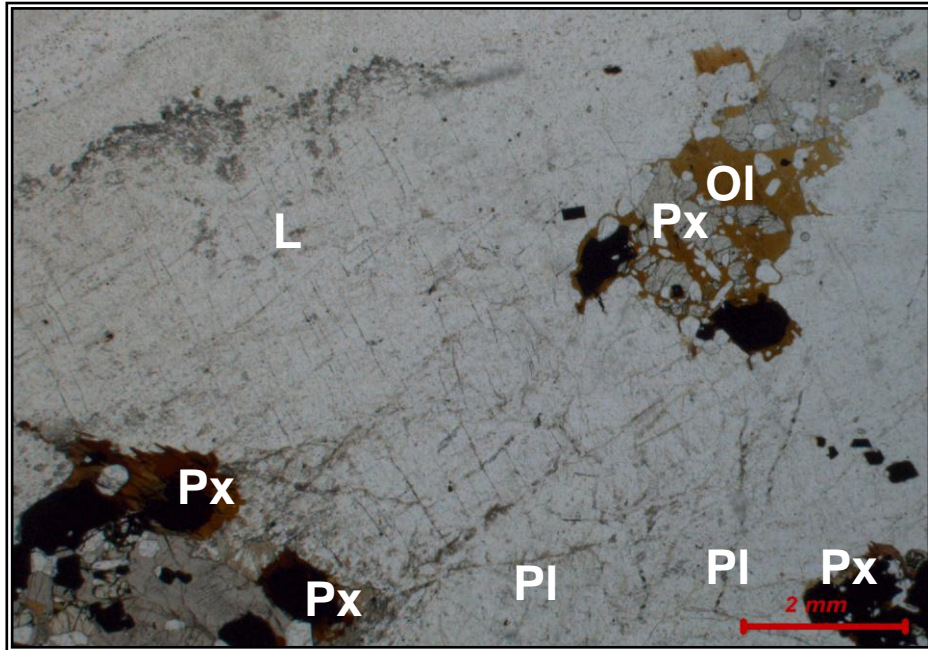
Kayaç holokristalin dokuda olup, sahip olduğu mineralojik bileşim ve dokusal özelliklerine bakılarak, kayaç *labrodorit* olarak adlandırılmıştır. Kayacı oluşturan minerallerin bileşenleri ve tane boyutları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. G10 kayacına ait mineralojik özellikler.

| Mineral adı | % | Tane boyu (mm) | | |
|--|------|----------------|-------------|--------------|
| | | <i>Min.</i> | <i>Ort.</i> | <i>Maks.</i> |
| Plajiyoklas (<i>Labrador</i>) | % 78 | 0.5 | 10 | 30 |
| Piroksen (<i>orto ve klino piroksen</i>) | % 9 | 0.04 | 0.4 | 0.7 |
| Amfibol (<i>hornblend</i>) | % 4 | 0.8 | 1.4 | 2.5 |
| Olivin | % 4 | 0.1 | 0.6 | 3.0 |
| Diğer (<i>apatit, opak mineraller</i>) | % 5 | - | - | - |



(a)



(b)

Şekil 4.11. G10 örneğine ait (a) çift nikol; (b) tek nikol ince kesit görüntüleri.

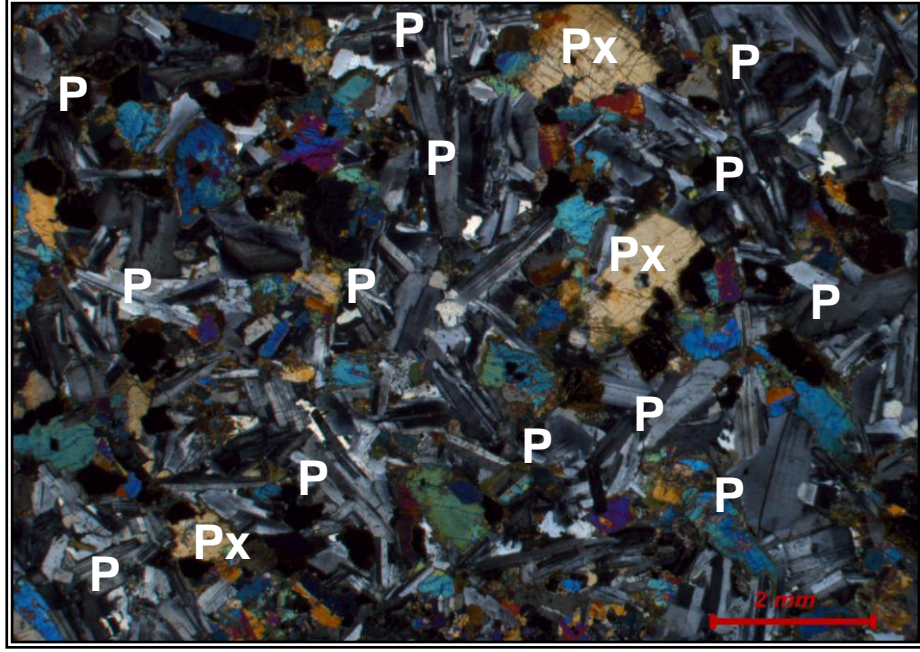
DOLERİT G11

Kayaç holokristalin dokuda olup, ana bileşenlerden hakim mineral piroksen grubu minerallerdir. Piroksen mineralleri (*klinopiroksen, ortopiroksen*), soluk kahverengimsi renk tona ve diğer tipik optik özelliklere sahiptir. Genellikle ksenomorf (*anhedral*) kristaller halinde bulunan klinopiroksene göre daha az miktarda bulunan, uzun eksenine ve dilinimine paralel yönde sönme gösteren yarı - prizmatik şekilli ortopiroksenden oluşmaktadır. Piroksen mineralleri sekonder uralitleşme göstererek, yeşilimsi renk tonunda amfibol minerallerine dönüştüğü gözlenmiştir. Diğer önemli bileşen olan plajiyoklas mineralleri ise, genellikle polisentetik ikizlenme lamelleri şeklinde veya zonlu yapıda görülmektedir. Plajiyoklas mineralleri albit-anortit içeriğine göre; labrador yer yer de andezin olarak belirlenmiştir. Plajiyoklas tabletlerinin oluşturduğu poligonal boşlukları bazen tek bir piroksen kristaliyle dolmuştur. Bu görünüş *esas doleritik doku* şeklindedir. Bazen plajiyoklas tabletlerinin oluşturduğu poligonal boşlukların arası bir çok küçük piroksenle dolmuştur (*ofitik doku*). Bu mineraller dışında örnek içerisinde, genellikle subtomorf (*hipidiomorf*) şekilli tamamen kloritleşmiş amfibol (*hornblend*) ile iri bileşenler halinde oldukça fazla opak mineraller de görülmektedir.

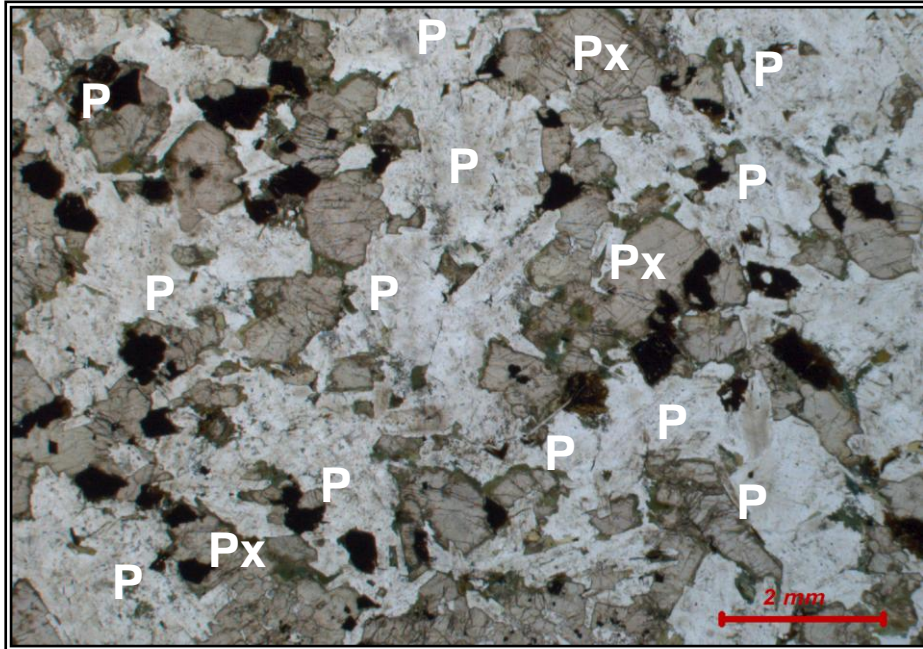
Sahip olduğu mineralojik bileşim ve dokusal özelliklerine bakılarak kayaç *dolerit* olarak adlandırılmıştır. Kayacı oluşturan minerallerin bileşenleri ve tane boyutları Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. G11 kayacına ait mineralojik özellikler.

| Mineral adı | % | Tane boyu (mm) | | |
|---|------|----------------|-------------|--------------|
| | | <i>Min.</i> | <i>Ort.</i> | <i>Maks.</i> |
| Piroksen (<i>klinopiroksen, ortopiroksen</i>) | % 43 | 0.06 | 0.7 | 2.9 |
| Plajiyoklas (<i>andezin - labrador</i>) | % 36 | 0.02 | 0.8 | 1.6 |
| Amfibol (<i>hornblend</i>) | % 9 | 0.06 | 0.36 | 0.7 |
| Opak mineraller | % 12 | 0.04 | 0.2 | 0.7 |



(a)



(b)

Şekil 4.12. G11 örneğine ait (a) çift nikol; (b) tek nikol ince kesit görüntüleri.

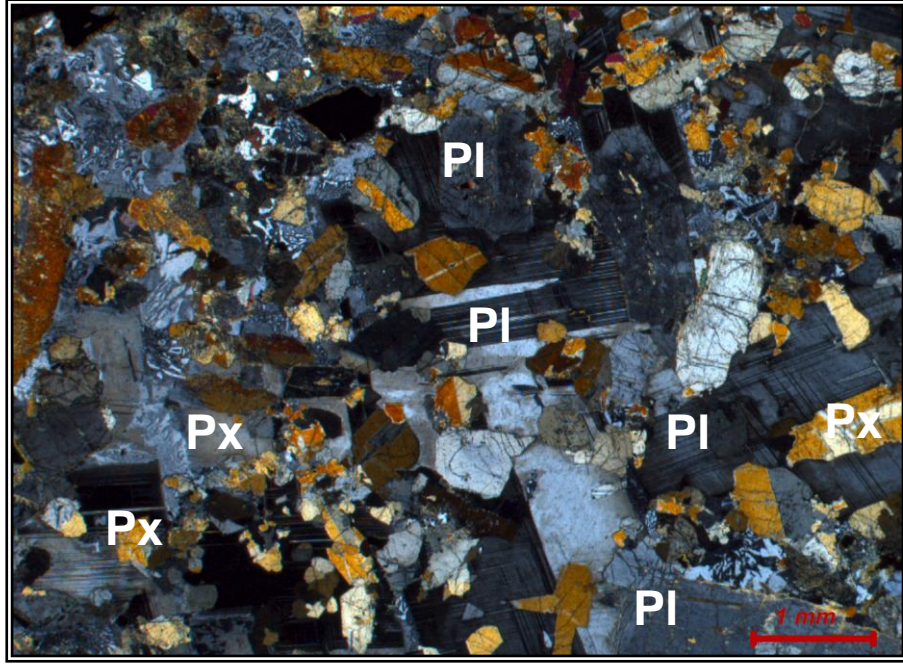
GABRO G12

Ana bileşenlerden hakim mineral piroksen grubu minerallerdir olup, yaygın olarak ksenomorf kristaller halinde bulunan klinopiroksen minerallerinden ve daha az miktarda da uzun eksenine ve dilinimine paralel yönde sönme gösteren yarı-prizmatik şekilli ortopiroksen minerallerinden oluşmaktadır. Piroksen mineralleri, soluk kahverengimsi renk tonu ve diğer optik özellikleri ile tipiktir. Diğer önemli bileşen olan plajiyoklas ise, kısmen serisitleşmiş olup, genellikle polisentetik ikizlenme lamelleri şeklinde veya zonlu yapıda bulunmaktadır. Plajiyoklas minerallerinin anortit içeriği, labrodor yer yer de andezin olarak belirlenmiştir. Mineraller arasındaki boşluklarda grafik dokunun varlığı dikkat çekmektedir. Bu mineraller dışında, genellikle subtomorf (*hipidiomorf*) ve yer yer otomorf (*idiomorf*) şekilli ve iri bileşenler halinde, opak minerallere rastlanmaktadır. Opak mineraller etrafında, kuşaklar şeklinde demir içeren kahverengimsi renk tonunda mika minerallerin oluşumu gözlenmiştir. Bu mineraller dışında örnek içerisinde, eser miktarda amfibol grubu minerallere (*yeşil hornblend*) rastlanmıştır. Kayaç holokristalin dokuya sahiptir.

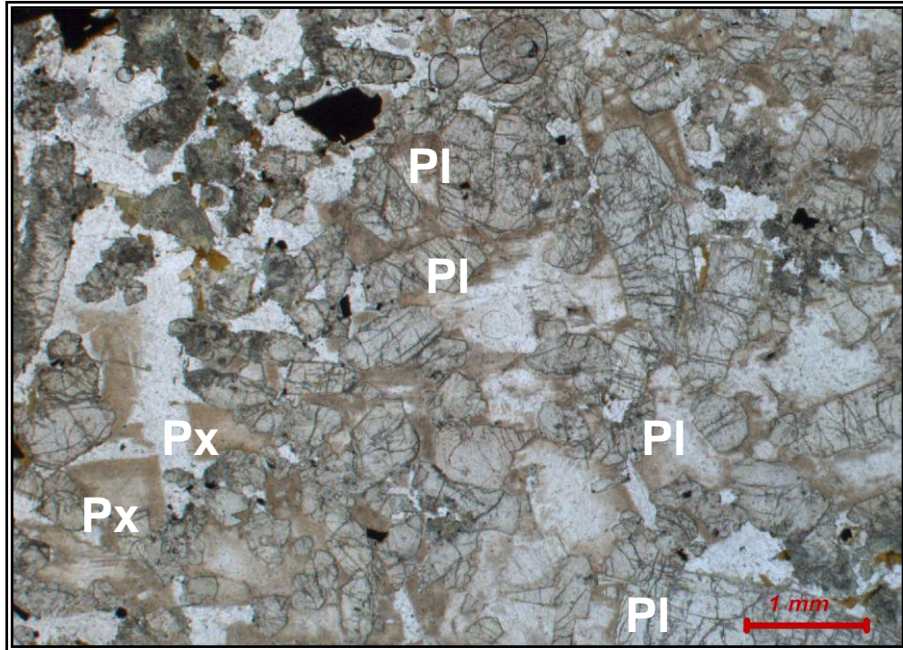
Sahip olduğu mineralojik bileşim ve dokusal özelliklerine bakılarak, kayaç *gabro* olarak adlandırılmıştır. Kayacı oluşturan minerallerin bileşenleri ve tane boyutları Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. G12 kayacına ait mineralojik özellikler.

| Mineral adı | % | Tane boyu (mm) | | |
|---|------|----------------|-------------|--------------|
| | | <i>Min.</i> | <i>Ort.</i> | <i>Maks.</i> |
| Piroksen (<i>klinopiroksen, ortopiroksen</i>) | % 44 | 0.02 | 0.7 | 0.9 |
| Plajiyoklas (<i>andezin - labrador</i>) | % 42 | 0.06 | 1.0 | 3.6 |
| Amfibol (<i>hornblend</i>) | % 6 | 0.04 | 0.36 | 0.7 |
| Opak mineraller | % 8 | 0.02 | 0.30 | 0.7 |



(a)



(b)

Şekil 4.13. G12 örneğine ait (a) çift nikol; (b) tek nikol ince kesit görüntüleri.

4.2 Fiziko-Mekanik Özellikler

4.2.1. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi, TS EN 1926 standardında [50] önerilen koşullara uygun olarak yapılmıştır. Deneyler için, kenar uzunlukları 70 ± 5 mm olan altı adet küp numune hazırlanmıştır. Numuneler, sabit kütleye gelinceye kadar, 70 ± 5 °C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat bekletilmiştir. Numuneler oda sıcaklığına geldiğinde, 3000 kN yükleme kapasiteli ELE marka preste yaklaşık 1.0 MPa/s sabit bir hızla kırılmıştır (Şekil 4.13). Tek eksenli basınç dayanımı (*UCS*) değerleri Bağıntı 4.1 yardımıyla hesaplanmıştır:

$$UCS = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

UCS = Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)

F = Maksimum kırılma yükü (N)

A = Numunenin kesit alanı (mm²)



Şekil 4.14. Tek eksenli basınç dayanımı presi.

4.2.2. Brazilian çekme dayanımı deneyi

Bu deney, silindir şeklinde hazırlanmış numunelerin çapsal yükleme altında çekme dayanımlarının dolaylı olarak belirlenebilmesi amacıyla yapılmaktadır. Deneyle, 54 mm çaplı ve kalınlık/çap oranı 0.5 olan beş adet silindirik numune üzerinde, TS 699 [51] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler, yükleme başlıklarının monte edildiği hidrolik preste 0.2 kN/sn'lik bir yükleme hızında kırılmıştır (Şekil 4.14). Çekme dayanımı değerleri (*BTS*) Bağıntı 4.2 yardımıyla hesaplanmıştır:

$$BTS = \frac{2F}{\pi \cdot D \cdot t} \quad (4.2)$$

Burada;

BTS = Brazilian çekme dayanımı (MPa)

F = Kırılma anındaki yük (kN)

D = Numune çapı (mm)

t = Numune kalınlığı (mm)



Şekil 4.15. Brazilian çekme dayanımı presi ve kırılmış numuneler.

4.2.3 Eğilme dayanımı deneyi

Eğilme dayanımı deneyleri için, TS EN 12372 [52] standardına uygun olarak $25 \times 75 \times 150$ mm boyutlarında on adet numune hazırlanmıştır. Numuneler 70 ± 5 °C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat kurutulmuş ve oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiştir. Deneye hazır hale gelen numuneler, destek mesnetleri üzerine merkezleştikten sonra (Şekil 4.15), kırılıncaya kadar yaklaşık 0.25 MPa/s bir hızda yüklenmiştir. Her bir numunenin eğilme dayanımı (*BS*), Bağntı 4.3 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$BS = \frac{3F \times L}{2b \times h^2} \quad (4.3)$$

Burada;

BS = Eğilme dayanımı (MPa)

F = Kırılma yükü (N)

L = Destek mesnetleri arasındaki mesafe (mm)

b = Numunenin genişliği (mm)

h = Numunenin yüksekliği (mm)



Şekil 4.16 Eğilme dayanımı presi ve kırılmış numuneler.

4.2.4. Shore sertliği

Shore sertliği deneyleri, C-2 modeli Shore sertlik cihazı (Şekil 2.16) kullanılarak, ISRM [53, 54] standardına göre yapılmıştır. Deneylerde kullanılan silindirik örneklerin yüzeyleri, deney öncesinde 400-100 no'lu zımparalar yardımıyla düzleştirilmiş ve daha sonra fırında kurutulmuştur. Ölçme noktaları arasında en az 5 mm olacak şekilde, her bir örnek üzerinde toplam 30 sertlik okuması yapılmış ve aritmetik ortalaması alınmıştır.



Şekil 4.17. Shore sertlik cihazı.

4.2.5. Sismik hız

Sismik hız deneyleri, kesme deneyleri için hazırlanmış olan 70 x 120 x 500 mm boyutlarındaki granit blokları üzerinde TS EN 14579'a göre [55] gerçekleştirilmiştir. Controls Testing Equipment 58-E0048 modeli ultrasonik cihazın kullanıldığı deneylerde (Şekil 4.17) 54 kHz frekanslı iki transducer (verici ve alıcı başlıklar)

yardımıyla, ses dalgalarının deney örnekleri içinden geçme zamanları kaydedilmiştir. Ses dalgasının kayaç içersindeki ilerleme hızı (sismik hız):

$$V_p = L_p / t \quad (4.4)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır.

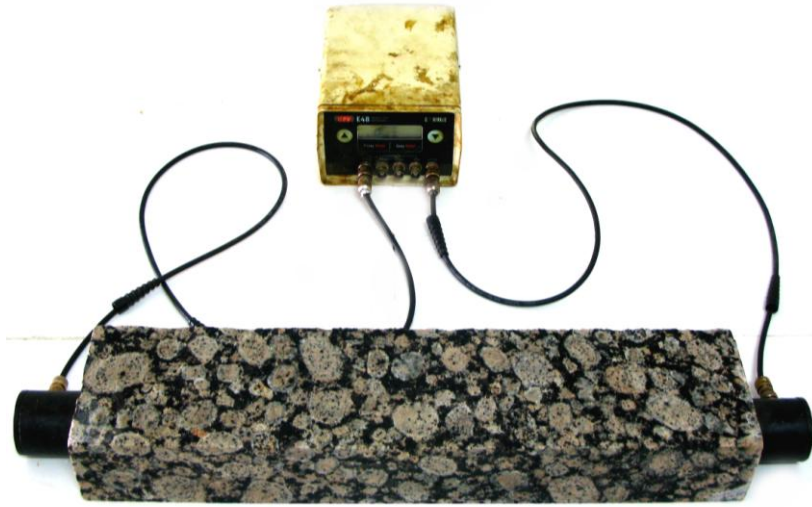
Burada

V_p = Kayacın sismik hız değeri (m/s)

L_p = Deney örneğinin uzunluğu (m)

t = Ses dalgasının geçiş süresi (s)

dir.



Şekil 4.18. Sismik hız cihazı ve ölçme yöntemi.

4.2.6. Atmosfer basıncında su emme deneyi

Su emme deneyi için, TS EN 13755 standardına [56] uygun olarak, kenar uzunlukları 70 ± 5 mm olan altı adet küp numune hazırlanmıştır. Numuneler, sabit kütleye gelinceye kadar 70 ± 5 °C’ de kurutulmuştur (m_d). Kurutma işleminin ardından,

0.01 gr hassasiyette tartımları alınan numuneler atmosfer basıncında su kabı içine bırakılmıştır. 48 saat sonra numuneler sudan çıkarılıp tekrar tartımı alınmıştır (m_s). Numuneler sabit kütleye erişene kadar işleme devam edilmiştir. Suyu doymuş numunenin kütlesi olarak, son tartım değeri alınmıştır. Su emme (A_b);

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100 \quad (4.5)$$

A_b = Ağırlıkça su emme (%)

m_s = Suyu doymuş numunenin kütlesi (gr)

m_d = Kuru numunenin kütlesi (gr)

bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır.

4.2.7. Görünür yoğunluk ve açık gözeneklilik

Görünür yoğunluk ve açık gözeneklilik deneyleri için, TS EN 1936 standardına [57] uygun olarak, kenar uzunlukları 70 ± 5 mm olan altı adet küp numune kullanılmıştır. Numuneler, sabit kütleye gelinceye kadar 70 ± 5 °C' da kurutulmuştur (m_d). Kurutma işleminin ardından 0.01 gr hassasiyette tartımları alınan numuneler, atmosfer basıncında su kabı içine bırakılmıştır. Numuneler 48 saat su içerisinde bekletildikten sonra 0.01 hassasiyetteki Archimedes terazisi kullanılarak, sudaki kütle tartımı alınmıştır (m_h). Bu işlemin ardından, numune hızlı bir şekilde kurutulmuş ve tekrar tartılmıştır (m_s). Görünür yoğunluk ve açık gözeneklilik, sırasıyla Bağıntı 4.6 ve Bağıntı 4.7 yardımıyla hesaplanmıştır:

$$\rho_b = \frac{m_d}{m_s - m_h} \times \rho_{rh} \quad (4.6)$$

$$\rho_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100 \quad (4.7)$$

ρ_b = Numunenin görünür yoğunluğu, g/cm³

ρ_{rh} = Suyun yoğunluğu, g/cm³

m_d = Kuru numune kütlesi, g

m_s = Doygunlaştırılmış numune kütlesi, g

m_h = Su içerisine batırılmış numune kütlesi, g

ρ_o = Numunenin açık gözenekliliği, %

Yapılan fiziko-mekanik deneylerin sonuçları Çizelge 4.13'de toplu halde verilmiştir.

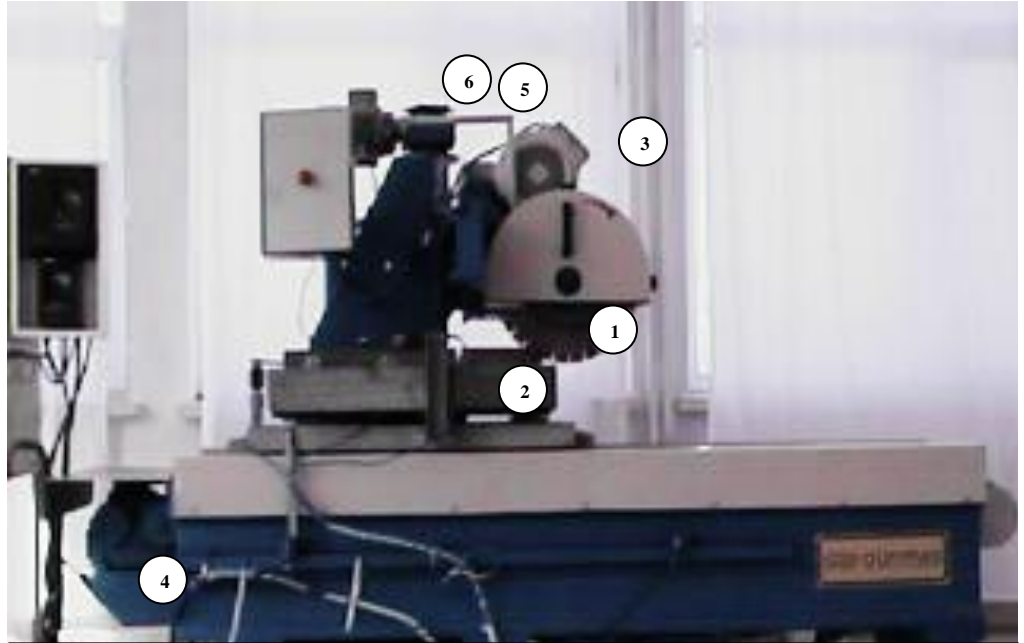
Çizelge 4.13 Fiziko-mekanik deneylerin sonuçları.

| KAYAÇ ADI | Tek eksenli basınç dayanımı, UCS (MPa) | Brazilian çekme dayanımı, BTS (MPa) | Eğilme dayanımı, BS (MPa) | Sismik hız, V_p (m/sn) | Atmosfer basıncında su emme, A_p (%) | Açık gözeneklilik, ρ_{or} (%) | Görünür yoğunluk ρ_b (g/cm ³) | Shore sertlik değeri |
|---------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--|------------------------------------|--|----------------------|
| Alkalen Granit (G1) | 143.19 (±8.28) | 9.06 (±0.76) | 14.26 (±1.81) | 4677.27 | 0.15 (±0.03) | 0.39 (±0.07) | 2.627 (±0.005) | 84.74 (±9.58) |
| Monzonit (G2) | 145.20 (±21.38) | 8.20 (±0.41) | 21.19 (±1.14) | 4827.92 | 0.28(±0.02) | 0.73 (±0.05) | 2.645 (±0.002) | 83.86 (±13.82) |
| Monzonit (G3) | 185.96 (±17.45) | 11.72 (±0.61) | 18.86 (±2.61) | 4644.68 | 0.31 (±0.00) | 0.84 (±0.02) | 2.656 ±0.001) | 95.53 (±7.94) |
| Granodiyorit (G4) | 196.74 (±35.37) | 9.22 (±0.42) | 24.09 (±2.85) | 4487.41 | 0.23 (±0.03) | 0.61 (±0.08) | 2.619 (±0.002) | 70.50 (±9.90) |
| Porfiroidal Granit (G5) | 152.77 (±24.52) | 9.66 (±1.74) | 13.14 (±2.05) | 4562.04 | 0.15 (±0.03) | 0.41 (±0.07) | 2.681 (±0.007) | 83.26 (±8.89) |
| Kalko Alkalen Granit (G6) | 121.37 (±17.12) | 6.88 (±1.85) | 14.32 (±1.10) | 4298.06 | 0.27 (±0.03) | 0.70 (±0.09) | 2.608(±0.001) | 86.12 (±9.66) |
| Monzonit (G7) | 172.28 (±21.23) | 11.02 (±1.55) | 20.65 (±1.82) | 5060.73 | 0.21 (±0.12) | 0.57 (±0.32) | 2.666 (±0.003) | 98.53 (±10.28) |
| Monzonit (G8) | 164.25 (±13.46) | 14.15 (±1.49) | 28.32 (±2.89) | 5327.65 | 0.15 (±0.02) | 0.41 (±0.05) | 2.739 (±0.008) | 95.13 (±7.94) |
| Granodiyorit (G9) | 193.51 (±20.61) | 8.21 (±1.48) | 28.09 (±2.68) | 4623.21 | 0.25 (±0.03) | 0.65 (±0.10) | 2.632 (±0.003) | 102.09 (±7.19) |
| Labradorit (G10) | 256.70 (±16.98) | 14.79 (±1.11) | 20.70 (±1.92) | 6377.55 | 0.04 (±0.00) | 0.12 (±0.00) | 2.712 (±0.003) | 95.75 (±7.97) |
| Dolerit (G11) | 268.80 (±29.16) | 27.14 (±0.98) | 52.75 (±4.03) | 6241.40 | 0.02 (±0.00) | 0.06 (±0.00) | 3.025 (±0.002) | 78.35 (±9.42) |
| Gabro (G12) | 262.00 (±11.39) | 25.38 (±1.20) | 41.11 (±2.59) | 6176.65 | 0.05 (±0.00) | 0.15 (±0.01) | 3.085 (±0.002) | 77.09 (±12.0) |

BÖLÜM 5

ÇALIŞMADA KULLANILAN DAİRESEL TESTERELİ DENEY SETİNİN TANITIMI

Çalışma kapsamındaki taşların kesme deneyleri, 400 mm çapında dairesel testerenin kullanıldığı bilgisayar kontrollü bir yan kesme makinasında gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.1). Deney setinin mekanik yapısı, elektrik kumanda sistemi ve bilgisayar tabanlı otomasyon sistemine ait kapsamlı bilgiler Çınar [58] tarafından verilmiştir. Bu bölümde, anılan kaynaktan yararlanılarak, deney setinin tanıtılması amaçlanmıştır.



- | | |
|-------------------|----------------------------|
| 1. Testere | 4. Vagon motoru |
| 2. Vagon | 5. Soğutma suyu bağlantısı |
| 3. Testere motoru | 6. Platform motoru |

Şekil 5.1. Kesme deneyi setinin mekanik yapısı [58].

5.1. Makinada Kontrol Edilen Çalışma Parametreleri

Doğal taşların kesilebilirlik analizlerinde kontrol edilmesi gereken başlıca çalışma parametreleri, testerenin *çevresel hızı*, *kesme derinliği*, *ilerleme hızı* ve *soğutma suyu* miktarıdır. Bu parametreler, kesim esnasında tüketilen enerjiyi, kesme kuvvetlerini ve testere aşınmasını önemli derecede etkilemektedir. Bu nedenle, deney seti bu çalışma parametrelerini kontrol edebilecek şekilde tasarımılandırılmıştır.

5.1.1. Deney seti mekanik yapısının tasarımı

Makinanın mekanik yapısı, testere ve vagon hareketinin bilgisayar kontrollü olarak kumanda edilmesini sağlayacak şekilde tasarımılandırılmıştır. Testere, kızaklar üzerinde hareket eden bir platforma monte edilmiştir. Testerenin kızaklar üzerinde, yatay ekseninde sağa-sola hareket ettirilmesi ile dilim kalınlığı, düşey ekseninde aşağı-yukarı hareket ettirilmesiyle ise kesme derinliği ayarlanmaktadır. Testerenin dönme hareketi kasnak-kayış sistemi ile gerçekleştirilir. Testerenin dönüş hızı ise, testere miline bağlı olan kasnakla entegre çalışan bir tako-generatörle kontrol edilmektedir. Kesim esnasındaki ilerleme hızı, vagonun ileri-geri hareketi ile ayarlanmaktadır. Vagonun 4 m uzunluğundaki bir kurs üzerinde yaptığı ileri-geri hareket, sonsuz çark-zincir sistemi ile gerçekleştirilmektedir. Kesim esnasında oluşan talaşların ortamdaki uzaklaştırılması ve testerenin soğutulması için sisteme istenilen debide su verilebilmektedir. Suyun sisteme pompalanması soğutma suyu besleme motoru tarafından sağlanmaktadır.

5.1.2. Deney setinin otomasyonel tasarımı

Deney setinde, *elektrik kumanda sistemi* ve *kontrol sistemleri* yardımıyla kesme derinliği, ilerleme hızı, çevresel hız ve besleme suyu debisinin bilgisayar aracılığı ile kademesiz olarak düzenlenmesi otomasyonel tasarım ile sağlanmıştır [58].

5.1.2.1. Elektrik kumanda sisteminin tasarımı

Elektrik kumanda sisteminin yardımıyla, testere motoru, iki adet platform motoru, vagon motoru ve soğutma suyu besleme motoru kontrol edilmektedir.

Kesme deneylerinde kullanılan 400 mm çaplı testerenin hareketi 5.5 kW'lık bir motor tarafından sağlanmaktadır. Motor gerilim frekansı bir invertör yardımıyla 0-90 Hz aralığında değiştirilebilmekte ve böylece motor devir sayısı 0-5400 devir/dak arasında ayarlanabilmektedir. İnvirtörün hız ayarı için analog giriş; start-stop ve arıza sinyalleri için ise dijital giriş-çıkışlar kullanılmaktadır.

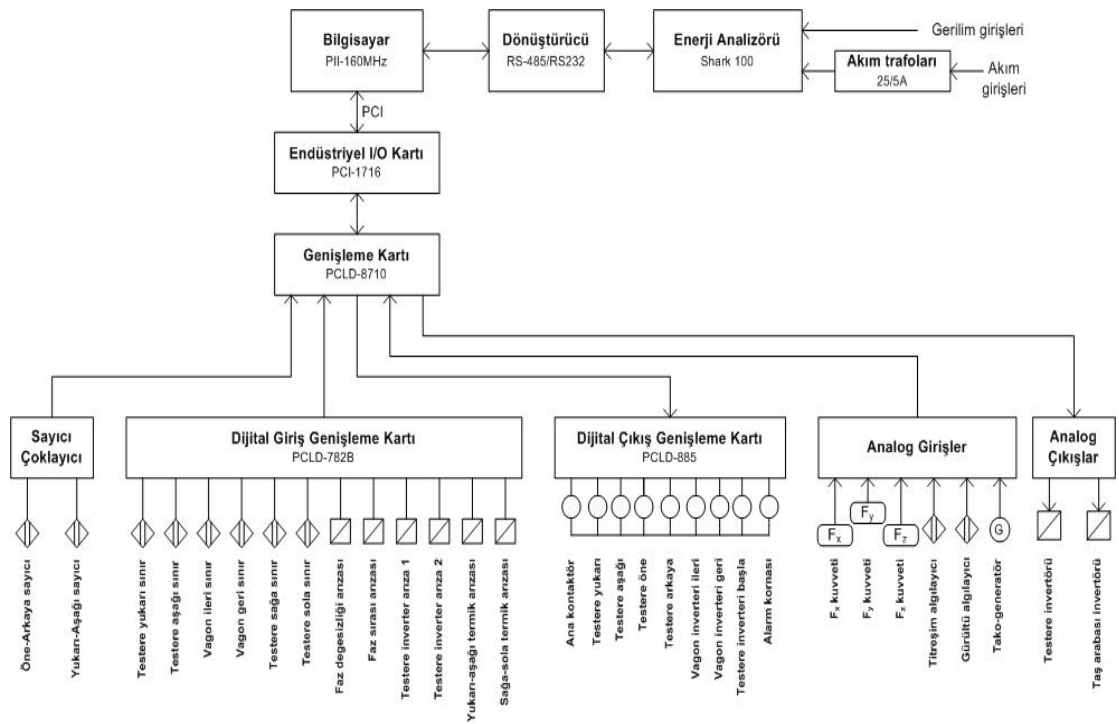
Testerenin platformdaki kızaklar üzerinde aşağı-yukarı ve sağa-sola hareketi 0.75 kW motorlu redüktörler tarafından sağlanmaktadır. Redüktörlerin bir ucu sonsuz dişliye bağlı iken, diğer ucu altı kanatlı bir pervaneye bağlanmıştır. Pervane üzerindeki kanatlar sayesinde hareket miktarı milimetre hassasiyetinde belirlenmektedir. Testere platformunun hareket sınırlarını belirlemek için, yatay ve düşey kızakların uç kısımlarına 4 adet metal algılayıcı (sensör) yerleştirilerek olası hataların önüne geçilmiştir. Ayrıca, platformun hareketini sağlayan motorların herhangi bir nedenle mekanik olarak sıkışması veya faz kesilmesi gibi arızalardan korunabilmesi için motor besleme hattında bir aşırı akım rölesi (termik röle) kullanılmıştır.

Kesilecek numuneyi taşıyan vagonun hızı 0.75 kW motorlu redüktör ile kontrol edilerek, ilerleme hızı 0-4 m/dk arasında değiştirilebilmektedir. Vagonun hareket ettiği kursun uç kısımlarına 2 adet metal algılayıcı yerleştirilmiştir. Böylece vagonun hareket sınırlarında oluşabilecek olası hataların önüne geçilmektedir.

Elektrik kumanda sistemi tarafından kontrol edilen bir diğer birim ise, 0.75 kW gücündeki soğutma suyu besleme motorudur. Bu motor, kesme işlemi esnasında oluşan talaşların ortamdaki uzaklaştırılması ve testerenin ısınmasını önlemek amacıyla, soğutma suyunu kesim ortamına pompalamaktadır. Soğutma suyu besleme birimine ait motor bir invertör ile kontrol edilmekte ve suyun debisi çok hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir.

5.1.2.2. Kontrol sisteminin tasarımı

Kesme derinliği, ilerleme hızı ve çevresel hız gibi kesme parametreleri, deney seti üzerindeki motorlara bağlı inventörler yardımıyla bilgisayarla kontrol edilebilmektedir. Bununla birlikte, kuvvet, enerji ve gürültü miktarları bilgisayar ortamında sayısallaştırılmaktadır. Tüm bu donanımların bilgisayarla kontrolü için, endüstriyel I/O kartları, çeşitli algılayıcılar, enerji analizörü, kuvvetölçer, gürültü ölçer ve kontrol röleleri gibi veri toplama sistemleri oluşturulmuştur. Makinanın veri toplama sistemi Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Veri toplama sistemi [58].

Veri toplama işlemi bilgisayarın PCI yuvasına bağlanan endüstriyel I/O kartı ile sağlanmaktadır. Kesme derinliği, dilim kalınlığı, ilerleme hızı, çevresel hız, su debisi, taş üzerine gelen kuvvetler, enerji tüketimi ve gürültü gibi tüm kesim parametreleri kullanıcı tarafından kontrol edilebilmektedir (Şekil 5.3). Deney sonuçları istenilen

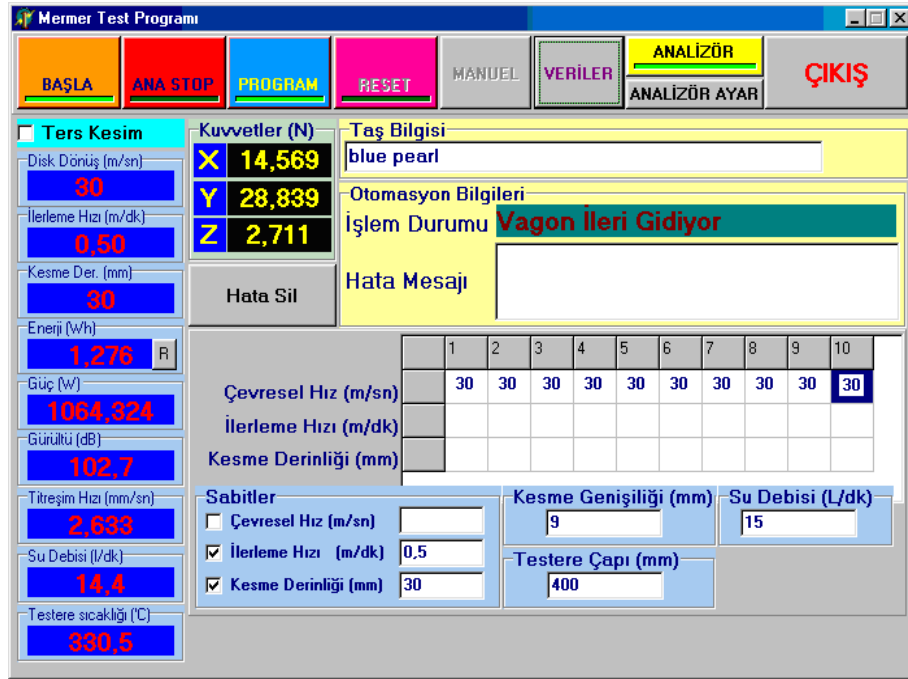
formatta kaydedilmekte ve analiz programları ile kolayca işlenebilmektedir. Verilerin bilgisayar ekranından kontrolü ara yüz yazılımı ile sağlanmaktadır.



Şekil 5.3. Deneysel verilerin kullanıcı tarafından kontrol edilmesi.

5.1.2.3. Ara yüz yazılımı

Ara yüz penceresi üzerinde dokuz adet kontrol butonu bulunmaktadır. Bunlar, “başla”, “ana stop”, “program”, “reset”, “manuel”, “veriler”, “analizör” ve “çıkış” butonlarıdır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Ara yüz yazılımı ana pencere görüntüsü.

Kesme deneylerine başlamadan önce, elektrik panosundan *manuel start* işlemi yapılır. Bu işlemin ardından, “*başla*” butonuna basılarak, makinanın tüm kontrolü ara yüz yazılımına aktarılır.

Kesilecek blok örneğinin vagona sabitlenmesi ve ön ayarların yapılması için “*manuel*” butonu kullanılmaktadır. “*Manuel*” butonu ile tüm kesme parametreleri kullanıcı tarafından kontrol edilebilmektedir. Bu amaçla, ara yüz yazılımına bir manuel kontrol penceresi eklenmiştir (Şekil 5.5).



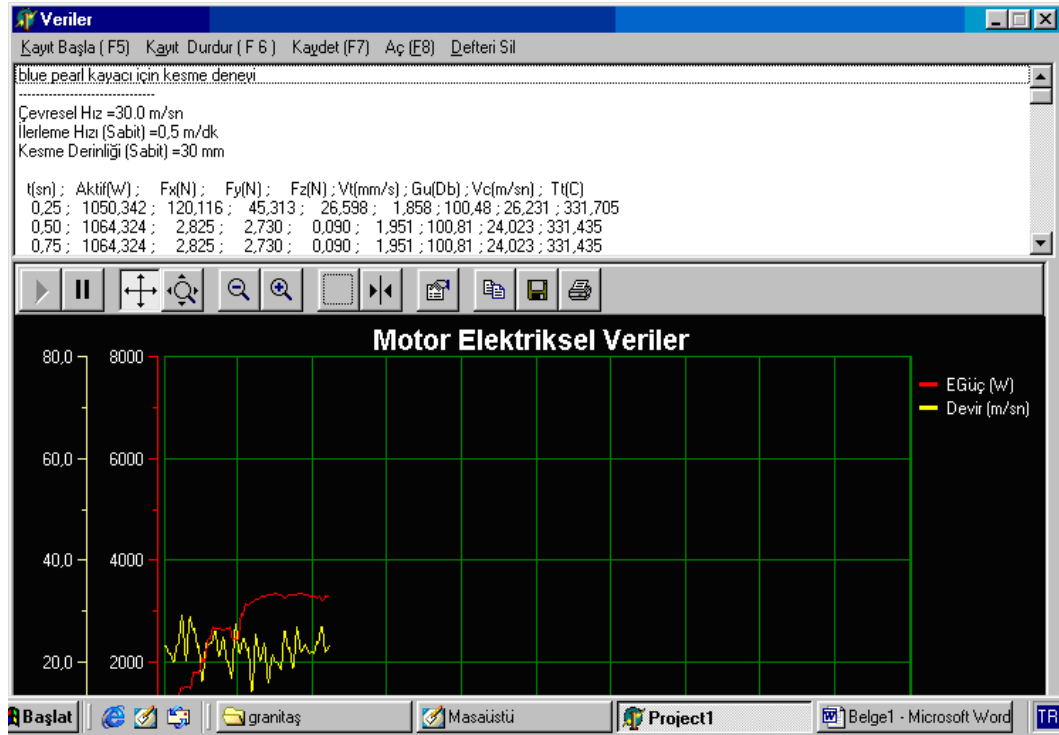
Şekil 5.5. Manuel kontrol penceresinin görüntüsü.

Deney örneği vagona yerleştirildikten sonra, testere ve vagonun kesim başlangıç konumuna getirilmesi gerekmektedir. Ara yüz yazılımında bulunan “reset” butonuna tıklanarak, bu işlem otomatik olarak gerçekleştirilir. Buton tıklandıktan sonra, testere öncelikle düşey ekseninde yukarı doğru hareket ederek sensör noktasına gelir. Bu işlemin ardından, testere yatay sensör noktasına kadar geri hareket eder ve son konumunu alır. Testere başlangıç pozisyonuna konumlandıktan sonra, vagon 4 m/dak hızla geriye doğru hareket eder ve başlangıç sensörü noktasına gelir. Böylece, kesme birimi kesime hazır duruma gelir.

Deney seti kesime hazırlandıktan sonra, ara yüz yazılım penceresine testerenin çevresel hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, testere çapı, kesme genişliği (dilim kalınlığı), su debisi ve kesilecek taşa ait bilgilerin girişi yapılır (Şekil 5.3). Bu parametrelerin ara yüz yazılım penceresine girişi yapıldıktan sonra, makina ard arda 10 adet kesimi otomatik olarak yapabilmektedir.

Enerji analizörü yardımıyla, testere motorunun enerji tüketimi ve elektriksel parametrelerin ölçülmesi gerçekleştirilmektedir. Enerji analizörünü devreye sokabilmek için “analizör” butonu tıklanır. Analizör devreye sokulduktan sonra deney seti kesime hazır konuma gelir ve otomatik kesme işlemine başlamak için, “program” butonuna tıklanır. “Program” butonuna tıklanmasıyla birlikte, öncelikle programa girilen kesme genişliği kadar testere yatay kızaklar üzerinde sağa hareket eder, konumunu aldıktan sonra testere belirlenen çevresel hızda dönme hareketine başlar. Dönme hareketinin ardından, belirlenen kesme derinliği kadar düşey kızaklar üzerinde aşağı iner. Testerenin kesme konumunun tamamlanmasının ardından, vagon ileri doğru harekete başlar. Kesme işleminin bitmesinin ardından, kurs sonuna yerleştirilen sensörün vagonu algılamasıyla birlikte, kesme birimi bir sonraki kesim için yeni konumunu alır.

Kesim esnasında verilerin kaydedilmesi ve grafiklerle izlenmesi için, ara yüz yazılımında bir alt pencere bulunmaktadır. Söz konusu pencere, ana pencere üzerindeki “veriler” butonun tıklanmasıyla açılmaktadır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Veri izleme ve kayıt penceresi.

Veriler penceresi, verilerin sayısal değerlerinin yazıldığı ve grafiklerinin izlendiği iki bölümden oluşmaktadır. Bu pencerenin üzerinde beş adet komut butonu bulunmaktadır. Testerenin taşa giriş-çıkış zamanı “*Kayıt Başla*” (F5) ve “*Kayıt Durdur*” (F6) komutları yardımıyla kontrol edilmektedir. Kesim işleminin tamamlanmasının ardından “*Kaydet*” (F7) komutu ile verilerin kaydedilmesi sağlanmaktadır. Kaydedilmiş dosyaların incelenmesi için “*Aç*” komutu (F8) kullanılmaktadır. Sayısal veri alanında bulunan verilerin silinmesi amacıyla “*Defteri Sil*” komutundan yararlanılmaktadır.

Kesim sonrasında elde edilen tüm verilerin kayıt dosyaları “*Excel*” programı ile hazırlanmış şablon dosyalara aktarılmakta ve gerekli veri analizleri Excel ortamında yapılmaktadır.

BÖLÜM 6

KESME HIZINA BAĞLI VARYASYON DENEYLERİ

Doğal taşların elmas soketli dairesel testerelerle işlenmesi işlemi, birbirine bağlı birçok parametreden etkilendiğinden, oldukça karmaşık bir mekanizmaya sahiptir. Dairesel testerelerin kesme performansı, *kesme hızı*, *kesme derinliği*, *ilerleme hızı*, *çevresel hız*, *kesme yöntemi*, *testere-soket özellikleri* ve *soğutma suyu debisi* gibi çalışma parametrelerinin yanısıra; kesilecek olan taşın *mineralojik-petrografik özellikleri* ve *fiziko-mekanik özellikleri*'nden de etkilenmektedir. Bu nedenle, herhangi bir taş için uygun kesme koşullarının belirlenmesi amaçlandığında, yukarıda değinilen çalışma parametrelerinin birlikte değerlendirildiği 'varyasyon deneyleri' gerekli olmaktadır.

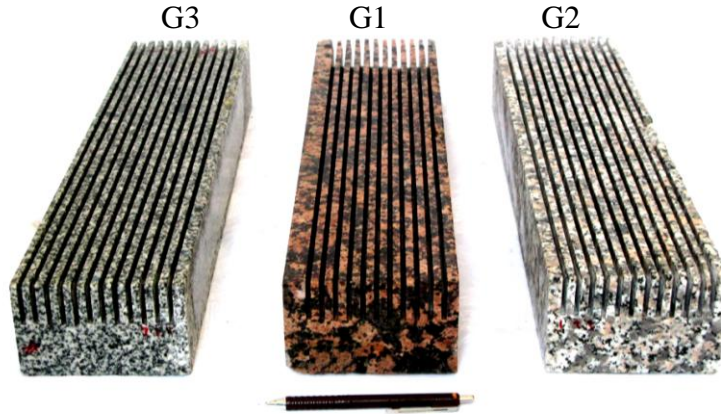
Bu bölümde, mineral içeriği ve tane boyutu bakımından farklılıklar gösteren üç granit örneği üzerinde varyasyon deneyleri uygulanarak, çalışma parametrelerinin kesilebilirlik parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uygulamada, testere ömrünün yanısıra, işletmecilik açısından en önemli parametre olan kesme hızı (üretim hızı) kesme derinliğinin ve ilerleme hızının bir fonksiyonu olduğundan başlıca çalışma parametresi olarak değerlendirilmiştir. Kesilebilirlik parametreleri olarak ise *normal ve teğetsel kesme kuvvetleri*, *ortalama talaş kalınlığı*, *aktif güç tüketimi*, *özellik kesme enerjisi*, *özellik aşınma* ve *gürültü seviyesi* dikkate alınmıştır. Varyasyon deneylerinden elde edilen bulguların değerlendirilmesiyle, incelenen granit türleri için uygun çalışma koşullarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

6.1. Kesme Deneylerinin Düzenlenmesi

Kesme deneylerinde, üzerinde 24 adet $3.2 \times 9.0 \times 40$ mm boyutlarında soketler bulunan 400 mm çapındaki bir 'granit testeresi' kullanılmıştır. Soketlerdeki elmaslar SDA 85 tipi olup, elmasların tane boyutları 40/50 US mesh ve konsantrasyonu % 20

dir. Soğutma suyu debisi ve testere çevresel hızı, testere üreticisi firmaların önerileri doğrultusunda, sırasıyla 15 lit/dak ve 30 m/s olarak seçilmiştir (Çizelge 2.1 ve 2.2).

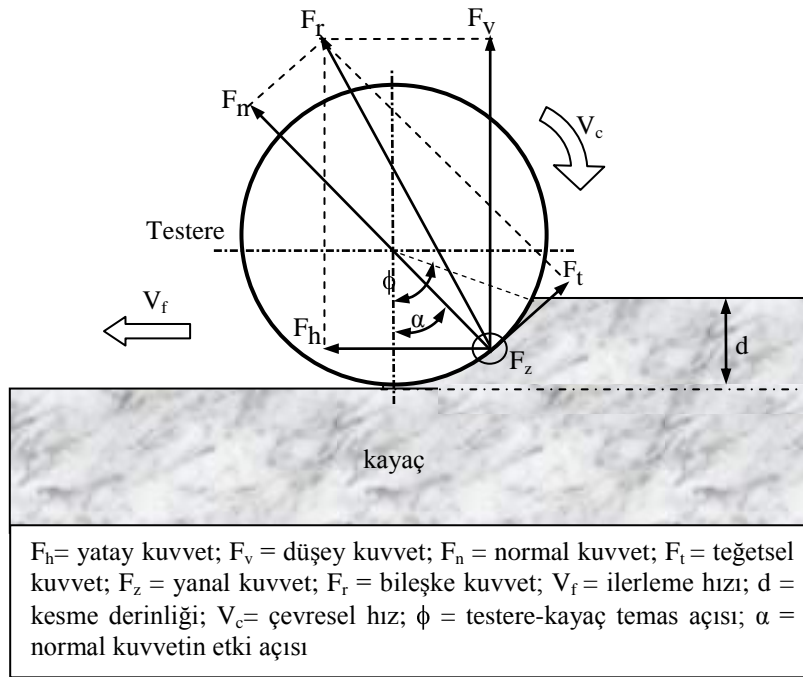
Kesimi yapılan granit bloklarının her biri 500 mm uzunluğunda, 70 mm yüksekliğinde ve 120 mm genişliğinde olup, Granitaş A.Ş firması tarafından bu çalışmanın amaçları doğrultusunda özel olarak hazırlanmıştır (Şekil 6.1). Deneylede, mineralojik bileşimleri ve fiziko-mekanik özellikleri farklılıklar gösteren *iri taneli* (G1), *orta-iri taneli* (G2) ve *ince-orta taneli* (G3) olmak üzere, üç farklı granit türü kullanılmıştır. Bu kayaçlara ait mineralojik-petrografik özellikler Bölüm 4.1’de, fiziko-mekanik özellikleri ise Bölüm 4.2’de verilmiştir.



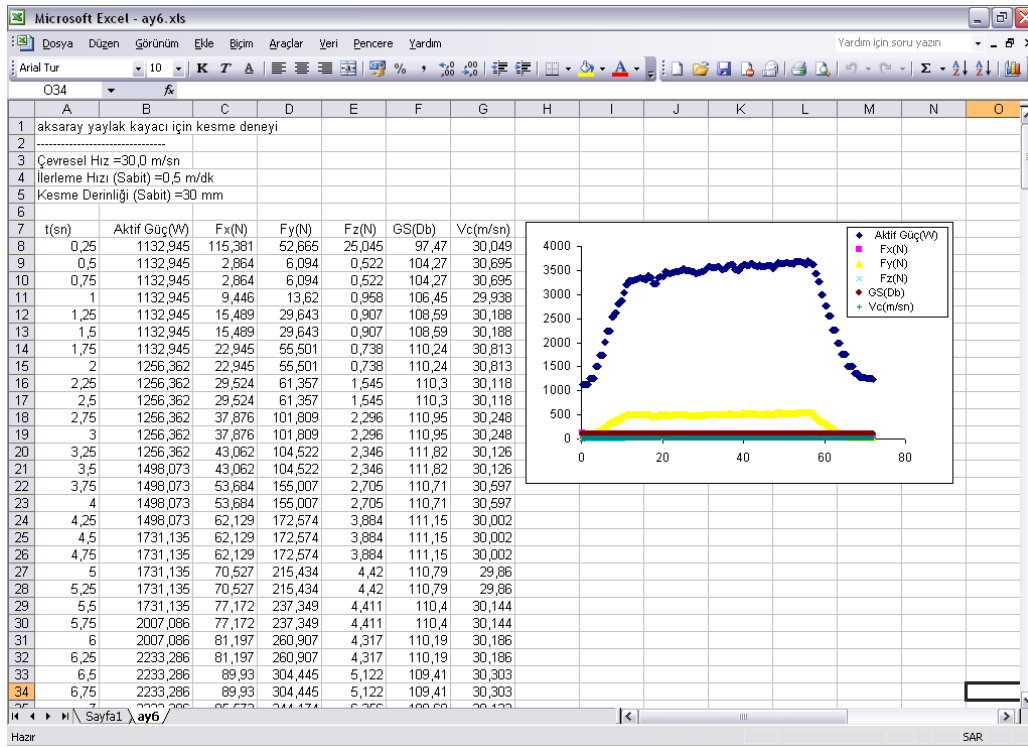
Şekil 6.1. Kesme deneylerinde kullanılan bazı granit blokları.

Varyasyon deneylerinde, farklı seviyelerde kesme derinlikleri (d) ve ilerleme hızları (V_f) uygulanarak 100, 150 ve 200 cm^2/dak ’lık kesme hızları (Q_w) elde edilmiştir. Her seri deney, granit bloğu üzerinde gerçekleştirilen 12 kesimden (geçişten) oluşmaktadır. Bu amaca ulaşabilmek için, varyasyon deneylerinde toplam 21 adet granit bloğunun kesimi yapılmıştır. Kesme derinliği ve ilerleme hızının değiştirildiği her seri deney öncesinde, testere üreticisi tarafından sağlanan özel bir aşındırıcı beton yardımıyla, testerenin hassas bir şekilde bilenmesine özen gösterilmiştir.

Kesme deneylerinde, doğal taş işleme sektöründe yaygın olarak kullanılmakta olan ‘aşağı-yönlü’ kesme yöntemi uygulanmıştır (Şekil 6.2). Her seri deneyde; testereye etkiyen yatay kesme kuvveti (F_h), düşey kesme kuvveti (F_v), yanal kesme kuvveti (F_z), testere motorunun anlık güç tüketimi (P) ve gürültü (ses) seviyesine ait veriler 0, 25 s aralıklarla bilgisayar ortamına kaydedilmiştir (Şekil 6.3).



Şekil 6.2. Aşağı-yönlü kesme yönteminin kinematiği [16].



Şekil 6.3. Anlık kuvvet ve güç tüketimi kayıtları.

Şekil 6.3'ten görüldüğü gibi, kaydedilen değerler testerenin kayaç bloğuna giriş sürecinde hızla yükselmekte ve belirli bir süre sonra yaklaşık olarak sabit bir değer almaktadır. Testerenin kayaç bloğundan çıkış sürecinde ise bu değerler hızla azalmaktadır. Bu nedenle, verilerin analizi aşamasında, testerenin bloğa 'giriş' ve 'çıkış' süresinde kaydedilen değerler dikkate alınmamıştır.

6.2. Kesilebilirlik Parametreleri

Yapılan literatür çalışması sonucunda, elmas soketli dairesel testerelerle yapılan kesilebilirlik analizlerinde kullanılan başlıca 'kesilebilirlik parametreleri' olarak *kesme kuvvetleri (normal ve teğetsel kesme kuvveti)*, *ortalama talaş kalınlığı*, *aktif güç tüketimi*, *ölgül kesme enerjisi*, *ölgül aşınma* ve *gürültü*'nün dikkate alındığı görülmüştür. Bu parametreler, kesimi yapılan bir taşın kesim kolaylığı hakkında bilgi verebildiği gibi, kesme mekanizmasının daha iyi anlaşılması bakımından aydınlatıcı olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kesilebilirlik parametreleri aşağıda açıklanmıştır:

6.2.1. Kesme kuvvetleri

Kesme kuvvetlerinin farklı çalışma parametreleri altında ölçülmesi ve değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu tür veriler, testere ve makina üzerine etkiyen statik ve dinamik yükler hakkında bilgi sağladığı gibi, testerenin aşınma durumu hakkında da bilgi verebilmektedir. Bölüm 5'te de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi, bu çalışmada testere üzerine etkiyen yatay kuvvetler (F_h), düşey kuvvetler (F_v) ve yanal kuvvetler (F_z) bir dinamometre ile ölçülerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bununla birlikte, kesilebilirlik analizlerinde genellikle teğetsel kuvvetler (F_t) ve normal kuvvetler (F_n) kullanılmaktadır (Şekil 6.2). Teğetsel kuvvetler, elmas tanesinin kesim esnasında talaş (chip) oluşturabilmesi için gerekli olan yüklerden sorumludur. Normal kuvvetler ise elmas tanesine ve dolayısıyla testereye gelen düşey yüklerle ilgilidir. Normal kuvvetlerin artması, testerenin çelik gövdesinde eğilme momentlerine yol açmakta ve bunun sonucu olarak testerede ve kesim yüzeyinde sapmalara neden olabilmektedir. Bu kuvvetler Bağıntı 6.1 – 6.2 yardımıyla hesaplanmaktadır [37,41,46]:

$$F_t = P/V_c \quad (6.1)$$

Burada, P aktif güç (W) ve V_c çevresel hız (m/s) dir.

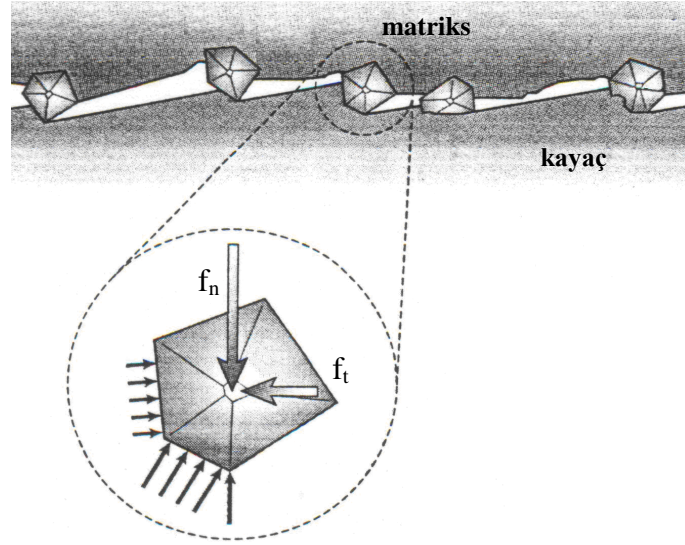
$$F_n = [(F_h)^2 + (F_v)^2 - (F_t)^2]^{1/2} \quad (6.2)$$

Kesim esnasında herbir elmas tanesi üzerine etki eden ortalama teğetsel kuvvet (f_t) ve normal kuvvet (f_n) (Şekil 6.4) ise Bağıntı 6.3 – 6.4 yardımıyla hesaplanmaktadır [60,61]:

$$f_t = \frac{F_t}{C \cdot \sqrt{d \cdot D \cdot b}} \quad (\text{N/elmas tanesi}) \quad (6.3)$$

$$f_n = \frac{F_n}{C \cdot \sqrt{d \cdot D \cdot b}} \quad (\text{N/elmas tanesi}) \quad (6.4)$$

Burada; C soket yüzeyinde birim alana düşen aktif elmas sayısı, d kesme derinliği, D testere çapı ve b soket genişliğidir.



Şekil 6.4. Elmas tanesi üzerine etkiyen kuvvetler [59].

6.2.2. Ortalama talaş kalınlığı

Belirli bir çalışma yüksekliğine ulaşan her elmas tanesi (Şekil 6.5), çalışma yüksekliğine bağlı olarak, kayaç yüzeyinden belirli kalınlıktaki bir talaşı (chip) kaldırmak durumundadır. Ancak, soket içerisinde rasgele dağılımları nedeniyle, elmas tanelerinin kesim esnasındaki davranışlarını kesin olarak belirleyebilmek çok zordur. Bununla birlikte, bazı kabuller yapılarak, her bir elmas tanesinin oluşturduğu ortalama talaş kalınlığı (h_m) (Şekil 6.6) Bağıntı 6.5 yardımıyla hesaplanabilmektedir [62,63]:

$$h_m = \sqrt{\left(\frac{V_f}{V_c}\right)\left(\frac{1}{C.\lambda.r}\right)\sqrt{d}} \quad (6.5)$$

Burada;

h_m : her bir elmas tanesi tarafından oluşturulan ortalama talaş kalınlığı, mm

V_f : ilerleme hızı, cm²/dak

V_c : çevresel hız, m/s

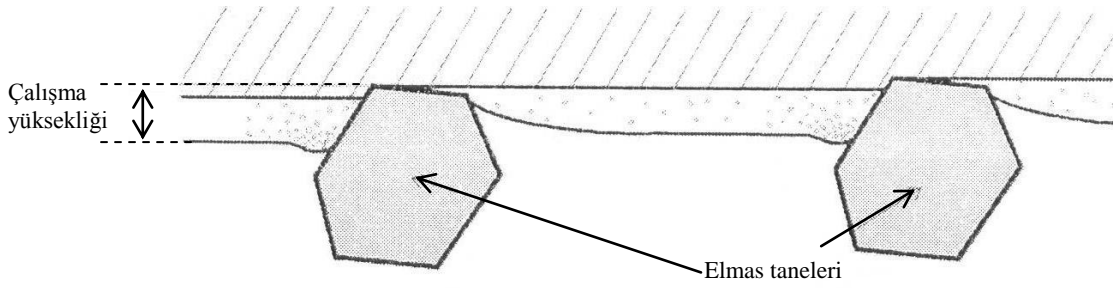
C : soket yüzeyinde birim alana düşen aktif elmas sayısı, adet/mm²

λ : soket oranı

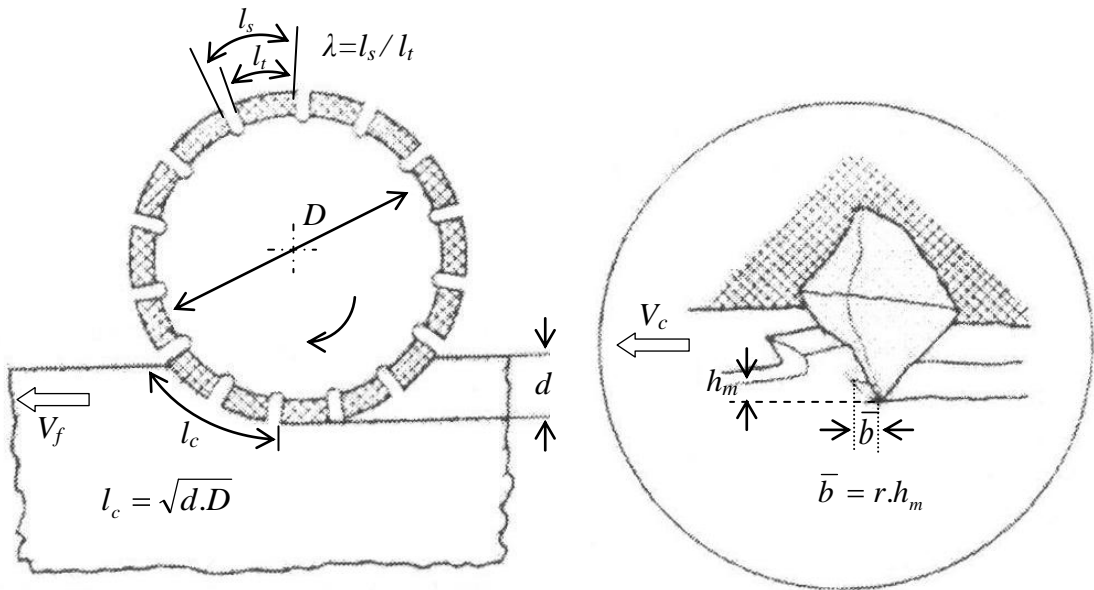
r : talaş genişliği/talaş kalınlığı oranı

d : kesme derinliği, mm

D : testere çapı, mm

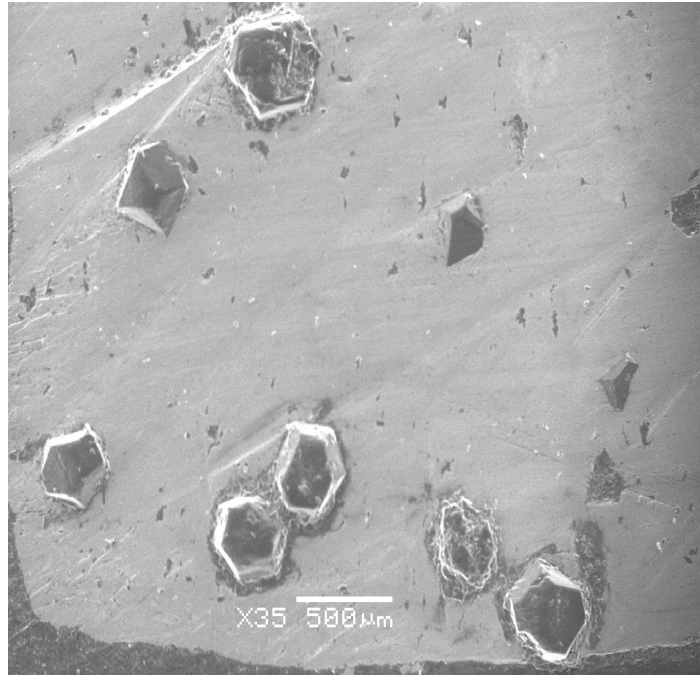


Şekil 6.5. Elmas tanelerinin çalışma yüksekliği [13].



Şekil 6.6. Ortalama talaş kalınlığı [63].

Ortalama talaş kalınlığının hesaplanmasında, soket yüzeyinde birim alana düşen aktif elmas sayısının (C) yaklaşık olarak sabit kaldığı kabul edilmektedir [21]. Bu çalışmada, kesme deneylerinde kullanılan testereye ait C değeri, soket üzerinden alınan örneğin SEM (Scanning Electron Microscope) görüntüsü analizi ile gerçekleştirilmiş ve 0.91 mm^{-2} olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7. Soket üzerindeki elmas tanelerinin SEM görüntüsü.

6.2.3. Aktif güç tüketimi

Elektrik enerjisi tüketimi doğal taş işleme sektöründe en önemli maliyet kalemleri arasındadır. Bu nedenle, kesim esnasında kaydedilen aktif güç tüketimi değerleri (P) enerji maliyetleri konusunda yararlı bilgiler vermektedir. Doğal olarak, uygulamada belirli bir üretim hızı için güç tüketiminin en düşük düzeyde olması istenir. Bu çalışmada, testere motorunun anlık güç tüketim değerleri bir enerji analizörü yardımıyla ölçülerek bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 6.3). Her kayaç örneği için 12 kesimden elde edilen aktif güç tüketimi değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır.

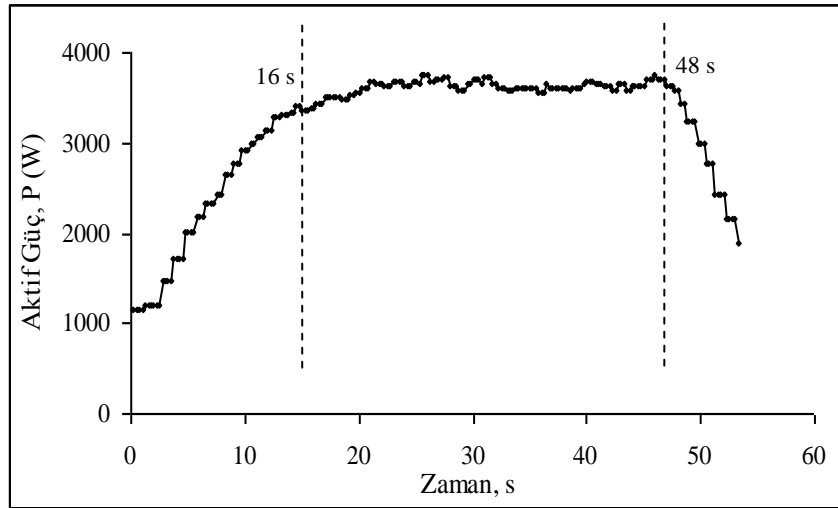
6.2.4. Özgül kesme enerjisi

Özgül kesme enerjisi (Specific Energy), birim hacimdeki kayacı kesmek için harcanan enerji miktarı olup, kesme işleminin verimliliği konusunda yaygın olarak kullanılan bir göstergedir [34, 46, 64]. Özgül kesme enerjisinin küçük değerleri görece ‘verimli’ kesme koşullarına işaret eder.

Bu çalışmada, özgül kesme enerjisi Bağıntı 6.6 yardımıyla hesaplanmıştır:

$$SE = E_t / Q \quad (6.6)$$

Burada, SE = özgül kesme enerjisi (J/mm³); E_t = kesme süresince tüketilen toplam enerji (W.s); Q = testerenin kesim süresince taş içerisinde açtığı kanalın hacmi (mm³) dir. Örneğin; Şekil 6.8’ de verilen aktif güç – zaman eğrisi incelendiğinde:



Şekil 6.8 Aktif güç-zaman eğrisi.

$$E_t = (3626 \text{ W}) \times (32 \text{ s}) = 116\,032 \text{ W.s} = 116\,032 \text{ J}$$

elde edilir. Testere soketinin genişliği (b) = 3.2 mm, kesme derinliği (d) = 40 mm, ve ilerleme hızı (V_f) = 500 mm/dak olarak kabul edilirse, 32 saniye boyunca taş içerisinde açılan kanalın hacmi:

$$Q = 34\ 133\ \text{mm}^3$$

elde edilir.

Sonuçta, Bağıntı 6.6 yardımıyla, bu özel uygulama için özgül kesme enerjisi değeri,

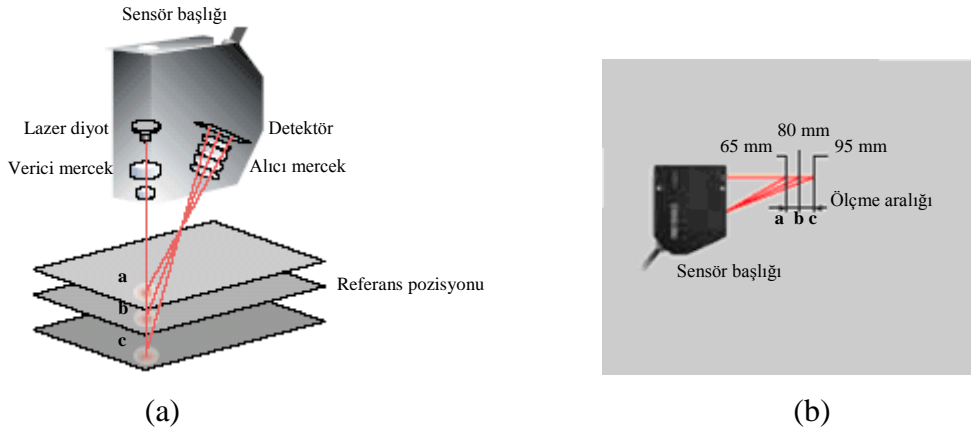
$$SE = 116\ 032\ \text{J} / 34\ 133\ \text{mm}^3 = 3.39\ \text{J} / \text{mm}^3$$

olarak belirlenir.

6.2.5. Özgül aşınma

Özgül aşınma (Specific wear), taşa kesilen birim yüzey alanı sonucunda testere soketlerinde oluşan radyal aşınma olup, genellikle $\mu\text{m}/\text{m}^2$ veya $\text{m}^2/\mu\text{m}$ olarak ifade edilmektedir. Doğal taş işleme tesislerinde, enerji tüketiminin yanısıra testere ömrü de önemli maliyet kalemleri arasındadır. Bu nedenle, herhangi bir uygulama için en uygun çalışma koşullarının belirlenmesi istenildiğinde, testerenin özgül aşınma değerlerinden yararlanılabilmektedir.

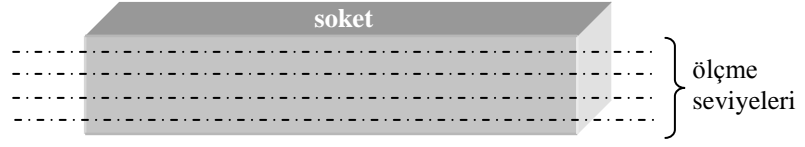
Bu çalışmada, testere soketlerinde oluşan radyal aşınmalar Keyence LK-G87 modeli lazer yer değiştirme sensorü (displacement sensor) yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 6.9a). Cihaz, pürüzlü yüzeylerin ölçülmesine olanak veren ‘geniş ışın’ (wide beam) özelliğine sahip olup; örnekleme periyodu 20 μs , ölçme hassasiyeti $\% \pm 0.05$ ve ölçme aralığı 80 mm ± 15 mm dir (Şekil 6.9b) [65].



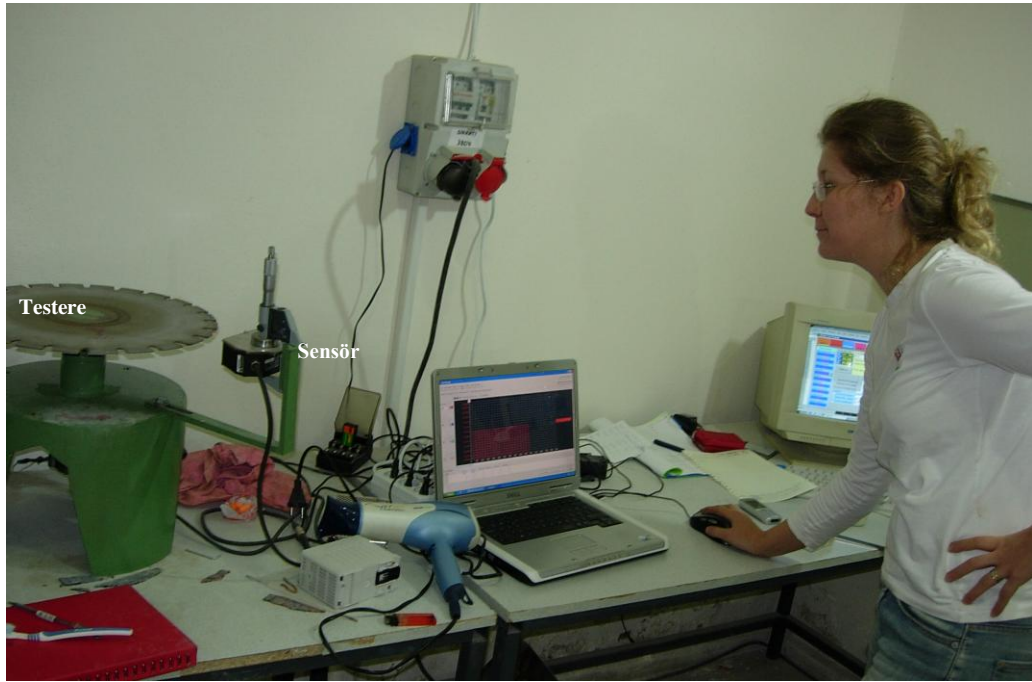
Şekil 6.9. Lazer ölçme prensibi (a) ve ölçme aralığı (b) [65].

Cihazın ölçüm prensibi ‘üçgensel’ ölçümdür (triangulation). Kullanılan sensör başlığındaki bir yarı-iletken lazer diyottan yayılan lazer ışığı, verici mercekten geçerek hedef nokta üzerine odaklanır (Şekil 6.9 a). Bu ışığın bir bölümü hedeften yansıyıp bir alıcı mercekten geçtikten sonra detektör üzerine odaklanır. Cismin pozisyonu değiştiğinde, detektör üzerine yansıyan ışığın da pozisyonu değişir. Bu değişim algılanarak, cismin yer değiştirme miktarı ölçülür [65]. Bu tür lazer sensörler endüstride çeşitli malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde kullanılmaktadır [66,67].

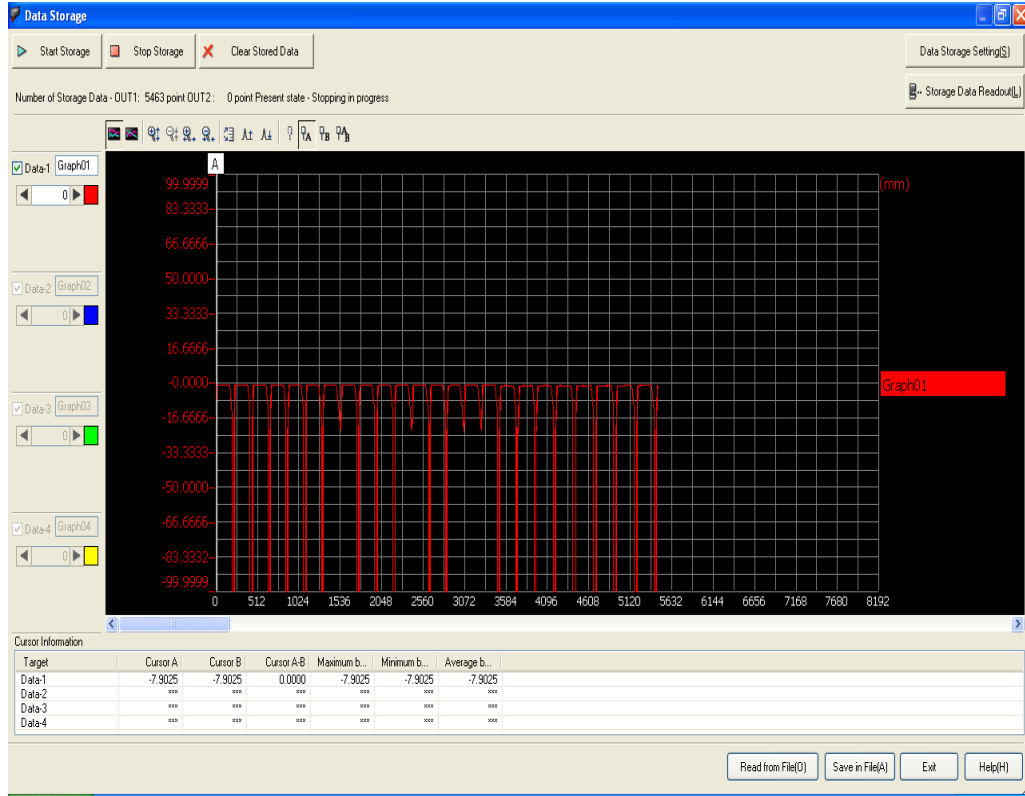
Her seri kesme deneyi öncesinde, testerede bulunan 24 adet soket üzerinde 0.333 mm aralıklarla dört ayrı seviyeden ölçme yapılmıştır (Şekil 6.10). Ölçmeler her seviyede dört kez tekrarlanarak 4 x 5500 adet okuma elde edilmiştir. Bu şekilde, testere çevresinde elde edilen 88 000 civarındaki sayısal veri, cihaza ait bilgi toplama birimi aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır (Şekil 6.11 ve Şekil 6.12). Aktarılan bu verilerin istatistiksel değerlendirilmesi Excel programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece, testere–sensör arasındaki ortalama radyal uzaklık belirlenmiştir. Yapılan tüm bu işlemler kesme deneyi sonrasında da tekrarlanmıştır. Sonuçta, kesim öncesi ve sonrası hesaplanan radyal uzaklıklar arasındaki fark, o deneye ait *radyal aşınma* değeri olarak kabul edilmiştir.



Şekil 6 .10. Soketler üzerindeki ölçme seviyeleri.



Şekil 6.11. Aşınma ölçümlerinin gerçekleştirildiği düzenek.



Şekil 6.12. Veri toplama penceresi.

6.2.6. Gürültü (Ses)

Kesim esnasında testerenin taşa uyguladığı kuvvetler sonucunda, testere gövdesinde ve taşa oluşan titreşimlerin yarattığı şok ses dalgaları havada ‘gürültü’ olarak yayılır. Oluşan gürültünün şiddeti testere tasarımına (gövdede kullanılan çeliğin özellikleri, gövde kalınlığı, testere çapı, soket geometrisi ve sayısı, su kanalları arasındaki genişlik kesilen taşa (sertlik, mineralojik özellikler vb.) ve çalışma parametrelerine (kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, çevresel hız ve soğutma suyu miktarı) bağlıdır.

Gürültünün şiddetini ölçen cihazlara ‘gürültü ölçer’ veya ‘ses ölçer’ denilmektedir (Şekil 6.13). Bu cihazlar gürültünün şiddetini desibel (dB) olarak gösterir. Desibel, ölçülen bir değer seçilen bir referans değerine olan oranının logaritması olup, ölçeksiz bir birimdir. Referans değer olarak, insan kulağının işitebileceği en düşük ses şiddeti 0 dB kabul edilmektedir. İşçi sağlığı açısından, çalışma alanlarında 85 dB(A) değerindeki

gürültü seviyesi üst sınır olarak kabul edilmektedir. Gürültünün insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltılabilmesi amacıyla, doğal taş sektöründe ‘sessiz testere’ olarak bilinen dairesel testerelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Doğal taşların dairesel testerelerle işlenmesi işleminde gürültü seviyesinin artması, görece verimsiz çalışma koşullarına işaret etmektedir [26, 47, 48, 62, 68, 69]. Bu nedenle, kesim esnasında oluşan gürültü de önemli bir kesilebilirlik parametresi olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmada, gürültü ölçümleri CEM DT-8850 modeli bir gürültü ölçer yardımıyla yapılmış (Şekil 6.13) ve veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 6.3). Cihaz üzerinde A-filtresi (35 – 100 dB) ve C-filtresi (65 – 130 dB) olmak üzere, iki adet ses frekans filtresi bulunmaktadır. A-filtresi kullanıldığında, gürültü ölçer çok yüksek ve çok düşük frekanslara daha az hassas olur. C-filtresi ise genellikle çok yüksek gürültü seviyelerinin ölçümünde kullanılmaktadır. Doğal taş işleme tesislerinde dairesel testerelerle yapılan kesme işlemlerinde yüksek frekanslı sesler hakim olmakta ve 100 dB(A) nın üzerinde gürültü seviyeleri söz konusu olabilmektedir [47,68]. Bu nedenle, çalışmada kaydedilen gürültü seviyeleri için C-filtresi kullanılmıştır.



Şekil 6.13 Gürültü ölçme cihazı.

Logaritmik bir oran olması nedeniyle, dB olarak ifade edilen sayılarla normal aritmetik işlemler yapılamaz. Bir gürültü ölçer yardımıyla ölçülen dB değerlerinin

ortalamasının hesaplanabilmesi için; ölçülen değerlerin lineer ses basıncı oranlarına dönüştürülüp aritmetik ortalaması alındıktan sonra, tekrar logaritmik dB'e dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, herhangi bir seri kesme deneyi esnasında kaydedilen gürültü seviyelerinin ortalaması Bağıntı 6.7 yardımıyla hesaplanmıştır [70].

$$dB_{ort} = 10 \times \log \left[\frac{1}{n} \sum \log^{-1} (dB_i / 10) \right] \quad (6.7)$$

Varyasyon deneylerinden elde edilen tüm sonuçlar Çizelge 6.1-6.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 6.1. G1 kayacına ait kesme deneyi sonuçları.

| İlerleme hızı sabit (Vf= 0.50 m/dak) | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|----------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| G1 | | | | | | | |
| d (mm) | F _T (N) | F _N (N) | F _T / F _N | P (W) | SE (J/mm ³) | SW (μm/m ²) | GS (dB-C) |
| 10 | 65.03 | 248.55 | 0.261633 | 1950.87 | 6.684 | 140.80 | 105.1636 |
| 20 | 103.96 | 412.70 | 0.251916 | 3118.99 | 5.346 | 160.27 | 106.7503 |
| 30 | 127.78 | 550.32 | 0.232186 | 3833.41 | 4.380 | 168.91 | 106.8280 |
| 40 | 158.67 | 723.13 | 0.219426 | 4760.23 | 4.080 | 177.90 | 107.2696 |
| Derinlik sabit (d=30 mm) | | | | | | | |
| G1 | | | | | | | |
| Vf (m/dak) | F _T (N) | F _N (N) | F _T / F _N | P (W) | SE (J/mm ³) | SW (μm/m ²) | GS (dB-C) |
| 0.33 | 124.02 | 500.48 | 0.247809 | 3720.68 | 6.384 | 120.19 | 105.7840 |
| 0.50 | 127.78 | 550.32 | 0.232186 | 3833.41 | 4.380 | 168.91 | 106.8280 |
| 0.66 | 141.15 | 631.16 | 0.223630 | 4234.44 | 3.633 | 204.35 | 107.6924 |

Çizelge 6.2. G2 kayacına ait kesme deneyi sonuçları.

| İlerleme hızı sabit (Vf= 0.50 m/dak) | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|----------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| G2 | | | | | | | |
| d (mm) | F _T (N) | F _N (N) | F _T / F _N | P (W) | SE (J/mm ³) | SW (μm/m ²) | GS (dB-C) |
| 10 | 61.75 | 231.09 | 0.267243 | 1852.65 | 6.352 | 108.02 | 105.3735 |
| 20 | 97.62 | 386.24 | 0.252751 | 2928.69 | 5.021 | 121.73 | 106.0533 |
| 30 | 123.70 | 535.16 | 0.231152 | 3711.07 | 4.241 | 139.84 | 106.1323 |
| 40 | 148.68 | 664.70 | 0.223683 | 4460.49 | 3.823 | 148.42 | 106.3583 |
| Derinlik sabit (d=30 mm) | | | | | | | |
| G2 | | | | | | | |
| Vf (m/dak) | F _T (N) | F _N (N) | F _T / F _N | P (W) | SE (J/mm ³) | SW (μm/m ²) | GS (dB-C) |
| 0.33 | 120.02 | 479.64 | 0.250224 | 3600.53 | 6.177 | 106.98 | 105.4177 |
| 0.50 | 123.70 | 535.16 | 0.231140 | 3711.07 | 4.241 | 139.84 | 106.1323 |
| 0.66 | 138.67 | 614.21 | 0.225774 | 4160.21 | 3.569 | 181.15 | 106.8018 |

Çizelge 6.3 G3 kayacına ait kesme deneyi sonuçları.

| İlerleme hızı sabit (Vf= 0.50 m/dak) | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|----------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| G3 | | | | | | | |
| d (mm) | F _T (N) | F _N (N) | F _T / F _N | P (W) | SE (J/mm ³) | SW (μm/m ²) | GS (dB-C) |
| 10 | 60.25 | 215.78 | 0.279227 | 1807.53 | 6.198 | 86.20 | 104.6388 |
| 20 | 91.71 | 351.90 | 0.260616 | 2751.32 | 4.716 | 92.25 | 105.4051 |
| 30 | 120.82 | 524.22 | 0.230495 | 3624.89 | 4.143 | 108.23 | 105.9189 |
| 40 | 137.70 | 641.29 | 0.224576 | 4131.29 | 3.541 | 130.47 | 105.9221 |
| Derinlik sabit (d=30 mm) | | | | | | | |
| G3 | | | | | | | |
| Vf (m/dak) | F _T (N) | F _N (N) | F _T / F _N | P (W) | SE (J/mm ³) | SW (μm/m ²) | GS (dB-C) |
| 0.33 | 115.87 | 453.77 | 0.255355 | 3476.18 | 5.965 | 78.73 | 105.8286 |
| 0.50 | 120.83 | 524.22 | 0.230495 | 3624.89 | 4.143 | 108.23 | 105.9189 |
| 0.66 | 132.16 | 574.83 | 0.214741 | 3964.82 | 3.402 | 169.70 | 106.3533 |

6.3. Kesme Hızının Kesilebilirlik Parametreleri Üzerindeki Etkileri

Bu bölümde, Çizelge 6.1-6.3'te verilen deneysel sonuçlardan yararlanarak, kesme hızı - kesilebilirlik parametreleri arasındaki ilişkiler irdelenmiştir.

6.3.1. Kesme hızı

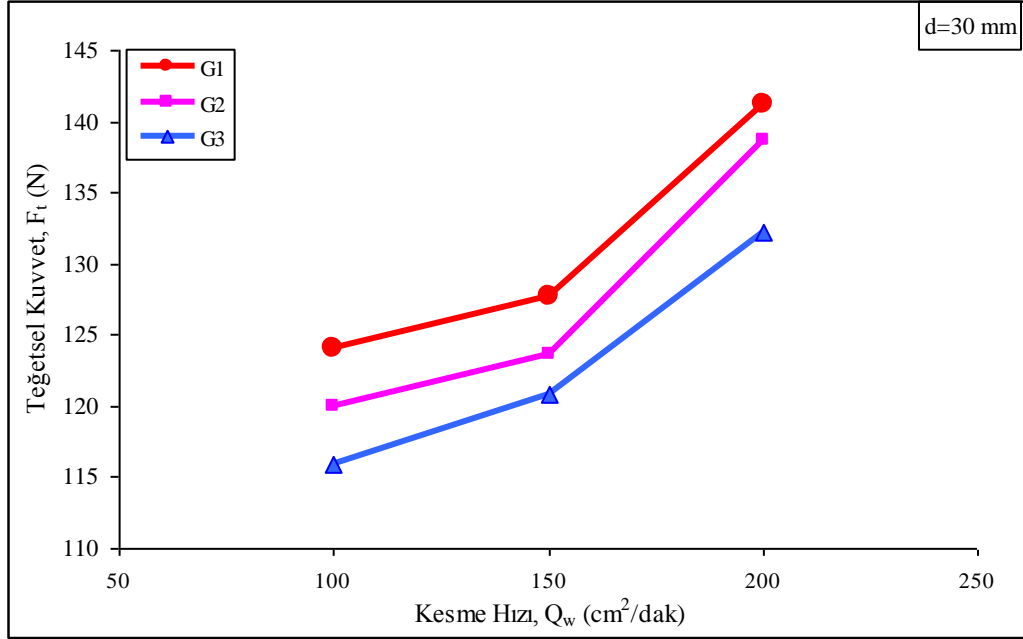
Kesme hızı (Q_w) dairesel testerelerle yapılan kesme işleminin ekonomikliği üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Maksimum verimlilik açısından, herhangi bir uygulamada kesme hızının mümkün olduğu kadar yüksek tutulması istenir. Doğal taş sektöründe “üretim hızı” olarak da bilinen kesme hızı, birim zamanda kesilen yüzey alanı olup

$$Q_w = d \times V_f \quad (6.8)$$

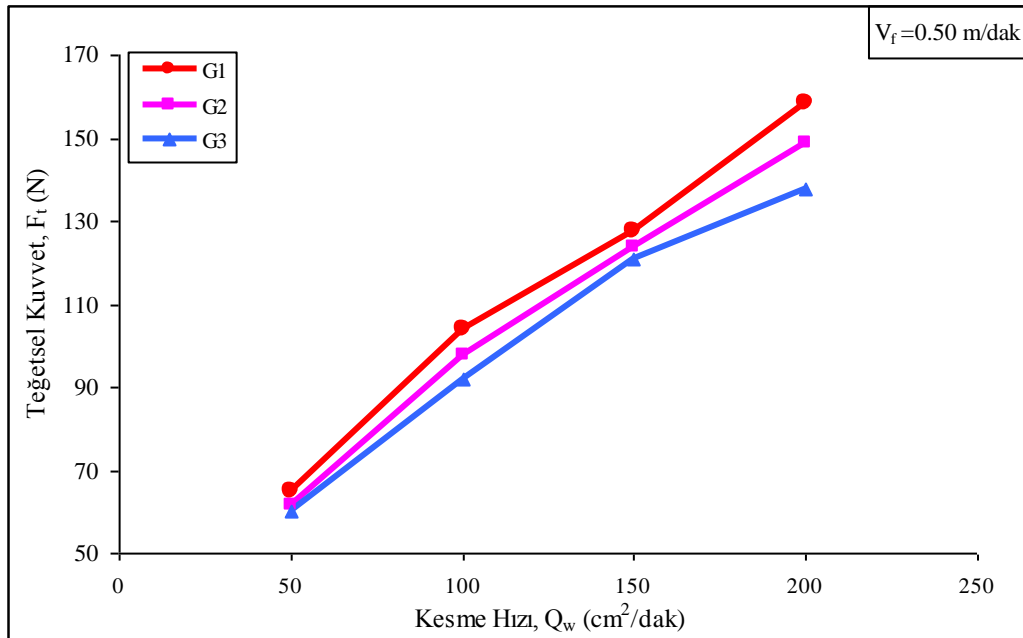
bağıntısından cm^2/dak veya m^2/h olarak hesaplanmaktadır. Burada; d = kesme derinliği (mm) ve V_f = ilerleme hızı (m/dak) dır.

6.3.1.1. Kesme hızı – kesme kuvvetleri ilişkileri

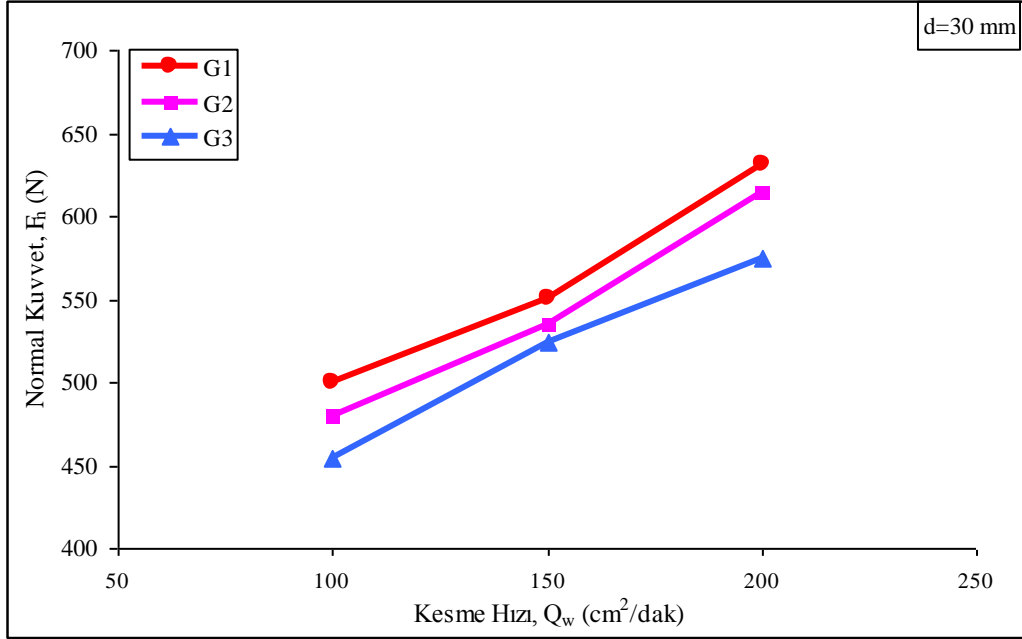
Şekil 6.14 - 6.17'den görüldüğü gibi; incelenen üç granit örneği (G1, G2 ve G3) için geçerli olmak üzere, kesme hızının artırılmasıyla birlikte teğetsel ve normal kuvvetler de artmaktadır. Genel olarak, normal kuvvetlerin sayısal değerlerinin teğetsel kuvvetlere oranla 4-5 kat daha fazla olduğu gözlenmiştir. İri-taneli granit örneğinde (G1) kaydedilen kesme kuvvetlerinin, orta-iri (G2) ve ince-orta taneli (G3) olarak tanımlanan granitlerden görece daha yüksek oluşu dikkat çekicidir (Bu konuya Bölüm 7' de ayrıntılı olarak değinilecektir).



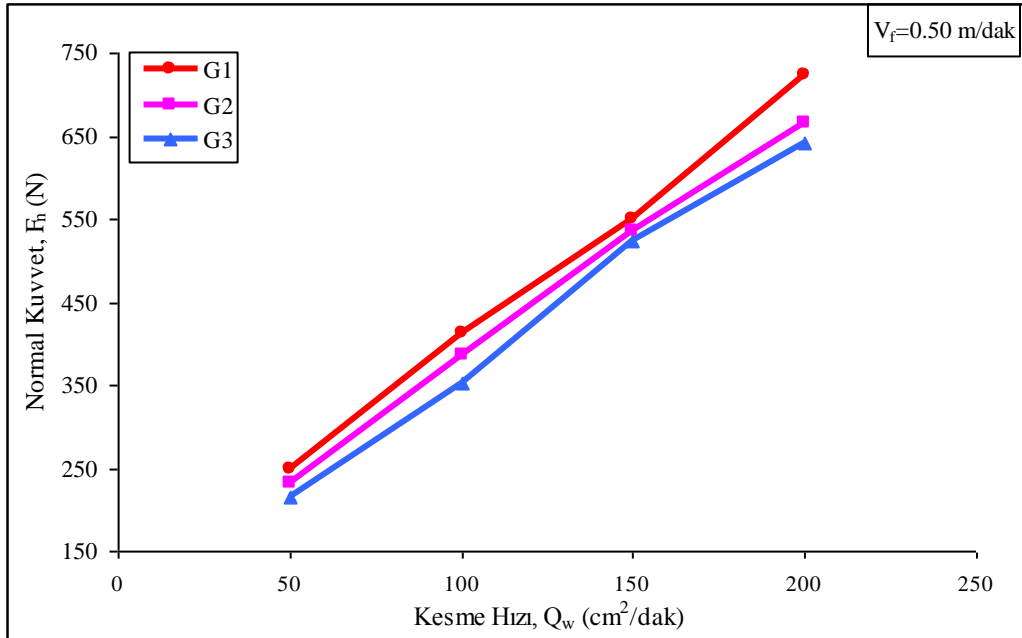
Şekil 6.14. Kesme hızı-teğetsel kuvvet ilişkileri ($d = 30$ mm sabit).



Şekil 6.15. Kesme hızı-teğetsel kuvvet ilişkileri ($V_f = 0.50$ m/dak sabit).

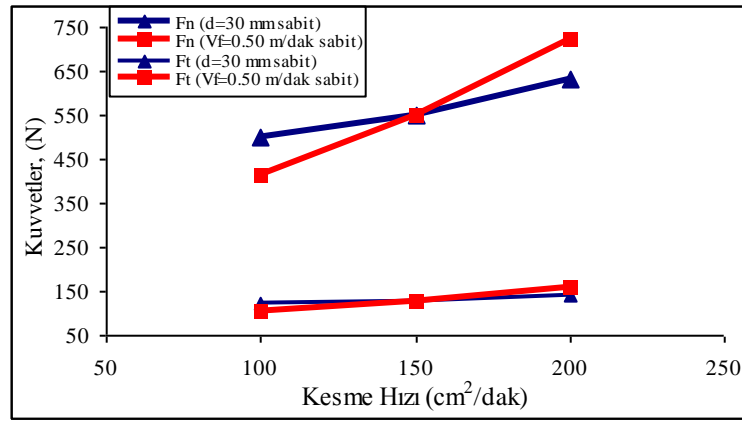


Şekil 6.16 Kesme hızı-normal kuvvet ilişkileri ($d = 30$ mm sabit).

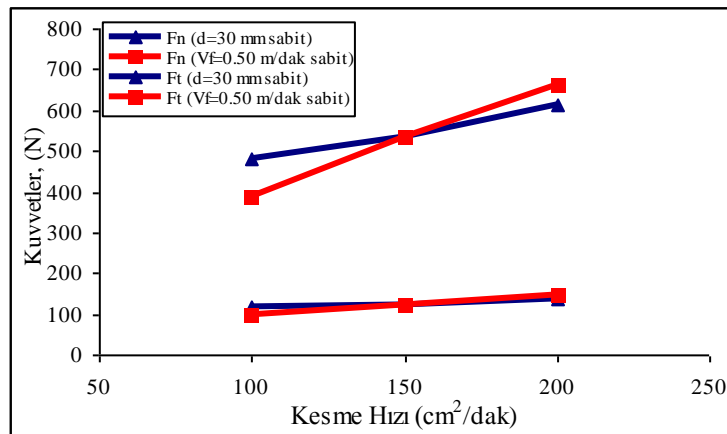


Şekil 6.17 Kesme hızı-normal kuvvet ilişkileri ($V_f = 0.50$ m/dak sabit).

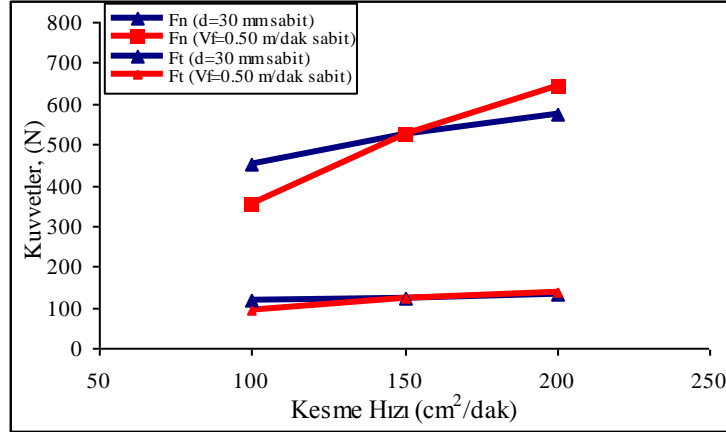
Normal kuvvetlerdeki artış hızı teğetsel kuvvetlerdeki artış hızına oranla daha yüksek olup, bu durum, kesme hızı arttırıldığında normal kuvvetlerin görece daha fazla etkilendiğini göstermektedir (Şekil 6.18- 6.20). Bu tür bir bulgu, yüksek kesme hızlarının testere üzerindeki yüklerin ve dolayısıyla aşınmaların artışı üzerinde daha fazla etkili olduğuna işaret etmektedir [13, 21]. Verilerin analizinden çıkartılabilecek bir diğer önemli sonuç ise; kesme hızının arttırılması istenildiğinde, kesme derinliğini azaltıp ilerleme hızını arttırmak şeklindeki bir uygulamanın kesme kuvvetleri üzerinde daha olumlu bir rol oynadığının anlaşılmasıdır. (Şekil 6.18- 6.20).



Şekil 6.18. G1 kayacına ait kesme hızı-kuvvetler ilişkisi.

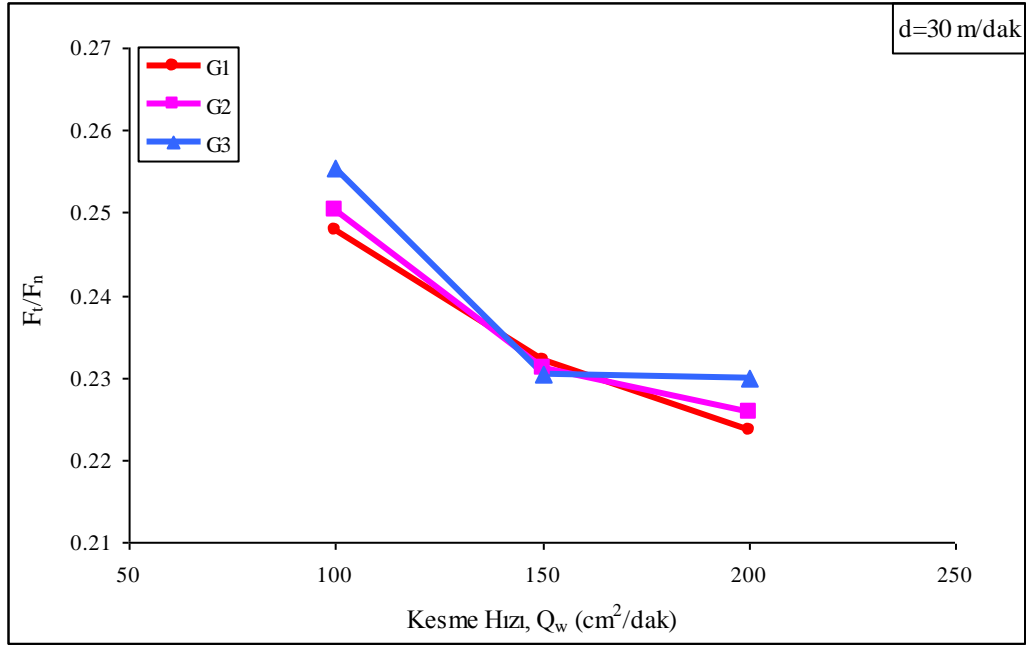


Şekil 6.19. G2 kayacına ait kesme hızı-kuvvetler ilişkisi

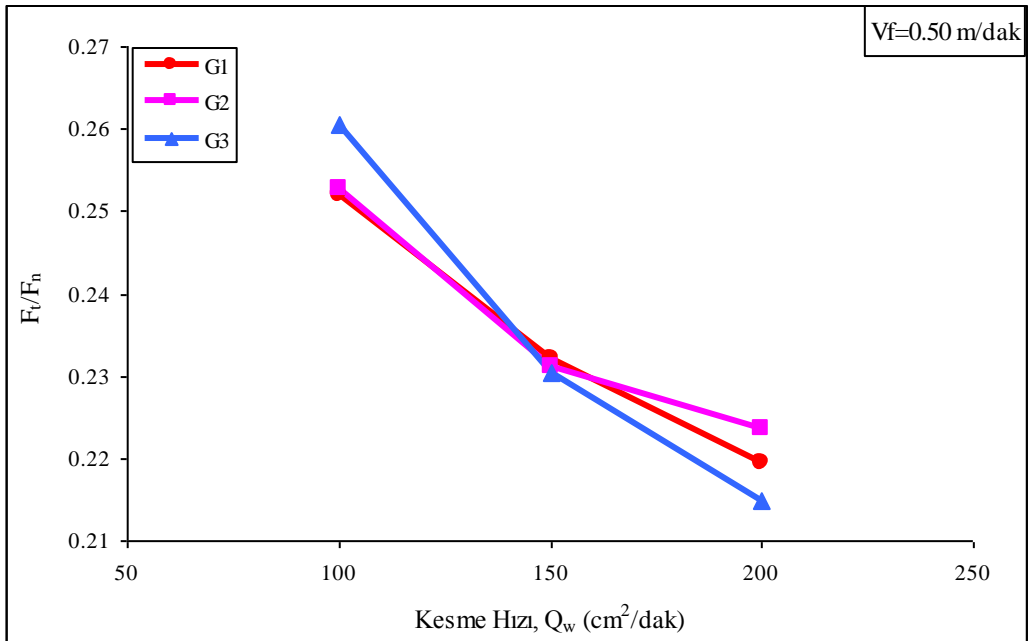


Şekil 6.20. G3 kayacına ait kesme hızı-kuvvetler ilişkisi

Verimli bir kesme işlemi için soket üzerinde mümkün olduğu kadar fazla sayıda yeni ve mikro-çatlaklı elmas tanelerinin bulunması gerekmektedir (Şekil 2.7). Bu durum ise yüksek F_t / F_n oranları ile mümkündür. Düşük F_t / F_n oranları, görece çok sayıda düzleşmiş elmas tanelerinin bulunduğuna işaret eder. Bu durum, soket yüzeyinin kayaca yeterli bir derinlikte girebilmesi için, normal kuvvetlerin artmasına yol açar. Bu konuda yapılmış önceki çalışmalar, düzleşmiş bir elmas tanesinin oluşturduğu normal kuvvetlerin mikro-çatlaklı bir elmas tanesine göre yaklaşık 3 kat daha fazla olduğunu göstermiştir [62]. Şekil 6.21- 6.22' den görüldüğü gibi, kesme hızının artmasıyla birlikte F_t / F_n oranı hızla azalmaktadır. Bu durum, soketler üzerindeki elmas tanelerinin çalışma yüksekliklerinin giderek azaldığına ve aşınmanın arttığına işaret etmektedir [29,62]. Bu bakımdan, incelenen kayaçlar ve kesme koşulları için geçerli olmak üzere, en uygun kesme hızının yaklaşık 150 cm²/dak olduğu söylenebilir.

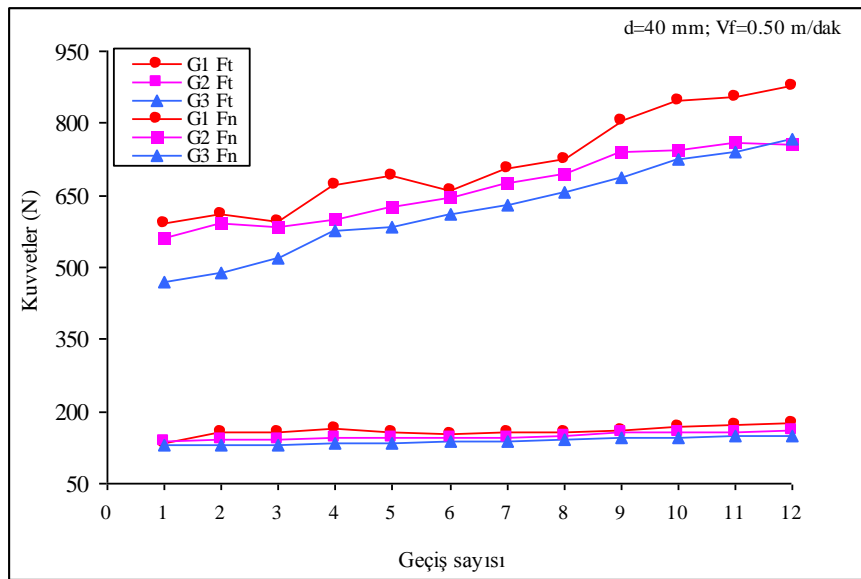


Şekil 6.21. Kesme hızı- F_t/F_n ilişkileri ($d = 30$ mm sabit).

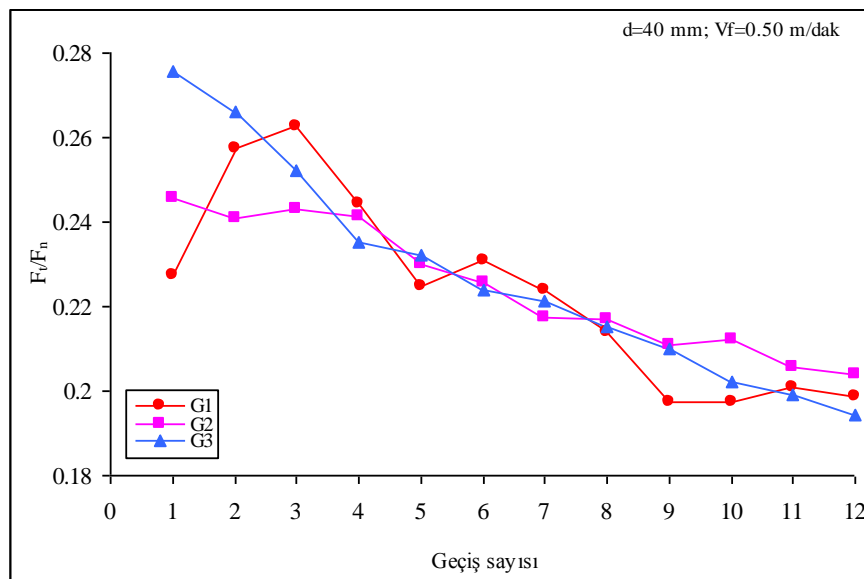


Şekil 6.22. Kesme hızı- F_t/F_n ilişkileri ($V_f = 0.50$ m/dak sabit).

Kesim devam ettikçe (testerenin blok üzerindeki geçiş sayısı arttıkça), elmas tanelerinin çalışma yüksekliklerini giderek kaybetmesi sonucunda, testere-kayaç arasındaki bulamacın (talaş-su karışımı) uzaklaştırılması da zorlaşır. Bu durumda, elmas taneleri daha fazla aşınarak normal kuvvetlerin hızla artmasına ve F_t / F_n oranının azalmasına neden olur [29]. Geçiş sayısına bağlı olarak kesme kuvvetlerinde ve F_t / F_n oranında izlenen değişiklikler Şekil 6.23 ve 6.24'te gösterilmiştir.



Şekil 6.23. Geçiş sayısı – kesme kuvvetleri ilişkisi.

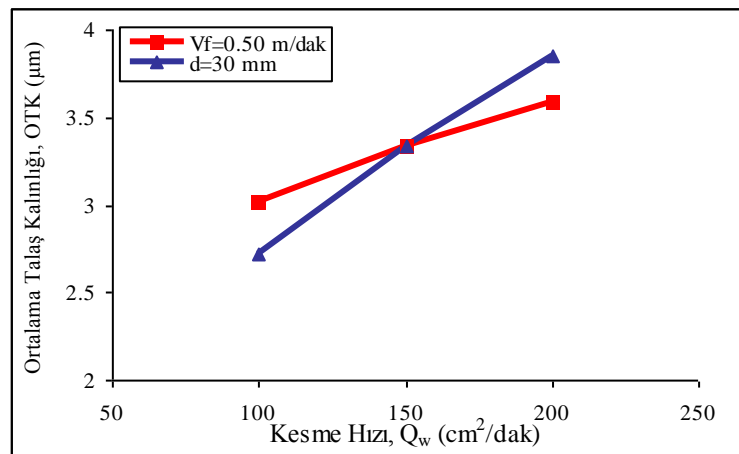


Şekil 6.24. Geçiş sayısı - F_t / F_n oranı ilişkisi.

6.3.1.2. Kesme hızı-ortalama talaş kalınlığı ilişkileri

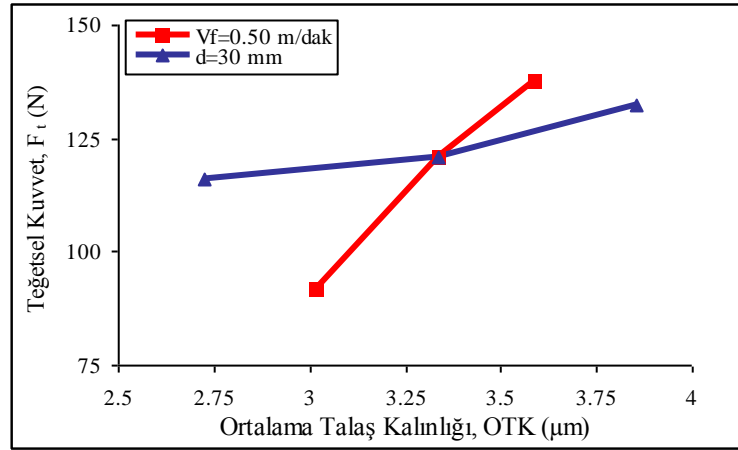
Hausberger [23] tarafından granitler üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda, elmas soketli dairesel testerenin kesim esnasında oluşturduğu talaş tane boyutunun granitleri oluşturan minerallerin tane boyutundan bağımsız olup, çalışma parametrelerinin bir fonksiyonu olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma parametreleri ve soket özelliklerinin ortalama talaş kalınlığı üzerindeki etkilerini birlikte değerlendirme olanağı sağlamasından ötürü, Bağlantı 6.5 kesilebilirlik analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [27, 62, 63]. Bu çalışmada, kullanılan dairesel testerenin özelliklerine bağlı olarak $D=400$ mm, $C=0.91$ mm⁻², $\lambda=0.75$, $r=10$ [27,63] ve testere çevresel hızı $V_c=30$ m/s değeri sabit alınarak, ortalama talaş kalınlığı G3 kayacı için farklı ilerleme hızı ve kesme derinliği seviyelerinde hesaplanmıştır.

Şekil 6.25'te görüldüğü gibi, kesme hızının artırılmasıyla birlikte ortalama talaş kalınlığı da artmaktadır. Bununla birlikte, görece yüksek kesme hızlarına ulaşılmak istenildiğinde ($Q_w = 150-200$ cm²/dak); kesme derinliğini sabit tutup ilerleme hızını arttırmak şeklindeki bir uygulamanın talaş kalınlığını görece daha fazla arttırdığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle, çevresel hızın sabit tutulduğu bir uygulamada, ortalama talaş kalınlığı üzerinde etkili olan en önemli çalışma parametresi ilerleme hızı olmaktadır.

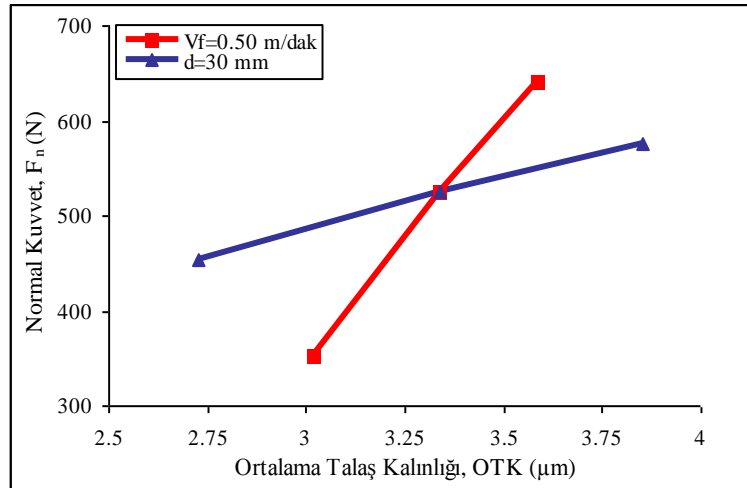


Şekil 6.25. Kesme hızı – ortalama talaş kalınlığı ilişkisi.

Sabit bir kesme derinliği için, görece yüksek ilerleme hızları kesme hızının ve ortalama talaş kalınlığının artmasına yol açmakla birlikte, elmas taneleri üzerine etkiyen yüklerin de görece azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, Şekil 6.26 ve 6.27’de ortalama talaş kalınlığı – kesme kuvvetleri ilişkilerinden izlenebilmektedir.



Şekil 6.26. Ortalama talaş kalınlığı – teğetsel kuvvet ilişkisi.

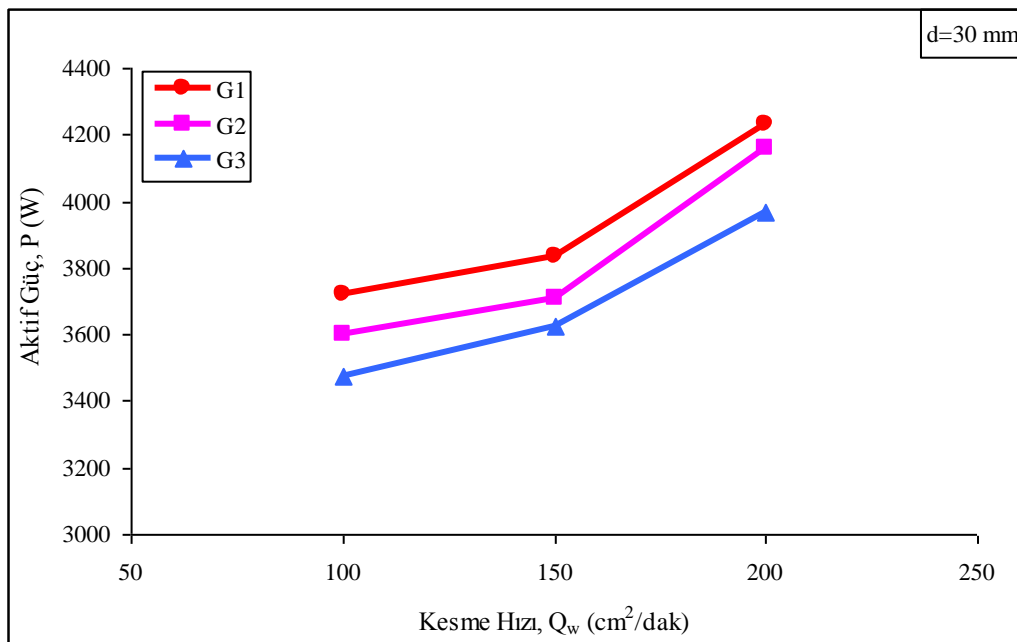


Şekil 6.27. Ortalama talaş kalınlığı – normal kuvvet ilişkisi

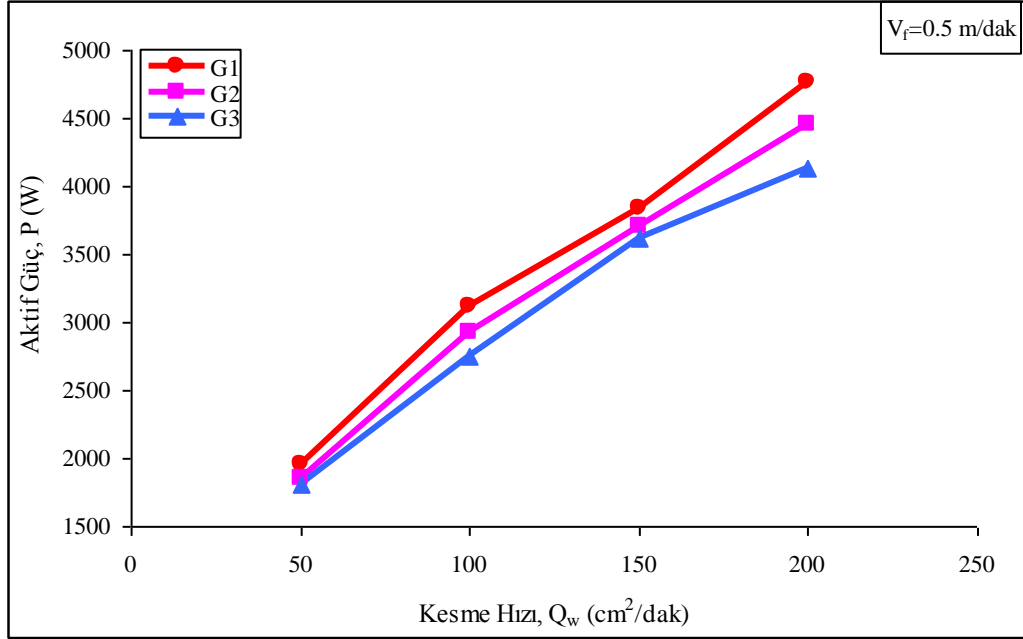
6.3.1.3. Kesme hızı – aktif güç ilişkileri

Kesme hızı – aktif güç arasındaki ilişkiler Şekil 6.28 ve 6.29’da grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekillerden izlenebileceği gibi, kesim esnasındaki aktif güç tüketimi kesme hızıyla orantılı olarak artmaktadır. Kesme hızı arttırıldığında, soket-taş arasındaki kesme zonunda oluşan talaş miktarı da artmakta ve etkin bir şekilde uzaklaştırılması zorlaştığından, soketlerdeki aşınmalar ve enerji tüketimi de artmaktadır. Xu ve Malkin [46] tarafından yapılan bir araştırmada, dairesel testerelede kesme enerjisi tüketiminin yaklaşık %30’unun talaş bulamacı-soket matriksi arasındaki tribolojik etkileşimden kaynaklandığı belirlenmiştir.

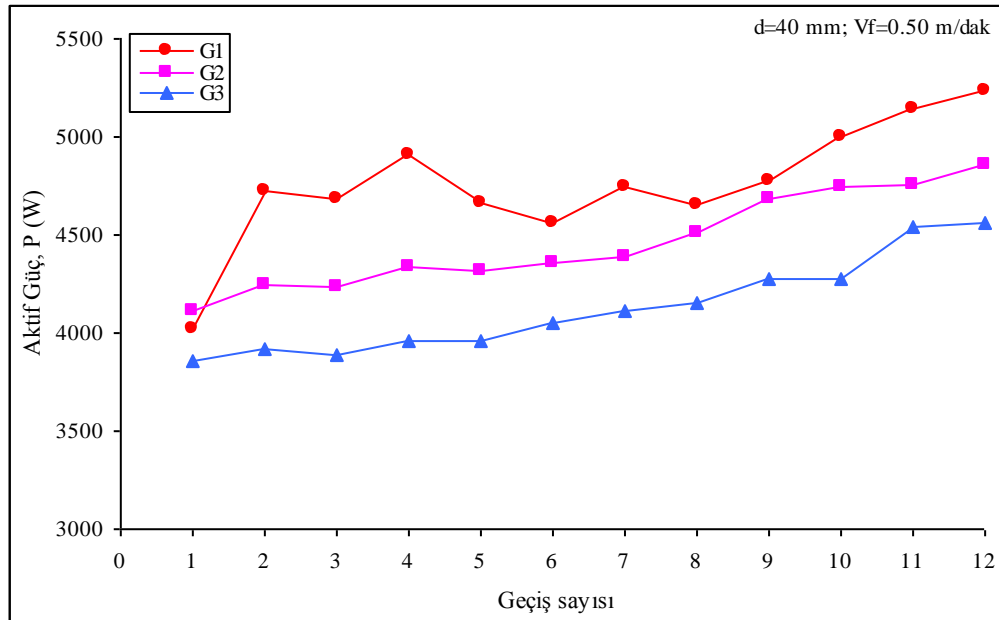
Yukarıda değinilen benzer nedenlerden ötürü, kesim devam ettikçe (testerenin kayaç bloğu üzerindeki geçiş sayısı arttıkça) aktif güç tüketimi de orantılı olarak artmaktadır (Şekil 6.30). Kesme hızı-kesme kuvvetleri ilişkilerinde gözlenen eğilime paralel olarak, iri taneli granit örneğinin (G1) kesiminde tüketilen aktif güç değerleri, orta (G2) ve ince-orta taneli (G3) olarak tanımlanan granitlerden görece daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.30).



6.28. Kesme hızı-aktif güç ilişkileri (d=30 mm sabit).

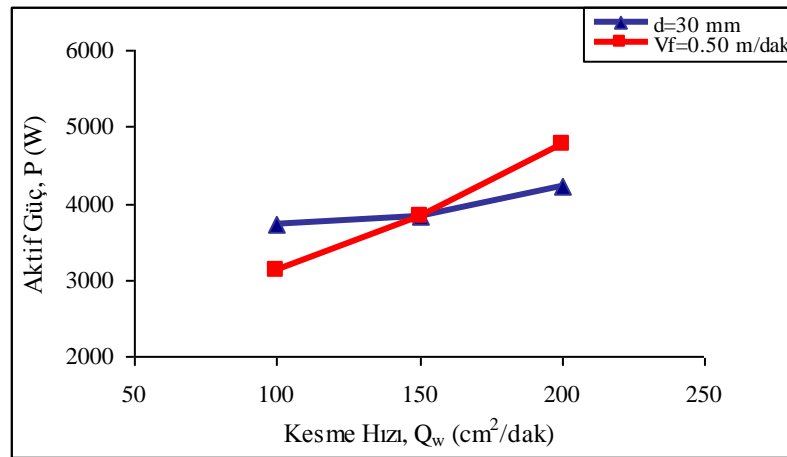


6.29. Kesme hızı-aktif güç ilişkileri ($V_f = 0.50 \text{ m/dak}$ sabit).

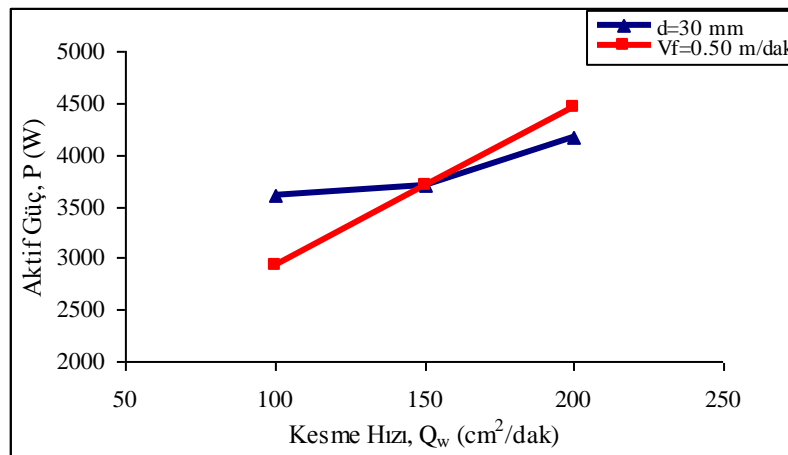


Şekil 6.30. Geçiş sayısı – aktif güç tüketimi ilişkileri.

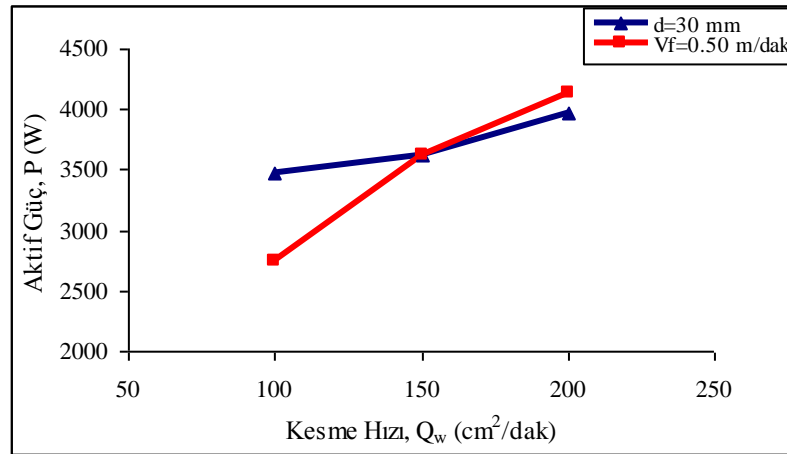
Zaman - işçilik açısından getirdiği avantajlardan ötürü, kesilecek taşın özelliklerine ve makina gücüne bağlı olarak, kesme hızının uygulamada mümkün olduğu kadar yüksek tutulması istenir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin fonksiyonu olduğundan bu iki parametreye ait değerlerin uygun bir birleşimi gerekir. Şekil 6.31 - 6.33'de grafiksel olarak verilen kesme deneyi sonuçları incelendiğinde; hedeflenen belirli bir kesme hızı için, kesme derinliğinin azaltılıp ilerleme hızının artırılması şeklindeki uygulamanın güç tüketimini azaltıcı bir etki yaptığı görülmektedir.



Şekil 6.31. G1 kayacına ait kesme hızı-aktif güç ilişkisi.



Şekil 6.32. G2 kayacına ait kesme hızı-aktif güç ilişkisi.



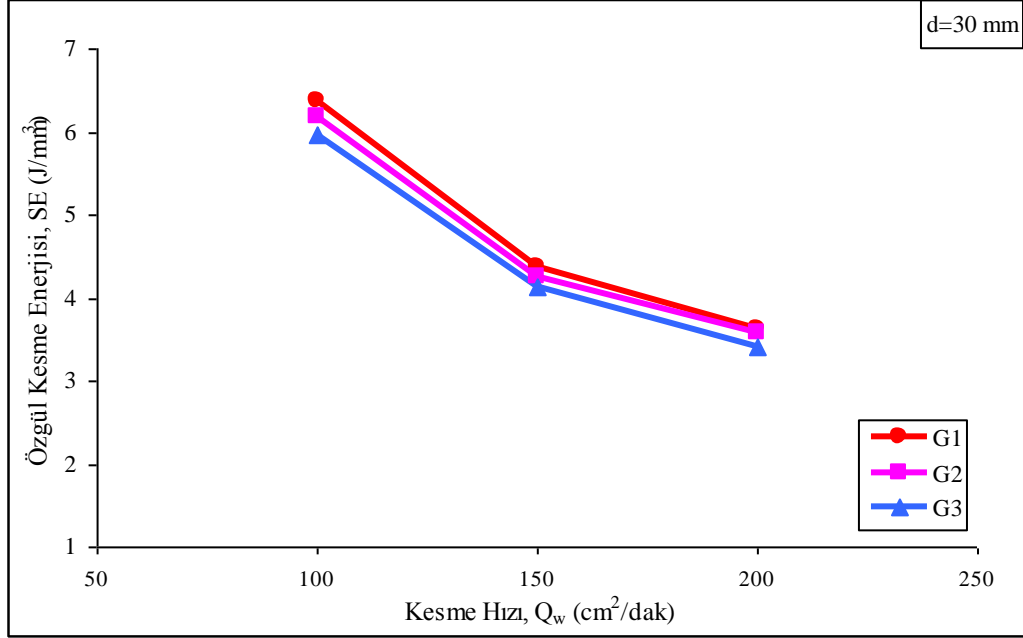
Şekil 6.33. G3 kayacına ait kesme hızı-aktif güç ilişkisi

6.3.1.4. Kesme hızı – özgül kesme enerjisi ilişkileri

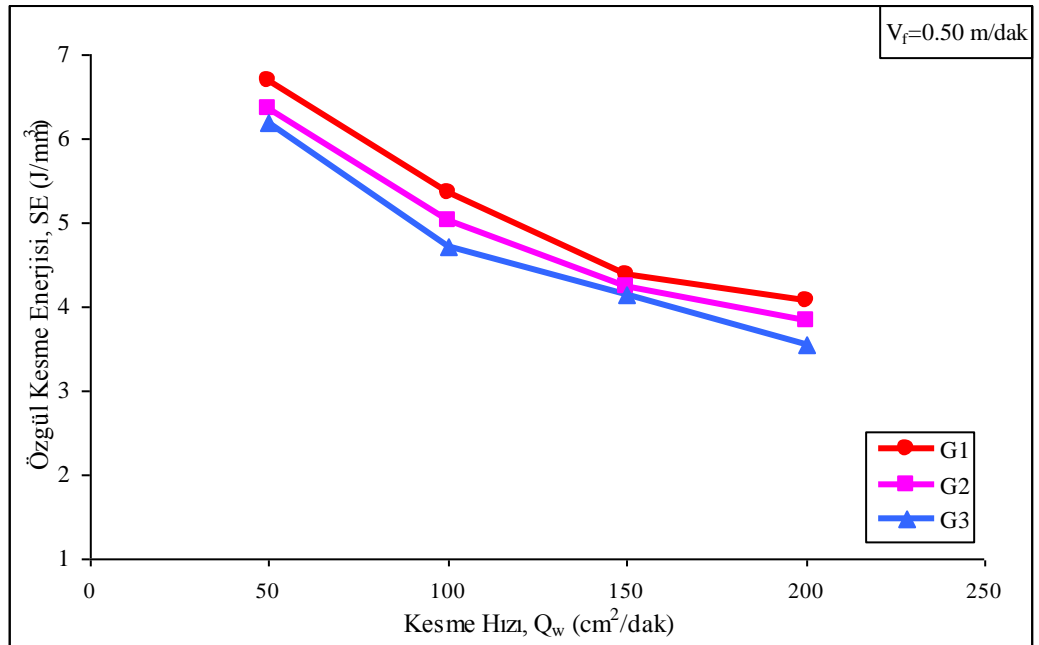
Bölüm 6.2.4’te değinildiği gibi, özgül kesme enerjisi (SE) kesme işleminin verimi konusunda bilgi veren önemli bir göstergedir. Bu çalışmada elde edilen kesme hızı-özgül kesme enerjisi ilişkileri Şekil 6.34 ve 6.35’te grafiksel olarak verilmiştir. Anılan grafiklerden görüldüğü gibi, parametrelerden biri sabit olmak üzere, ilerleme hızını V_f veya kesme derinliğini d arttırmak özgül kesme enerjisinin azalmasına neden olmaktadır. Azalan SE değerleri ise kesme işleminin giderek daha verimli koşullarda gerçekleştirildiğine işaret etmektedir. Bu nedenle, kesme verimi açısından bakıldığında, uygulamada kesme hızının mümkün olduğu kadar yüksek tutulması avantaj sağlayacaktır. Ancak, Bölüm 6.3.1.5’ te gösterildiği gibi, yüksek kesme hızları ile çalışıldığında soketlerdeki özgül aşınma değerleri görece daha fazla olmaktadır. Bu nedenle, özgül kesme enerjisi ve özgül aşınma açısından en iyi birleşimi verebilecek kesme koşullarının belirlenmesi uygulamada büyük önem taşımaktadır.

Şekil 6.35’ten görüldüğü gibi, ilerleme hızı V_f nin sabit tutulduğu bir uygulamada, kesme derinliğinin yüksek tutulması kesme verimini iyileştirmektedir. Ancak, grafikten de izlenebileceği gibi, bu iyileşme belirli bir kesme derinliğine kadar (yaklaşık $d = 30$ mm) daha belirgin olup, bu değerden sonra çok fazla değişmemektedir. Doğal taş sektöründe granit gibi sert taşların kesiminde uygulanmakta olan kesme derinliği üst

sınırının halen 25-30 mm civarında olduğu göz önünde tutulursa [48,71], bu tür bir bulgunun uygulama ile uyum içinde olduğu söylenebilir.

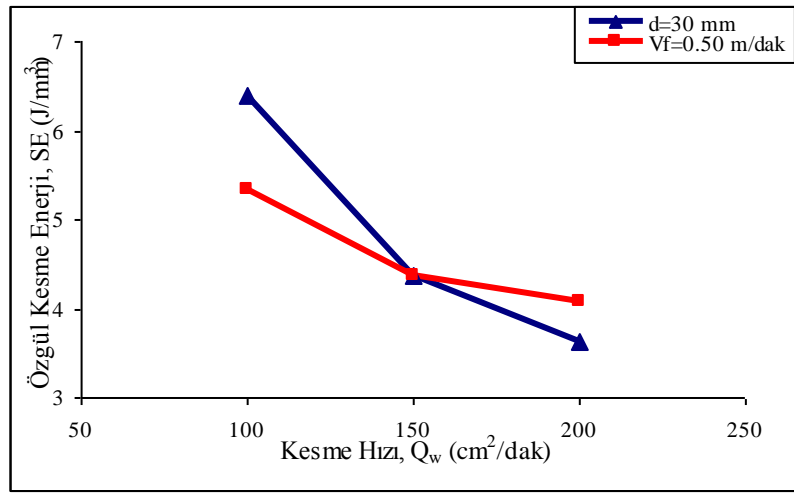


6.34. Kesme hızı-ölgül kesme enerjisi ilişkileri ($d=30$ mm sabit).

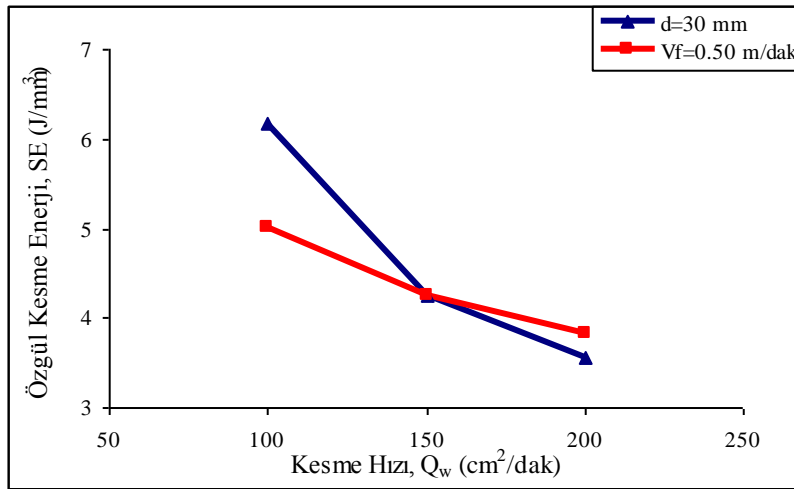


6.35. Kesme hızı-ölgül kesme enerjisi ilişkileri ($V_f = 0.50$ m/dak sabit).

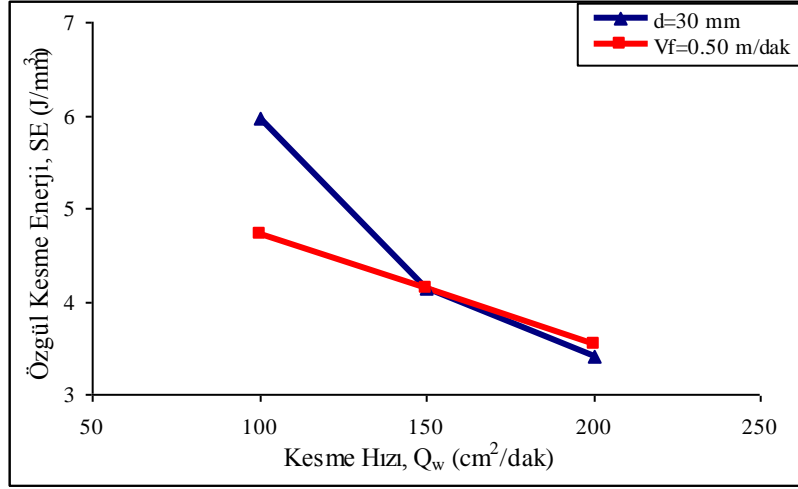
Şekil 6.36 -6.38'den de izlenebileceği gibi, ilerleme hızı veya kesme derinliğinin yükseltilmesi özgül kesme enerjisini azaltıcı bir etki yapmakla birlikte; özellikle $Q_w = 100 - 150 \text{ cm}^2/\text{dak}$ aralığındaki kesme hızlarında, kesme derinliğini azaltıp ilerleme hızını arttırmak şeklindeki bir uygulamanın kesme verimi üzerinde daha avantajlı olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, $Q_w > 150 \text{ cm}^2/\text{dak}$ 'nın üzerindeki kesme hızlarında bu avantaj giderek azalmaktadır.



Şekil 6.36. G1 kayacı ait kesme hızı-özgül kesme enerjisi ilişkisi.

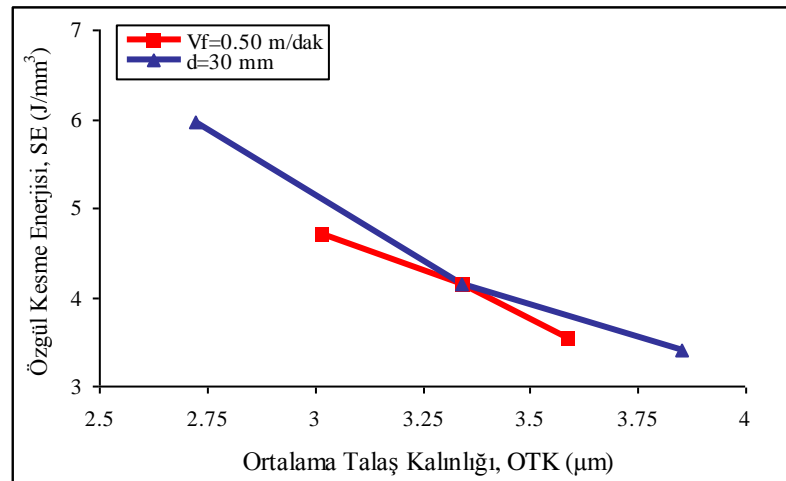


Şekil 6.37 G2 kayacı ait kesme hızı-özgül kesme enerjisi ilişkisi.



Şekil 6.38. G3 kayacı ait kesme hızı-ölgül kesme enerjisi ilişkisi.

Şekil 6.39, görece kalın talaşların oluştuğu kesme koşullarında ölgül kesme enerjisinin azalacağına işaret etmektedir. Diğer bir anlatımla, ince talaşların oluşturulmasında harcanan enerji daha fazla olmaktadır. Bu nedenle, talaş kalınlığını en yüksek düzeyde tutabilecek soket tasarımı ve kesme koşullarının oluşturulması, kesme veriminin iyileştirilmesi bakımından uygulamada büyük önem taşımaktadır.

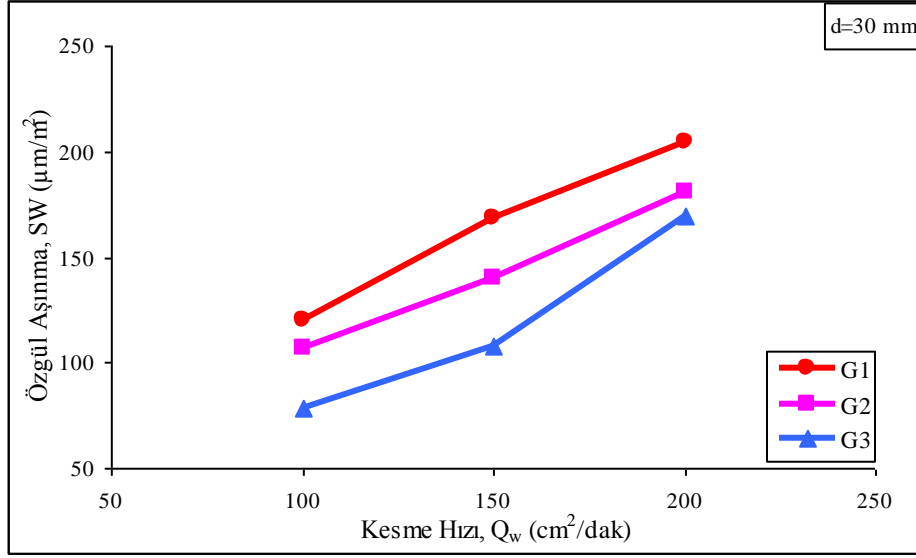


Şekil 6.39. G3 kayacına ait ortalama talaş kalınlığı – ölgül kesme enerjisi ilişkisi.

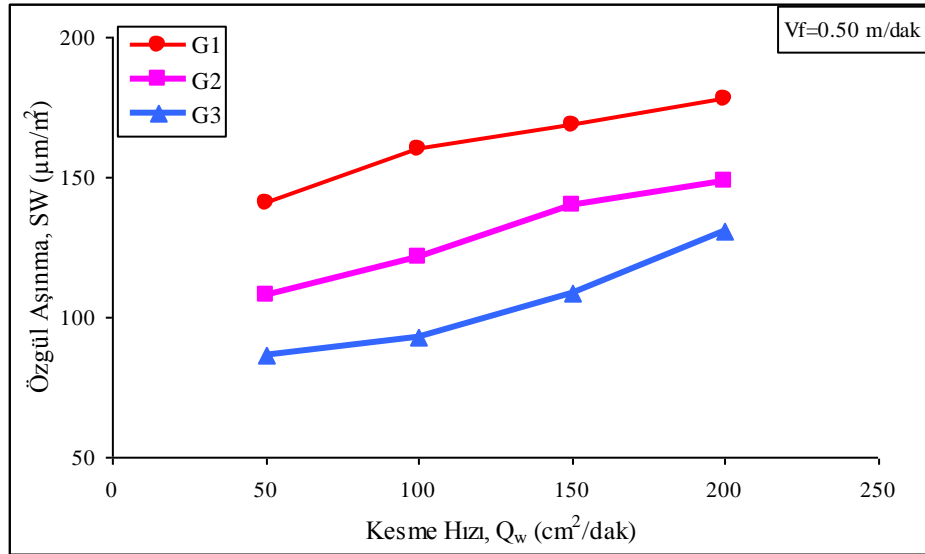
6.3.1.5. Kesme hızı – özgül aşınma ilişkileri

Dairesel testelerde yapılan kayaç kesme işlemlerinde, kesme zonundaki elmas-kayaç tribolojik etkileşimleri elmas tanelerinin aşınmasına; matriks-talaş bulamacı arasındaki tribolojik etkileşimler ise matriksin aşınmasına neden olmaktadır. Soketlerde izlenen aşınmalar bu iki tribolojik etkileşimin sonucu olmaktadır [34].

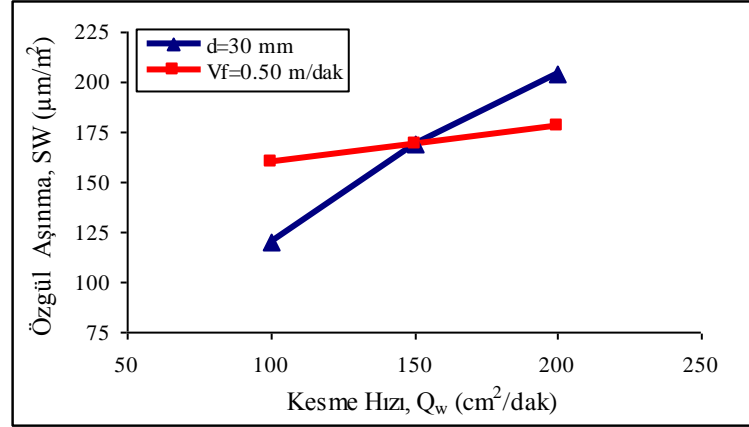
Bu çalışmadan elde edilen deneysel veriler, testere özgül aşınma değerlerinin kesme hızıyla orantılı olarak arttığını göstermektedir (Şekil 6.40 ve 6.41). Bununla birlikte, kesme derinliğine oranla, ilerleme hızının özgül aşınma üzerinde daha etkin bir rol oynadığı anlaşılmaktadır. Şekil 6.42 – 6.44’de görüldüğü gibi, sabit bir kesme hızı için kesme derinliğini yükseltip ilerleme hızını azaltmak şeklindeki uygulamalar, özgül aşınma değerleri üzerinde daha olumlu bir rol oynamaktadır. Bu durum, Bağıntı 6.5’de verilen ortalama talaş kalınlığı–çalışma parametreleri ilişkileri yardımıyla açıklanabilir. Anılan bağıntıya göre, testere çevresel hızı ve soket özellikleri sabit kaldığında; ortalama talaş kalınlığı ilerleme hızının ve kesme derinliğinin bir fonksiyonu olmaktadır. Ancak, talaş kalınlığı üzerinde daha fazla etkili olan parametre ilerleme hızı olmaktadır. İlerleme hızının artmasıyla birlikte, kesme zonunda oluşan talaşların kalınlıkları da artacaktır. İri talaşlar ise soket aşınmasını hızlandırmaktadır (Şekil 6.45). Benzer bulgulara diğer kaynaklarda da değinilmektedir [15,16].



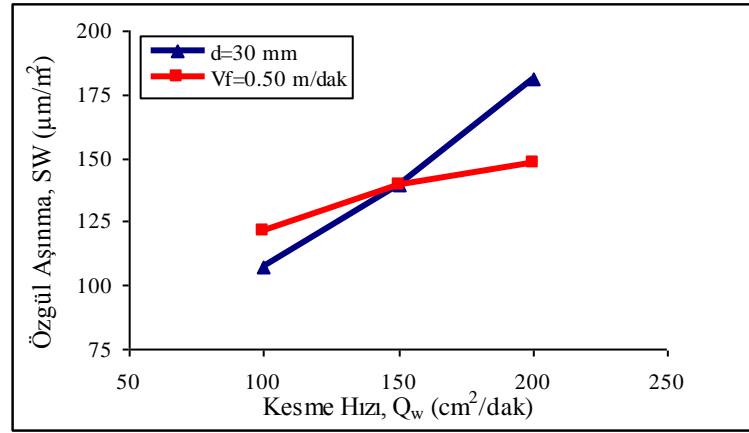
6.40. Kesme hızı-ölgül aşınma ilişkileri ($d=30$ mm sabit).



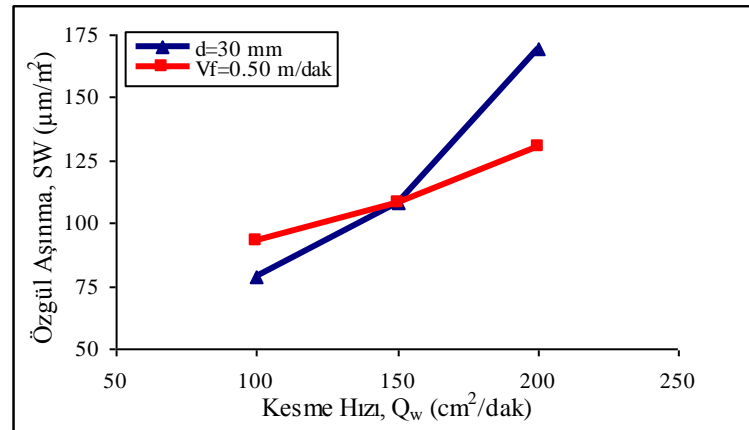
6.41. Kesme hızı-ölgül aşınma ilişkileri ($V_f = 0.50$ m/dak sabit).



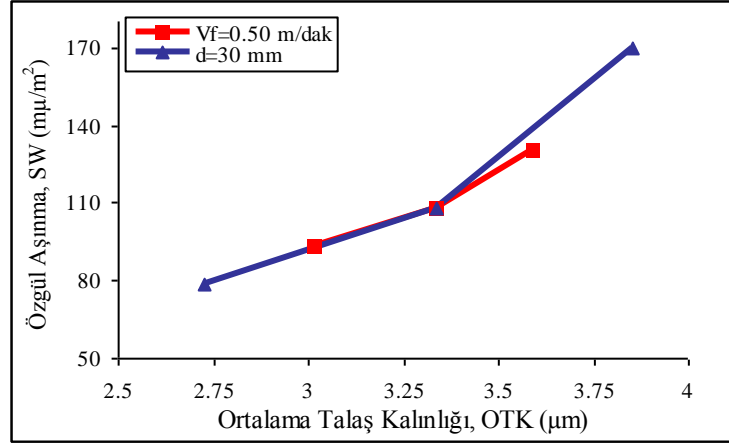
Şekil 6.42. G1 kayacına ait kesme hızı-ölgül aşınma ilişkileri.



Şekil 6.43. G2 kayacına ait kesme hızı-ölgül aşınma ilişkileri.



Şekil 6.44. G3 kayacına ait kesme hızı-ölgül aşınma ilişkileri.

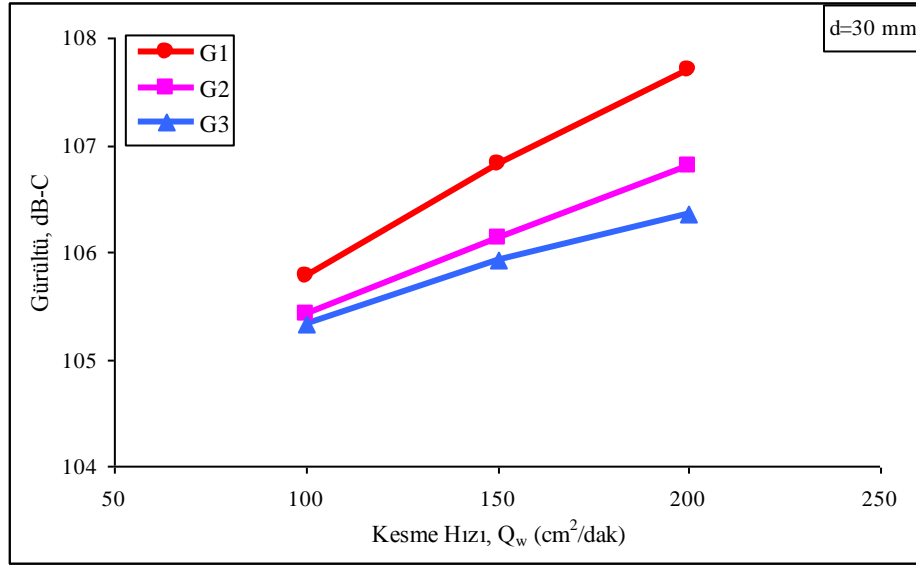


Şekil 6.45. G3 kayacı için ortalama talaş kalınlığı-ölgül aşınma ilişkisi.

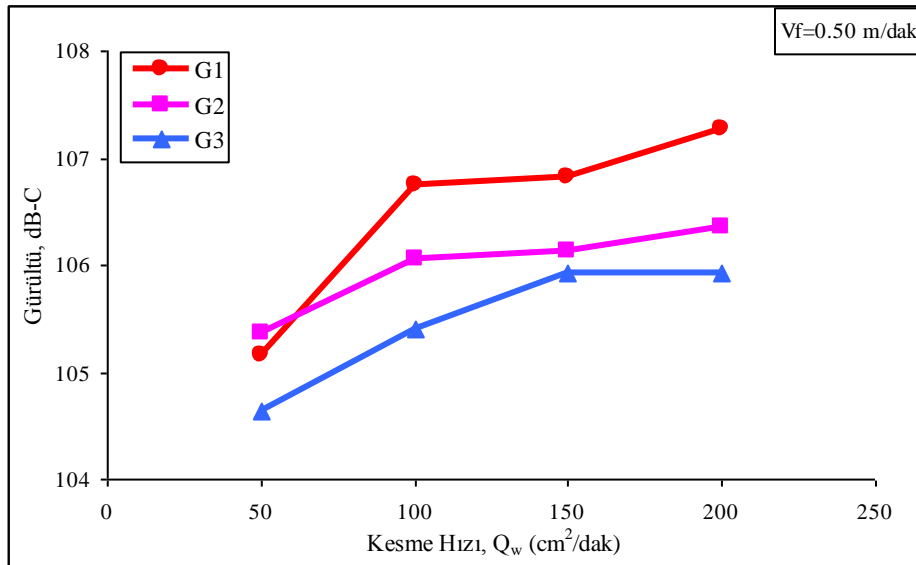
Kesilen granitlerin mineralojik-petrografik özellikleri (Çizelge 4.1 - 4.3) ile karşılaştırıldığında; tane boyutu ve kuvars yüzdesi arttıkça ölgül aşınmanın da arttığı anlaşılmaktadır. Buna göre, aşındırıcılığı en fazla olan granit örneği “G1” olmaktadır (Şekil 6.40 ve 6.41). Genel olarak, örneklerin fiziko-mekanik özellikleri (Çizelge 4.13) ile ölgül aşınma değerleri arasında anlamlı ilişkiler bulunamamıştır. Bu ise, kayaçların mineralojik özelliklerinin, fiziko-mekanik özelliklerine oranla soket aşınması üzerinde daha etkin bir rol oynayabileceğine işaret etmektedir. Aşınma konusu, Bölüm 7’de daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

6.3.1.6. Kesme hızı – gürültü (ses) ilişkileri

Şekil 6.46 ve 6.47’den görüldüğü gibi, kesme hızı arttırıldığında gürültü seviyesi de artmaktadır. Bununla birlikte, derinliğin sabit tutulup ilerleme hızının arttırıldığı uygulamalarda (Şekil 6.46) gürültü seviyesindeki artış hızı; ilerleme hızının sabit tutulup derinliğin arttırıldığı uygulamalara göre (Şekil 6.47) daha fazladır. Diğer bir anlatımla, ilerleme hızı gürültü seviyesi üzerinde daha fazla etkiye sahiptir.



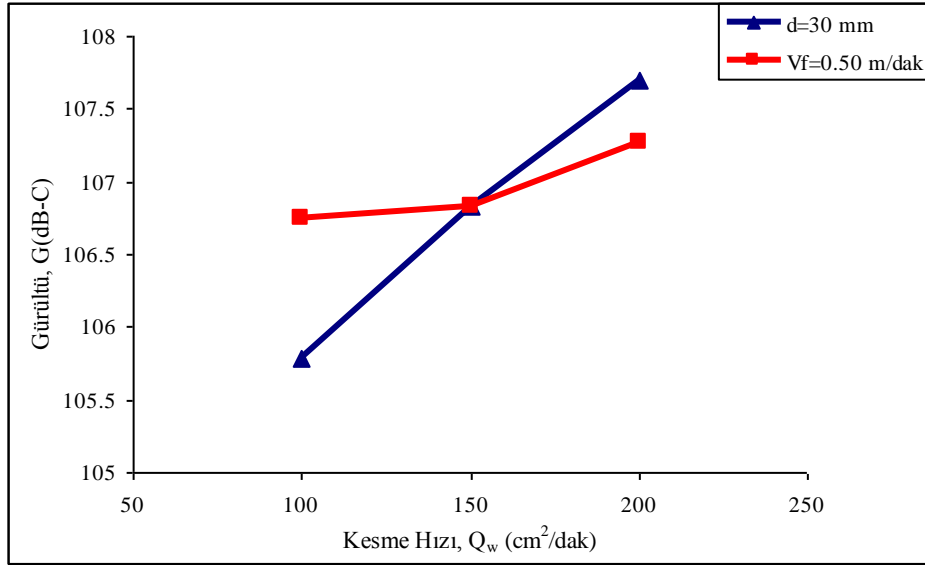
6.46. Kesme hızı-gürültü ilişkileri ($d=30$ mm sabit).



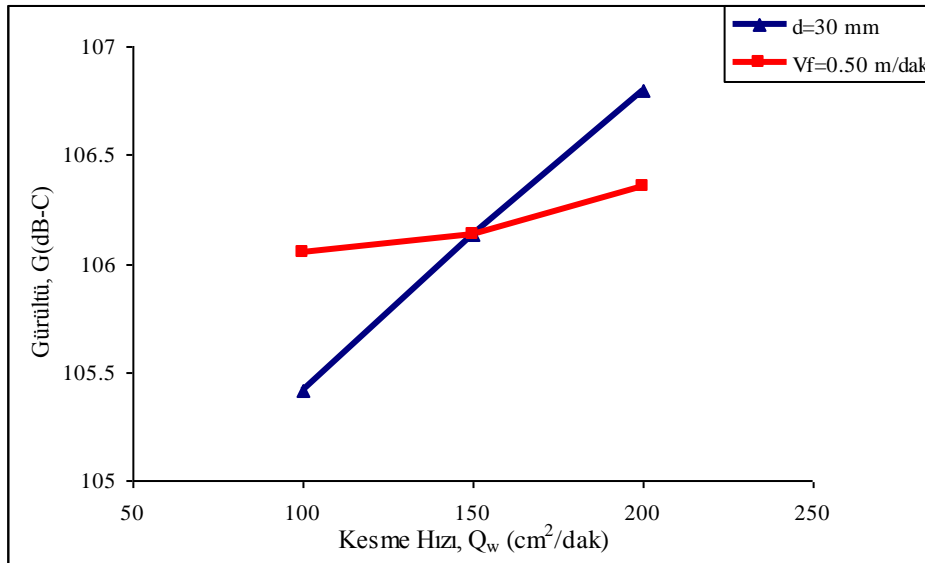
6.47. Kesme hızı-gürültü ilişkileri ($V_f = 0.50$ m/dak sabit).

Granitlerin derin kesme koşullarını inceleyen Asche [48], sabit bir kesme hızı için kesme derinliği arttıkça gürültü seviyesinin azaldığını gözlemlemiştir. Bu deneylerde, kesme derinliğinin 40 mm'den 100 mm'ye artırılması sonucunda 5 dB (A) civarında gürültü azalması kaydedilmiştir. Bunun nedeni olarak, kesme derinliği arttıkça testerenin blok dışında kalan serbest yüzeyinin azalarak, daha az titreşim gürültüsü

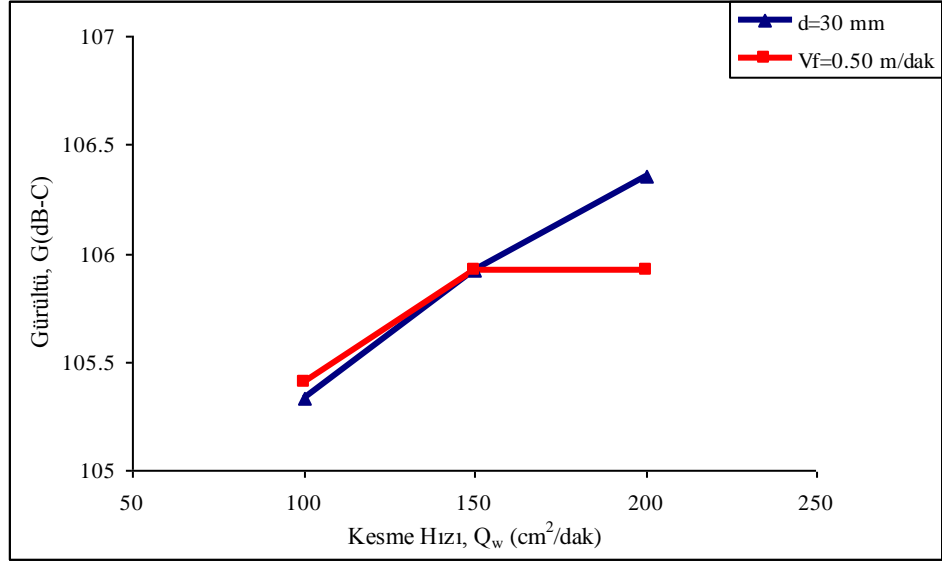
oluşturduğu ifade edilmiştir. Elde edilen diğer bir bulgu ise, derinlik sabit tutulup kesme hızı arttırıldığında gürültünün de artmasıdır. Deneysel koşullar farklı olmakla birlikte, bu çalışmada elde edilen sonuçlar, yukarıda anılan çalışmanın sonuçları ile eğilim olarak paralellik göstermektedir (Şekil 6.48-6.50).



Şekil 6.48. G1 kayacına ait kesme hızı-gürültü ilişkisi.



Şekil 6.49. G2 kayacına ait kesme hızı-gürültü ilişkisi.



Şekil 6.50 G3 kayacına ait kesme hızı-gürültü ilişkisi.

BÖLÜM 7

KESİLEBİLİRLİK ANALİZLERİ

Bu bölümde, mineralojik-petrografik ve fiziko-mekanik özellikleri Bölüm 4’ de ayrıntılı olarak verilen 12 adet magmatik kayacı kapsayan kesilebilirlik analizleri yapılmıştır. Kesilebilirlik analizleri için seçilen kayaçların, farklı tane boyutu ve mineral bileşiminde olmalarına özen gösterilmiştir. Bu kayaçlar:

- Granit (G 1)
- Monzonit (G 2)
- Monzonit (G 3)
- Granodiyorit (G 4)
- Porfiroidal Granit (G 5)
- Kalko-alkalen Granit (G 6)
- Monzo-Granit (G 7)
- Monzo-Granit (G 8)
- Granodiyorit (G 9)
- Labradorit (G 10)
- Dolerit (G 11)
- Gabro (G 12)

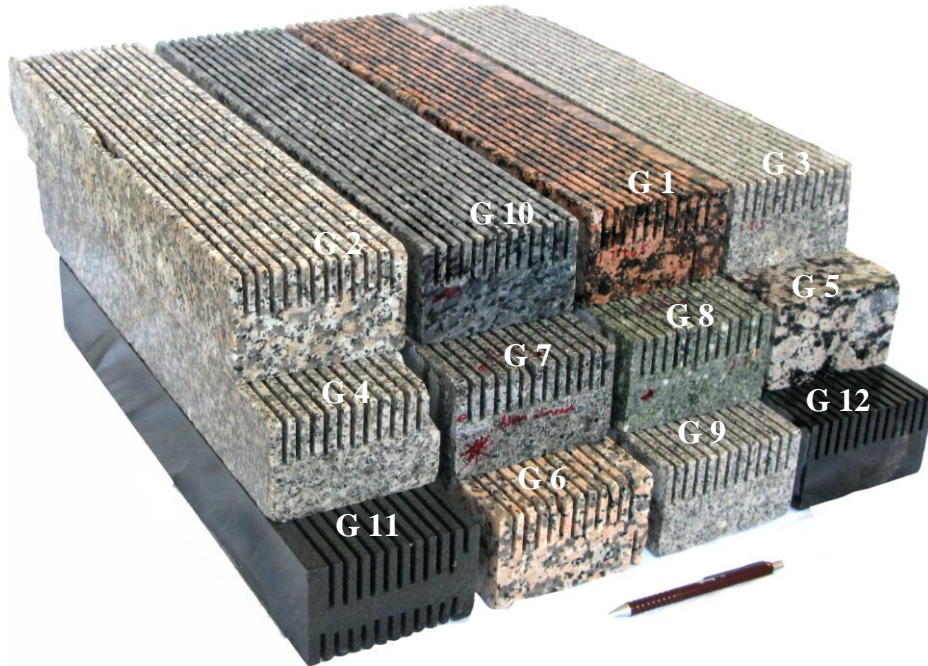
olup, bunlardan *G10*, *G11* ve *G12* kayaçları kuvars içermeyen fakat doğal taş sektöründe ticari anlamda “granit” olarak adlandırılan sert taşlardır.

Önceki çalışmalarda, çeşitli türlerdeki granitlerin kesilebilirlik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi hedeflendiğinde, çalışma parametrelerinin tüm kayaçlar için aynı tutulduğu deneysel koşulların oluşturulduğu görülmektedir. Ancak, doğal taşlar için yaygın olarak kabul gören herhangi bir ‘standart kesme deneyi’ koşulu bulunmadığından, araştırmacıların benimsedikleri çalışma parametreleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Çizelge 7.1’ de verilmiştir. Bu tür çalışmalarda kullanılan testere soketlerindeki farklı elmas-matriks özellikleri de dikkate alındığında, araştırmacılar tarafından çeşitli kayaçlar için belirlenen kesilebilirlik karakteristiklerinin sadece uygulanan deney koşulları için geçerli olacağı anlaşılmaktadır.

Çizelge 7.1. Kesilebilirlik analizlerinde uygulanan bazı kesme koşulları.

| Araştırmacı | Testere çapı (mm) | İlerleme hızı (m/dak) | Kesme derinliği (mm) | Kesme hızı (cm ² /dak) | Çevresel hız (m/s) |
|-------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Luo [16] | 358 | 3.0 | 20 | 600 | 33 |
| Hausberger [23] | 600 | 1.5 | 10 | 150 | 35 |
| Ünver [24] | 600 | 3.0 | 10 | 300 | 35 |
| Wright[45] | 700 | 2.5 | 10 | 250 | 35 |
| World stonex [72] | 600 | 2.5 | 8 | 200 | 40 |

Bu çalışmada, Bölüm 6'da üç farklı granit örneği üzerinde yapılan varyasyon deneyleri bulgularından yararlanılarak; kesilebilirlik analizlerindeki çalışma parametrelerinin tüm örnekler için, kesme hızı $Q_w = 150 \text{ cm}^2/\text{dak}$ (ilerleme hızı $V_f = 0.50 \text{ m/dak}$; kesme derinliği $d = 30 \text{ mm}$) olacak şekilde tutulmasının uygun olacağına karar verilmiştir. Testere çevresel hızı ve besleme suyu debisi değerleri Bölüm 6'da verildiği gibi, sırasıyla 30 m/s ve 15 lit/dak olarak seçilmiştir. Granit türü sert taşların kesilebilirlik özelliklerinin yansıtılabilmesi için, deney örnekleri üzerinde yeterli miktarda kayaç yüzeyinin kesilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, literatürdeki benzer uygulamalara paralel olarak [16] her seri deneyde 0.1800 m^2 kayaç yüzeyi kesilmiştir (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. Kesilebilirlik analizlerinde kullanılan kayaç blokları.

Yukarıda belirtilen şartlar altında gerçekleştirilen kesme deneylerine ait sonuçlar Çizelge 7.2' de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Kesme deneylerine ait deney sonuçları.

| Kayaç no | F_T (N) | F_N (N) | F_T/F_N | P (W) | SE (J/mm^3) | SW ($\mu m/m^2$) | GS (dB-C) |
|----------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------------|--------------------|-----------|
| G 1 | 127.77 | 550.32 | 0.232186 | 3833.27 | 4.380 | 168.91 | 106.8280 |
| G 2 | 123.70 | 535.16 | 0.231150 | 3711.07 | 4.241 | 139.84 | 106.1323 |
| G 3 | 120.83 | 524.21 | 0.231140 | 3624.89 | 4.143 | 108.24 | 108.0405 |
| G 4 | 122.13 | 522.10 | 0.233924 | 3663.99 | 4.187 | 118.36 | 106.4879 |
| G 5 | 123.85 | 528.51 | 0.234349 | 3715.64 | 4.246 | 145.61 | 109.0218 |
| G 6 | 119.89 | 523.00 | 0.229229 | 3596.66 | 4.110 | 125.70 | 106.6144 |
| G 7 | 118.82 | 513.93 | 0.231202 | 3564.66 | 4.074 | 108.40 | 107.7837 |
| G 8 | 120.11 | 534.48 | 0.224719 | 3603.23 | 4.118 | 102.41 | 108.6869 |
| G 9 | 120.10 | 524.75 | 0.222887 | 3603.12 | 4.129 | 129.99 | 107.5326 |
| G 10 | 132.52 | 557.65 | 0.237649 | 3975.75 | 4.540 | 206.53 | 107.5712 |
| G 11 | 122.56 | 490.03 | 0.250116 | 3676.93 | 4.202 | 231.15 | 107.2032 |
| G 12 | 123.22 | 462.24 | 0.266564 | 3696.55 | 4.224 | 234.73 | 107.8882 |

7.1. Kayaçların Kesilebilirlik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Yukarıda açıklanan çalışma koşulları altında elde edilen kesilebilirlik parametrelerine ait veriler (*kesme kuvvetleri, aktif güç tüketimi, özgül kesme enerjisi, özgül aşınma ve gürültü seviyesi*) Bölüm 6'da izlenen yöntemlerle bilgisayar ortamına aktarılarak, kayaçların mineralojik-petrografik ve fiziko-mekanik özellikleriyle olan ilişkileri irdelenmiştir.

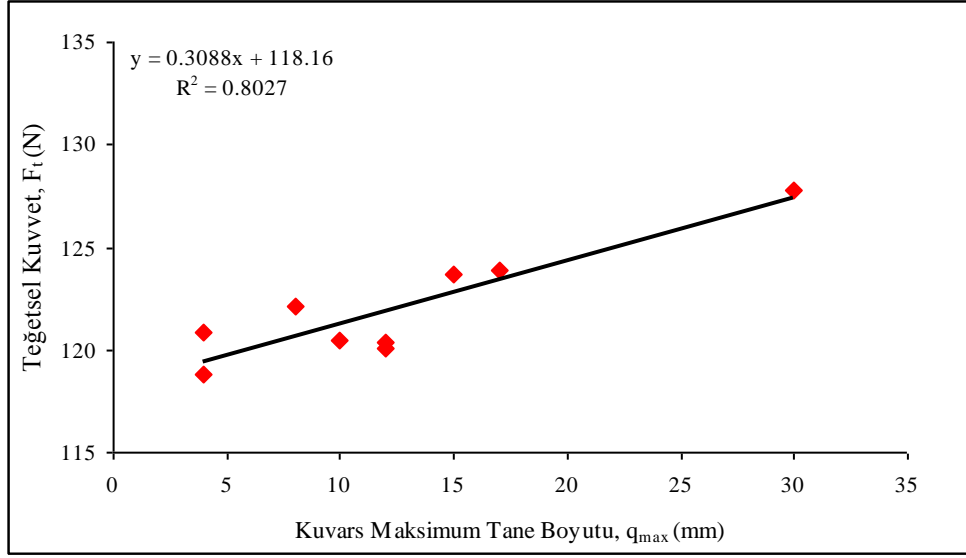
7.1.1. Mineralojik-petrografik özelliklerin kesilebilirlik parametreleri üzerindeki etkileri

Mineralojik-petrografik özelliklerin kesilebilirlik parametreleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla; *kuvars miktarı, ortalama ve maksimum kuvars tane boyutu, alkali feldspat miktarı, alkali feldspat ortalama ve maksimum tane boyutu, plajiyoklas miktarı, plajiyoklas ortalama ve maksimum tane boyutu* gibi, granitlerde kayaç yapıcı başlıca minerallerin dokusal ve mineralojik bileşim özellikleri dikkate alınmıştır. Kesilebilirlik analizlerinin yorumları, sadece istatistiksel olarak anlamlı bulunan ilişkiler için yapılmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı bulunmayan diğer ilişkiler

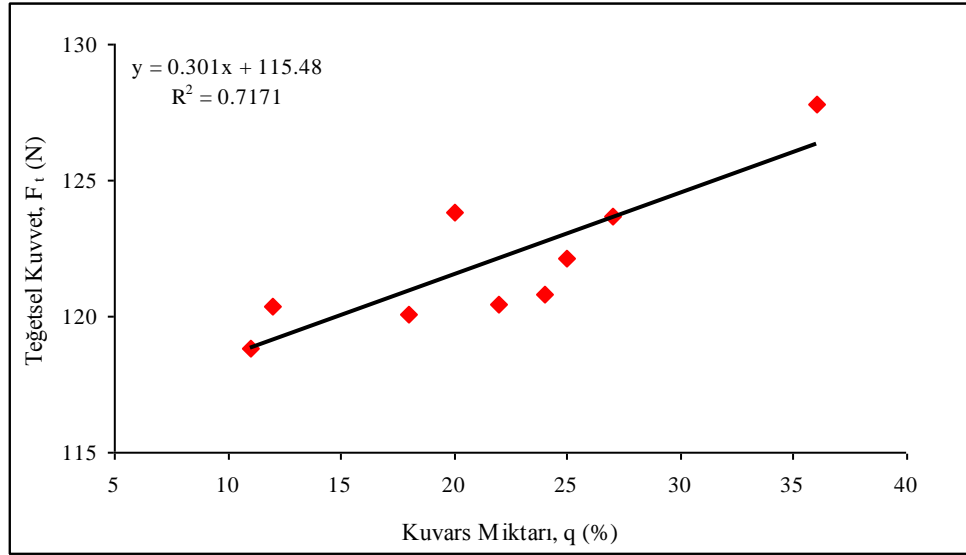
Ek-1; Şekil 1-42’de verilmiştir. Farklı mineralojik-petrografik özellikler göstermeleri bakımından, kuvars içeren (*G1-G9*) ve içermeyen (*G10-G12*) taşların kesilebilirlik analizlerinin ayrı başlıklar halinde gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür.

7.1.1.1. Kuvars içeren taşlar için yapılan kesilebilirlik analizleri

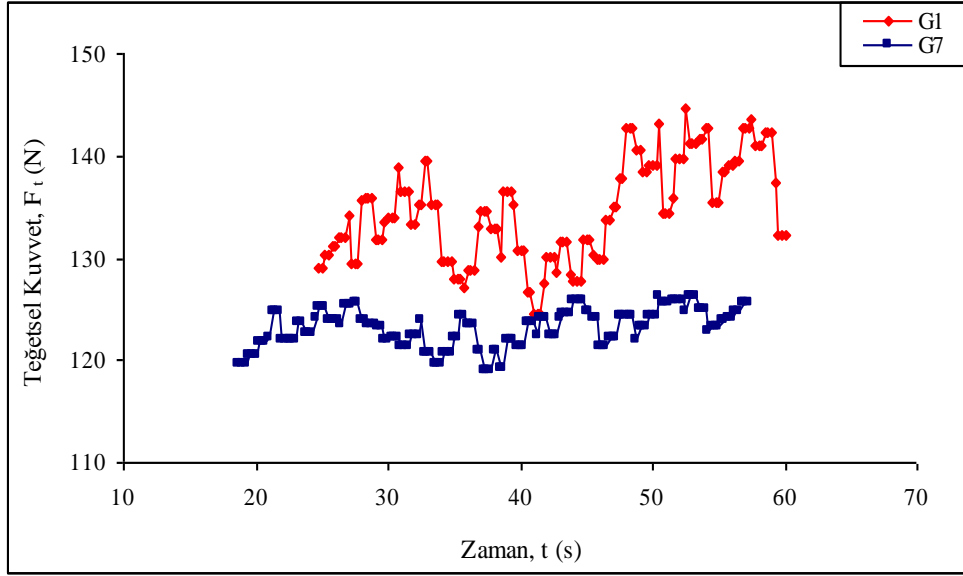
Şekil 7.2 ve Şekil 7.3’te görüldüğü gibi, testere üzerine etkileyen teğetsel kuvvetler kuvars miktarı ve maksimum kuvars tane boyutu ile orantılı olarak artmaktadır. Kuvars miktarı ve tane boyutunun teğetsel kuvvetler üzerindeki etkileri, iri taneli ve yüksek kuvars içerikli *G1* kayacı ile ince-orta taneli ve kuvars içeriği düşük olan *G7* kayacı için Şekil 7.4’te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 7.4’te görüldüğü gibi, kesim esnasında *G1* kayacı üzerine etkileyen anlık teğetsel kuvvetler daha yüksek olup, kuvvetlerdeki dalgalanmalar da *G7* kayacına oranla daha keskindir. Bu tür bulgular, kuvars miktarı yüksek ve görece iri kuvars taneleri içeren granitler için uygun soket tasarımı konusunda yol gösterici olmaktadır. Bilindiği gibi, teğetsel kuvvetler talaş (chip) oluşumu esnasında elmas taneleri üzerine etkileyen yüklerle ilgilidir. Şekil 7.2 ve 7.3’te verilen grafiklerdeki ilişkiler, granitlerde kuvars miktarı ve tane boyutu arttıkça elmas tanelerinin daha yüksek teğetsel kuvvetlerin etkisi altında kalacağına işaret etmektedir. Bu nedenle, bu tür dokusal ve mineralojik içeriğe sahip kayalarda, elmas tanelerinin aşırı bir şekilde yüklenerek kırılmalarını veya matriksten kopmalarını engelleyebilmek amacıyla; elmasların küçük tane boyutunda fakat daha yüksek konsantrasyonda, matriks malzemesinin ise görece yumuşak yapıda seçilmesinin avantajlı olacağı söylenebilir.



Şekil 7.2. Kuvars maksimum tane boyutu – teğetsel kuvvet ilişkisi.

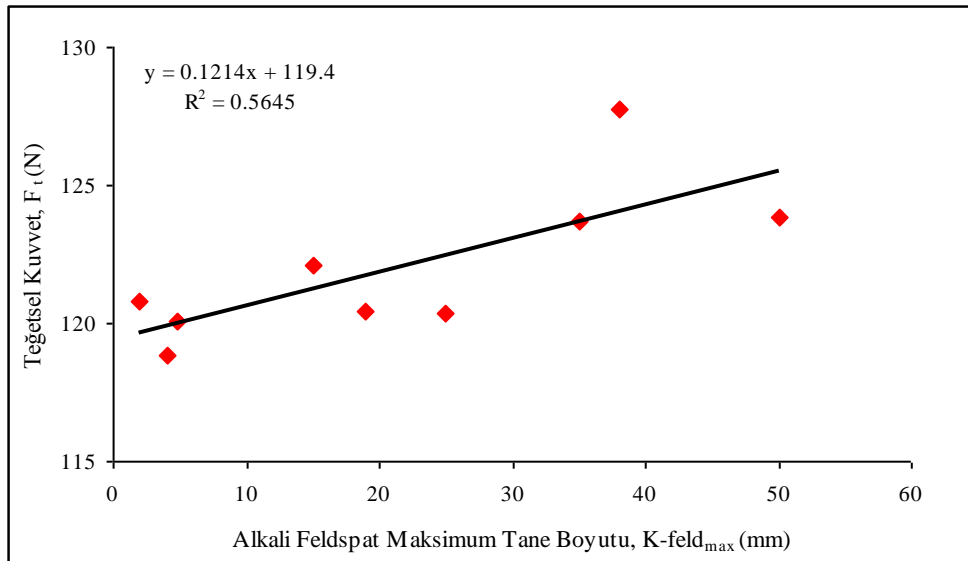


Şekil 7.3. Kuvars miktarı – teğetsel kuvvet ilişkisi.



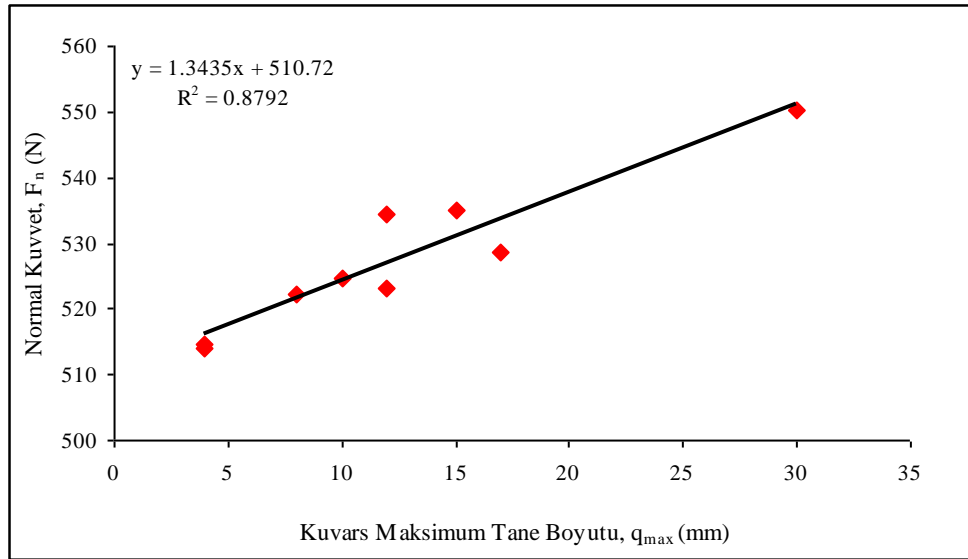
Şekil 7.4. Anlık teğetsel kuvvetler.

Şekil 7.5, alkali feldspat maksimum tane boyutu – teğetsel kuvvet arasında doğrusal bir ilişki bulunduğuna işaret etmektedir. Belirlilik katsayısı (R^2) görece düşük olmasına rağmen, bu ilişkinin istatistiksel anlamda geçerli olduğu yapılan istatistiksel analiz sonucu belirlenmiştir. Bununla birlikte, Ek-1’ de görüldüğü gibi (Şekil 1 – 6), teğetsel kuvvet ile diğer mineralojik özellikler arasında istatistiksel anlamda güvenilir ilişkiler bulunamamıştır.

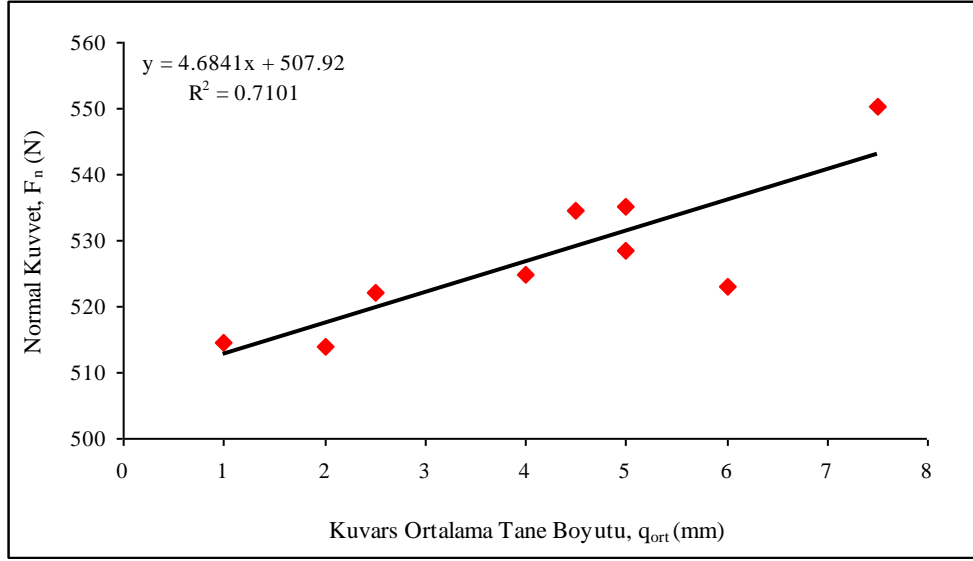


Şekil 7.5. Alkali feldspat maksimum tane boyutu-teğetsel kuvvet ilişkisi.

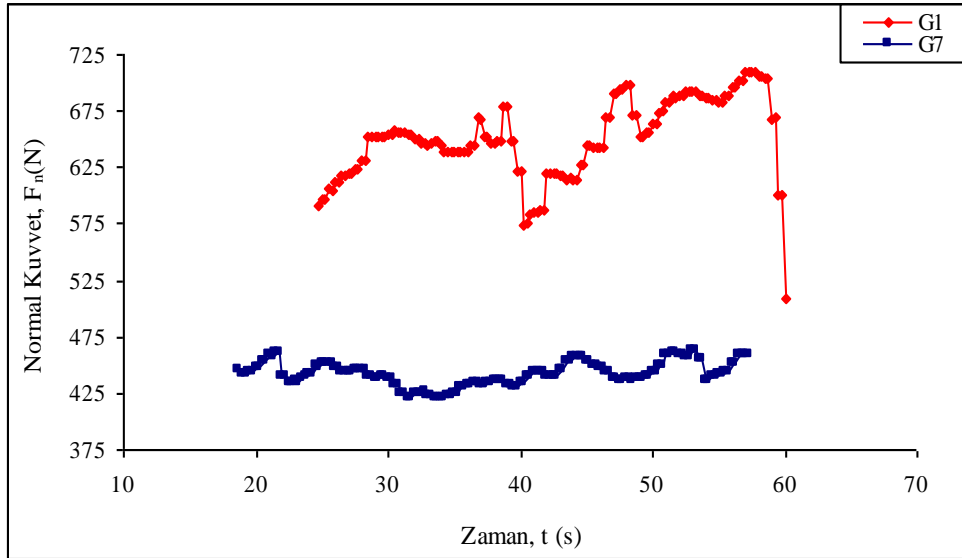
Şekil 7.6, kesim esnasında testere üzerine etkiyen normal kuvvetlerin, maksimum kuvars tane boyutu ile yakından ilişkili olduğuna işaret etmektedir. Ortalama kuvars tane boyutunun da normal kuvvetler üzerinde önemli bir rol oynadığı göz önünde tutulduğunda (Şekil 7.7); kuvars tane boyutunun normal kuvvetler üzerinde birinci derecede rol oynadığını söylemek mümkündür. Şekil 7.8’de görüldüğü gibi, iri taneli granit (*G1*) üzerine etkiyen anlık normal kuvvetler daha yüksek olup, kuvvetlerdeki dalgalanmalar ince-orta taneli granite göre (*G7*) daha belirgindir. Bu nedenle, Bölüm 6’da değinilen nedenlerden ötürü, endüstriyel uygulamalarda kuvars tane boyutu büyük olan granitlerin kesim hassasiyeti bakımından dezavantajlı olabileceği göz önünde tutulmalıdır. Ek-1’de görüldüğü gibi (Şekil 7 – 13), normal kuvvet ile diğer mineralojik özellikler arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulunamamıştır.



Şekil 7.6. Kuvars maksimum tane boyutu-normal kuvvet ilişkisi.



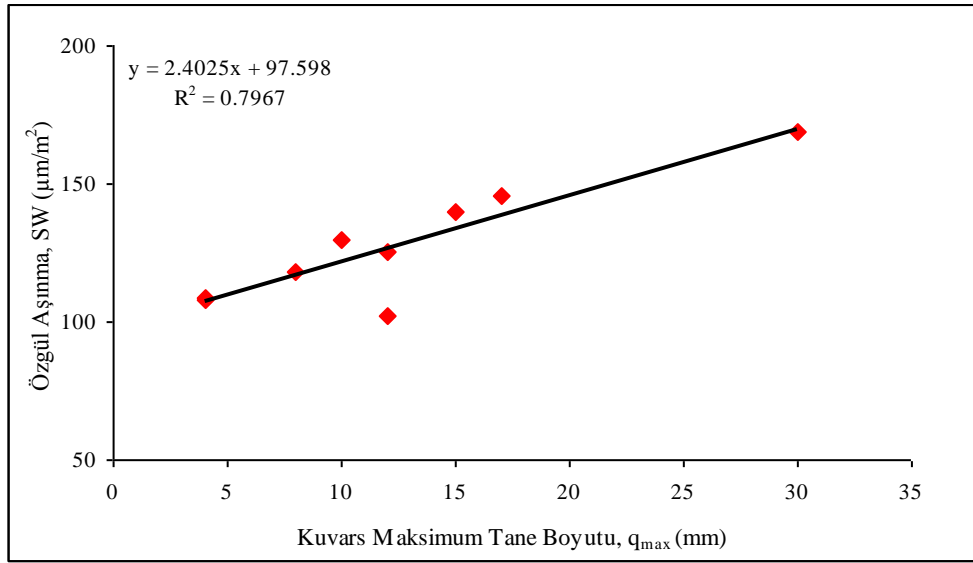
Şekil 7.7. Kuvars ortalama tane boyutu-normal kuvvet ilişkisi.



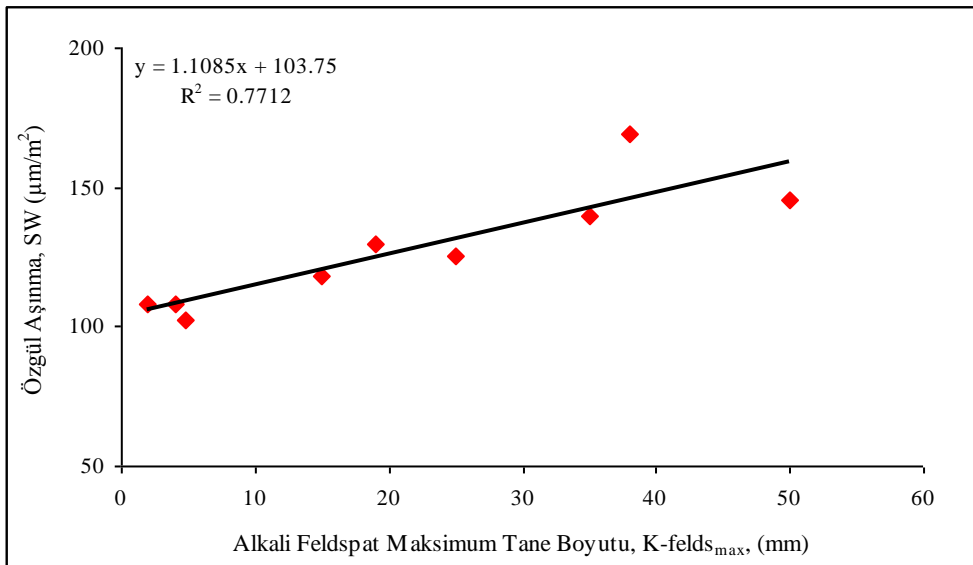
Şekil 7.8 Anlık normal kuvvetler.

Şekil 7.9 - 7.11, özgül aşınma değerlerinin alkali feldspat ve kuvars tane boyutuyla orantılı olarak arttığını göstermektedir. Mineral tane boyutunun testere soketlerinde

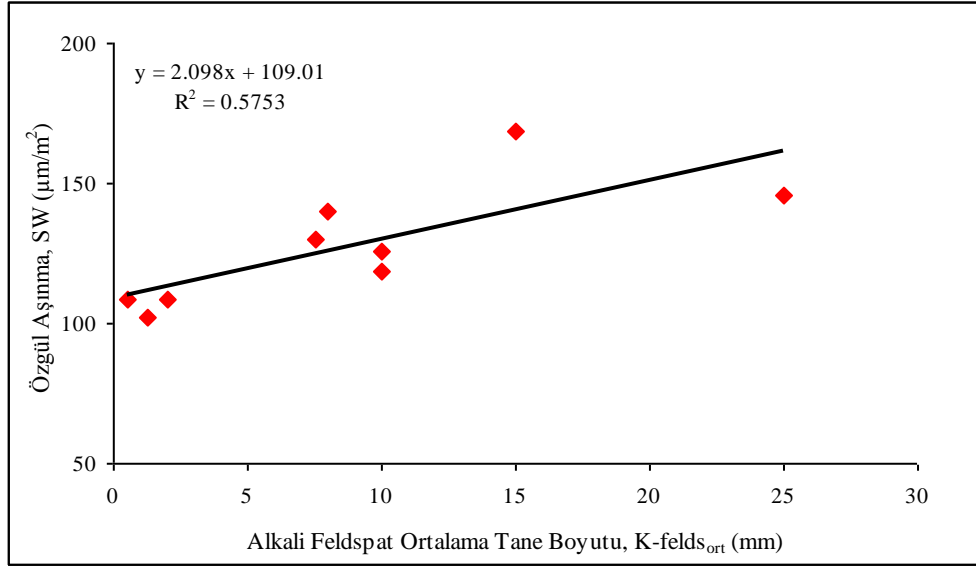
oluşan aşınmayı önemli derecede etkilemesi nedeniyle, endüstriyel uygulamalarda iri taneli sert mineraller içeren granitlerin kesiminde testere ömrünün görece daha kısa olması beklenilmelidir. Benzer bulgulara diğer çalışmalarda da değinilmiştir [48, 73]. Ek-1’ de verildiği gibi (Şekil 14-18), özgül aşınma değerleri ile diğer mineralojik özellikler arasında istatistiksel anlamda güvenilir ilişkiler bulunamamıştır.



Şekil 7.9. Kuvars maksimum tane boyutu-özgül aşınma ilişkisi.



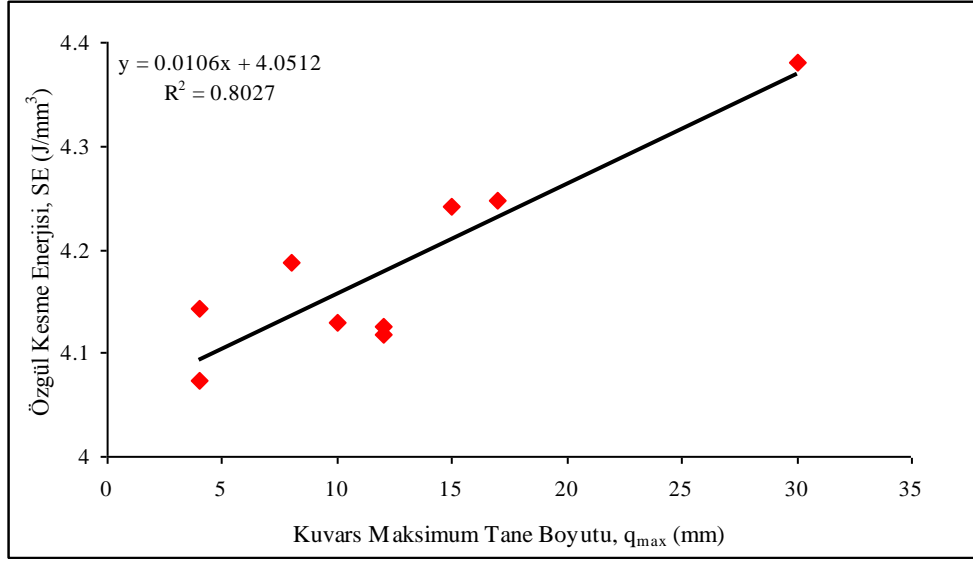
Şekil 7.10. Alkali feldspat maksimum tane boyutu- özgül aşınma ilişkisi.



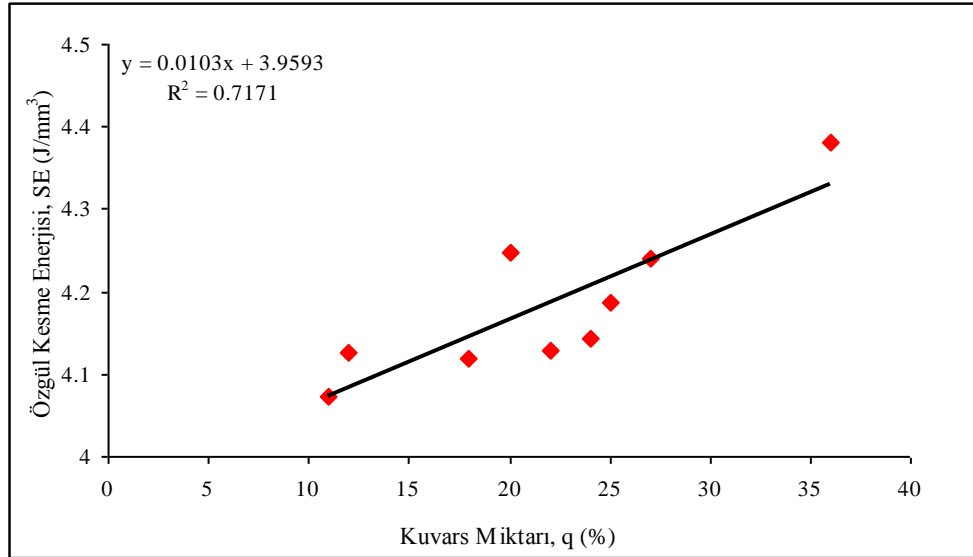
Şekil 7.11. Alkali feldspat ortalama tane boyutu-özgül aşınma ilişkisi.

Özgül kesme enerjisini etkileyen en önemli parametrelerin kuvars maksimum tane boyutu (Şekil 7.12) ve kuvars miktarı olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 7. 13). Kuvars maksimum tane boyutu ve miktarının anlık aktif güç tüketimi üzerindeki etkileri, iri taneli ve yüksek kuvars içerikli *G1* kayacı ile ince-orta taneli ve kuvars içeriği düşük olan *G7* kayacı için Şekil 7.14’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, kesim esnasında *G1* kayacı üzerine etkiyen anlık aktif güç tüketimi daha yüksek olup, aktif güç dalgalanmaları da *G7* kayacına oranla daha keskindir. Özgül kesme enerjisi kesme veriminin bir göstergesi olduğundan, endüstriyel uygulamalarda bu tür mineralojik özelliklere sahip granitlerde kesme veriminin düşük olması söz konusudur.

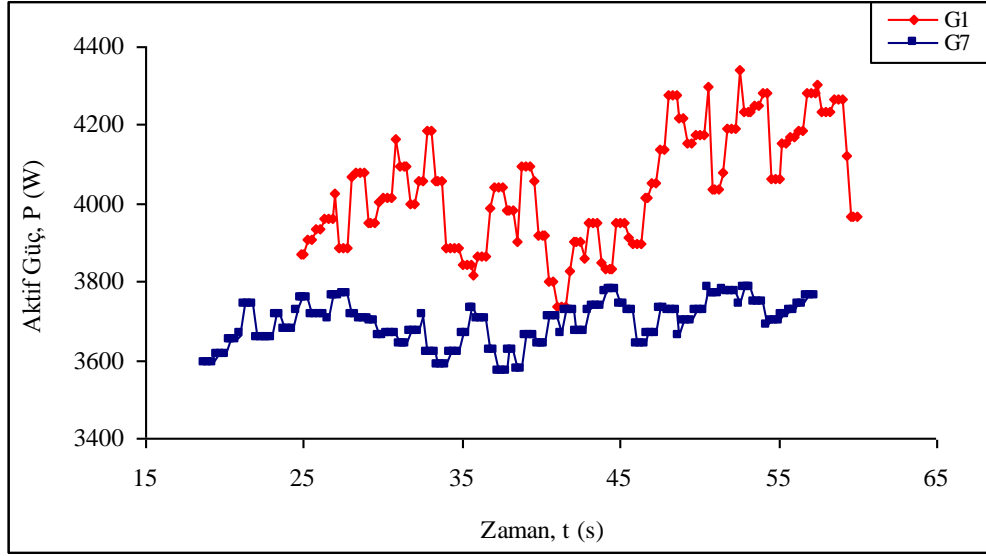
Kuvars maksimum tane boyutu ve kuvars miktarının yanısıra, alkali feldspat maksimum tane boyutu–özgül kesme enerjisi arasında da istatistiksel anlamda güvenilir bir ilişki bulunduğu görülmüştür (Şekil 7.15). Bununla birlikte, Ek-1’de verildiği gibi (Şekil 19-24), diğer mineralojik özellikler ile özgül kesme enerjisi arasında istatistiksel anlamda güvenilir ilişkiler belirlenememiştir.



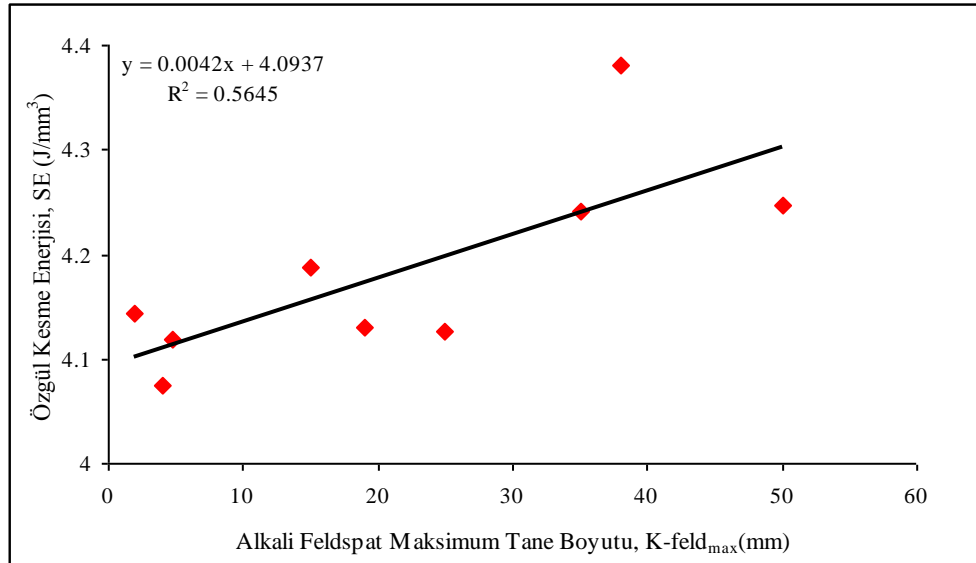
Şekil 7.12. Kuvars maksimum tane boyutu-ölgül kesme enerjisi ilişkisi.



Şekil 7.13. Kuvars miktarı-ölgül kesme enerjisi ilişkisi.



Şekil 7.14. Anlık aktif güç tüketimi.



Şekil 7.15. Alkali feldspat maksimum tane boyutu- özgül kesme enerjisi ilişkisi.

Kesimler sırasında kaydedilen gürültü seviyeleri (Ek-1 Şekil 25-33) ve F_t/F_n (Ek-1; Şekil 34-42) ile kayaçların mineralojik özellikleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmadığı görülmüştür. Bu tür bir bulgu, Bölüm 6 da incelendiği gibi, gürültü

seviyesinin ve F_t/F_n değerlerinin özellikle çalışma parametrelerinin bir fonksiyonu olabileceği görüşünü desteklemektedir.

Bu bölümde incelenen kayalar için (*G1-G9*) geçerli olmak üzere; mineralojik-petrografik özellikler ile kesilebilirlik parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bulunan ilişkiler Çizelge 7.3'te özetlenmiştir.

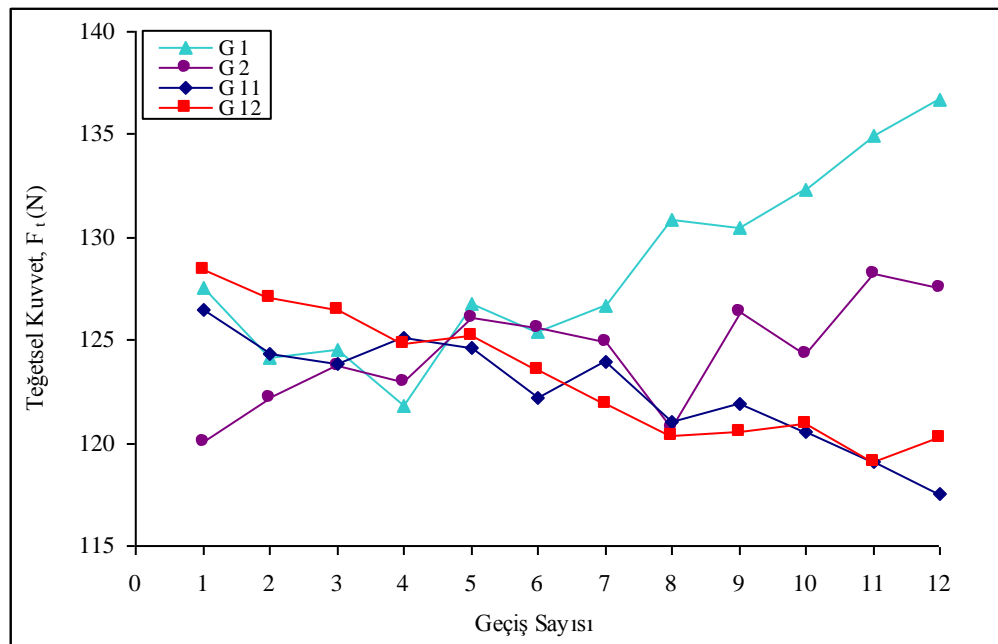
Çizelge 7.3. Mineralojik-petrografik özellikler ile kesilebilirlik parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı olan ilişkiler.

| Şekil No | Regresyon denklemleri | R^2 | Std. sapma | F değeri | P-değeri |
|----------|---|--------|------------|----------|----------|
| 7.2 | $F_t = 0.309q_{max} + 118.16$ | 0.8027 | 1.30 | 28.47 | 0.001 |
| 7.3 | $F_t = 0.301q + 115.48$ | 0.7171 | 1.55 | 17.740 | 0.004 |
| 7.5 | $F_t = 0.121K\text{-felds}_{max} + 119.40$ | 0.5645 | 1.93 | 9.0740 | 0.020 |
| 7.6 | $F_n = 1.343 q_{max} + 510.72$ | 0.8792 | 4.22 | 50.964 | 0.000 |
| 7.7 | $F_n = 4.684q_{ort} + 507.92$ | 0.7101 | 6.54 | 17.146 | 0.004 |
| 7.9 | $SW = 2.4025 q_{max} + 97.598$ | 0.8149 | 0.00 | 30.820 | 0.001 |
| 7.10 | $SW = 1.1085 K\text{-felds}_{max} + 103.75$ | 0.7970 | 10.30 | 27.439 | 0.001 |
| 7.11 | $SW = 2.098 K\text{-felds}_{ort} + 109.01$ | 0.5753 | 14.88 | 9.484 | 0.018 |
| 7.12 | $SE = 0.0106q_{max} + 4.0512$ | 0.8027 | 0.044 | 28.475 | 0.001 |
| 7.13 | $SE = 0.0103q + 3.9593$ | 0.717 | 0.053 | 17.740 | 0.004 |
| 7.15 | $SE = 0.042 K\text{-felds}_{max} + 4.0937$ | 0.5645 | 0.066 | 9.074 | 0.020 |

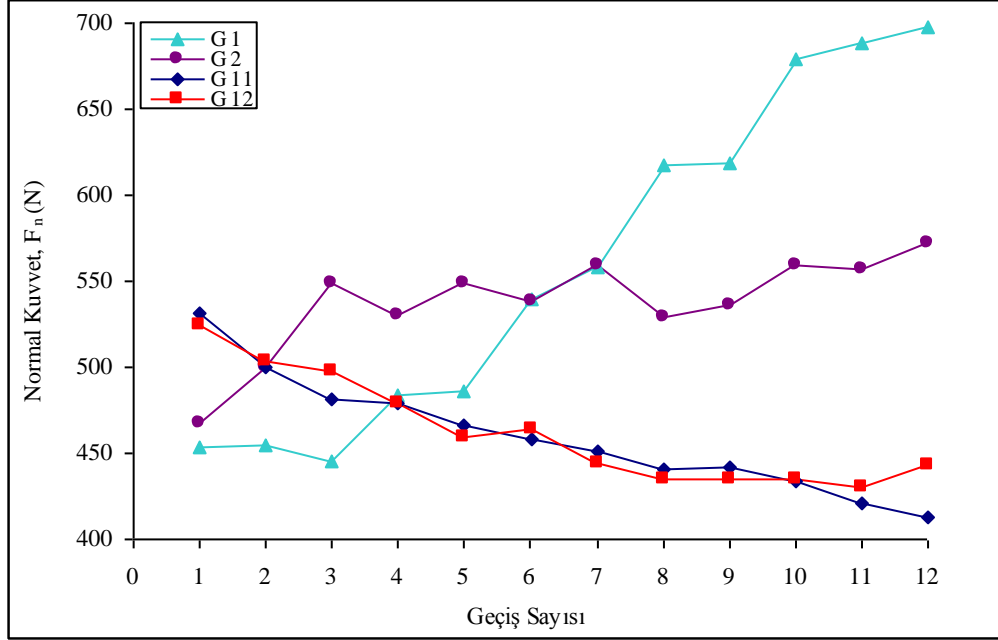
7.1.1.2. Kuvars içermeyen taşlar için yapılan kesilebilirlik analizleri

G 11 ve *G 12*'e ait örneklerin kesimleri esnasında kaydedilen kesme kuvvetleri, aktif güç ve özgül aşınma değerlerinin Bölüm 7.1.1.2'de 'kuvars içeren' kayalar için elde edilen değerlerden oldukça farklı bir 'eğilim' gösterdikleri gözlenmiştir. Bu kayalar, birbirine sıkıca kenetlenmiş kristalin dokuya sahip olup, yaklaşık eşit oranlarda piroksen ve plajiyoklas mineralleri içermektedir (Çizelge 4.11-4.12). Piroksenlerin demir ve magnezyumca zengin olması nedeniyle, yoğunlukları 'gerçek granitler'e oranla daha yüksektir (Çizelge 4.13). Yüksek miktarda demir ve magnezyum içerdiklerinden "ferromagnezyen" veya "mafik kayaç" olarak adlandırılırlar.

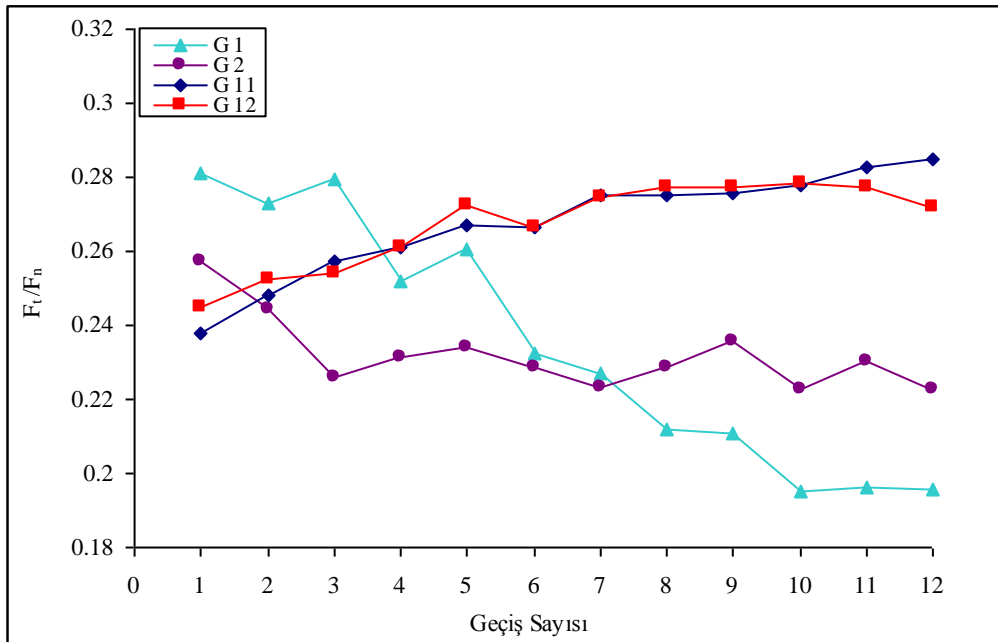
Şekil 7.16 ve 7.17’de görüldüğü gibi, kuvars içeren *G1* ve *G2* kayaç örneklerinde izlenen genel eğilimlerin aksine; *G11* ve *G12* kayaçlarında kesim başlangıcından itibaren teğetsel ve normal kuvvetler giderek azalmakta, fakat belirli bir geçiş sayısından (kesme mesafesinden) sonra yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Bu durumun, anılan taşların testere soketleri üzerindeki yüksek ‘bileme’ etkisinden kaynaklanmakta olduğu düşünülmektedir. Nitekim, geçiş sayısının artmasıyla birlikte F_t/F_n oranının da giderek artıyor olması bu görüşü desteklemektedir (Şekil 7.18). Zira, Bölüm 6’da da değinildiği gibi, görece yüksek F_t/F_n değerleri soket üzerinde daha fazla sayıda *yeni* ve *mikro-çatlaklı* elmasların bulunduğu işaret etmektedir. Benzer eğilimler aktif güç tüketiminde de izlenmektedir (Şekil 7.19). Bileme etkisinden ötürü, elmas tanelerinin çalışma yükseklikleri artma eğilimi gösterecektir. Elmas tanelerinin çalışma yüksekliklerinin artması, testere-taş arasındaki temas yüzeyinin ve dolayısıyla sürtünmelerin azalmasına yol açacaktır. Sürtünmelerin azalması ise kesme kuvvetlerinin ve kesme enerjisinin azalması sonucunu doğuracaktır [74, 75].



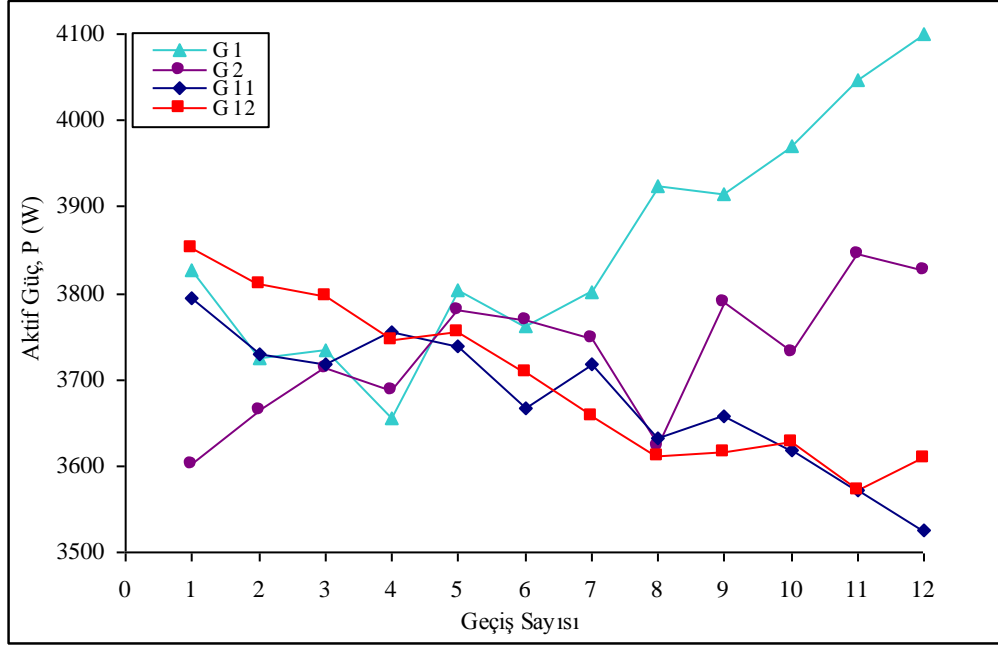
Şekil 7.16 Farklı mineral içeriğindeki kayaçlarda geçiş sayısı – teğetsel kuvvet ilişkisi.



Şekil 7.17 Farklı mineral içeriğindeki kayalarda geçiş sayısı – normal kuvvet ilişkisi.

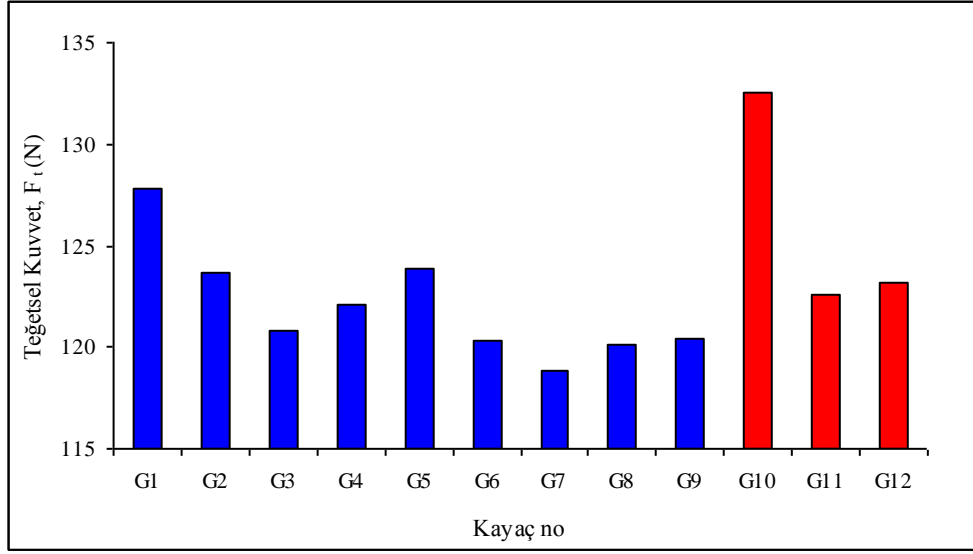


Şekil 7.18 Farklı mineral içeriğindeki kayalarda geçiş sayısı – F_t/F_n oranı ilişkisi.

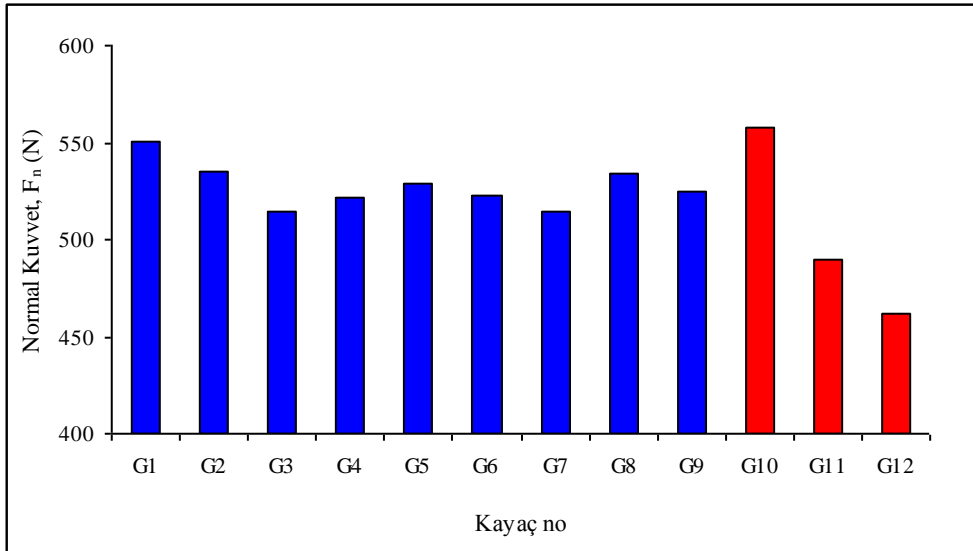


Şekil 7.19. Farklı mineral içeriğindeki kayalarda geçiş sayısı –aktif güç ilişkisi.

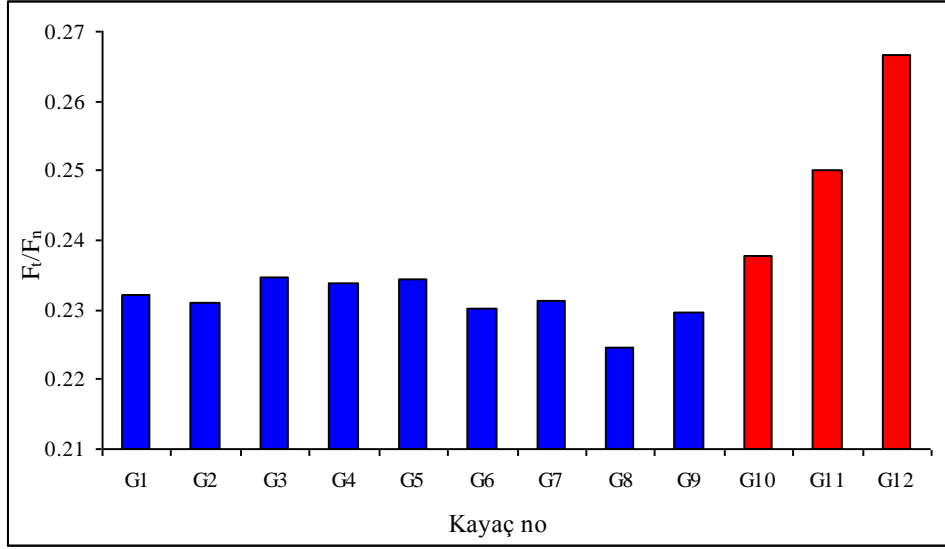
G 11 ve *G 12* kayalarının kesilebilirlik özellikleri, bu çalışmanın kapsamındaki tüm kayalarla birlikte değerlendirildiğinde (Şekil 7.20 – 7.25) yukarıda savunulan görüşü destekleyici bulgulara ulaşılmıştır. Örneğin; *G 11* ve *G 12* kayaları için elde edilen ortalama normal kuvvet (F_n) değerlerinin, diğer kayalar için kaydedilen ortalama normal kuvvet değerlerinden daha küçük oluşu (Şekil 7.21), bu tür taşların kesiminde soketlerde görece daha az sayıda *düzleşmiş* elmasların bulunduğu işaret etmektedir. Bu taşlara ait F_t/F_n oranı değerlerinin, diğer taşlardan daha yüksek olması da (Şekil 7.22) kesme verimini artıran çok sayıda *yeni* ve *mikro-çatlaklı* elmasların bulunduğunu göstermektedir.



Şekil 7.20. Teğetsel kuvvetlerin kayaçlara göre değişimi.

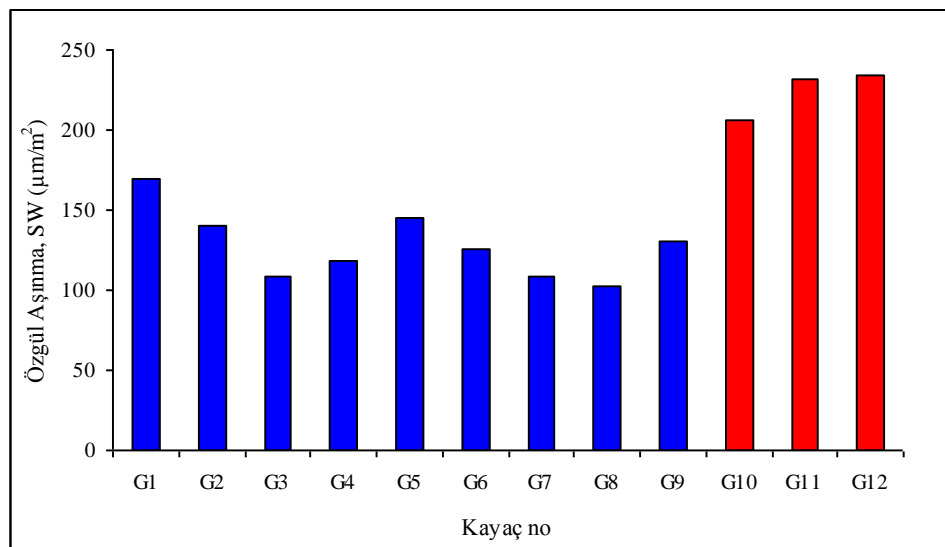


Şekil 7.21. Normal kuvvetlerin kayaçlara göre değişimi.

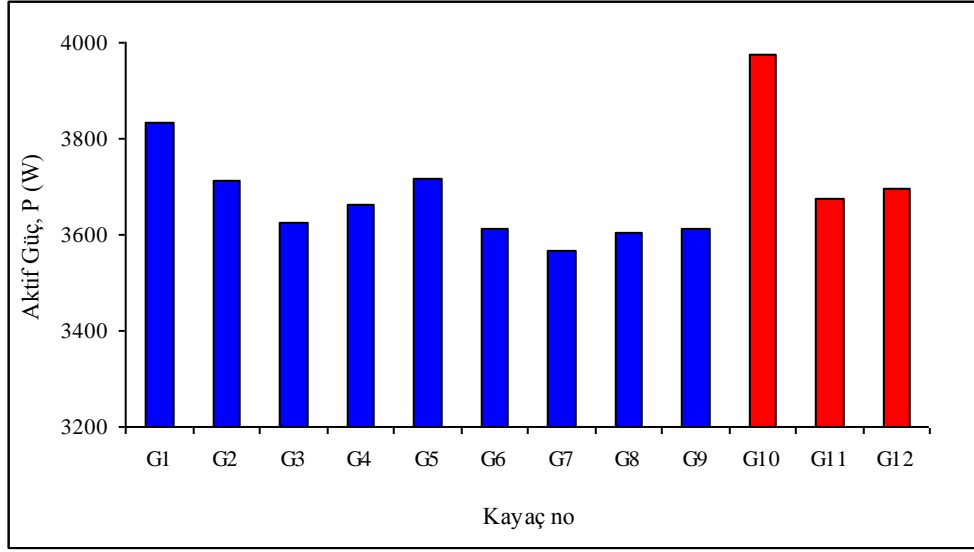


Şekil 7.22. Kuvvetler oranının kayaçlara göre değişimi.

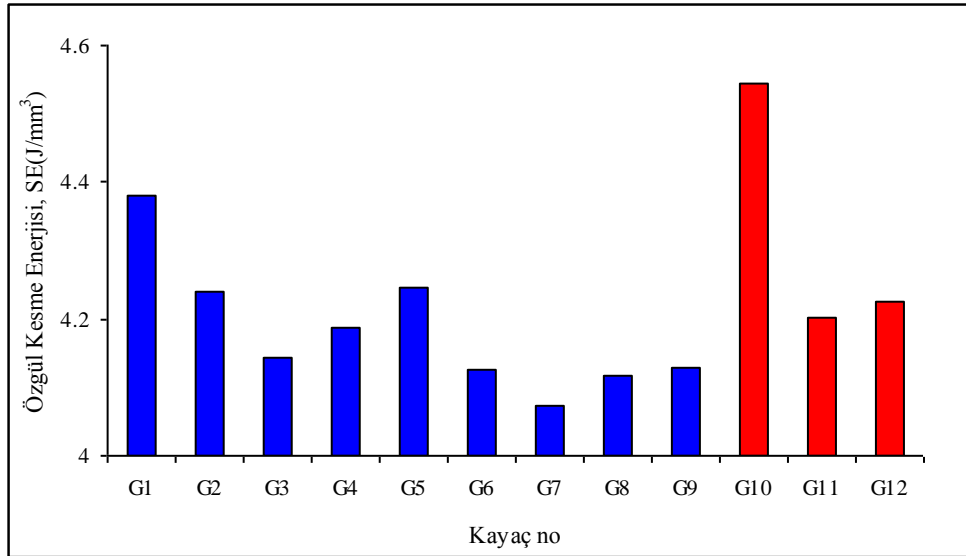
G11 ve *G12* kayaçlarına ait özgül aşınma değerlerinin, kuvars içeren diğer kayaçlara göre (*G1* - *G9*) oldukça yüksek olması da ‘bileyici’ özelliklerini kanıtlamaktadır (Şekil 7.23). Bu nedenle, bu tür mineralojik-petrografik özellikler gösteren sert taşların kesiminde testere ömrünün görece kısa olması beklenilmelidir. Ayrıca, görece ince taneli bir dokuya sahip olmalarına rağmen (Çizelge 4.11-4.12), iri taneli kayaçlara göre (*G1*, *G2*, *G5*, ve *G10*) aktif güç tüketimi ve özgül kesme enerjisi değerlerinin daha düşük oluşu dikkat çekicidir (Şekil 7.24 ve 7.25).



Şekil 7.23. Özgül aşınmanın kayaçlara göre değişimi.



Şekil 7.24. Aktif gücün kayalara göre değişimi.

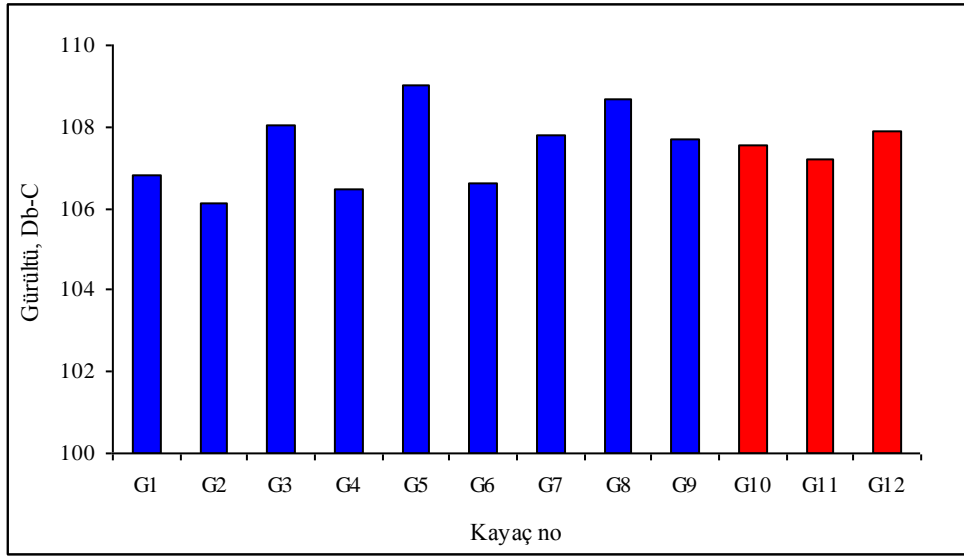


Şekil 7.25. Özgül kesme enerjisinin kayalara göre değişimi.

Labradorit (*G10*), çalışma kapsamındaki ‘kuvars içermeyen’ gruba dahil üçüncü kayaç olup, hakim mineral olan plajiyoklas (labrador) mineralleri çok iri kristaller halinde (10-30 mm) birbirine kenetlenmiş durumdadır. Tali mineraller olarak piroksen, amfibol, olivin ve opak mineraller içermektedir. Opak mineraller olarak bol miktarda kübik

görünümlü pirit ve manyetit bulunmaktadır (Çizelge 4.10). Bu özellikleri nedeniyle, kuvars içermemesine rağmen; kesme kuvvetleri, özgül aşınma, aktif güç tüketimi ve özgül kesme enerjisi bakımından değerlendirildiğinde, incelenen kayalar içerisinde kesilebilirliği en zor olan kayaç görünümündedir (Şekil 7.20-7.25). Bu nedenle, enerji ve testere ömrü bakımından, işletme maliyetlerini en fazla etkileyebilecek özelliklere sahip bir kayaç olarak nitelendirmek mümkündür.

Kesimler esnasında kaydedilen gürültü seviyeleri bakımından bir değerlendirme yapıldığında; kuvars içeren ve kuvars içermeyen kayaç grupları arasında, ayırt edici herhangi bir bulgu gözlenmemiştir (Şekil 7.26).

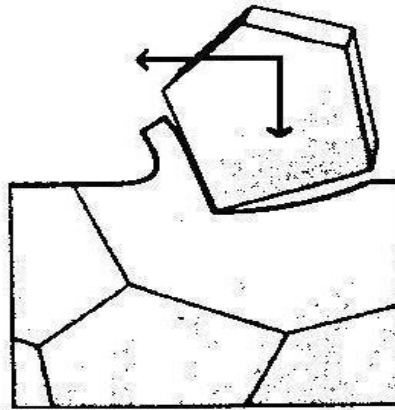


Şekil 7.26. Gürültü seviyesinin kayalara göre değişimi.

7.1.2. Kayaçların fiziko-mekanik özelliklerinin kesilebilirlik parametreleri üzerindeki etkileri

Bu bölümde, çalışma kapsamındaki kayaçların Çizelge 4.13'te verilen fiziko-mekanik özellikleri ile kesilebilirlik parametreleri (kesme kuvvetleri, özgül aşınma, özgül kesme enerjisi ve gürültü seviyesi) arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bölüm 7.1.1'de ayrıntılı olarak açıklandığı gibi, farklı kesilebilirlik özellikleri göstermeleri nedeniyle *G10*, *G11* ve *G12* kayaçları istatistiksel analizlerin dışında tutulmuştur.

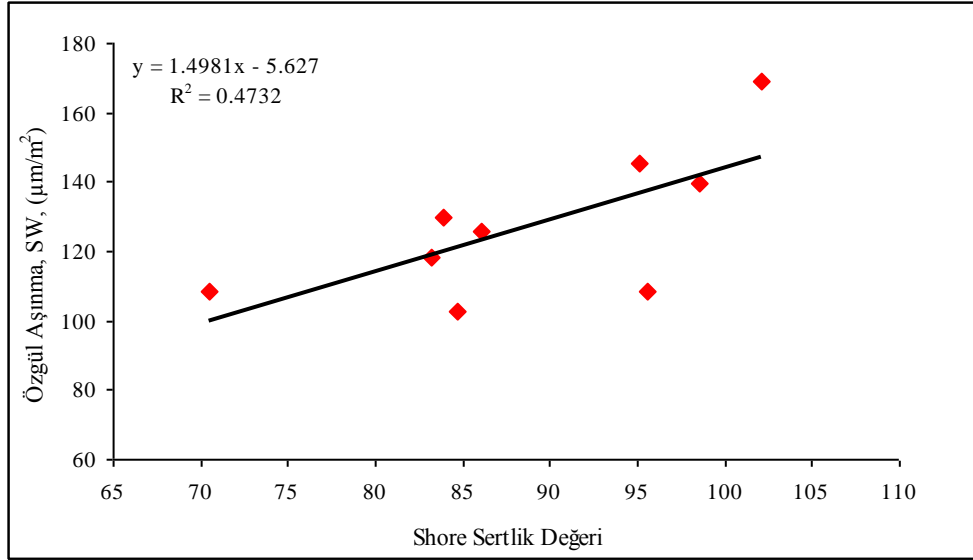
Ek-2'de görüldüğü gibi, genel olarak, fiziko-mekanik özellikler ile kesilebilirlik parametreleri arasında istatistiksel anlamda güvenilir ilişkiler bulunamamıştır (Ek-2 Şekil 1-31). Bu tür bir bulgu, diğer araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir [17, 23, 24]. Fiziko-mekanik özellikler ile kesilebilirlik arasında anlamlı ilişkiler bulunamayışına gerekçe olarak; talaş (chip) oluşumu esnasında mineral tanesinin sadece küçük bir parçasının kesilerek uzaklaştırıldığı (Şekil 7.27) ve bu mekanizmanın kayacın tek eksenli basınç veya çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerinden bağımsız olduğu gösterilmiştir [17].



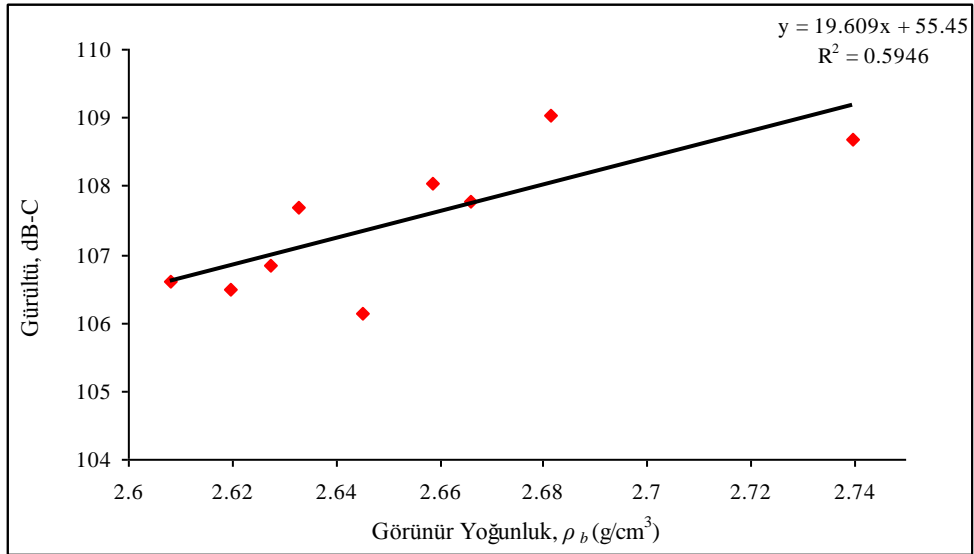
Şekil 7.27. Mineral tanesinin kesilmesi [15].

Fiziko-mekanik özelliklerle ilgili olarak, Shore sertlik değeri ile özgül aşınma arasında görece anlamlı bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 7.28). Shore sertlik değeri ile soket aşınması arasında kurulan kısmen anlamlı ilişkiler, başka araştırmacılar tarafından da

rapor edilmektedir [17, 24, 45]. Aynı zamanda, görünür yoğunluk ile gürültü arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Şekil 7.29). Bu ilişkilere ait istatistiksel sonuçlar Çizelge 7.4’de verilmiştir.



Şekil 7.28. Shore sertlik değeri- özgül aşınma ilişkisi.



Şekil 7.29. Görünür yoğunluk- gürültü ilişkisi.

Çizelge 7.4. Fiziko-Mekanik özellikler ile kesilebilirlik parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı olan ilişkiler.

| No | Regresyon denklemi | R ² | Std. sapma | F değeri | P-değeri |
|----|------------------------------|----------------|------------|----------|----------|
| 1 | SW = -5.627 + 1.498 SHD | 0.473 | 16.5798 | 6.289 | 0.04 |
| 2 | G = 55.450 + 19.609 ρ_b | 0.595 | 0.69 | 10.265 | 0.01 |

7.1.3. Kesilebilirlik Parametrelerinin Tahminine Yönelik Olarak Geliştirilen Regresyon Modelleri

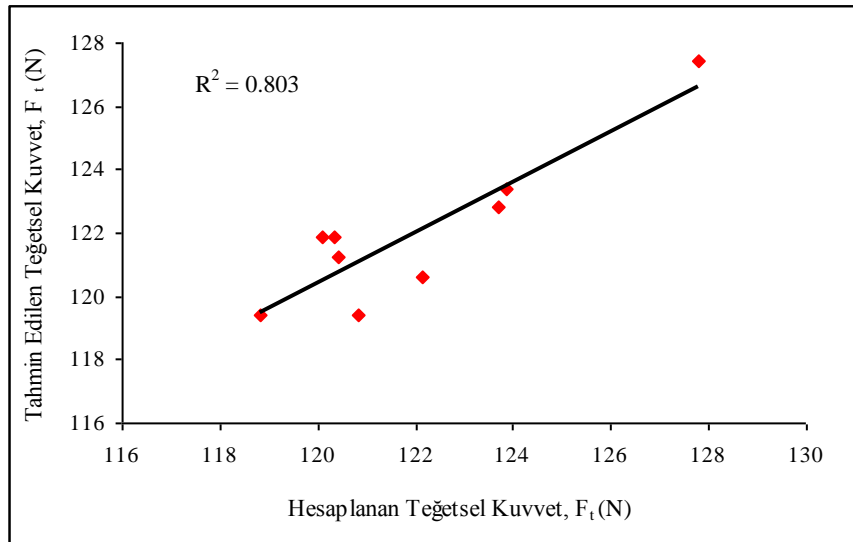
Elmas soketli dairesel testerelerle yapılan kesme işlemlerinde, mineralojik ve petrografik özellikler bakımından çok geniş bir yelpazede yer alan granitlerin kesilebilirlik karakteristiklerinin önceden tahminini oldukça zordur. Kesilebilirlik tayininde en yaygın olarak kullanılan yöntem, çok sayıda çalışma parametresinin birlikte değerlendirildiği ‘kesme deneyleri’ olmaktadır. Kesme deneyleri için gerekli olan deney seti ve çeşitli ölçme cihazlarının her laboratuarda bulunmaması, deneylerin zaman alıcı olması ve deney sonuçlarının yorumunda deneyimli personel gerektirmesi gibi nedenlerden ötürü, kayaçların kesilebilirlik karakteristiklerini önceden tahmin etmeye yönelik olarak ‘regresyon analizleri’ uygulanabilmektedir [24, 40, 42, 64].

Bu çalışmada, kesilebilirlik analizlerinde kullanılan kesme koşulları için (Bölüm 7.1) elde edilen kesme kuvvetleri, özgül aşınma ve özgül kesme enerjisi parametreleri ‘bağımlı değişken’; incelenen kayaçlara ait mineralojik-petrografik ve fiziko-mekanik özellikler ise ‘bağımsız değişken’ olarak alınmıştır. SPSS 11.0 İstatistik Paket Programında ‘stepwise regresyon yöntemi’ kullanılarak, çok sayıda tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu modellerden, istatistiksel olarak anlamlı bulunanlar Çizelge 7.5-7.8’de; hesaplanan ve modeller yardımıyla tahmin edilen değerler arasındaki ilişkilere ait regresyon grafikleri ise Şekil 7.30-7.40’ da verilmiştir. Geliştirilen bu modellerin uygulanan kesme koşulları ve kullanılan testere özellikleri için geçerli olması nedeniyle, genelleştirilemeyeceği göz önünde tutulmalıdır.

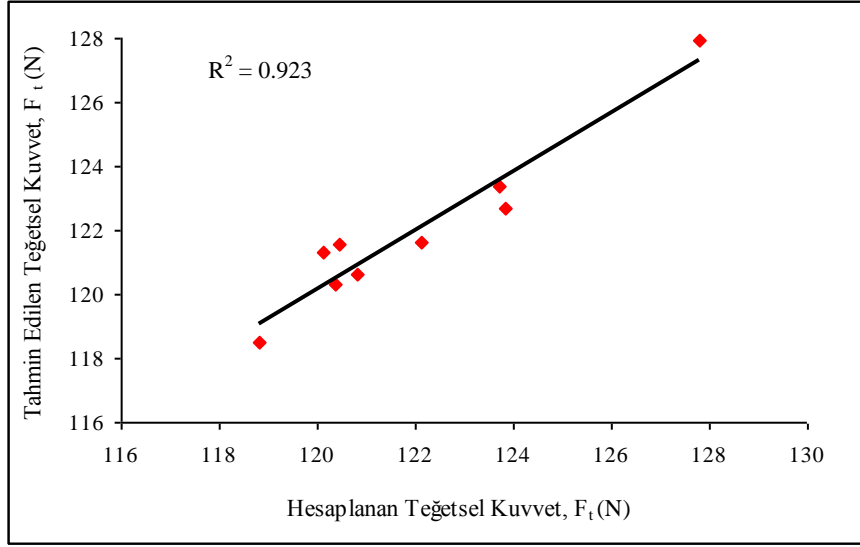
Çizelge 7.5. Teğetsel kuvvetin tahminine yönelik regresyon denklemleri.

| No | Regresyon denklemi | R ² | Std. sapma | F değeri | P-değeri |
|----|--|----------------|------------|----------|----------|
| 1 | $F_t = 118.159 + 0.309 q_{max}$ | 0.803 | 1.2995 | 28.475 | 0.001 |
| 2 | $F_t = 115.914 + 0.206 q_{max} + 0.163 q$ | 0.923 | 0.8760 | 36.031 | 0.000 |
| 3 | $F_t = 118.468 + 0.146 q_{max} + 0.194 q - 0.123 BS$ | 0.972 | 0.5794 | 57.824 | 0.000 |

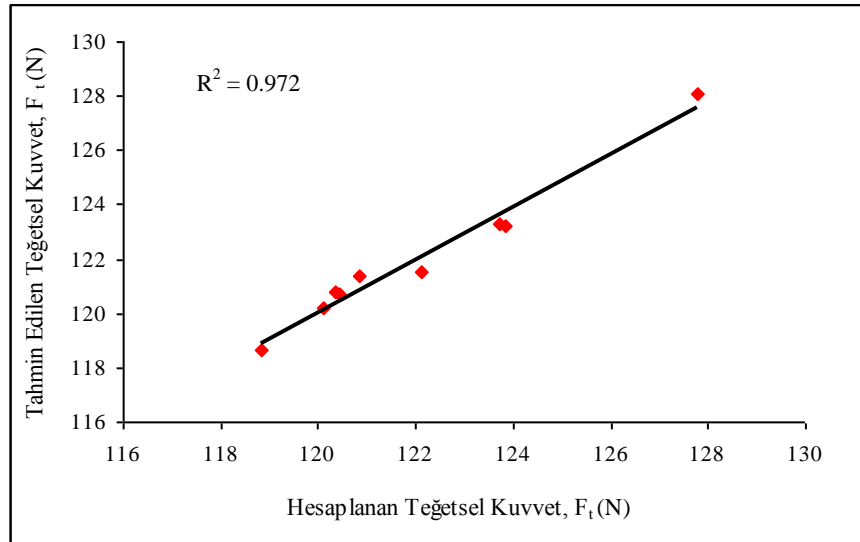
F_t : Teğetsel kuvvet; q_{max} : Kuvars maksimum tane boyu; q : Kuvars miktarı; BS : Eğilme dayanımı



Şekil 7.30. Hesaplanan teğetsel kuvvet değerleri ile 1 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen teğetsel kuvvet değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 7.31. Hesaplanan teğetsel kuvvet değerleri ile 2 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen teğetsel kuvvet değerleri arasındaki ilişki.

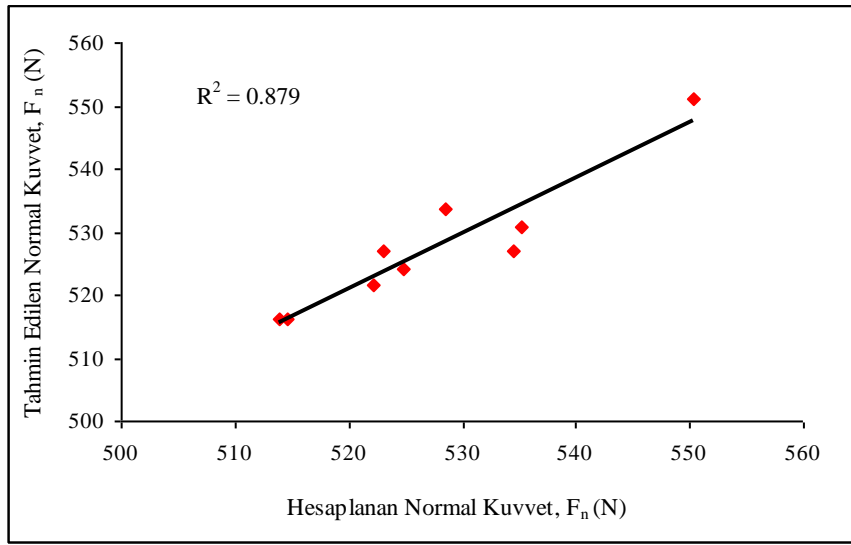


Şekil 7.32. Hesaplanan teğetsel kuvvet değerleri ile 3 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen teğetsel kuvvet değerleri arasındaki ilişki.

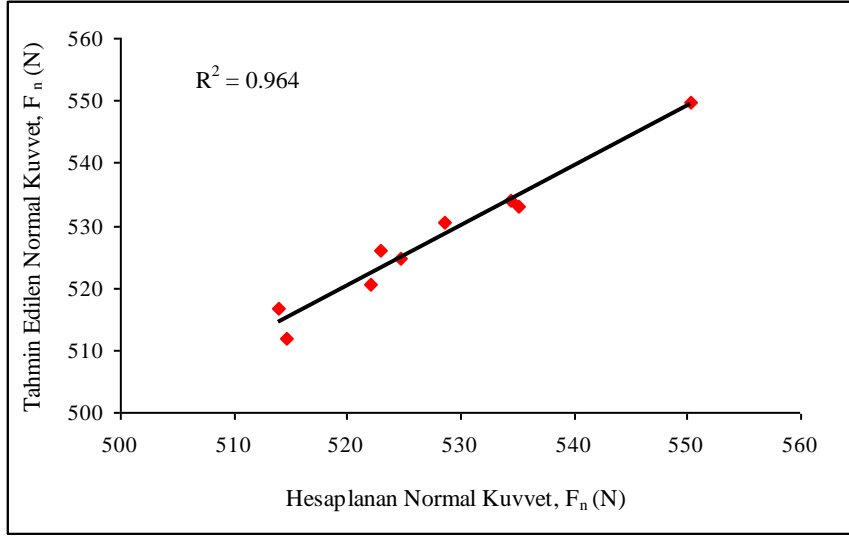
Çizelge 7.6. Normal kuvvet tahminine yönelik regresyon denklemleri.

| No | Regresyon denklemi | R ² | Std. sapma | F değeri | P-değeri |
|----|---|----------------|------------|----------|----------|
| 1 | $F_n = 510.716 + 1.343 q_{\max}$ | 0.879 | 4.2258 | 50.964 | 0.000 |
| 2 | $F_n = 495.020 + 1.553 q_{\max} + 0.644 BS$ | 0.964 | 2.4782 | 81.273 | 0.000 |

F_n : Normal kuvvet; q_{\max} : Kuvars maksimum tane boyu; BS: Eğilme dayanımı



Şekil 7.33. Hesaplanan normal kuvvet değerleri ile 1 no' lu regresyon denklemini yardımıyla tahmin edilen normal kuvvet değerleri arasındaki ilişki.

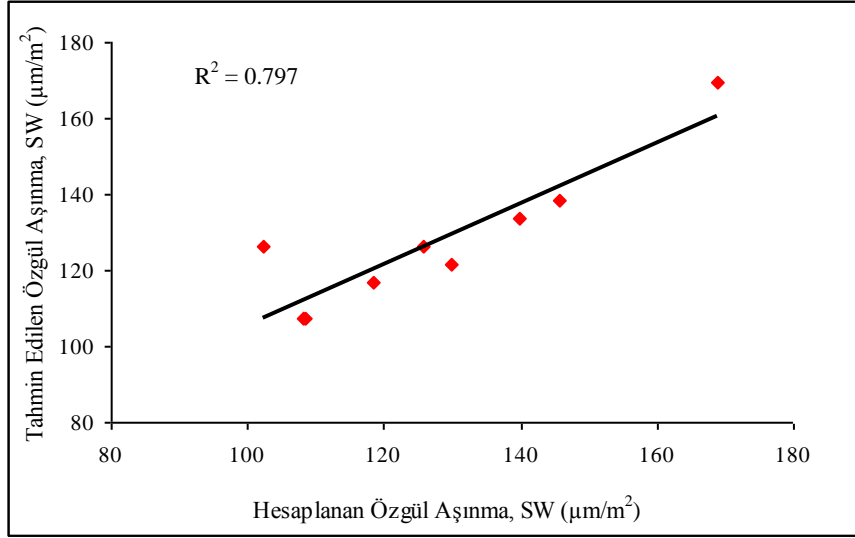


Şekil 7.34. Hesaplanan normal kuvvet değerleri ile 2 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen normal kuvvet değerleri arasındaki ilişki.

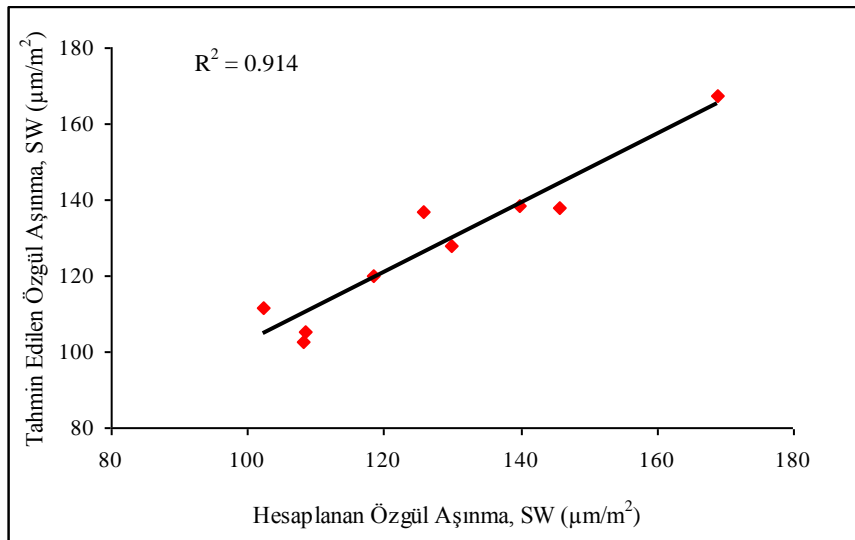
Çizelge 7.7. Özgül aşınmanın tahminine yönelik regresyon denklemleri.

| No | Regresyon denklemi | R^2 | Std. sapma | F değeri | P-değeri |
|----|--|-------|------------|----------|----------|
| 1 | $SW = 97.598 + 2.403 q_{\max}$ | 0.797 | 10.2990 | 27.439 | 0.001 |
| 2 | $SW = 134.745 + 2.139 q_{\max} - 3.459 BTS$ | 0.914 | 7.2511 | 31.738 | 0.001 |
| 3 | $SW = 154.117 + 3.434 q_{\max} - 4.541 BTS - 5.985 q_{\text{ort}}$ | 0.970 | 4.8724 | 49.624 | 0.000 |

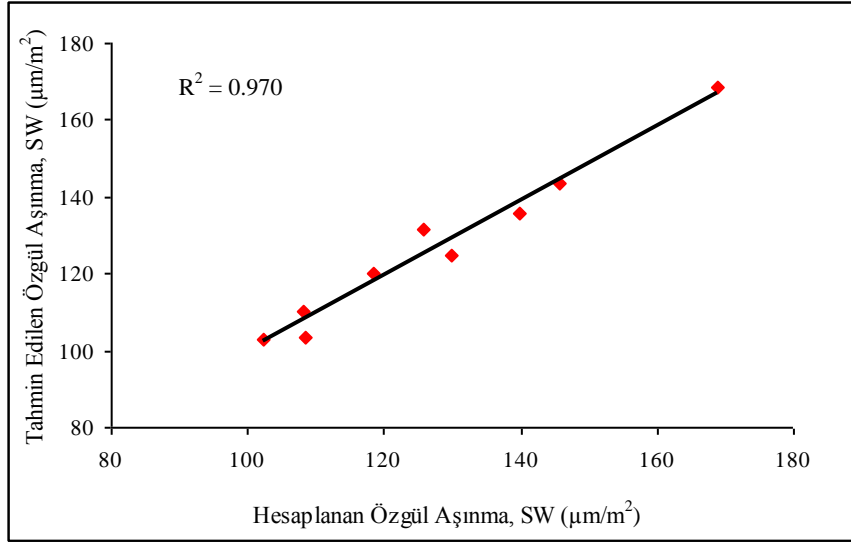
SW : Özgül aşınma; q_{\max} : Kuvvars maksimum tane boyu; BTS : Brazilian çekme dayanımı; q:kuvars miktarı



Şekil 7.35. Hesaplanan özgül aşınma değerleri ile 1 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen özgül aşınma değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 7. 36. Hesaplanan özgül aşınma değerleri ile 2 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen özgül aşınma değerleri arasındaki ilişki.

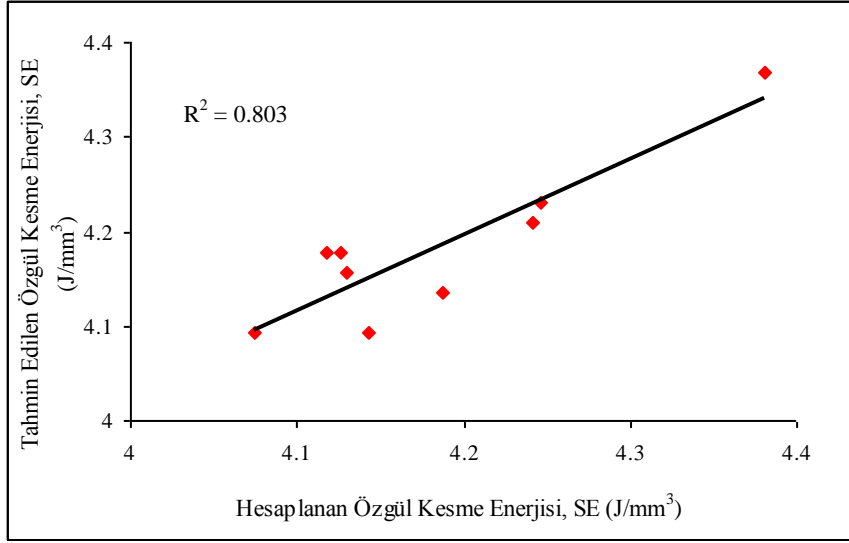


Şekil 7.37. Hesaplanan özgül aşınma değerleri ile 3 no' lu regresyon denklemini yardımıyla tahmin edilen özgül aşınma değerleri arasındaki ilişki.

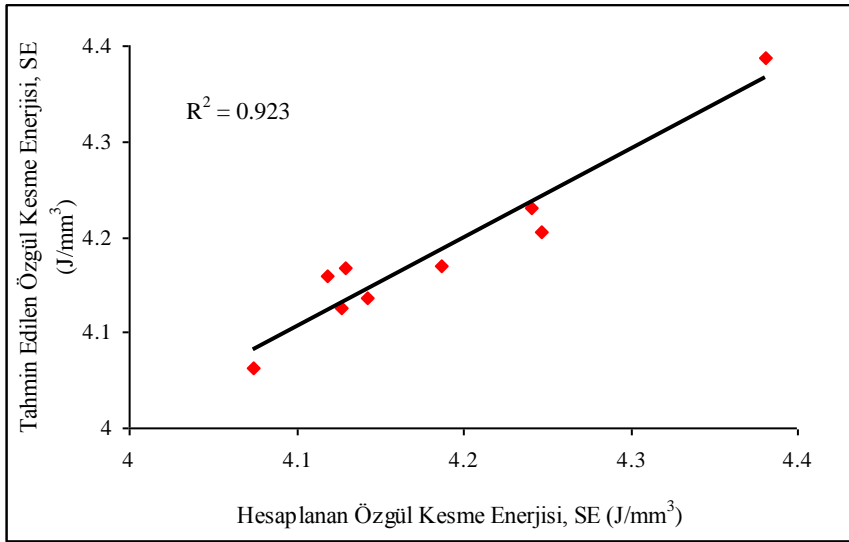
Çizelge 7.8. Özgül kesme enerjisinin tahminine yönelik regresyon denklemleri

| No | Regresyon denklemi | R ² | Std. sapma | F değeri | P-değeri |
|----|---|----------------|------------|----------|----------|
| 1 | SE = 4.051 + 0.01059 q _{max} | 0.803 | 0.04456 | 28.475 | 0.001 |
| 2 | SE = 3.974 + 0.007069 q _{max} + 0.005574 q | 0.923 | 0.03004 | 36.031 | 0.000 |
| 3 | SE = 4.062 + 0.005019 q _{max} + 0.00655 q - 0.00421 BS | 0.972 | 0.01986 | 57.824 | 0.000 |

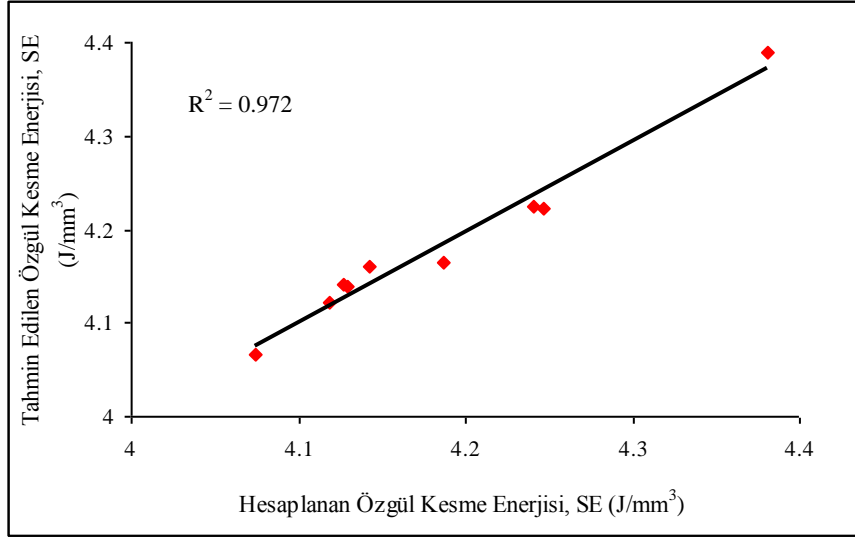
SE : Özgül kesme enerjisi; q_{max} : Kuvars maksimum tane boyutu; q : Kuvars miktarı; BS : Eğilme dayanımı



Şekil 7.38. Hesaplanan özgül kesme enerjisi değerleri ile 1 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen özgül aşınma değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 7.39. Hesaplanan özgül kesme enerjisi değerleri ile 2 no' lu regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen özgül aşınma değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 7.40. Hesaplanan özgül kesme enerjisi değerleri ile 3 no' lu regresyon denklemini yardımıyla tahmin edilen özgül aşınma değerleri arasındaki ilişki.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğal taş sektöründe kullanılan elmas soketli dairesel testerelerin kesme performansı birçok faktör tarafından etkilenmektedir. Kesilecek olan taşın özellikleri, çalışma parametreleri ve makineye ait özellikler kesme performansını etkileyen başlıca faktörler olmaktadır. Bu çalışmada, kuvvet ve enerji ölçüm cihazlarıyla donatılmış otomasyonel bir yan kesme makinası kullanılarak; çalışma parametreleri ve kayaca ait özelliklerin doğal taş sektöründe ‘granit’ olarak adlandırılan sert taşların kesilebilirliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma parametreleri değişkenleri olarak kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızı seçilmiştir. Mineralojik-petrografik ve fiziko-mekanik özellikler ise kayaca ait özellikler olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada varılan başlıca sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Kesme hızının (üretim hızı) artmasıyla birlikte kesme kuvvetleri de artmaktadır. Ancak, iri taneli olan granitlerde testere üzerine etkiyen kesme kuvvetlerinin ince-orta taneli granitlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Kesme hızının artırılması istenildiğinde; kesme derinliğinin azaltılıp ilerleme hızının artırılması şeklindeki bir uygulamanın, kesme kuvvetlerinin testere üzerindeki olumsuz etkilerini azaltıcı bir rol oynadığı belirlenmiştir.
- Kesme hızının artmasıyla birlikte, normal kuvvetlerdeki artış hızı teğetsel kuvvetlere göre daha yüksek olmakta ve bunun sonucu olarak teğetsel kuvvet/normal kuvvet oranı azalmaktadır. Bu ise, soketler üzerindeki elmas tanelerinin çalışma yüksekliklerinin giderek azaldığına işaret etmektedir.
- Kesme hızı artırıldığında, soket-taş arasındaki kesme zonundaki talaşların kalınlığı ve miktarı da artmaktadır. Bu ise, soketlerdeki aşınmaları hızlandırmakta ve aktif güç tüketimini arttırmaktadır. Belirli bir kesme hızı

hedeflendiğinde; kesme derinliğinin azaltılıp ilerleme hızının artırılması, enerji tüketimini olumlu yönde etkilemektedir.

- Kesme derinliği veya ilerleme hızının artırılması, özgül kesme enerjisi üzerinde olumlu bir etki yapmakla birlikte, bu avantaj daha çok 100 -150 cm²/dak aralığındaki kesme hızlarında belirgindir. 150 – 200 cm²/dak aralığındaki kesme hızları için bu avantajın giderek azaldığı gözlenmiştir.
- Testere özgül aşınma değerinin, kesme hızıyla orantılı olarak arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, kesme derinliğine oranla ilerleme hızının özgül aşınma üzerinde daha etkin bir rol oynadığı anlaşılmaktadır.
- Kesme hızı arttırıldığında, gürültü seviyesi de yükselmektedir. Ancak, sabit bir kesme hızı için; ilerleme hızının azaltılıp kesme derinliğinin artırılması, gürültü seviyesini düşürmektedir.
- Kuvars içeren granitler için yapılan kesilebilirlik analizlerinde; kuvars tane boyutu ve miktarının yanısıra, alkali feldspat minerallerinin tane boyutlarının da kesilebilirlik parametreleri üzerinde etkili bir faktör olduğu görülmüştür. Shore sertlik değeri ile özgül aşınma ve görünür yoğunluk ile gürültü arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Bununla birlikte, diğer fiziko-mekanik özellikler ile kesilebilirlik parametreleri arasında istatistiksel anlamda güvenilir birebir ilişkiler elde edilememiştir. Elde edilen bu sonuçlar, granitlerin kesilebilirlik karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla yapılacak çalışmalarda, mineralojik-petrografik analizlere ağırlık verilmesinin gerekli olduğunu vurgulamaktadır.
- Kuvars içermeyen üç adet magmatik kayaç üzerinde yapılan kesme deneylerinde, bu tür kayaçların sahip oldukları farklı mineralojik-petrografik özellikler nedeniyle; kesme kuvvetleri, özgül aşınma ve özgül kesme enerjisi bakımından farklı kesilebilirlik eğilimleri gösterdikleri belirlenmiştir. Bu nedenle, ileride yapılacak kesilebilirlik çalışmalarında, kuvars içermeyen fakat ticari anlamda “granit” olarak anılan bu tür kayaçların gerçek granitlerden ayrı

olarak değerlendirilmesi olası yorumsal hataları önleyecektir. Doğal taş ticaretinde önemli bir paya sahip olan bu tür kayalar üzerinde gelecekte daha ayrıntılı çalışmaların yapılması yararlı olacaktır.

- Teğetsel kuvvetler, özellikle kuvars miktarı ve maksimum kuvars tane boyutu ile orantılı olarak artmaktadır. Ayrıca, alkali feldspat maksimum tane boyutunun da teğetsel kuvvetler üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Bu tür dokusal ve mineralojik içeriğe sahip granitlerin kesiminde, soketlerdeki elmasların görece küçük tane boyutunda ve yüksek konsantrasyonda seçilmesi uygun olacaktır.
- Kesim esnasında testere üzerine etkiyen normal kuvvetlerin maksimum ve ortalama kuvars tane boyutundan etkilendiği belirlenmiştir. Bu tür bir bulgunun, kesim hassasiyetinin ön planda olduğu uygulamalar için önemli olduğu vurgulanmıştır.
- Kuvars maksimum tane boyutu ve alkali feldspat maksimum/ortalama tane boyutunun soketlerdeki aşınmayı (özgül aşınma) etkileyen başlıca parametreler olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, anılan dokusal özelliklerin hakim olduğu granitlerin kesiminde testere ömrünün görece düşük olması beklenmelidir.
- Kesme veriminin bir göstergesi olan özgül kesme enerjisinin, maksimum kuvars tane boyutu ve kuvars miktarı ile orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Bu ise, benzer mineralojik özellikler gösteren granitlerde birim hacımdaki kayacı kesmek için tüketilen enerji miktarının görece daha yüksek olacağına işaret etmektedir.
- Regresyon analizleri yardımıyla, kesilebilirlik parametrelerine ait değerlerin tahmininde belirlilik katsayısı (R^2) daha yüksek olan modellerinin geliştirilebileceği gösterilmiştir. Bununla birlikte, geliştirilen bu tahmin modellerinin sadece uygulanan kesme koşulları ve incelenen kayalar için geçerli olabileceği vurgulanmıştır.

Bu çalışmada yapılan kesme deneylerinde, testereye ait parametreler (elmas tane boyutu, konsantrasyonu ve kalitesi, matriks özellikleri, testere çapı, testere kalınlığı ve soket adedi) ve bazı çalışma parametreleri (çevresel hız ve soğutma suyu debisi) sabit tutulmuştur. Gelecekte yapılacak olan deneysel çalışmalarda, bu parametrelerin kesme performansı üzerindeki etkilerinin de araştırılması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] C. Montani, Stone 2005 World Marketing Handbook., 2005, p.253.
- [2] Stone 2005, Doğal Taş ve Endüstrisi Kataloğu, Yapı-Endüstri Merkezi A.Ş., 2005.
- [3] İstanbul Maden İhracatçıları Birliği (İMMİB) Mal Grubu Ülke Raporu (Türkiye Geneli), www.immib.org.tr
- [4] Dış Ticaret Müsteşarlığı (DTM), www.dtm.gov.tr
- [5] Uyanık, T., Doğal Taşlar. T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, 2005, p.10.
- [6] S. Alper, “Dünya doğaltaş ticareti ve Türkiye,” *I.Ulusal Mermer ve Doğal Taşlar Kongresi Tebliğler Kitabı*, 1-2 Şubat 2008, İzmir, pp.68-74.
- [7] H. Sağdıncı, “Granit,” *Türkiye’de Mermer*, sayı 48, Ekim 1986, pp. 34-38.
- [8] T. Onargan, H. Köse, H. Deliormanlı, “Mermer,” TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2005.
- [9] S. Kulaksız, “Doğal taş (Mermer) maden işletmeciliği ve işleme teknolojileri,” TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2005.
- [10] Polmak Makina İmalat A.Ş. Elmalı taş testereleri, Tanıtım kataloğu.
- [11] Ş. Karagöz, M. Zeren, “Mermer kesiminde kullanılan elmas kesici takımlarda aşınma karakteristiği,” Türkiye III. Mermer Sempozyunu (MERSEM ‘2001) Bildiriler Kitabı, 3-5 Mayıs 2001, Afyon, pp. 452-461.
- [12] A. Büttner, “Diamond tools and Stone,” *Industrial Diamond Review*, pp.89-93, March 1974.
- [13] J. Konstanty, “Theoretical analysis of stone sawing with diamonds”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol.123, pp.146-154, 2002.
- [14] J. Konstanty, “The materials science of stone sawing,” *Industrial Diamond Review*, pp. 27-31, 1/91.
- [15] J. Konstanty, “Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of Stone,” *Industrial Diamond Review*, pp. 55-65, January 2000.

- [16] W. Ertingshausen, "Wear processes in sawing hard stone," *Industrial Diamond Review*, vol.45, pp. 254-258, 1985.
- [17] M. Jennings, D.N. Wright, "Guidelines for sawing Stone," *Industrial Diamond Review*, pp. 70-75, 2/89.
- [18] A. Şekerci, "Elmaslı sondaj tekniğinde elmas kronların imalatı ve yeniden kazanımı," Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1998.
- [19] Sonmak Tanıtım kataloğu, 1994. Elmaslı dairesel taş testereleri.
- [20] H.K. Tönshoff, H. Hillman-Apmann, J. Asche, "Diamond tools in stone and civil engineering industry: cutting principles, wear and application," *Diamond and Related Materials*, vol.11, pp.736-741, 2002.
- [21] A.G. Mamalis, R. Schulze and H.K. Tönshoff, "The slotting of blocks of hard rock with a diamond segmented circular sawblade", *Industrial Diamond Review*, pp. 356-365, October 1979.
- [22] S.Y. Luo and Y.S. Liao "Study of behaviour of diamond saw-blades in stone processing," *Journal of Material Processing Technology*, vol.51, pp.296-308, 1995.
- [23] P. Hausberger, "Stone Machinability," *Industrial Diamond Review*, pp. 258-261, 5/90.
- [24] B. Unver, "A statistical method for practical assessment of sawability of rocks," *Proceedings of the ISRM International Symposium Eurock 96*, Barla (Edt.), Rotterdam, Balkema, 1996, pp. 59-65.
- [25] H.K. Tönshoff, J. Asche, "Wear of metal-bond diamond tools in the machining of stone," *Industrial Diamond Review*, vol.1, pp. 7-13, 1997.
- [26] S.Y. Luo, "Characteristics of diamond sawblade wear in sawing," *International Journal of Manufacture.*, Vol. 36, pp. 661-672, 1996.
- [27] W. Ertingshausen, "Zerspanning von Granit mit Diamant-Trennschleifscheiben," Dr-Ing. Dissertation, Universität Hannover, 1984.
- [28] G.J. Bullen, "Der blattverschleis beim Sagen von Granit mit hohen Flächenleistungen," *Industrie Diamanten Rundschau*, vol.16, pp.4-10, 1982.
- [29] X.P. Xu, Y. Li, "The effects of swarf in the diamond sawing of granite," *Key Engineering Materials*, Vol 250, pp.21-32, 2003.

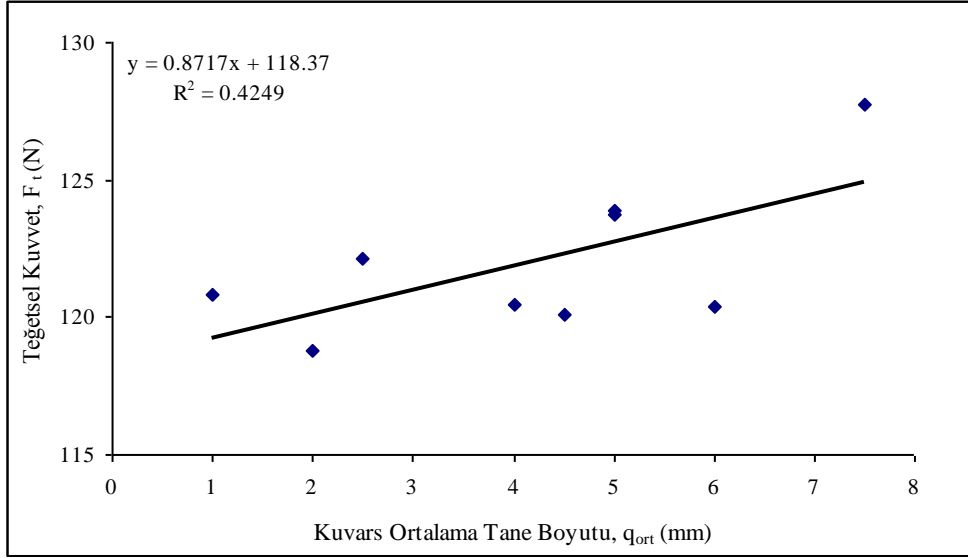
- [30] <http://www.msm.cam.ac.uk/tribo/wear.htm>
- [31] S.Y. Luo, "Investigation of the worn surfaces of diamond sawblades in sawing granite," *Journal of Materials Processing Technology*, vol.70, pp. 1-8, 1997.
- [32] X. Xu, "Friction studies on the process in circular sawing of granites," *Tribology Letters*, vol. 7, pp.221-227, 1999.
- [33] I.S. Buyuksagis, "Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond blades," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 183, pp. 399-406, 2007.
- [34] Y. Li, H. Huang, J.Y. Shen, X.P. Xu, Y.S. Gao, "Cost-effective machining of granite by reducing tribological interactions," *Journal of Materials Processing Technology*, vol.129, pp. 389-394, 2002.
- [35] X. Xipeng, Y. Yiging, "Sawing performance of diamond with alloy coatings," *Surface and Coatings Technology*, vol.198, pp.559-463, 2005.
- [36] S.W. Webb, "Diamond retention in sintered cobalt bonds for stone cutting and drilling," *Diamond and Related Materials*, vol.8, pp. 2043-2052, 1999.
- [37] X.P. Xu, Y. Li, W.Y. Zeng, L.B. Li, "Quantitative analysis of the loads acting on the abrasive grits in the diamond sawing of granites," *Journal of Materials Processing Technology*, vol.129, pp. 50-55, 2002.
- [38] A.D. Ilio, A. Togna, "A theoretical wear model for diamond tools in stone cutting," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol.43 pp.1171-1177, 2003.
- [39] X. Wei, C.Y. Wang, Z-H. Zhou, "Study on the fuzzy ranking of granite sawability," *Journal of Materials Processing Technology*, vol.139, pp. 277-280, 2003.
- [40] A.S. Eyuboglu, Y. Ozcelik, S. Kulaksiz, I.C. Engin, "Statistical and microscopic investigation of disc segment wear related to sawing Ankara andesites," *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, vol. 40, pp.405-414, 2003.
- [41] X. Xu, Y. Li, Y. Yu, "Force ratio in the circular sawing of granites with a diamond segmented blade," *Journal of Materials Processing Technology* 139 (2003) 281-285.
- [42] A. Ersoy, S. Buyuksagis, U. Atici, "Wear characteristics of circular diamond saws in the cutting of different hard and abrasive rocks," *Wear*, vol.258, pp.1422-1436, 2005.

- [43] N.S. Delgado, A. Rey-Rodriguez, L.M. Suarez del Rio, I.D. Sarria, L. Calleja, V.G. Ruiz de Argandona, "The influence of rock microhardness on the sawability of Pink Porrino granite (Spain)," *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, vol. 42, pp.161-162, 2005.
- [44] D.N. Wright and V.B. Cassapi, "Factors influencing stone sawability," *Industrial Diamond Review*, pp. 84-87, 2/1985.
- [45] D.N. Wright, "The Prediction of diamond wear in the sawing of Stone," *Industrial Diamond Review*, pp. 213-216, 5/1986.
- [46] X. Xipeng, L.Yuan, M. Stephen, "Forces and energy in circular sawing and grinding of granite," *Journal of Manufacturing Sciences and Engineering*, ASME, vol.123, pp.13-22, 2001.
- [47] C.Y. Wang, X. Wei, Z.L. Tang and Z.C. Pan, "The role of coolant in granite sawing," *Industrial Diamond Review*, pp.156-160, vol.4, 1995.
- [48] J. Asche. "Deep grinding- a new dimension in cutting granite," *Industrial Diamond*, vol.2, pp. 110-122, 1999.
- [49] A. Streckeisen, "To each plutonic rock its proper name," *Earth Science Reviews*, vol.12, pp. 12-33, 1976.
- [50] Türk Standartları Enstitüsü. TS EN 1926 Doğal taşlar- deney metodları-basınç dayanımı tayini, Nisan 2000, p. 10.
- [51] Türk Standartları Enstitüsü. TS 699 Yarmada çekme mukavemeti deneyi, Ocak 1987, pp. 30-32.
- [52] Türk Standartları Enstitüsü. TS EN 12372 Tek eksenli yük altında eğilme dayanımı tayini, Kasım 2001, p.7.
- [53] R. Altındağ, A. Güney, "Suggested method for determining the Shore hardness value for rock," *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, vol. 43, pp.19-22, 2006.
- [54] R. Altındağ, "Effects of specimen volume and temperature on measurements of Shore hardness," *Rock Mechanics and Rock Engineering*, vol. 35 (2), pp.109-113, 2002.
- [55] Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 14579 Natural stone test methods- Determination of sound speed propagation, p.11, Şubat 2006.

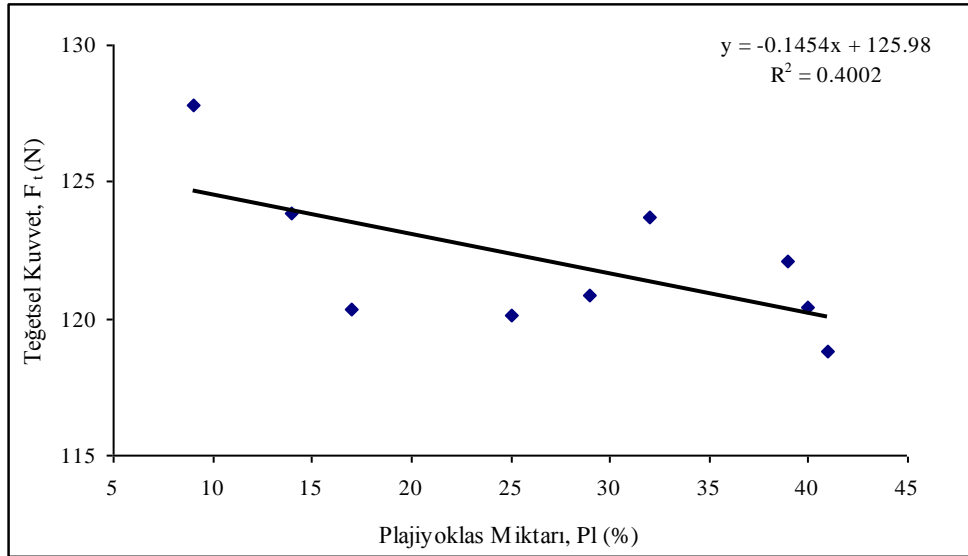
- [56] Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 13755 Doğal Taşlar-Deney Metotları-Atmosfer basıncında su emme tayini, p.2, Ocak 2003.
- [57] Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1926 Doğal Taşlar-Deney Metotları-Gerçek yoğunluk, Görünür yoğunluk, Toplam ve açık gözeneklilik tayini, p.5, Mart 2001.
- [58] S.M. Çınar, “Mermer kesme makinelerinde elektrik enerjisi tüketimi optimizasyonu,” Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [59] B.Denka, H.K. Tönshoff, T. Friemuth, A. Gierse, “The band saw as a tool in the naturalstone industry,” *Industrial Diamond Review* , vol.1, pp.57-60, 2004.
- [60] Y.Q. Yu, Y.Li, X.P Xu, “Comperative study on the dressing of metal-bonded diamond saws,” *Key Engineering Materials*, vols. 304-305, pp.19-23, 2006.
- [61] Y. Li, Y.Q Yu, X.P Xu, “Measurement and analysis of cutting forces in circular sawing of granite,” *Key Engineering Materials*, vols. 202-203, pp.293-298, 2001.
- [62] B.Denka, H.K. Tönshoff, T. Friemuth and T.Glatzel, “Development of advanced tools for economic and ecological grinding of granite,” *Key Engineering Materials*, vol. 250, pp 21-32, 2003.
- [63] H.K Tönshoff, G. Warnecke, “Research on stone sawing,” in *Advances in ultra hard materials application technology*. Vol. 1, *De Beers Industrial Diamond Division*, P. Daniel, 1982, pp.36-49.
- [64] İ.S. Buyuksağis, R.M. Goktan, “Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 169, pp. 258-262, 2005.
- [65] Keyence CCD Laser Displacement Sensor General Catalog- LK-G Series.
- [66] J. Sandak and C. Tanaka, “Evaluation of surface smoothness by laser displacement sensor I: effect of wood species,” *Journal of Wood Science*, vol. 49, pp.305-311, 2003.
- [67] J. Sandak and C. Tanaka and T. Ohtani, “Evaluation of surface smoothness by laser displacement sensor II. Comprasion of lateral effect photodiode and multielement array” *Journal of Wood Science*, vol. 50, pp 22-27, 2004.

- [68] Y.N. Hu, C.Y. Wang and H.N. Ding, "The mechanical performance of diamond saw blades with special structure," *Key Engineering Materials*, vols.259-260, pp 141-145, 2004.
- [69] Y. Hu, C.Wang, S.Hu, B.Chen and C.Chen, "Dynamic characteristic analysis of diamond saw blade with multi-hole base and different segment width," *Key Engineering Materials*, vols.375-376, pp 369-374, 2008.
- [70] P. Dennis and P.E. Driscoll, (www.eison.com), "The Fundamentals of Sound," p.30.
- [71] A. Ersoy, U. Atıcı, "Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rock," *Diamond and Related Materials*, vol.13, pp. 22-37, 2004.
- [72] World Stonex, (www.worldstonex.com) "An approximate ranking of the sawability of hard building stones based on laboratory tests" p.30.
- [73] V.B. Cassapi, "Factors influencing the sawability of Stones," Ph.D. Thesis, University of Nottingham, England, 1987.
- [74] Y.Q. Yu, Y. Li, X.P. Xu, "An experimental study of the specific energy in grinding granite," *Materials Science Forum*, vols. 471-472, pp. 625-629, 2004.
- [75] Q.L. Dai, X.P. Xu, "Study of the sawing performance of diamond segments with different additives in circular sawing," *Key Engineering Materials*, vols. 259-260, pp. 106-111, 2004.

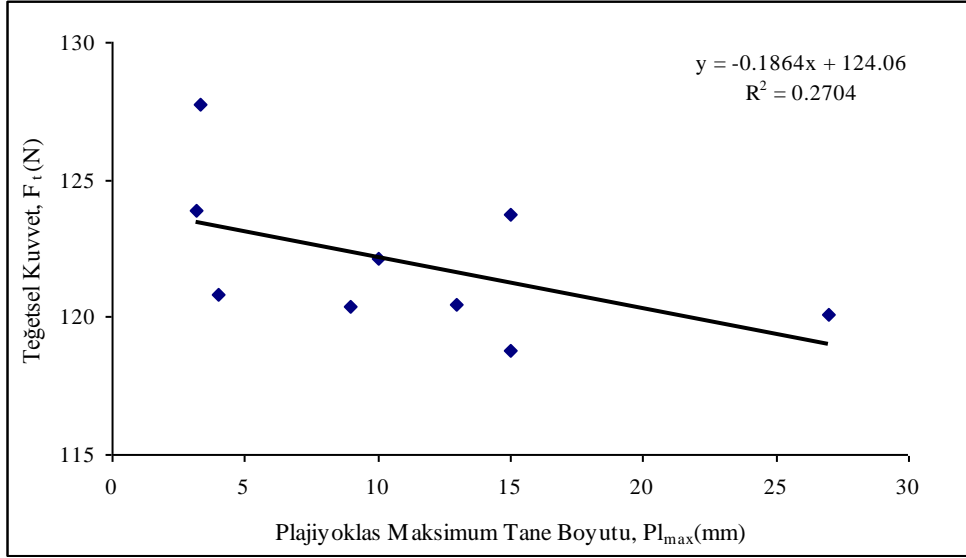
EK 1 Mineralojik-Petrografik Özellikler ile Kesilebilirlik Parametreleri arasındaki İstatistiksel İlişkiler



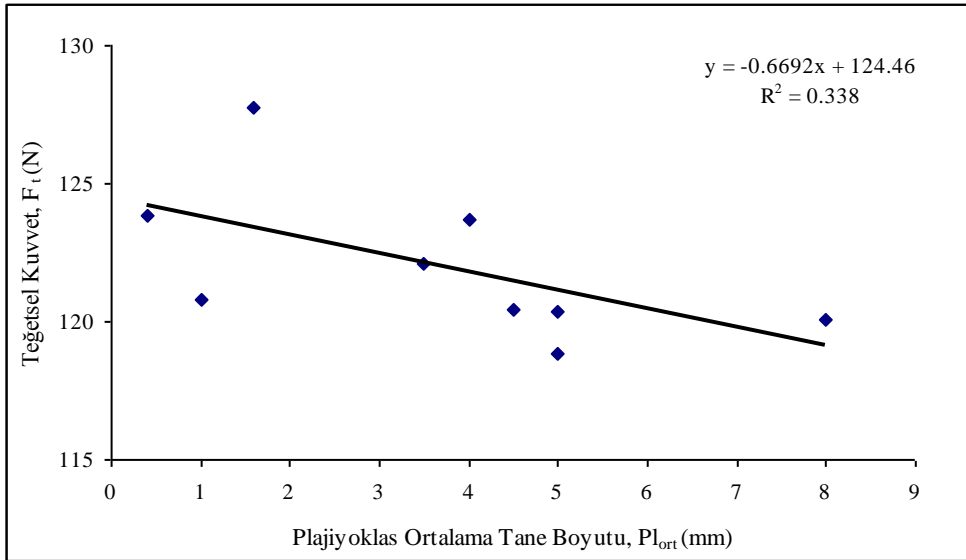
Şekil 1. Kuvars ortalama tane boyutu-teğetsel kuvvet ilişkisi.



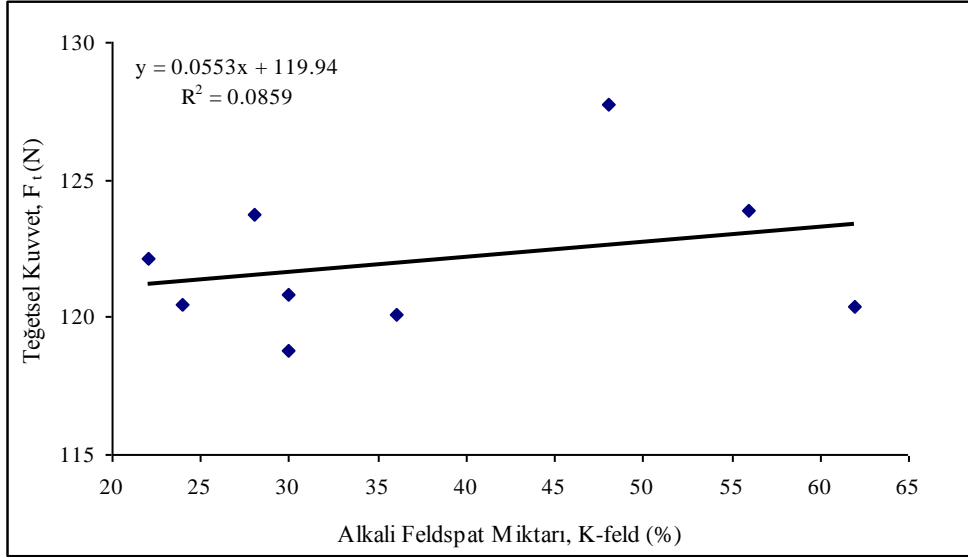
Şekil 2. Plajiyoklas miktarı-teğetsel kuvvet ilişkisi.



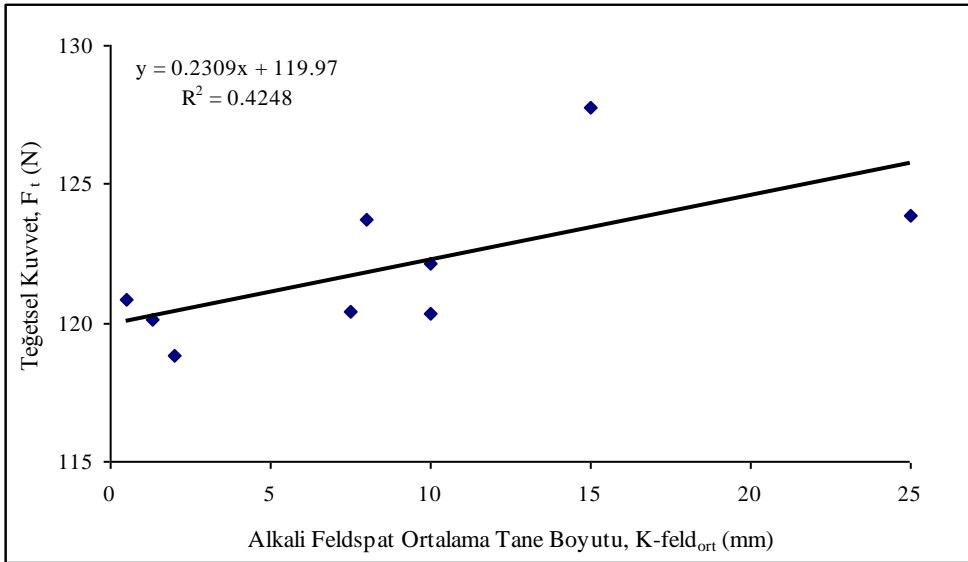
Şekil 3. Plajiyoklas maksimum tane boyutu-teğetsel kuvvet ilişkisi.



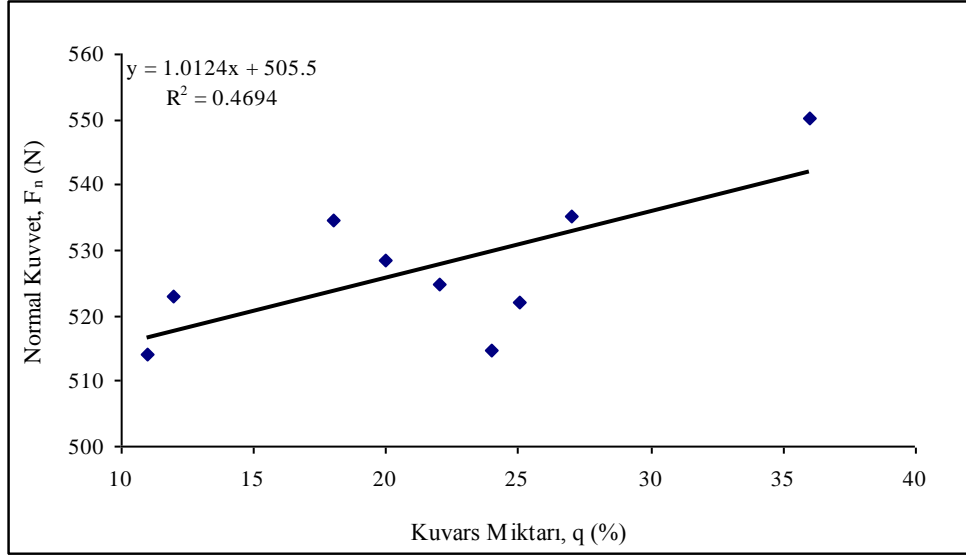
Şekil 4. Plajiyoklas ortalama tane boyutu-teğetsel kuvvet ilişkisi.



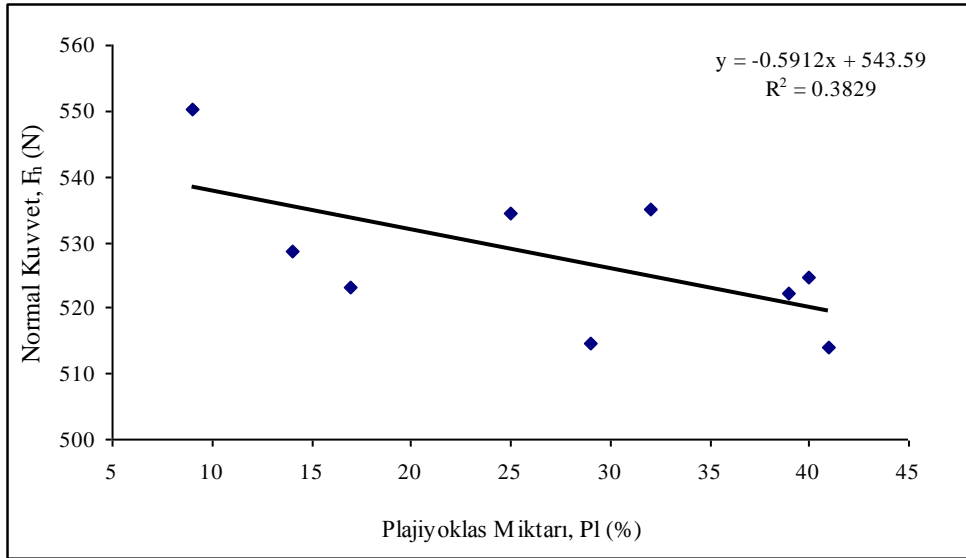
Şekil 5. Alkali feldspat miktarı-teğetsel kuvvet ilişkisi.



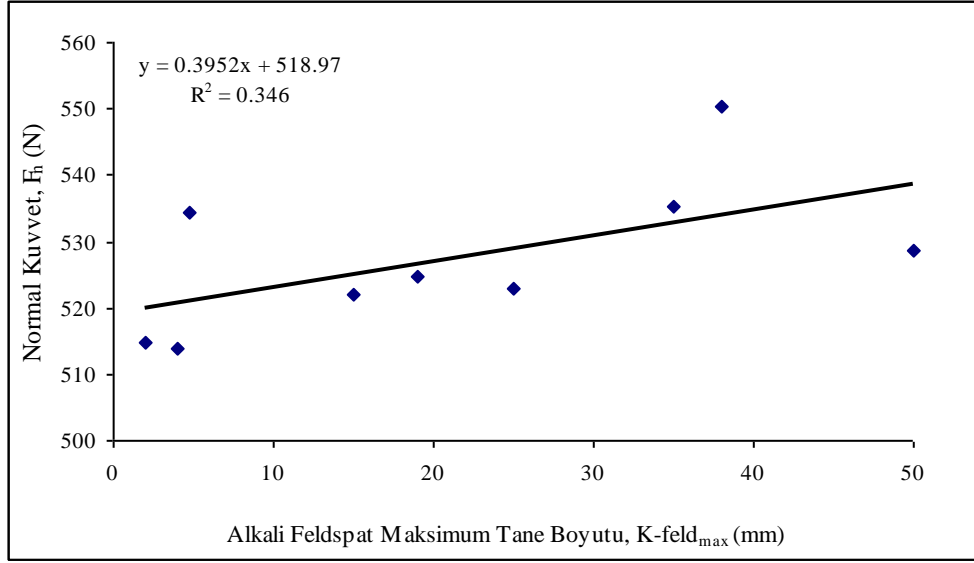
Şekil 6. Alkali feldspat ortalama tane boyutu-teğetsel kuvvet ilişkisi.



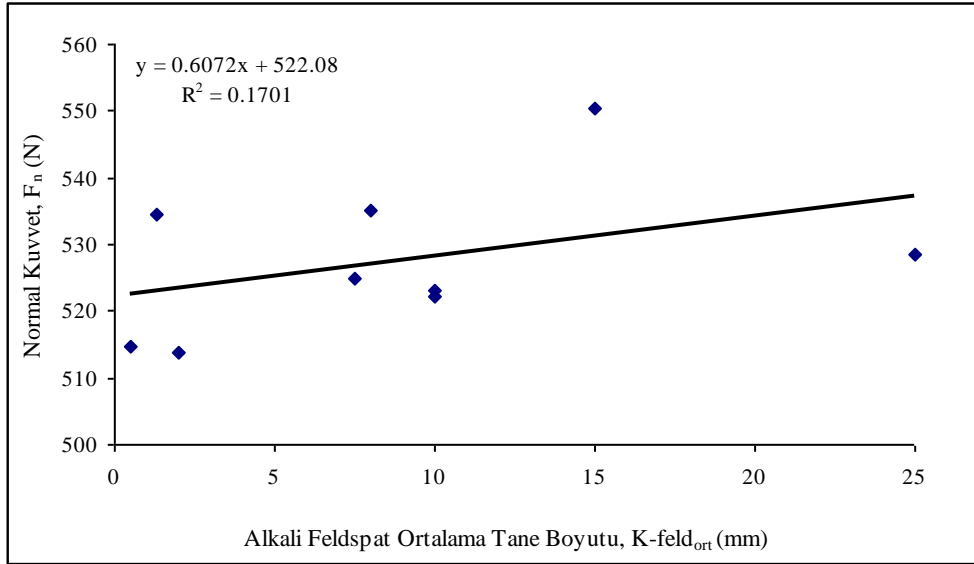
Şekil 7. Kuvars miktarı-normal kuvvet ilişkisi.



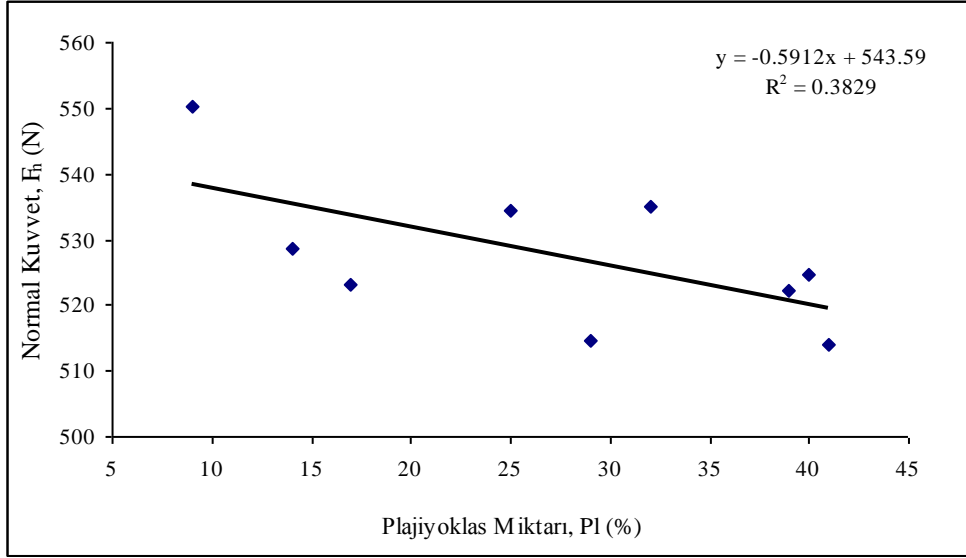
Şekil 8. Alkali feldspat miktarı- normal kuvvet ilişkisi.



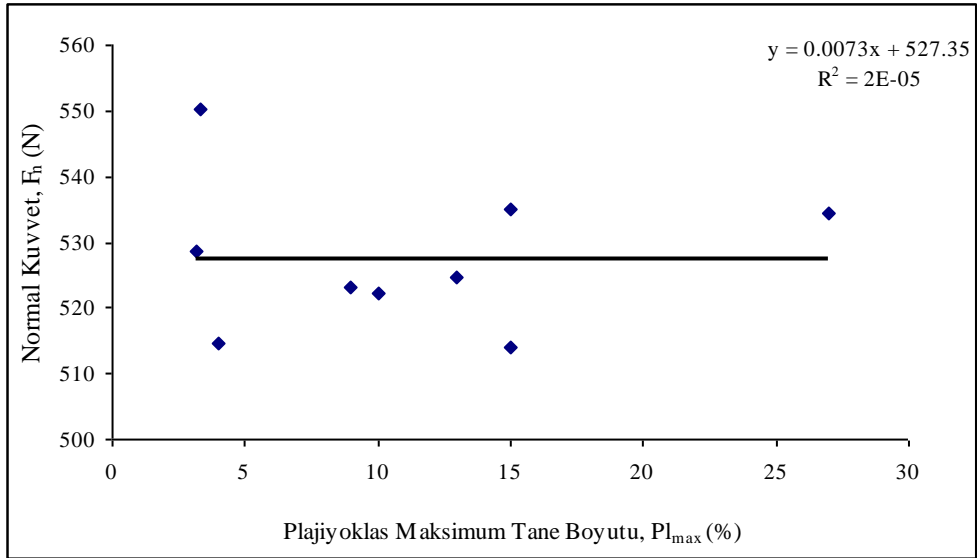
Şekil 9. Alkali feldspat maksimum tane boyutu- normal kuvvet ilişkisi.



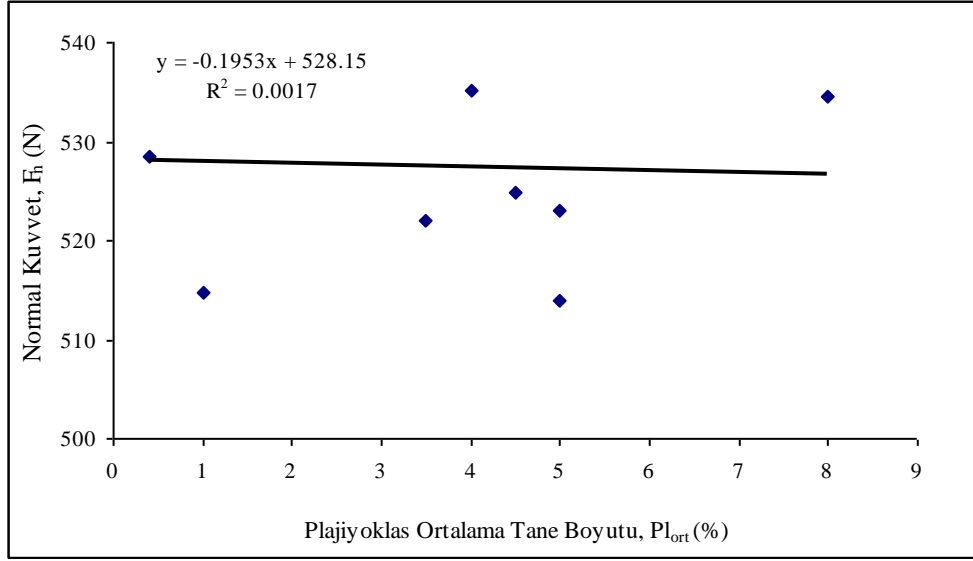
Şekil 10. Alkali feldspat ortalama tane boyutu- normal kuvvet ilişkisi.



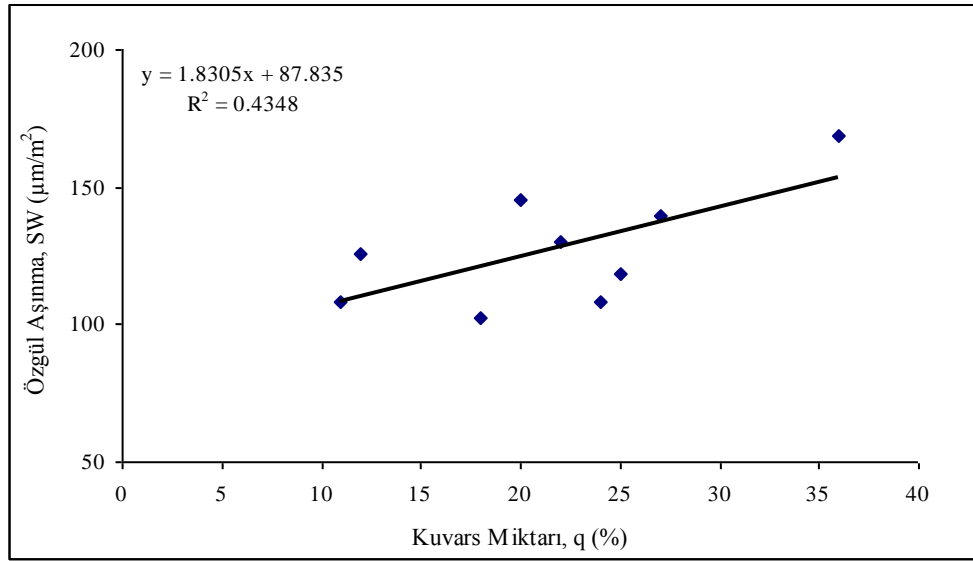
Şekil 11. Plajiyoklas miktarı- normal kuvvet ilişkisi.



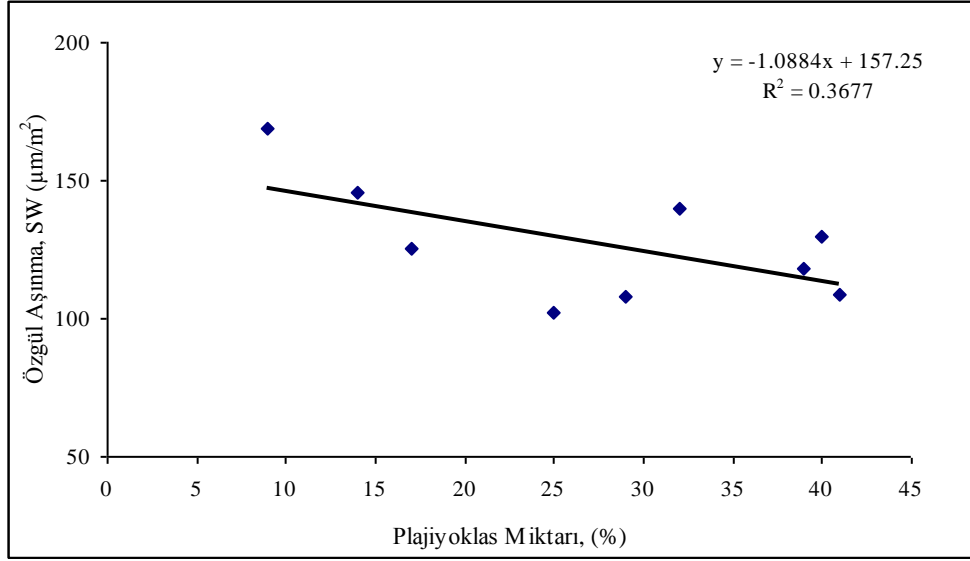
Şekil 12. Plajiyoklas maksimum tane boyutu- normal kuvvet ilişkisi.



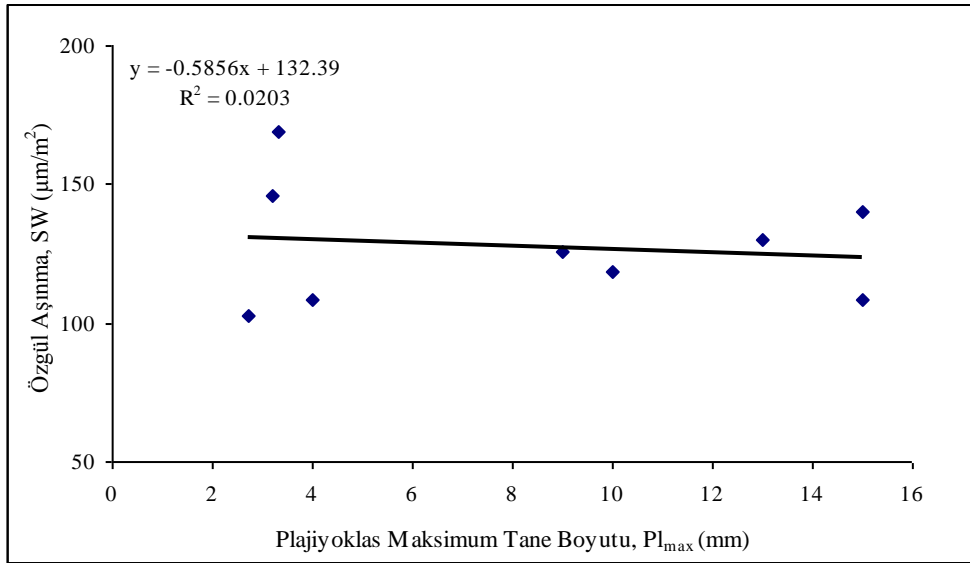
Şekil 13. Plajiyoklas ortalama tane boyutu- normal kuvvet ilişkisi.



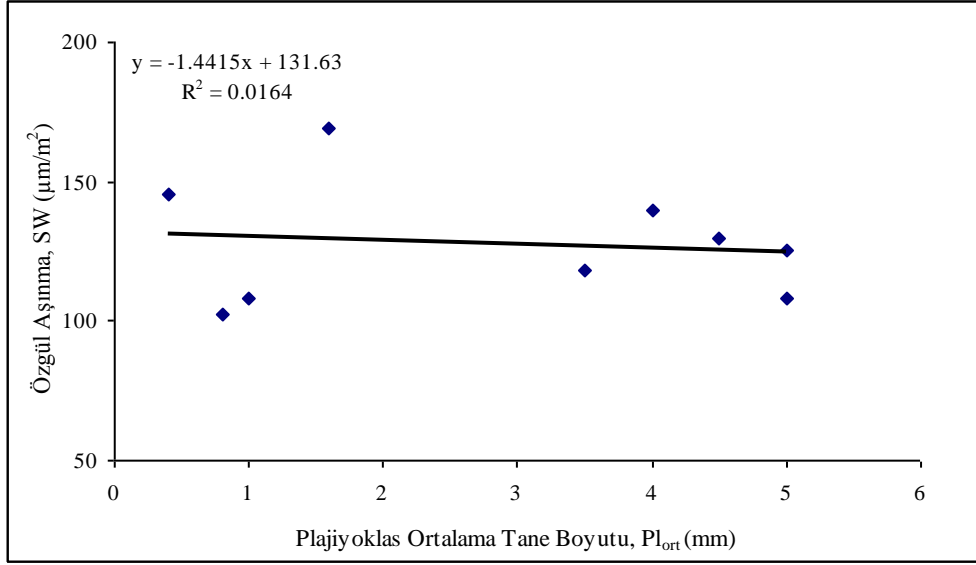
Şekil 14. Kuvars miktarı- özgül aşınma ilişkisi.



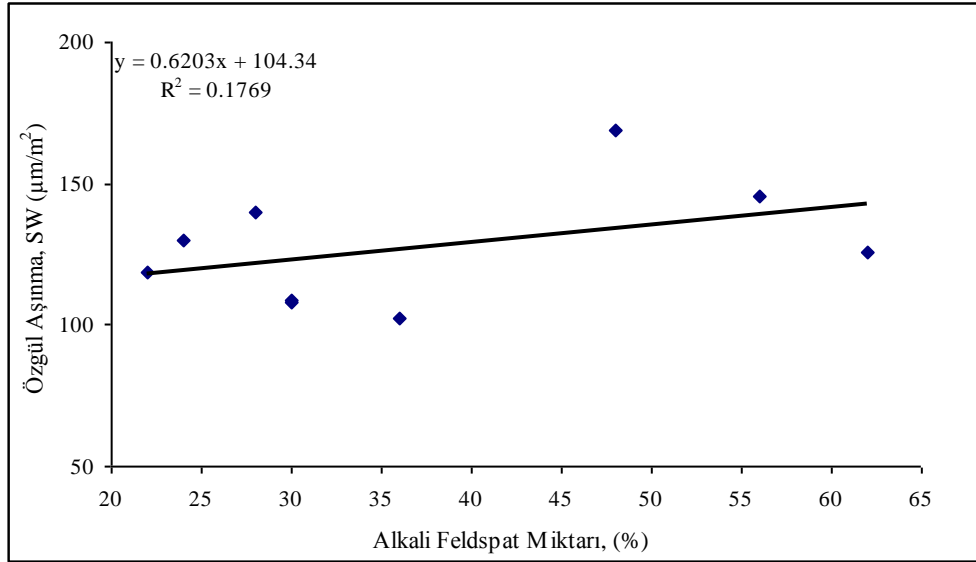
Şekil 15. Plajiyoklas miktarı- özgül aşınma ilişkisi.



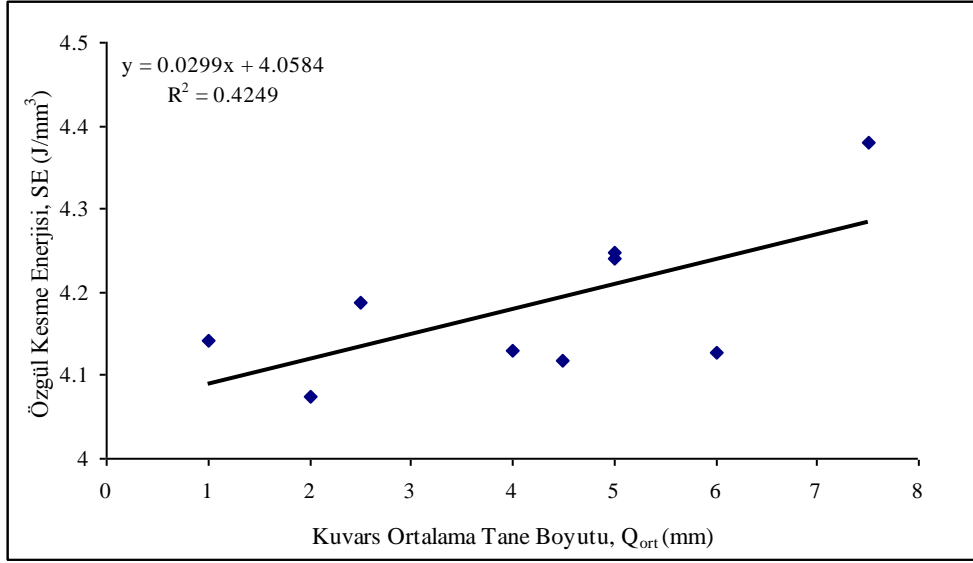
Şekil 16. Plajiyoklas maksimum tane boyutu- özgül aşınma ilişkisi.



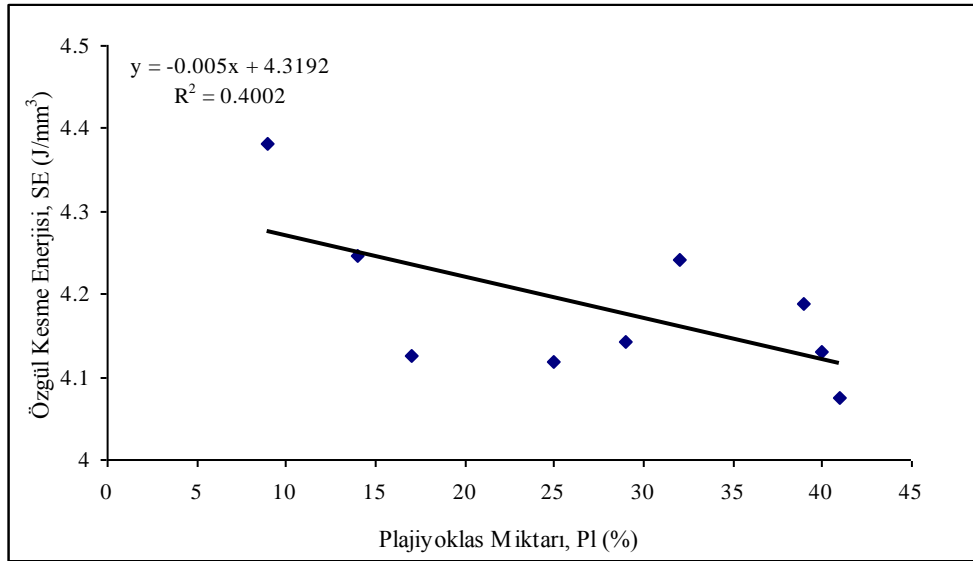
Şekil 17. Plajiyoklas ortalama tane boyutu- özgül aşınma ilişkisi.



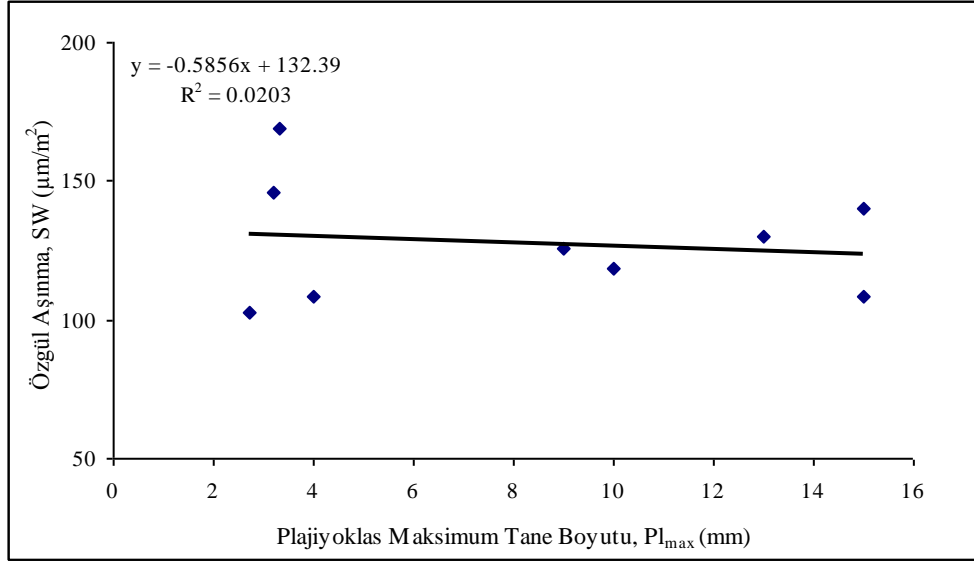
Şekil 18. Alkali feldspat miktarı- özgül aşınma ilişkisi.



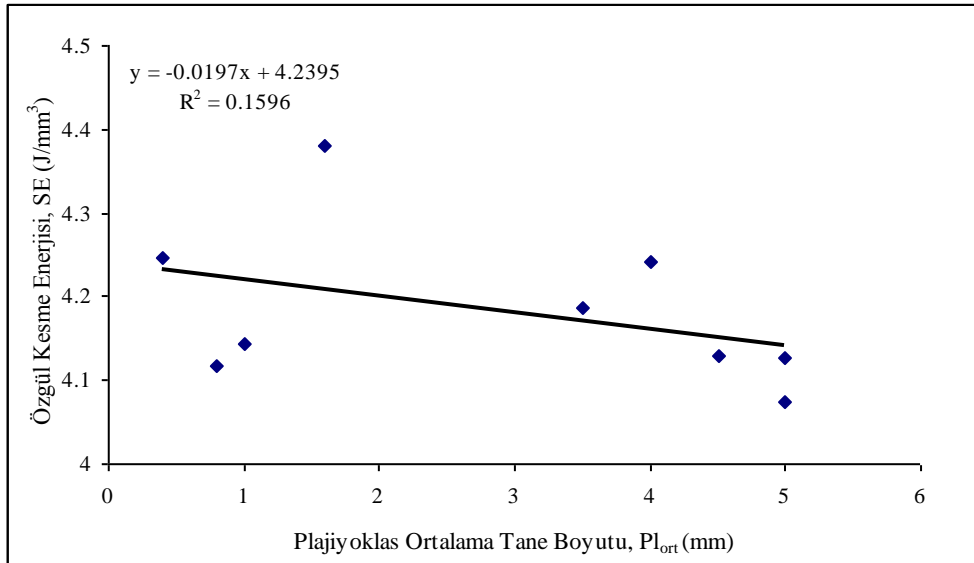
Şekil 19. Kuvars ortalama tane boyutu-ölgül kesme enerjisi ilişkisi.



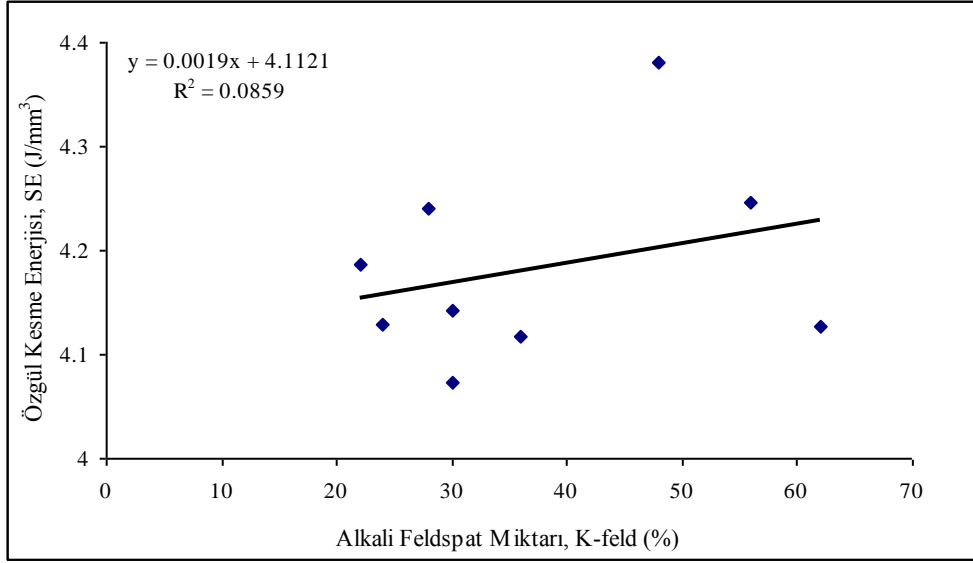
Şekil 20. Plajiyoklas miktarı-ölgül kesme enerjisi ilişkisi.



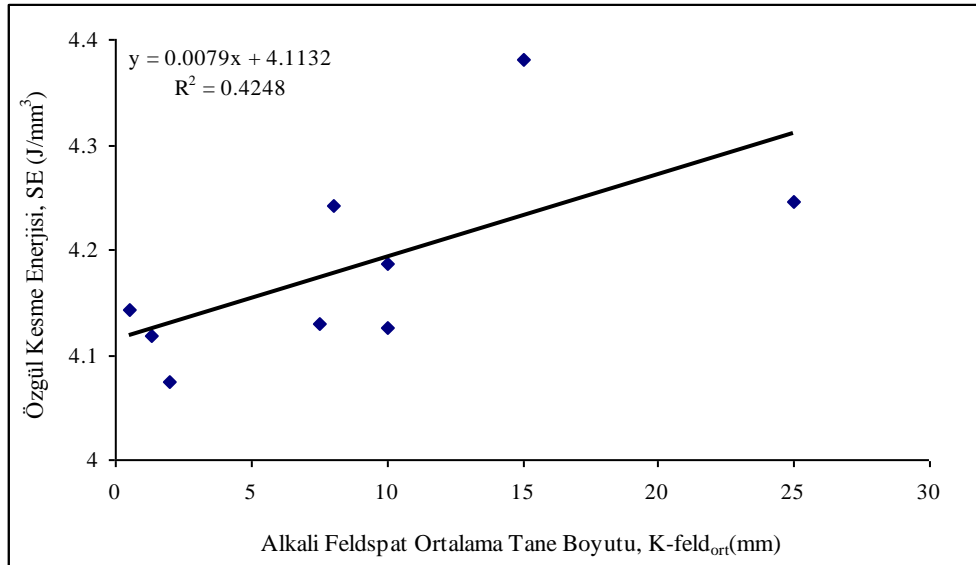
Şekil 21. Plajiyoklas maksimum tane boyutu-ölgül kesme enerjisi ilişkisi.



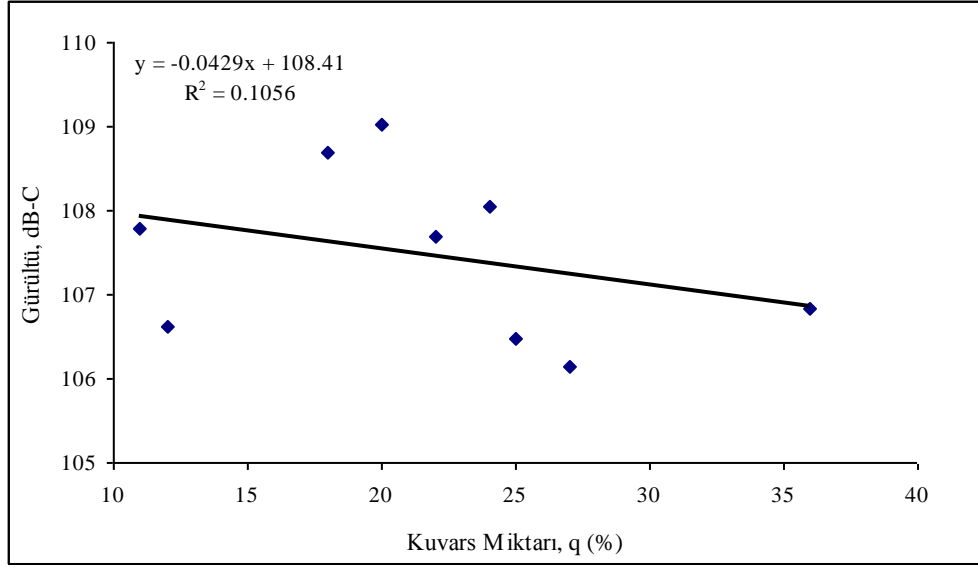
Şekil 22. Plajiyoklas ortalama tane boyutu-ölgül kesme enerjisi ilişkisi.



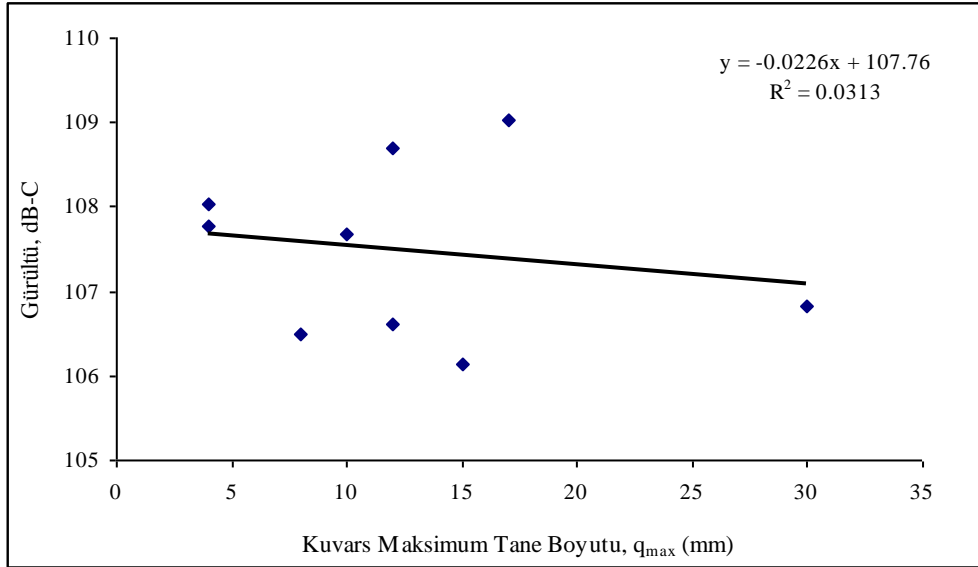
Şekil 23. Alkali feldspat miktarı-ölgül kesme enerjisi ilişkisi.



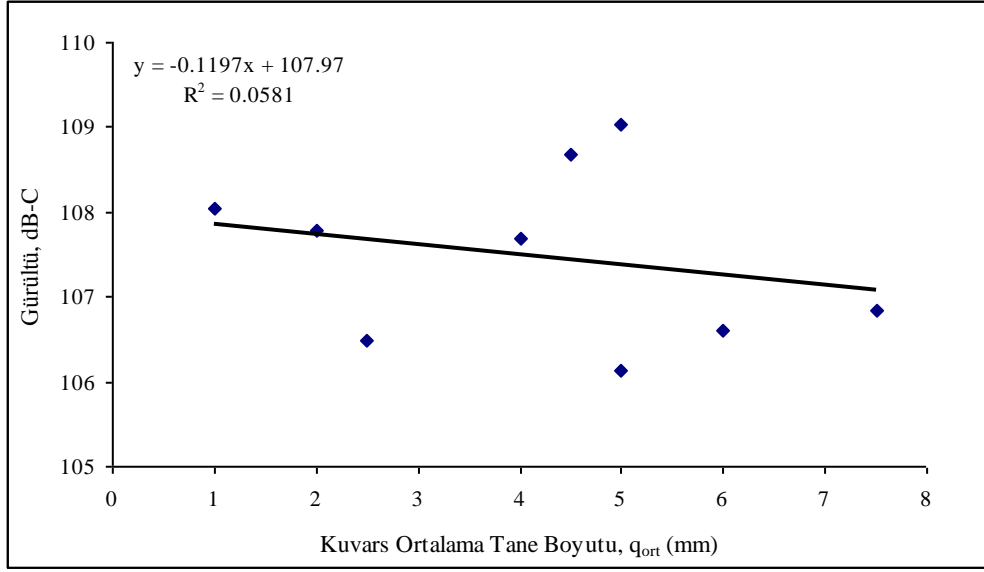
Şekil 24. Alkali feldspat ortalama tane boyutu-ölgül kesme enerjisi ilişkisi.



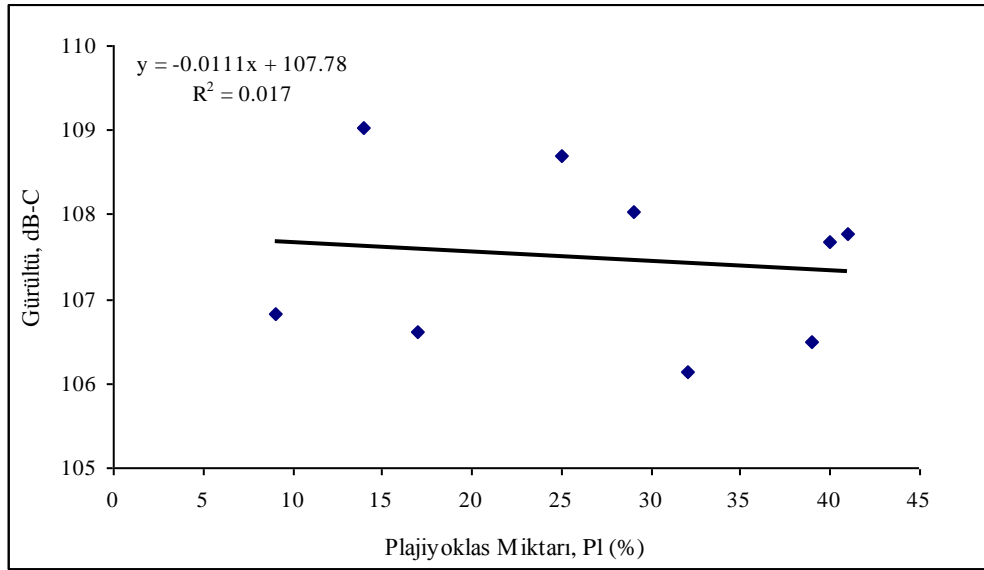
Şekil 25. Kuvars miktarı- gürültü ilişkisi.



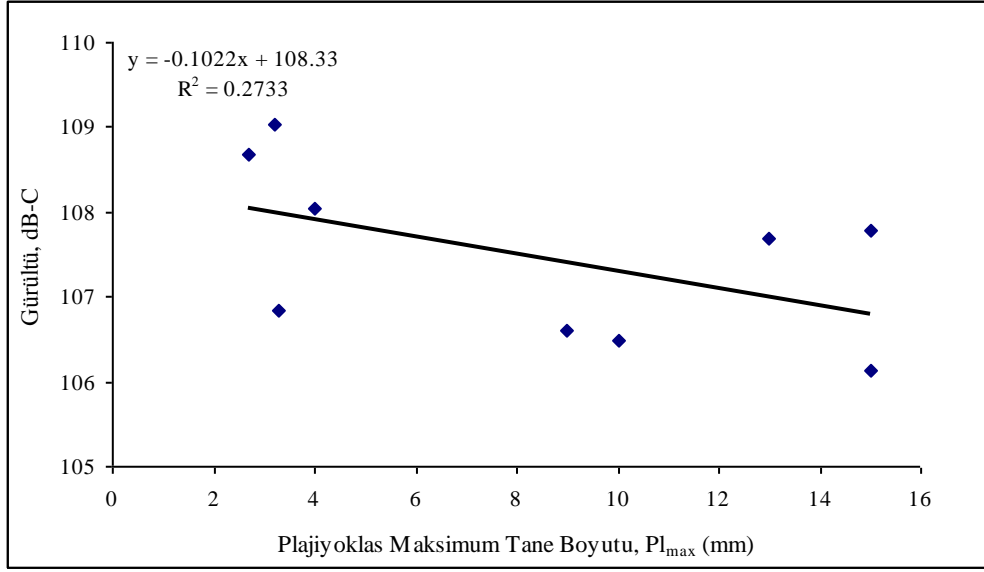
Şekil 26. Kuvars maksimum tane boyutu - gürültü ilişkisi.



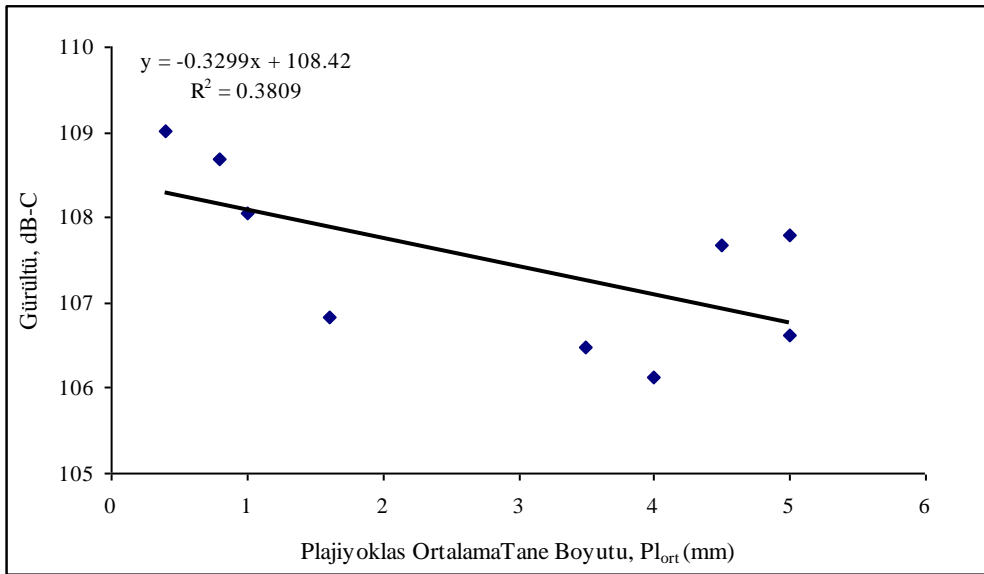
Şekil 27. Kuvars ortalama tane boyutu - gürültü ilişkisi.



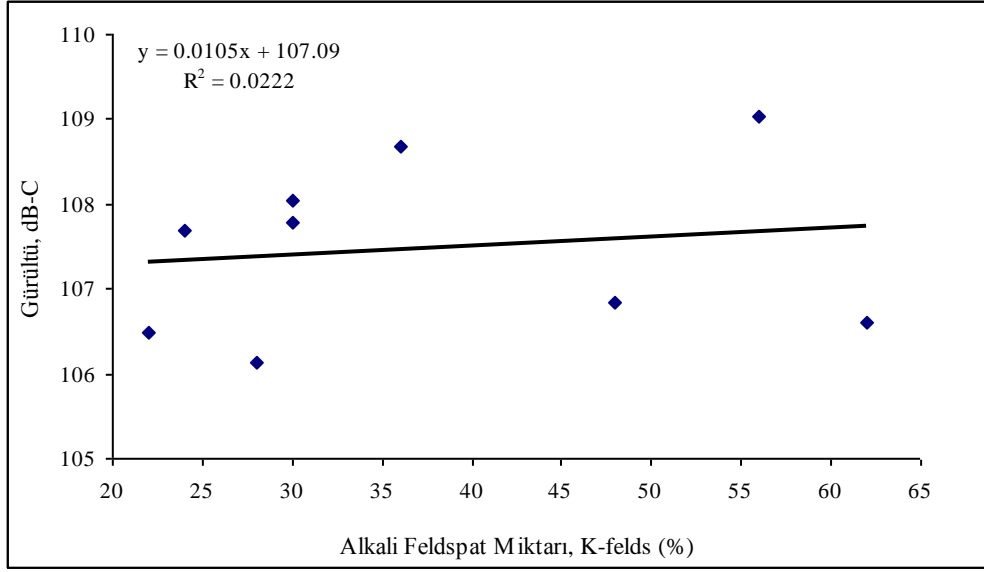
Şekil 28. Plajiyoklas miktarı - gürültü ilişkisi.



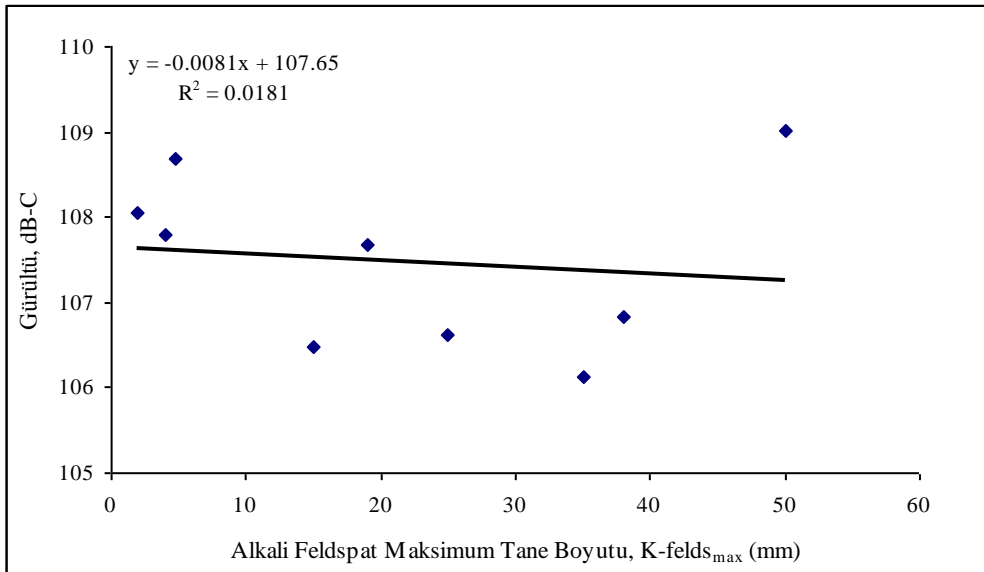
Şekil 29. Plajiyoklas maksimum tane boyutu - gürültü ilişkisi.



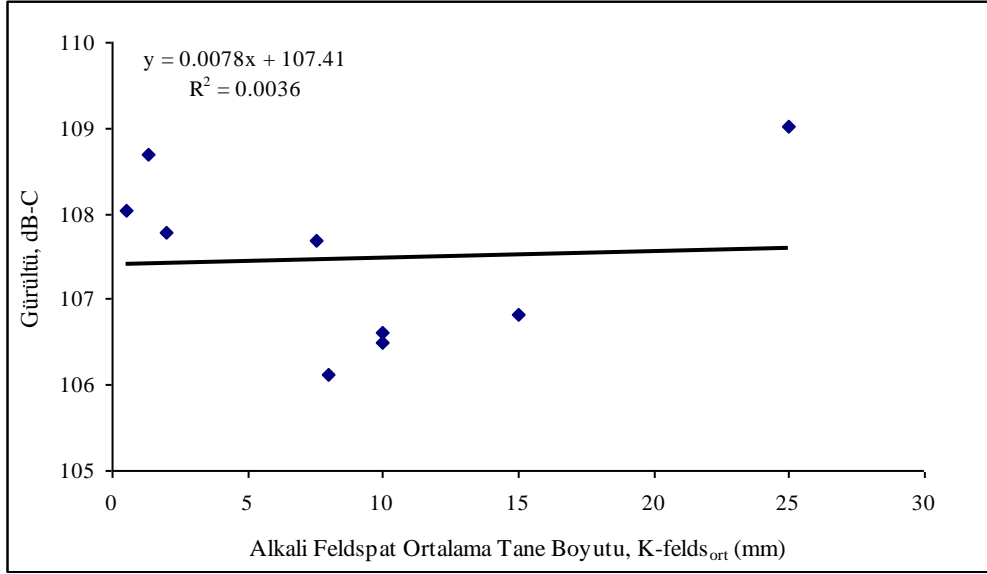
Şekil 30. Plajiyoklas ortalama tane boyutu - gürültü ilişkisi.



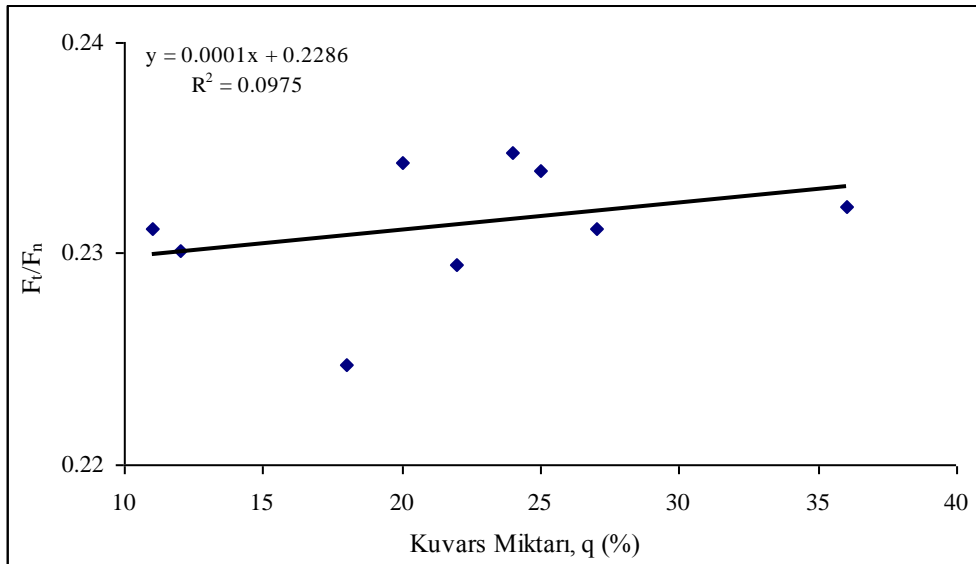
Şekil 31. Alkali feldspat miktarı - gürültü ilişkisi.



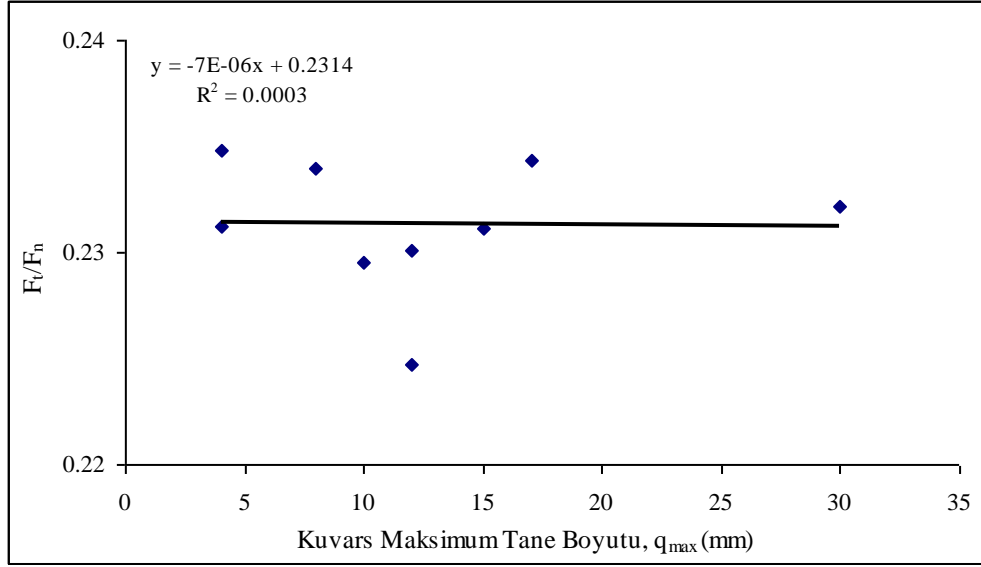
Şekil 32. Alkali feldspat maksimum tane boyutu - gürültü ilişkisi.



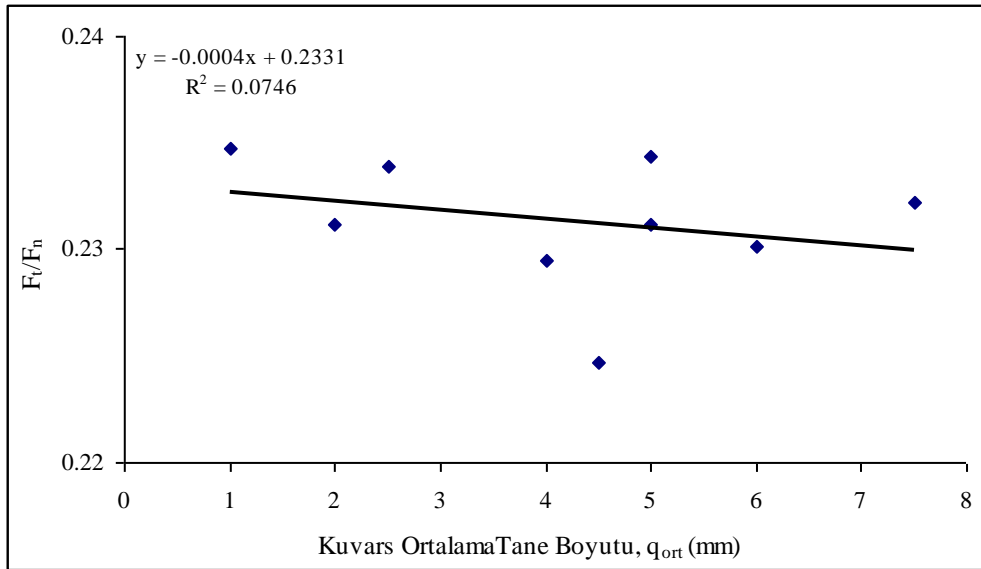
Şekil 33. Alkali feldspat ortalama tane boyutu - gürültü ilişkisi.



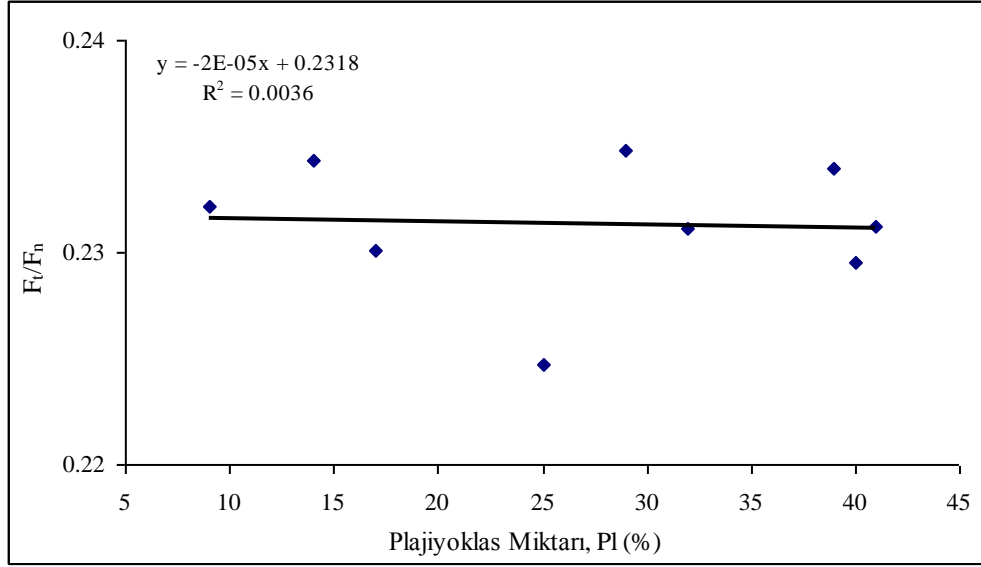
Şekil 34. Kuvars miktarı-F_v/F_n ilişkisi.



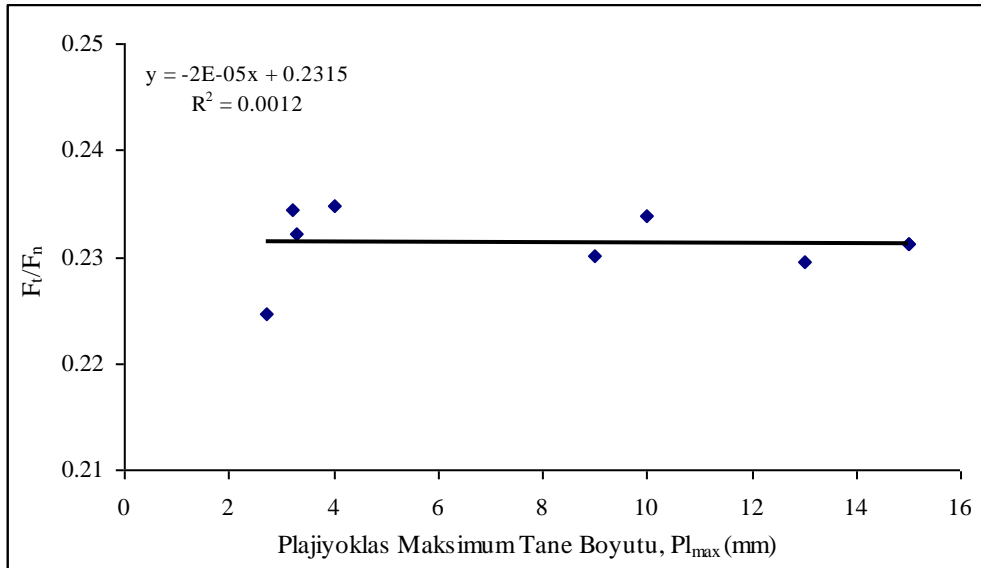
Şekil 35. Kuvars maksimum tane boyutu- F_t/F_n ilişkisi.



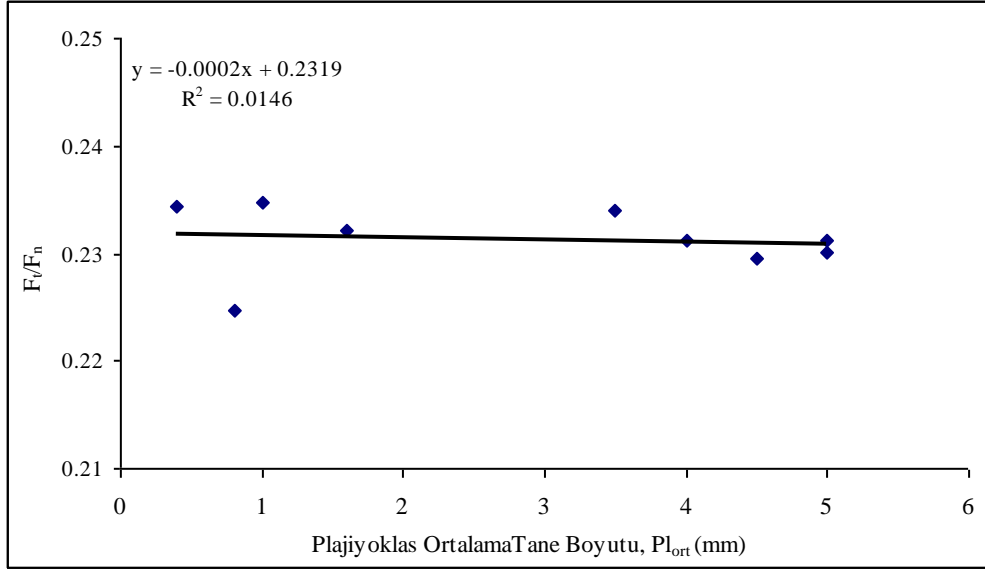
Şekil 36. Kuvars ortalama tane boyutu- F_t/F_n ilişkisi.



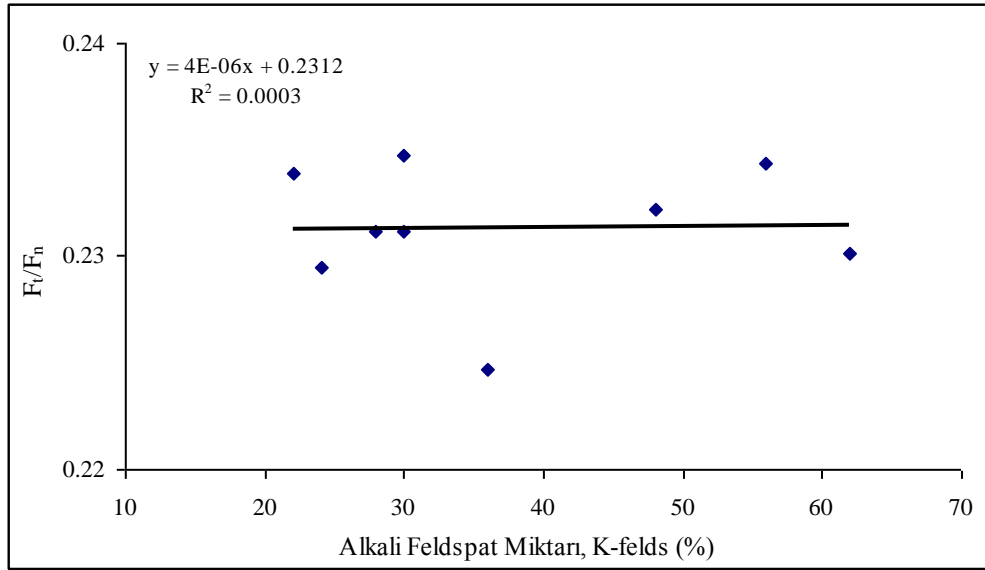
Şekil 37. Plajiyoklas miktarı- F_t/F_n ilişkisi.



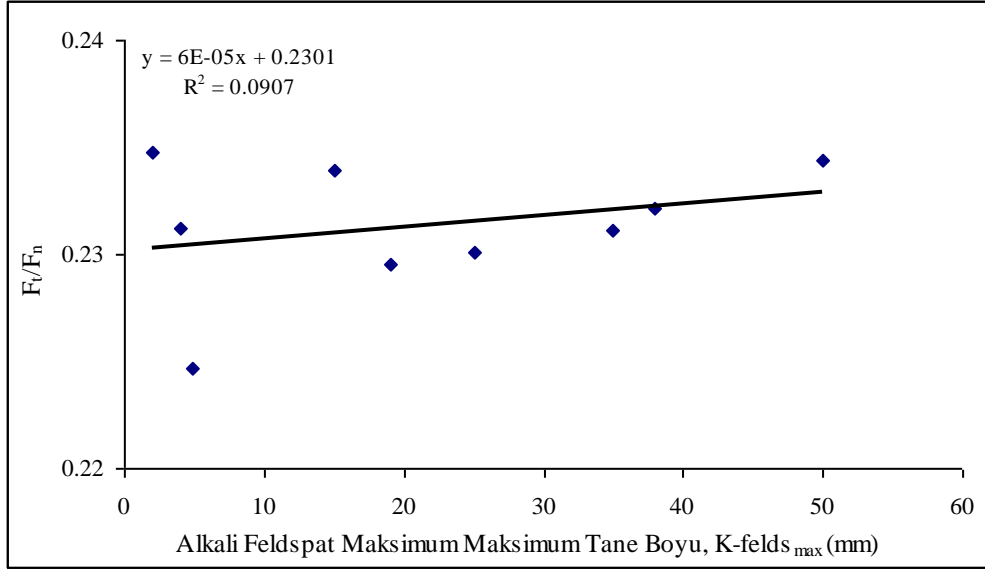
Şekil 38. Plajiyoklas maksimum tane boyutu- F_t/F_n ilişkisi.



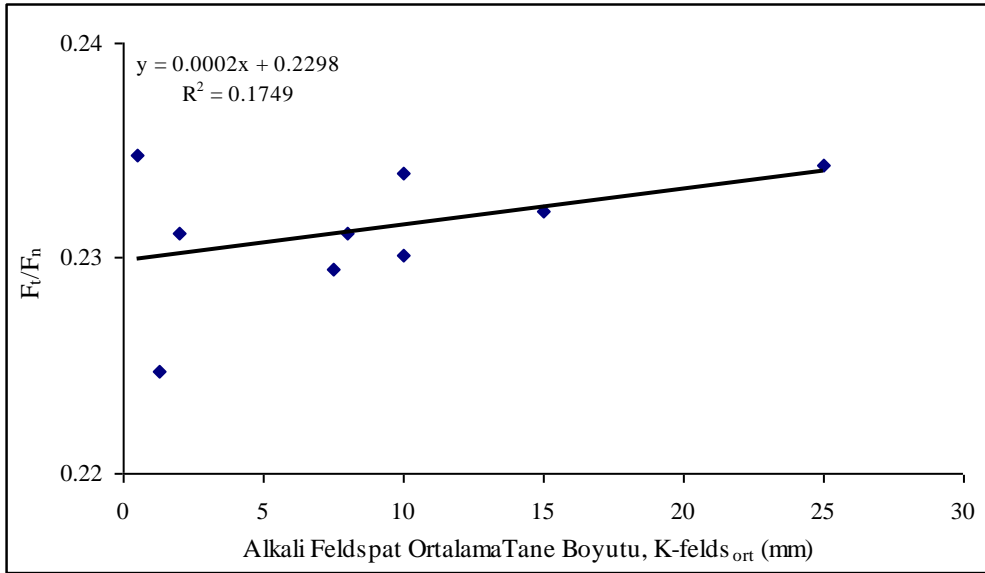
Şekil 39. Plajiyoklas ortalama tane boyutu-F_t/F_n ilişkisi.



Şekil 40. Alkali feldspat miktarı-F_t/F_n ilişkisi.

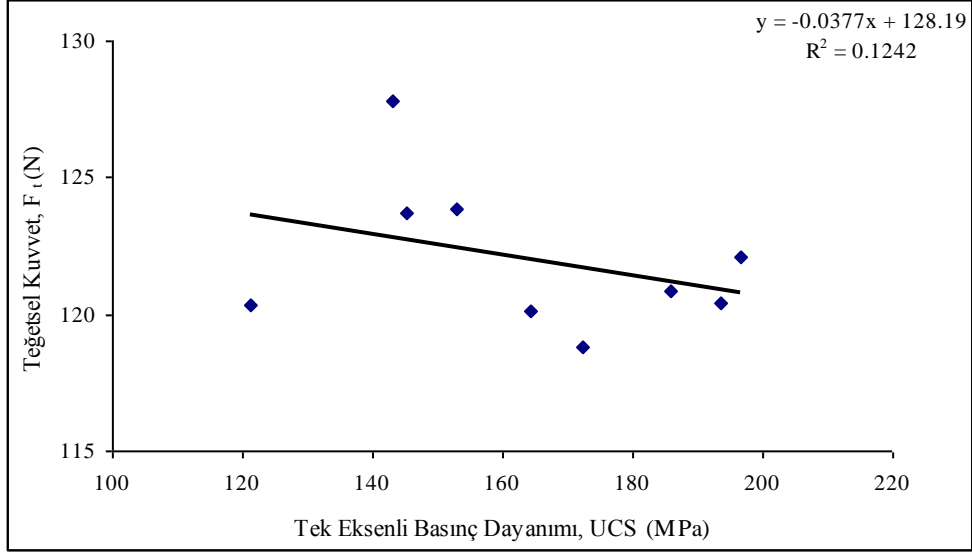


Şekil 41. Alkali feldspat maksimum tane boyutu- F_t/F_n ilişkisi.

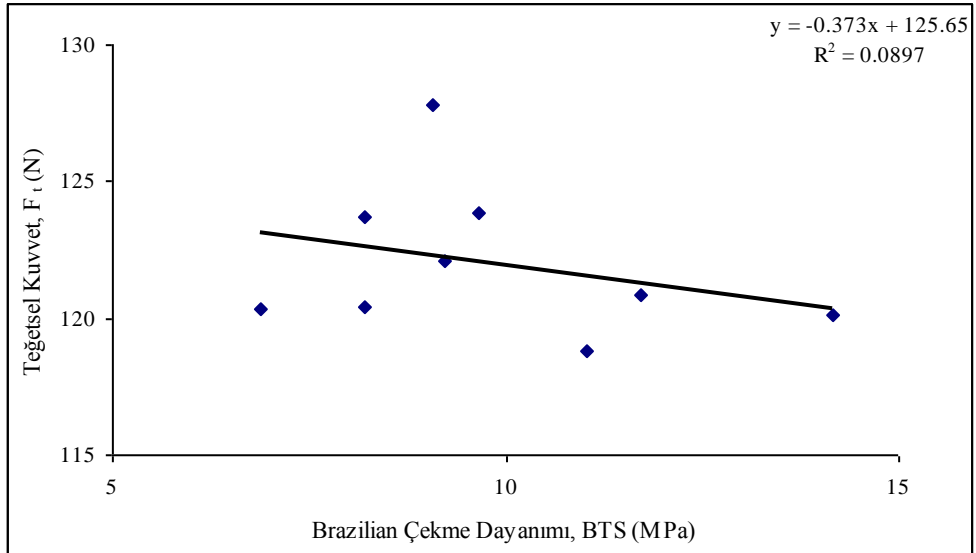


Şekil 42. Alkali feldspat ortalama tane boyutu- F_t/F_n ilişkisi.

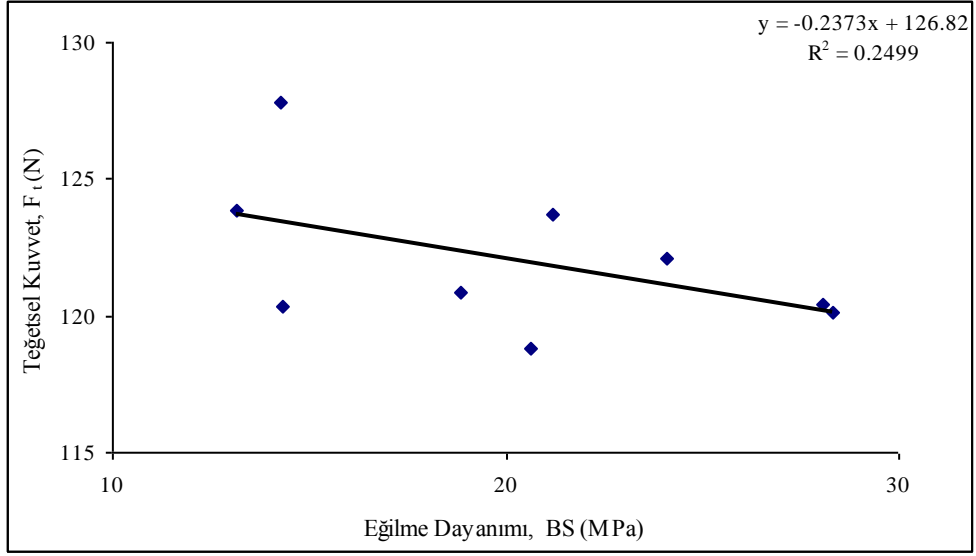
EK 2 Fiziko-Mekanik Özellikler ile Kesilebilirlik Parametreleri arasındaki İstatistiksel İlişkiler



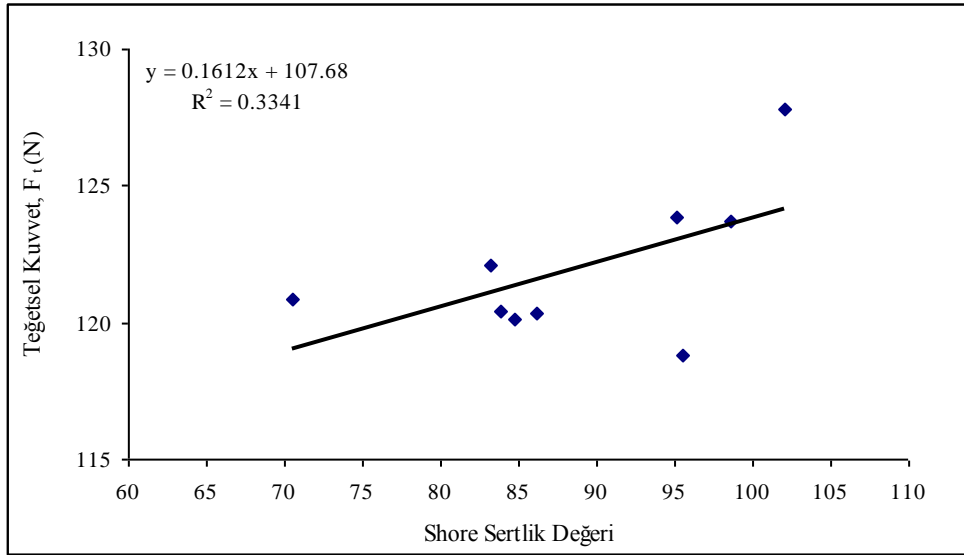
Şekil 1. Tek eksenli basınç dayanımı-teğetsel kuvvet ilişkisi.



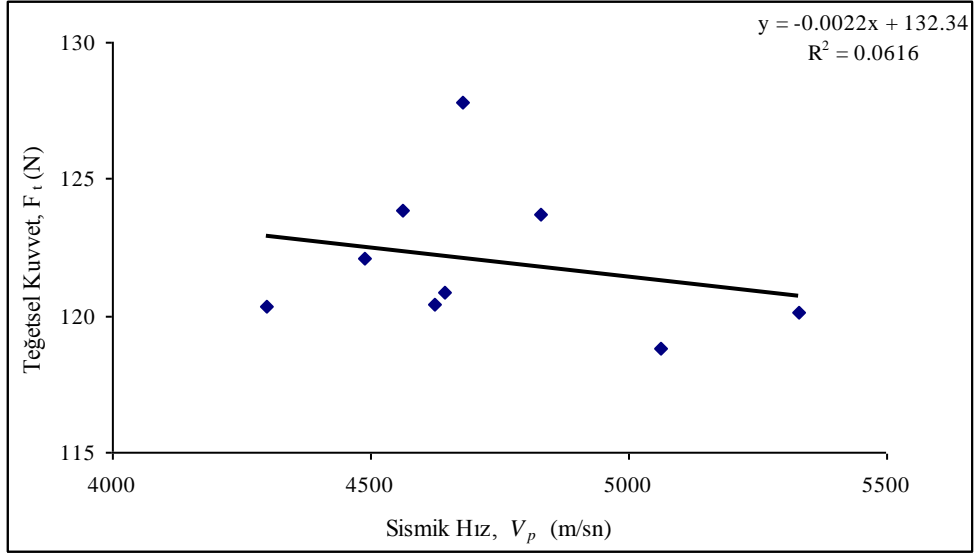
Şekil 2. Brazilian çekme dayanımı-teğetsel kuvvet ilişkisi.



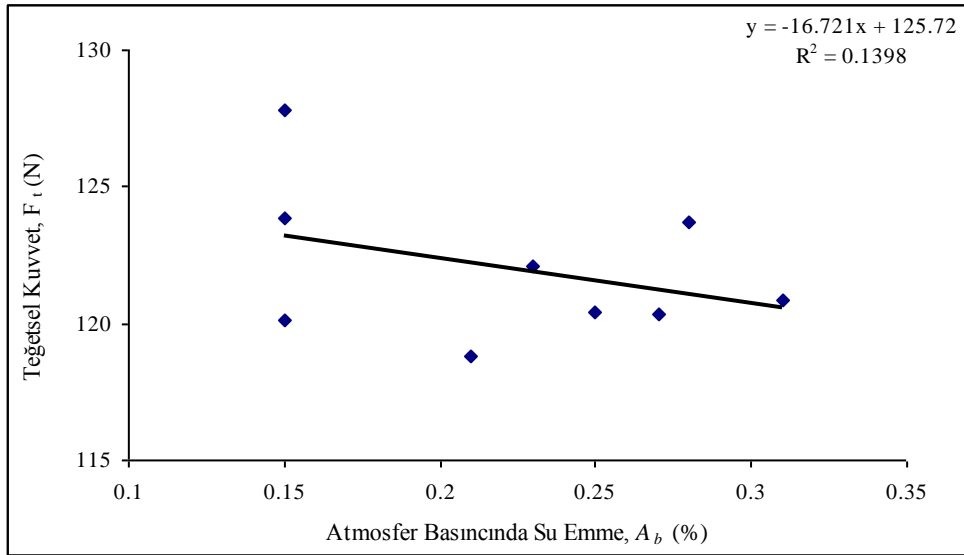
Şekil 3. Eğilme dayanımı-teğetsel kuvvet ilişkisi.



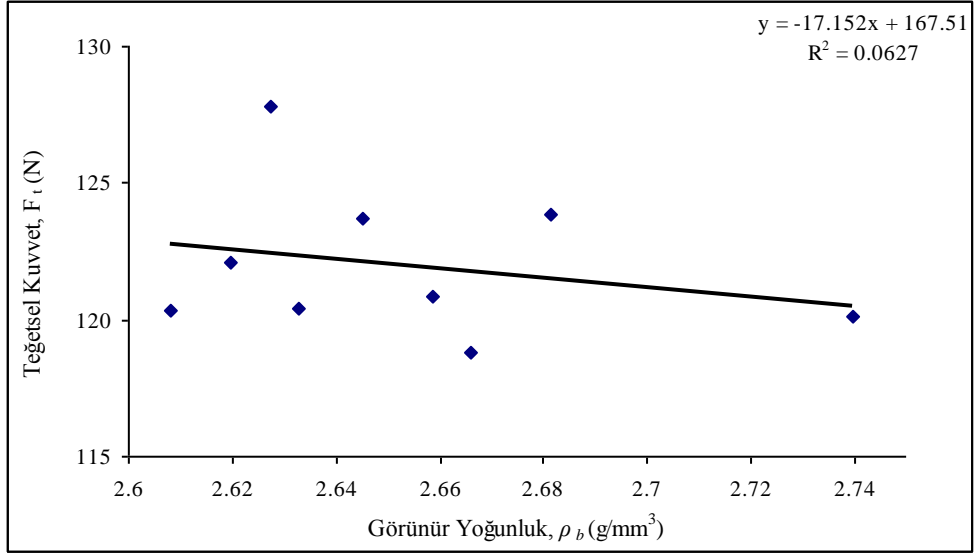
Şekil 4. Shore sertlik değeri-teğetsel kuvvet ilişkisi.



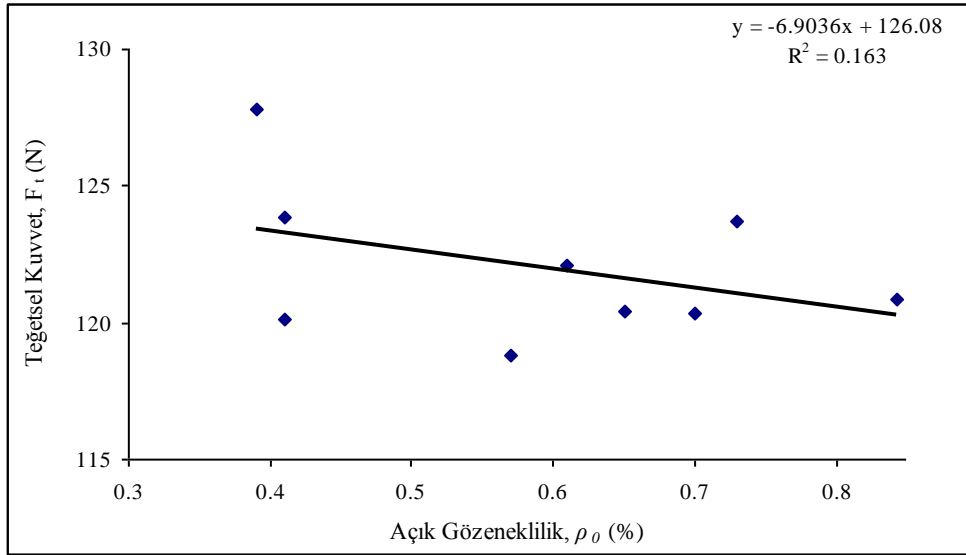
Şekil 5. Sismik Hız-teğetsel kuvvet ilişkisi.



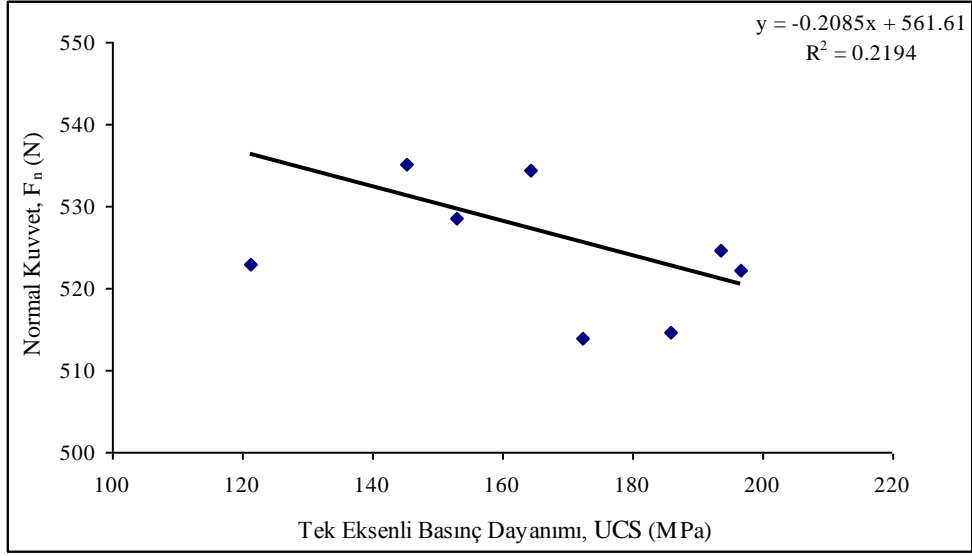
Şekil 6. Atmosfer basıncında su emme-teğetsel kuvvet ilişkisi.



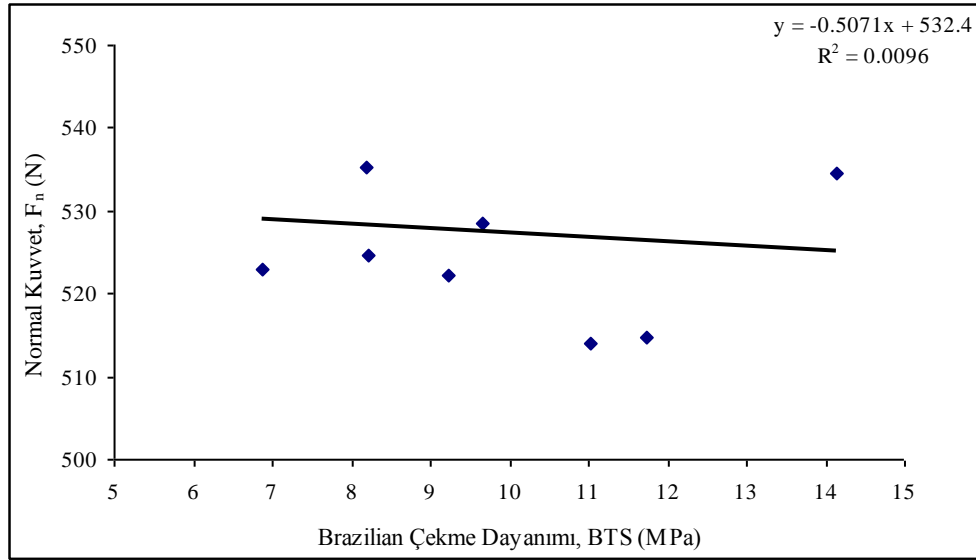
Şekil 7. Görünür yoğunluk-teğetsel kuvvet ilişkisi.



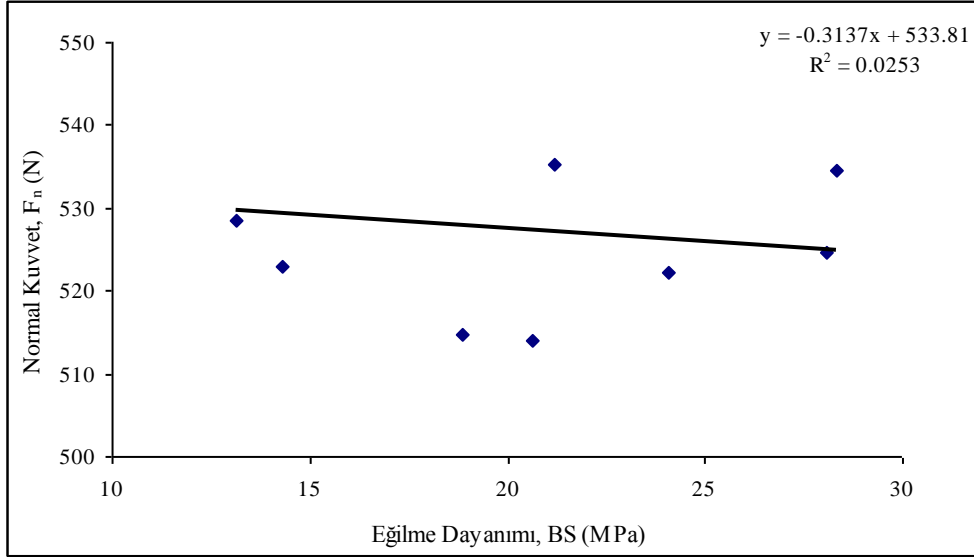
Şekil 8. Açık gözeneklilik-teğetsel kuvvet ilişkisi.



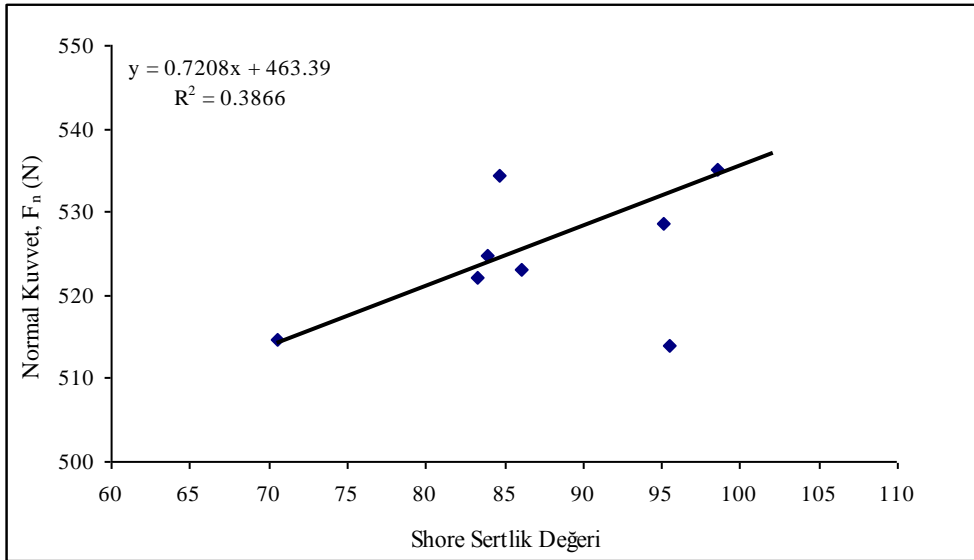
Şekil 9. Tek eksenli basınç dayanımı-normal kuvvet ilişkisi.



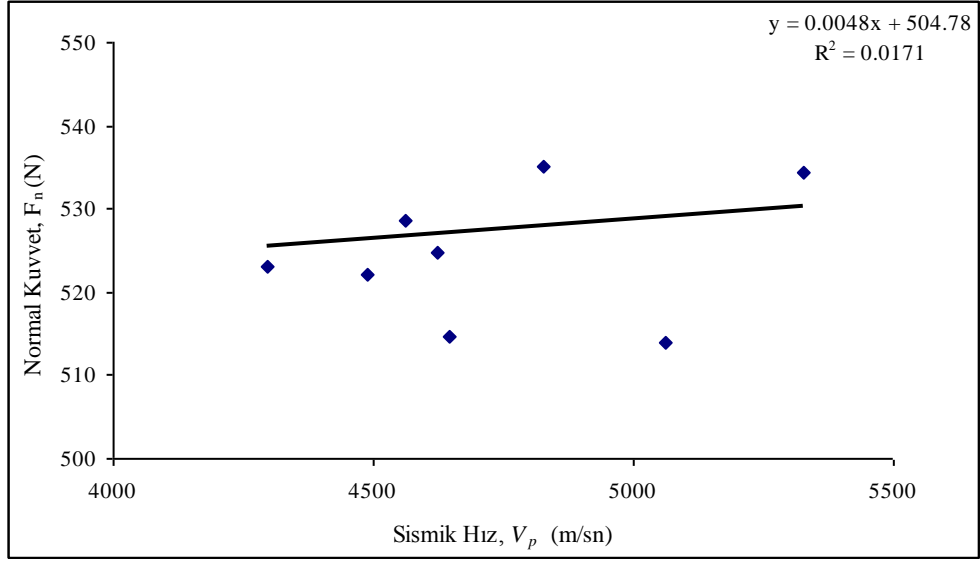
Şekil 10. Brazilian çekme dayanımı-normal kuvvet ilişkisi.



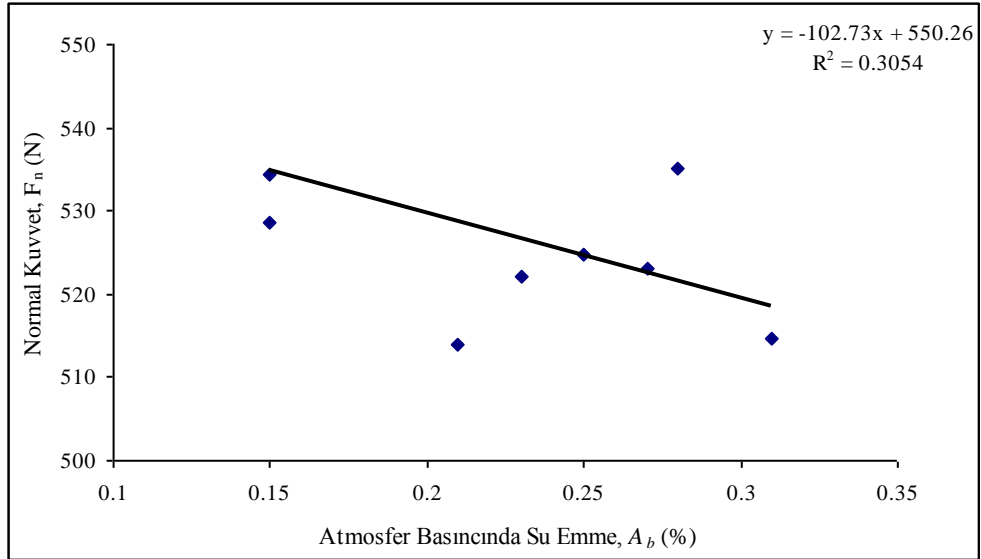
Şekil 11. Eğilme dayanımı-normal kuvvet ilişkisi.



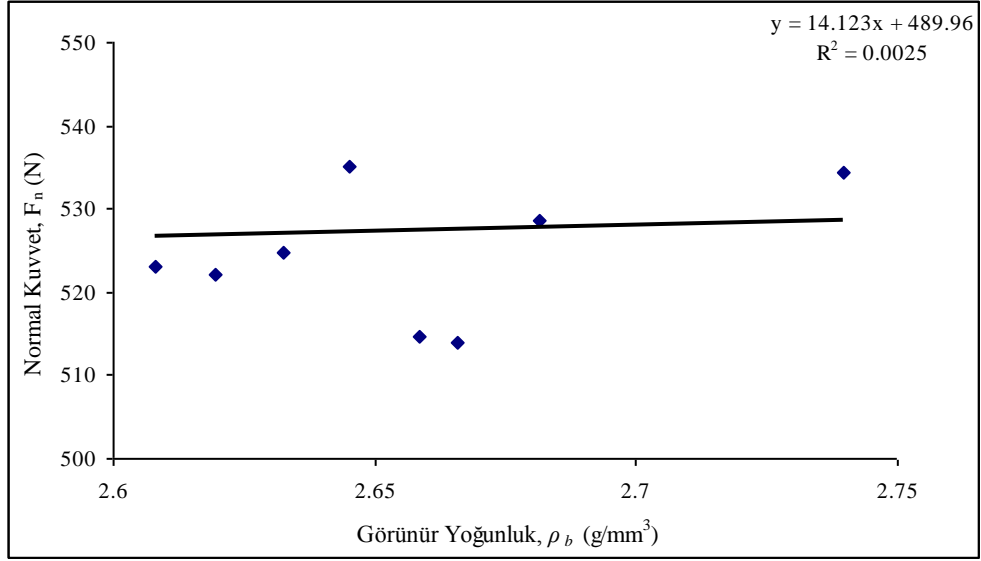
Şekil 12. Shore sertlik değeri-normal kuvvet ilişkisi.



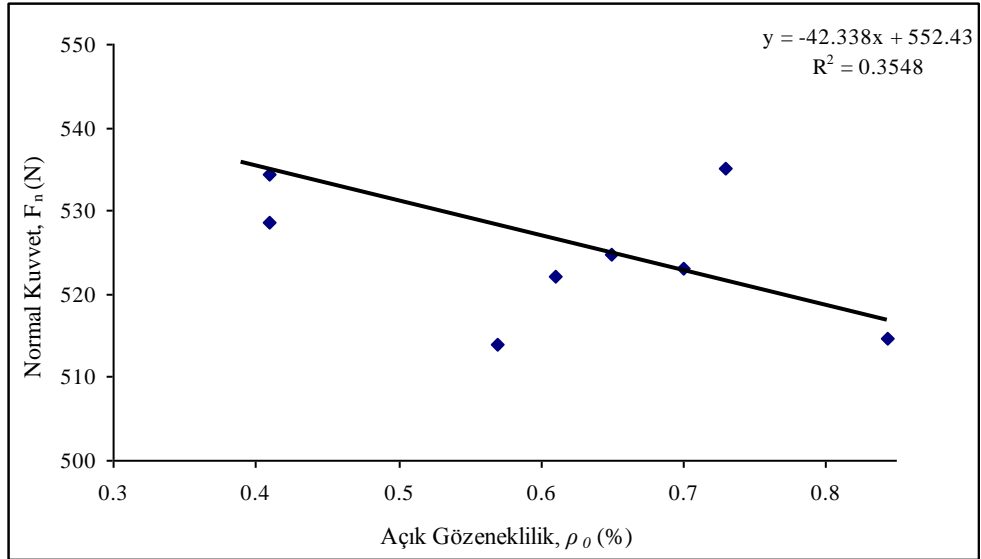
Şekil 13. Sismik hız-normal kuvvet ilişkisi.



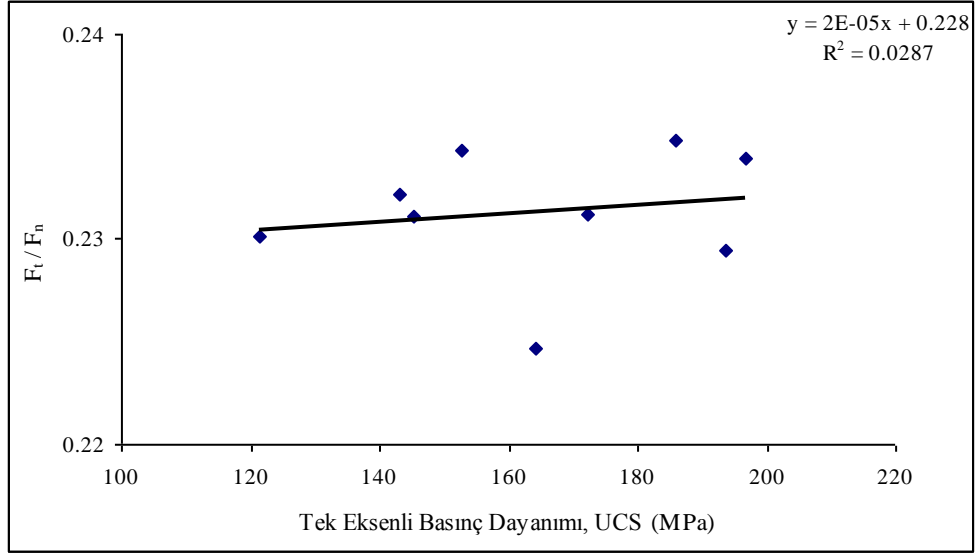
Şekil 14. Atmosfer basıncında su emme-normal kuvvet ilişkisi.



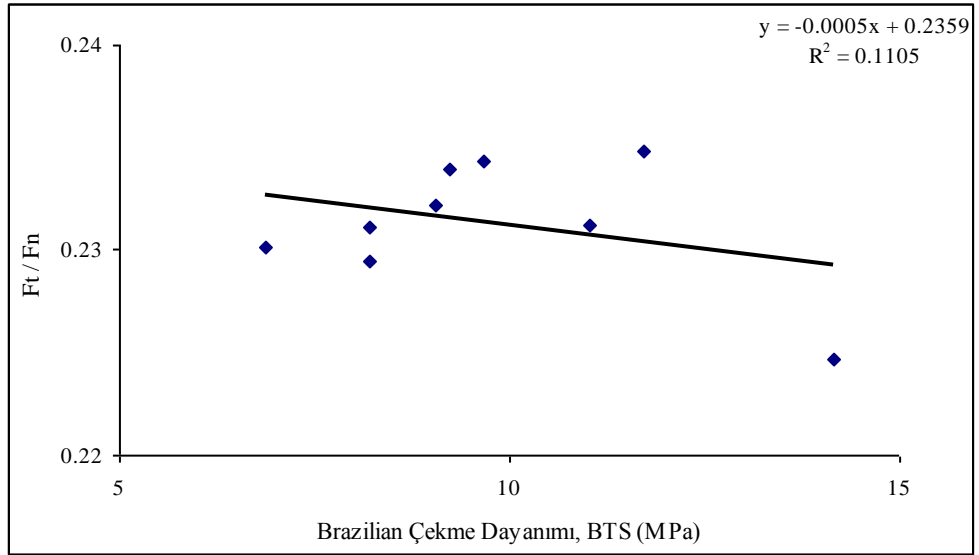
Şekil 15. Görünür yoğunluk-normal kuvvet ilişkisi.



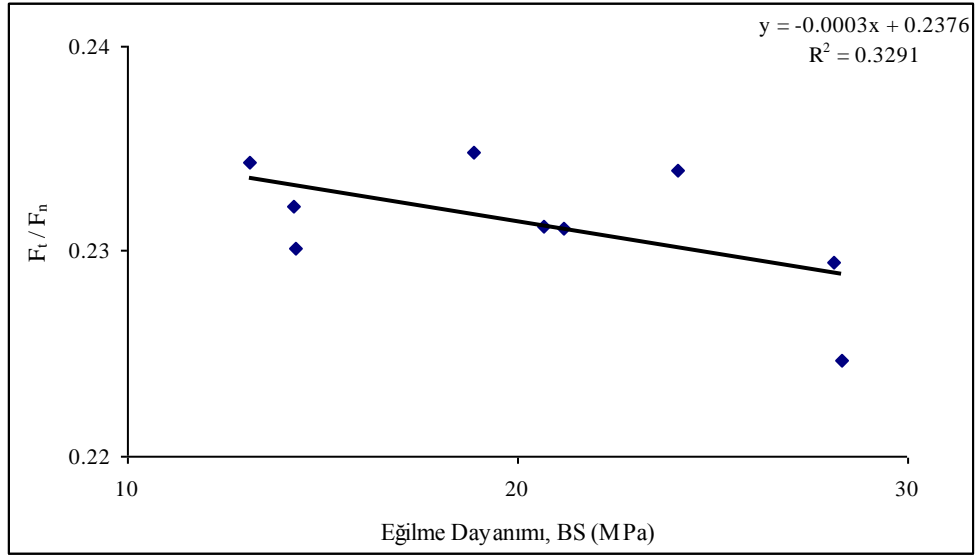
Şekil 16. Açık gözeneklilik-normal kuvvet ilişkisi.



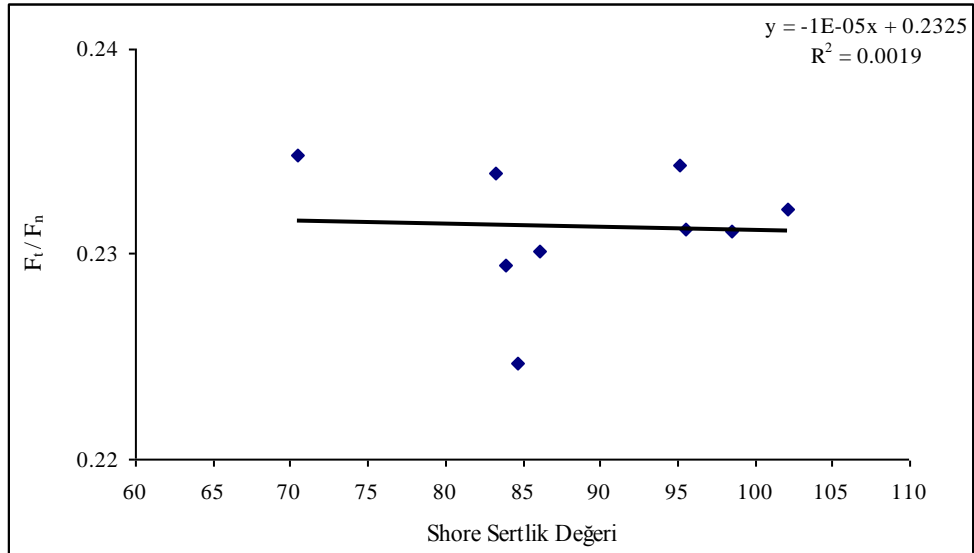
Şekil 17. Tek eksenli basınç dayanımı - F_t/F_n ilişkisi.



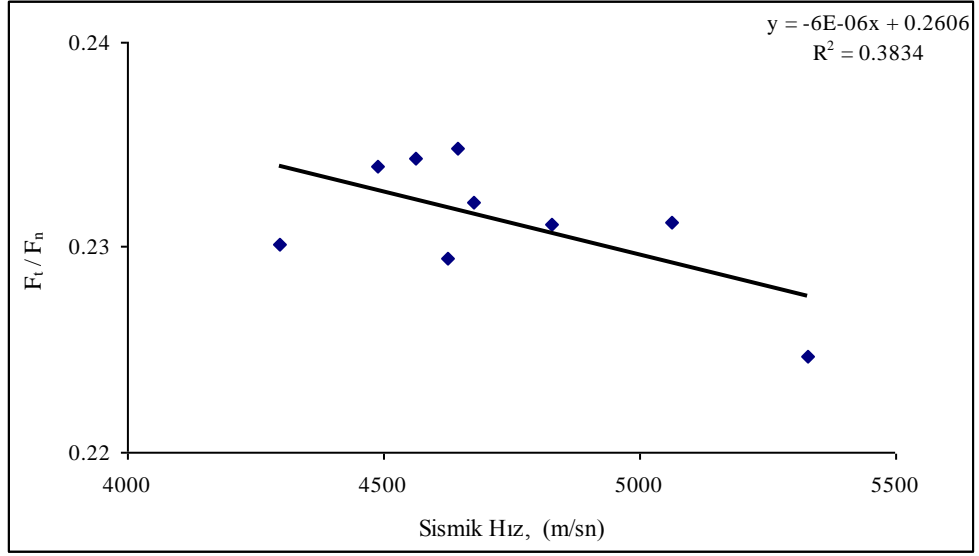
Şekil 18. Brazilian çekme dayanımı - F_t/F_n ilişkisi.



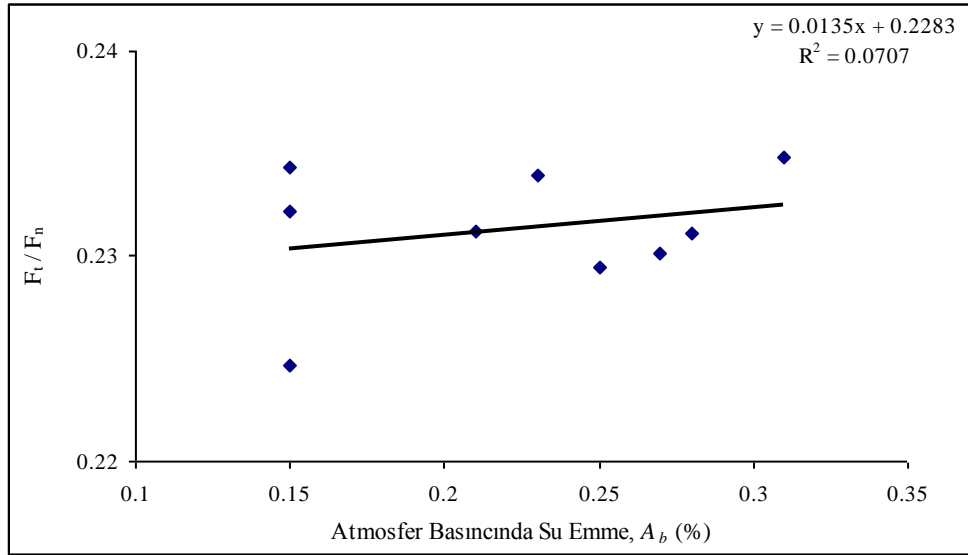
Şekil 19. Eğilme dayanımı - F_t/F_n ilişkisi.



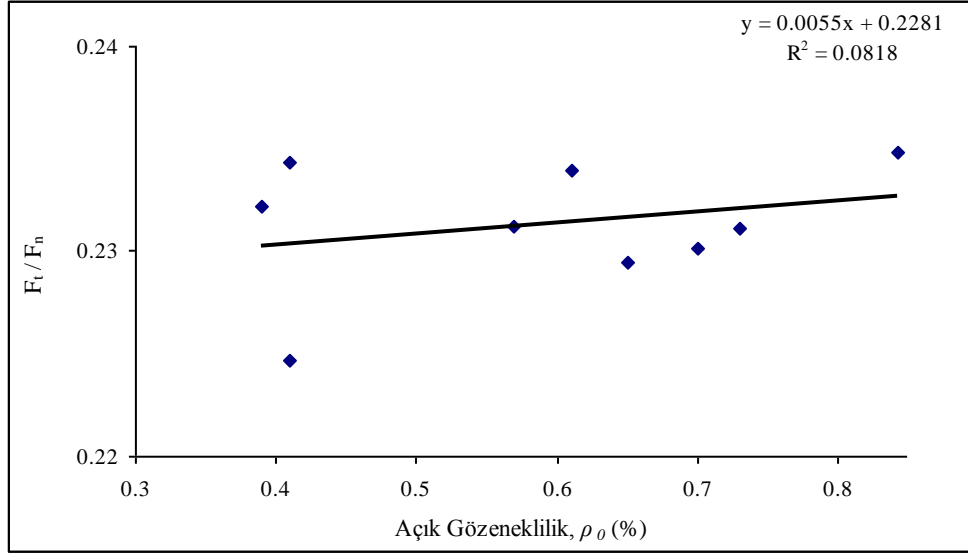
Şekil 20. Shore sertlik değeri - F_t/F_n ilişkisi.



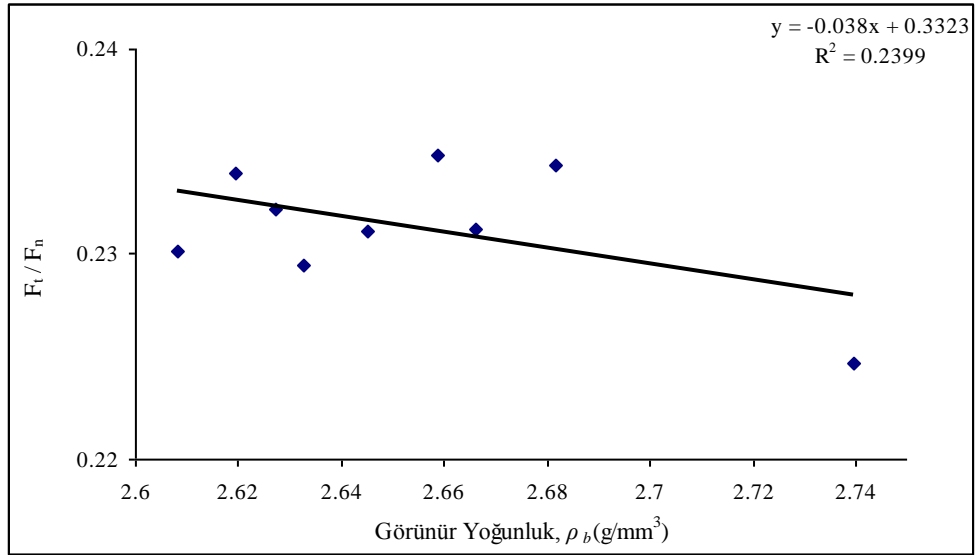
Şekil 21. Sismik hız - F_t/F_n ilişkisi.



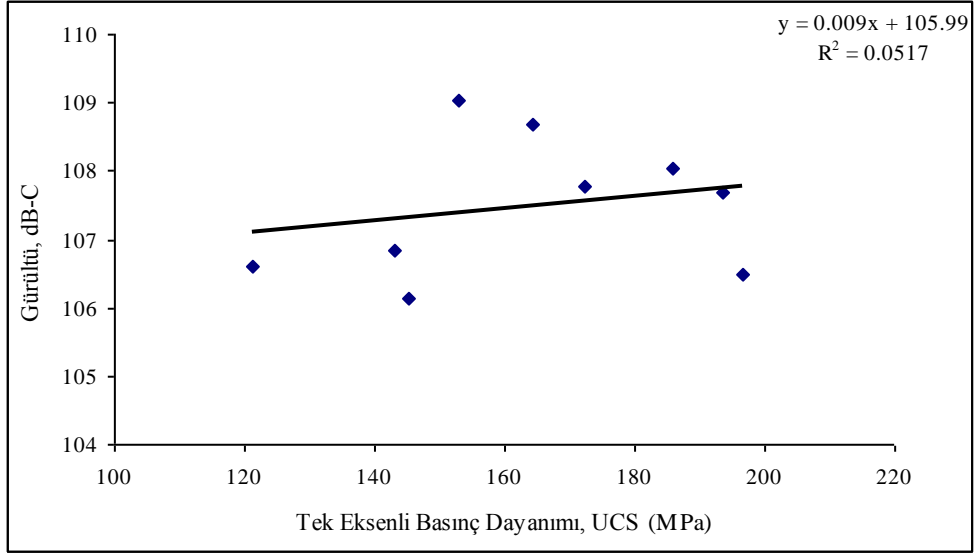
Şekil 22. Atmosfer basıncında su emme - F_t/F_n ilişkisi.



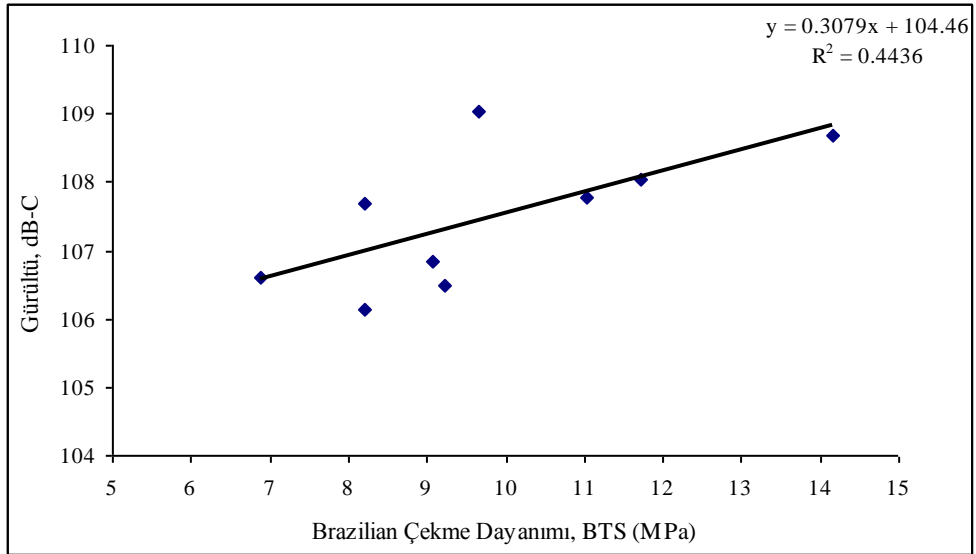
Şekil 23. Açık gözeneklilik - F_t/F_n ilişkisi.



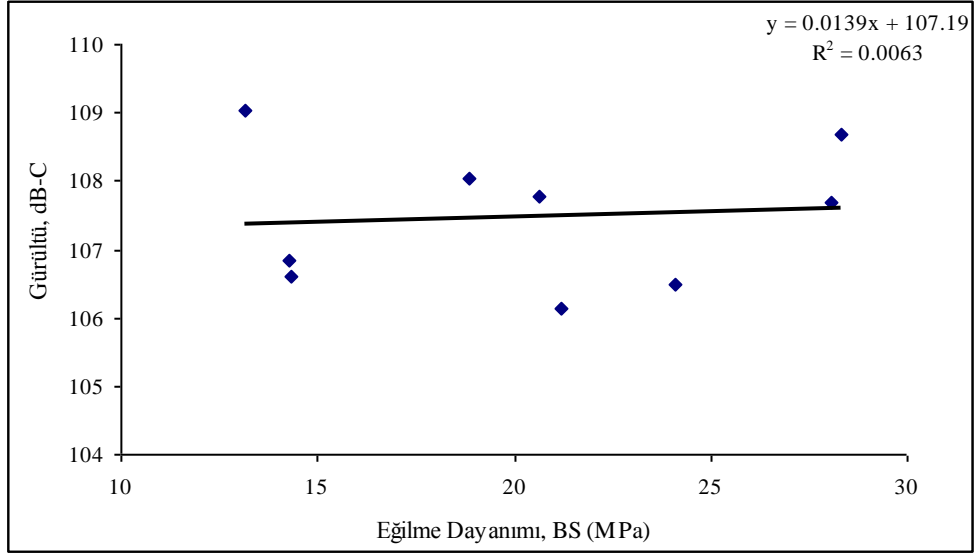
Şekil 24. Görünür yoğunluk - F_t/F_n ilişkisi.



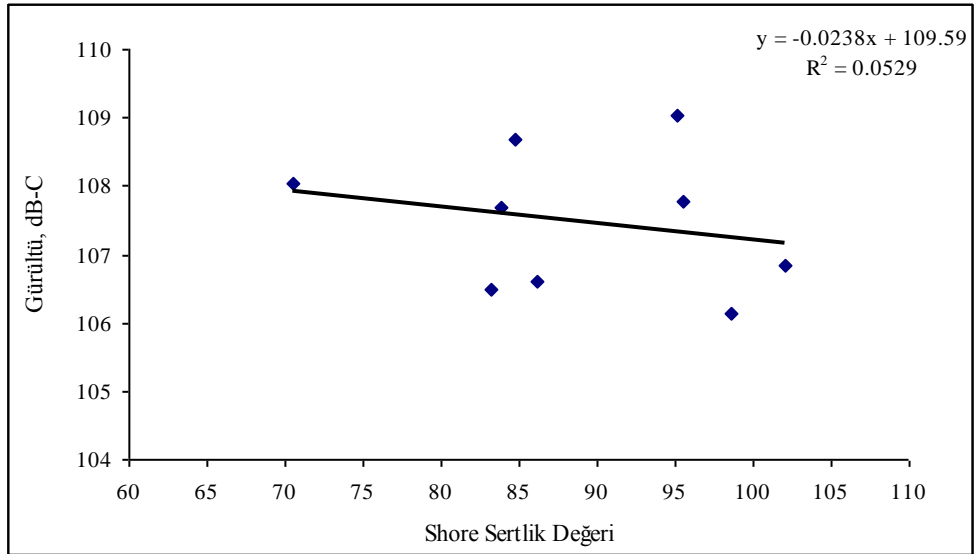
Şekil 25. Tek eksenli basınç dayanımı-gürültü ilişkisi.



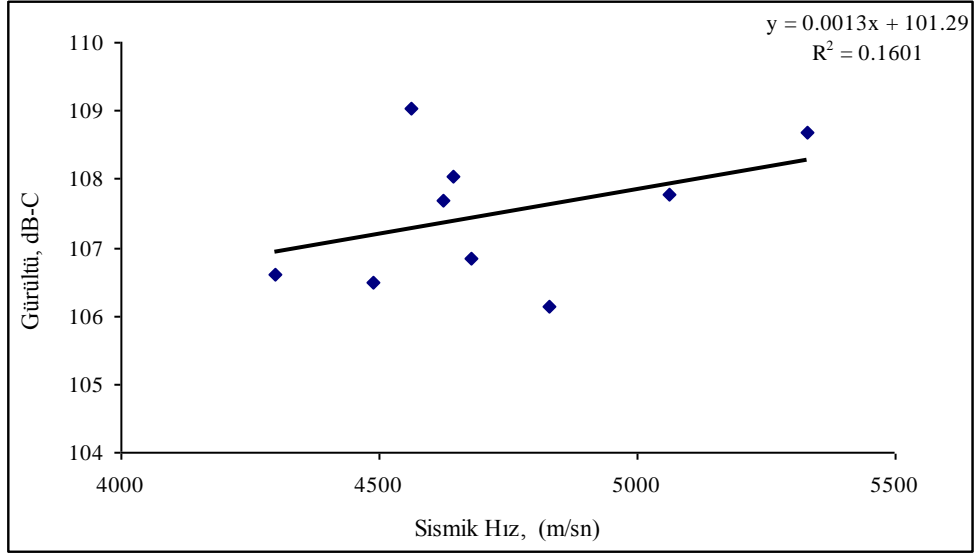
Şekil 26. Brazilian çekme dayanımı-gürültü ilişkisi.



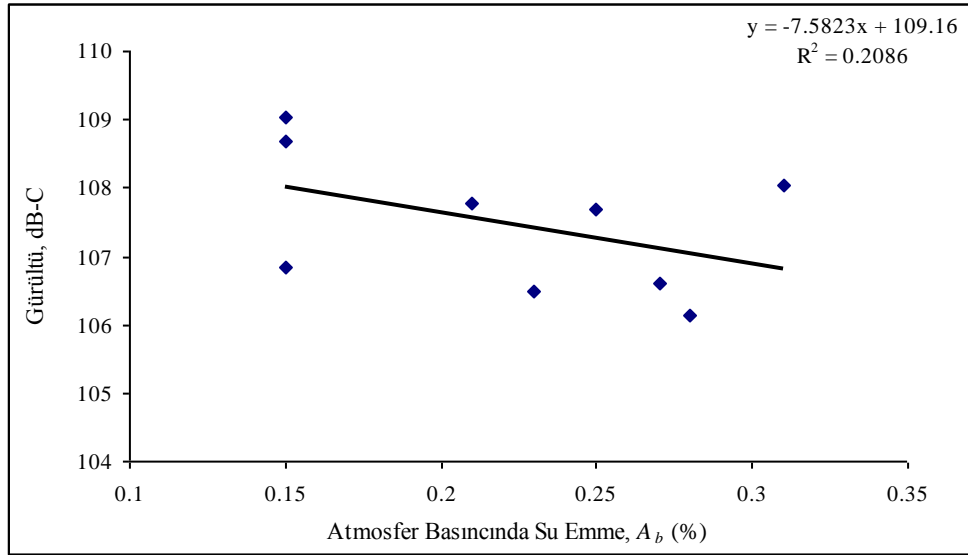
Şekil 27. Eğilme dayanımı-gürültü ilişkisi.



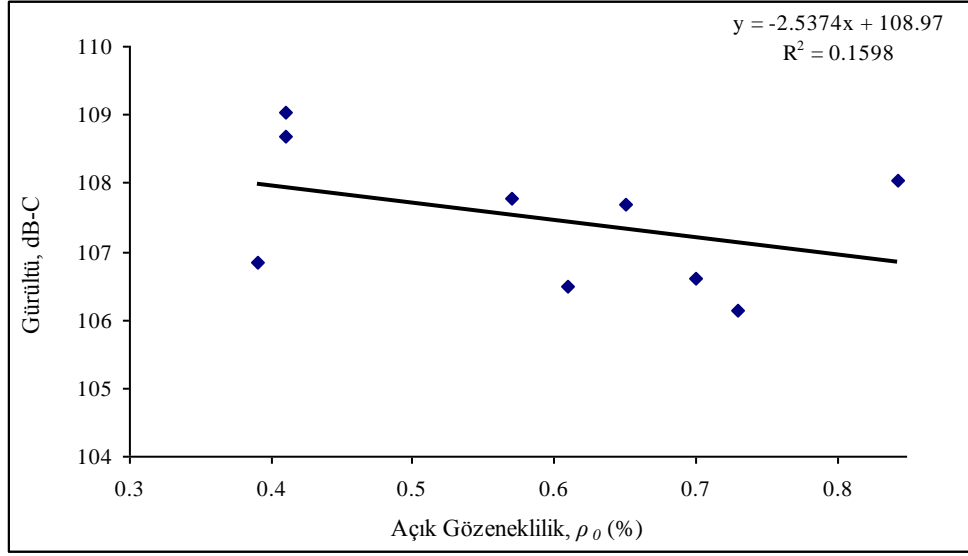
Şekil 28. Shore sertlik değeri-gürültü ilişkisi.



Şekil 29. Sismik hız-gürültü ilişkisi.



Şekil 30. Atmosfer basıncında su emme-gürültü ilişkisi.



Şekil 31. Açık gözeneklilik-gürültü ilişkisi.