

**SU JETİ İLE KAYAÇLARIN YÜZEY İŞLEMESİNDE OPTİMUM
ÇALIŞMA KOŞULLARININ BELİRLENMESİ**

**DETERMINATION OF OPTIMUM WORKING CONDITIONS IN STONE
SURFACE TREATMENT WITH WATER JET**

MİKAIL BAŞYİĞİT

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
MADEN Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2012

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma jürimiz tarafından **MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :
Prof. Dr. A. Erhan TERCAN

Üye (Danışman) :
Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK

Üye :
Doç. Dr. Ali SARIŞIK

Üye :
Yrd. Doç. Dr. İrfan Celal ENGİN

Üye :
Dr. Kemal CENGİZ

ONAY

Bu tez, Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../2012 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunca .../.../2012 tarihinde kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fatma Sevin DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

SU JETİ İLE KAYAÇLARIN YÜZEY İŞLEMESİNDE OPTİMUM ÇALIŞMA KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

Mikail BAŞYİĞİT

ÖZ

Günümüzde doğaltaş işlemeciliğinin en önemli aşamalarından birisi yüzey işlemedir. Her ne kadar bloktan elde edilen plakalar ve diğer ürünler yüzeyleri işlenmeden kullanılabilse de yüzeyi işlenmiş ürünlere piyasada talep daha fazladır. Yüzey işleme denilince akla gelen ilk yöntem cilalama ve parlatmadır. Bunun yanında taraklı çekiçleme, yakma, oyma, honlama gibi birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemlere ilave olarak su jeti ile yüzey işleme son yıllarda kullanılmaya başlanmış ve deneysel olarak araştırmaya tabi tutulmuştur.

Daha önce su jeti ile yüzey işleme yöntemi, işlenen yüzeylerin yüzey kalitesi bakımından incelenmiş, çalışma koşullarının yüzey kalitesine etkisi araştırılmıştır. Ancak işlenen numunelerin yüzey topoğrafyalarının çalışma mesafesi, pompa basıncı ve ilerleme hızı değişimine bağlı jeostatistiksel olarak incelenmesi ve optimizasyonu ile alakalı hiçbir çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışma su jeti ile yüzey işlemede optimum çalışma koşullarını istatistiksel ve jeostatistiksel yöntemler kullanarak belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bunun için de öncelikle farklı çalışma mesafesi, pompa basıncı ve ilerleme hızı koşullarında işlenmiş Sardinya bazaltı numunesinin yüzey pürüzlülükleri ve yükseklikleri ölçülmüş ve yüzey profilleri ortaya çıkarılmıştır. Bu yüzeylerin bilgisayar ortamında daha iyi incelenmesi ve karakteristik özelliklerinin tespit edilebilmesi için yüzeyler SURFER yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Optimizasyon aşaması için gerekli bilgileri elde etmek amacıyla öncelikle her bir topografik ölçüm için jeostatistiksel modelleme ile variogramlar çizilmiş, bu variogramlar kullanılarak eşik değer ve yapısal uzaklık değerleri tespit edilmiştir. Son olarak da hesaplanan yapısal uzaklık ve eşik değerler kullanılarak izotropik olma yada olmama durumu her bir numune için göz önüne alınarak optimum koşullar belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: su jeti, yüzey işleme, pürüzlülük, jeostatistik, variogram fonksiyonu, optimizasyon, yüzey yüksekliği.

Danışman: Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK, Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD

DETERMINATION OF OPTIMUM WORKING CONDITIONS OF ROCKS WITH WATER JET SURFACE TREATMENT

Mikail BAŞYİĞİT

ABSTRACT

Nowadays, one of the important steps of natural stone mining is the surface treatment. Albeit raw slabs that occurred from blocks can be used without any surface treatment; there is more demand to treated surfaces and stones in the market. The first method, known for the surface treatment is finishing and polishing. Besides this many methods are available such as; bush hammering, burning, graving and honing. In addition to these methods water jet surface treatment is relatively a new method and it is tested experimentally in recent years.

Water jet surface treatment has been investigated in the terms of surface quality and the effects of working conditions on surface quality. However a study which is related with operating distance of the surface heights of the samples processed, pump pressure and geostatistical investigation due to change of rate of progression and optimization has never been made.

This study aimed to determine the optimum working conditions of water jet surface treatment by using statistical and geostatistical methods. For this purpose, firstly Sardinia basalt samples are processed under the conditions of different work distance, pump pressure and rate of progression, and surface profiles were revealed. To investigate the surfaces better and to determine their behaviors, surfaces are recreated with SURFER software in computer media. In order to obtain the necessary information for the optimization phase, firstly variograms are drawn by geostatistical modeling for each measurement of height and by using these variograms, sills and ranges were determined. Finally, by using calculated sills and ranges, considering being an isotropic or not, optimum conditions were determined for each sample.

Keywords: water jet, surface treatment, roughness, geostatistics, variogram function, optimization

Advisor: Prof. Yılmaz Özçelik Hacettepe University, Department of Mining Engineering, Mining Division

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında yüksek bilgisi ve tecrübesiyle her konuda sürekli olarak destek veren, tez numunelerimi İtalya'da hazırlayıp getiren, yapıcı yorumları ve eleştirileriyle beni en iyi şekilde yönlendiren, çalışmalarımı kolaylaştırmak adına her türlü imkanı sağlayan ve manevi desteğini esirgemeyip her zaman yanımda olan, şahsımdan daha fazla yorulan tez danışmanım Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK'e içtenlikle teşekkür ederim.

Jeoistatiksel konularda yorumları ve eleştirileriyle çalışmaya çok değerli katkılar sağlayan Prof. Dr. A. Erhan TERCAN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında her türlü manevi desteği sağlayan ve tezin tamamlanmasında değerli emekleri bulunan tez jürisi üyeleri, Doç. Dr. Ali SARIŞIK'a, Yrd. Doç. Dr. İrfan Celal ENGİN, ve Dr. Kemal CENGİZ'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında her türlü desteği sunan çalışma arkadaşlarım ve meslektaşlarım Araş. Gör. M Suphi ÜNAL, Fırat ATALAY, Emre YILMAZKAYA, S. Can ÖZER, Emre AVUNDUK, Ozan BAYRAM. Murat ÖZKAN, İ.Emre ÖNSEL, Erim GÜÇLÜ ve diğer araştırma görevlisi arkadaşlarım ve bölüm görevlilerine teşekkür ederim. Ayrıca Maden Mühendisi Cansın Yüksel'e de çok teşekkür ederim.

Bu süreçte maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Orhan KURAL, Prof. Dr. Nuh BİLGİN, Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMİR'e, Yrd. Doç. Dr. C. Atilla ÖZTÜRK ve Yrd. Doç. Dr. Deniz TUMAÇ'a teşekkür ederim.

Yan yana ve yakın olmasak ta, aradaki mesafeye rağmen maddi ve manevi desteklerini sürekli hissettiğim dostlarım Y. Bahadır CİNALİ, Mustafa ÖZTÜRK, Gökhan AKÇİN, Mehmet GEREK ve Cahit ERDOĞAN' a teşekkür ederim.

Yalnızca bu çalışmada değil, giriştiğim her işte büyük destekleri olan bana olan güvenlerini hiçbir zaman yitirmeyen ve bende çok değerli emekleri bulunan, beni yetiştiren aileme, babam İmdat BAŞYİĞİT'e, annem Gülten BAŞYİĞİT'e, ablam Sevdanur BAŞYİĞİT'e, kardeşlerim Tuğba ve Tuğçe BAŞYİĞİT'e ve tüm BAŞYİĞİT ailesine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın İçeriği.....	3
2. YÜZEY İŞLEME VE YÜZEY İŞLEME YÖNTEMLERİ.....	4
2.1. Yüzey İşleme Yöntemleri.....	5
2.2. Su Jeti İle Yüzey İşleme.....	13
2.3. Farklı Yöntemler Kullanılarak İşlenmiş Yüzeylerin Kalitesi İle İlgili Yapılmış Önceki Çalışmalar.....	16
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	20
3.1. Su Jeti Kesme/İşleme Sistemi.....	20
3.2. Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüksekliği Ölçüm Cihazı.....	23
3.3. Çalışmada Kullanılan Malzemenin Özellikleri.....	23
3.4. Çalışma Yöntemi.....	24
3.4.1. Yüzeylerin Topografyalarının Belirlenmesi.....	26
3.4.2. Elde Edilen Pürüzlülük Değerlerinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi.....	27
3.4.3. Elde Edilen Pürüzlülük Değerlerinin Jeostatistiksel Yöntemle İncelenmesi.....	33
3.4.3.1. Variogram Fonksiyonu.....	33
3.4.3.2. Variogram Fonksiyonunun Özellikleri.....	29
4. DENEYSEL SONUÇLARIN ANALİZİ.....	39
4.1. Yüzeylerin Variogram Analizleri.....	44
4.2. İzotropi Ve Anizotropi.....	51
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	53
5.1. Pompa Basıncının Eşik Değere Etkisi.....	53
5.2. Pompa Basıncının Yapısal Uzaklığa Etkisi.....	55
5.3. Çalışma Mesafesinin Eşik Değere Etkisi.....	57
5.4. Çalışma Mesafesinin – Yapısal Uzaklığa Etkisi.....	59
5.5. İlerleme Hızının – Eşik Değere Etkisi.....	61
5.6. İlerleme Hızının – Yapısal Uzaklığa Etkisi.....	63
5.7. Mutlak Pürüzlülük Eşik Değer İlişkileri.....	65
5.8. Anizotropi oranı.....	66
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	70
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Çalışmada uygulanan yöntemin aşamalarını gösteren akım şeması.	2
Şekil 2.1. (a) Elle ve (b) Makine ile taraklı çekişleme (Özçelik ve Costa, 2010)	6
Şekil 2.2 Cilalama parlatma ünitesi (a) ve cilalı yüzey (b) (Özçelik ve Costa, 2010).....	8
Şekil 2.3 Granit yüzeyini alevle yakma (Özçelik ve Costa, 2010).....	8
Şekil 2.4 Tamburlu eskitme ünitesi (a) ve eskitilmiş yüzey (b) (Özçelik ve Costa, 2010).....	10
Şekil 2.5 Honlama ünitesi (a) ve honlanmış yüzey (b).....	11
Şekil 2.6 Kumlanmış yüzey (a) ve kumlama ünitesi (b) (Özçelik ve Costa, 2010).....	11
Şekil 2.7 Su jeti ile yüzey işlemede ilerleme hızının şematik görünümü.....	15
Şekil 2.8 Su jeti ile yüzey işlemede çalışma mesafesi ve eğim açısının görünümü.....	15
Şekil 2.9 Paralel geçişler yaparak yüzey işleminin şematik görünümü.....	16
Şekil 3.1 Su jeti kesme/işleme sisteminin çalışma ilkesi ve temel elemanları (Geren ve Tunc, 2008).....	21
Şekil 3.2 Çalışmada kullanılan su jeti yüzey işleme makinesi (Özçelik ve Costa, 2010).....	22
Şekil 3.3 Mitutoyo SJ-400 pürüzlülük ölçme cihazı (Özçelik ve Costa, 2010).....	23
Şekil 3.4 Çalışmada izlenen yöntem.....	25
Şekil 3.5 Ölçüm alınan numune, eksenler ve ölçüm hatları (Özçelik vd, 2010).....	27
Şekil 3.6 Bu çalışmada elde edilen yüzey profillerine bir örnek.....	27
Şekil 3.7 28, 29, 30, 31, 32 ve 33 nolu numunelerin yüzeylerine ait histogramlar	29
Şekil 3.8 34, 35, 36, 37, 38 ve 39 nolu numunelerin yüzeylerine ait histogramlar.....	30
Şekil 3.9 40, 41, 42, 43, 44 ve 45 nolu numunelerin yüzeylerine ait histogramlar.....	31
Şekil 3.10 46, 47, 48, 49, 50 ve 51 nolu numunelerin yüzeylerine ait histogramlar.....	32
Şekil 3.11 52, 53, 54, nolu numunelerin yüzeylerine ait histogramlar.....	33
Şekil 3.12 Variogram Modelleri.....	38
Şekil 4.1 28 ve 29 nolu numunelere ait yüzey haritaları.....	39
Şekil 4.2 30 ve 31 nolu numunelere ait yüzey haritaları.....	39
Şekil 4.3 32 ve 33 nolu numunelere ait yüzey haritaları.....	40
Şekil 4.4 34 ve 35 nolu numunelere ait yüzey haritaları.....	40
Şekil 4.5 36 ve 37 nolu numunelere ait yüzey haritaları.....	40
Şekil 4.6 38 ve 39 nolu numunelere ait yüzey haritaları.....	41
Şekil 4.7 40 ve 41 nolu numunelere ait yüzey haritaları.....	41
Şekil 4.8 42 ve 43 nolu numunelere ait yüzey haritaları.....	41
Şekil 4.9 44 ve 45 nolu numunelere ait yüzey haritaları.....	42
Şekil 4.10 46 ve 47 nolu numunelere ait yüzey haritaları.....	42
Şekil 4.11 48 ve 49 nolu numunelere ait yüzey haritaları.....	42

Şekil 4.12 50 ve 51 nolu numunelere ait yüzey haritaları.....	43
Şekil 4.13 52 ve 53 nolu numunelere ait yüzey haritaları.....	43
Şekil 4.14 54 nolu numuneye ait yüzey haritası.....	43
Şekil 4.15 28, 29, 30, 31, 32 ve 33 nolu örneklere ait deneysel ve model variogramlar.....	45
Şekil 4.16 34, 35, 36, 37, 38 ve 39 nolu örneklere ait deneysel ve model variogramlar.....	46
Şekil 4.17 40, 41, 42, 43, 44 ve 45 nolu örneklere ait deneysel ve model variogramlar.....	47
Şekil 4.18 46, 47, 48, 49, 50 ve 51 nolu örneklere ait deneysel ve model variogramlar.....	48
Şekil 4.19 52, 53 ve 54, nolu örneklere ait deneysel ve model variogramlar.	49
Şekil 4.20 Geometrik Anizotropi.....	51
Şekil 4.21 Zonal anizotropi.....	52
Şekil 5.1 Farklı çalışma mesafesi ve ilerleme hızlarında basınç - eşik değer ilişkileri.....	54
Şekil 5.2 Farklı çalışma mesafesi ve ilerleme hızlarında basınç - etki mesafesi ilişkileri.....	56
Şekil 5.3 Farklı pompa basıncı ve ilerleme hızlarında çalışma mesafesi - eşik değer ilişkileri.....	58
Şekil 5.4 Farklı pompa basıncı ve ilerleme hızlarında çalışma mesafesi - etki mesafesi ilişkileri.....	60
Şekil 5.5 Farklı pompa basıncı ve ilerleme hızlarında ilerleme hızı - eşik değer ilişkileri.....	62
Şekil 5.6 Farklı pompa basıncı ve çalışma mesafelerinde ilerleme hızı - etki mesafesi ilişkileri.....	64
Şekil 5.7 Mutlak pürüzlülük eşik değer ilişkisi.....	65
Şekil 5.8. Mutlak pürüzlülük izotropisi ile eşik değer izotropisi arasındaki ilişki.....	66
Şekil 5.9 30, 31, 49 ve 51 nolu numunelere ait histogramlar.....	68
Şekil 5.10 31 nolu numuneye ait histogram.....	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Su jeti ile yüzey işlemeye etki eden parametreler.....	14
Çizelge 3.1 Deneilerde kullanılan Sardinya bazaltı ticari isimli doğal taşın bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.....	24
Çizelge 3.2 Çalışmalar boyunca sabit tutulan parametreler.....	25
Çizelge 3.3 Su jeti ile yapılan yüzey işlemede kullanılan çalışma parametreleri.....	26
Çizelge 3.4 Çalışmada kullanılan numunelerin yüzeylerine ait özet istatistik değerleri.....	28
Çizelge 4.1 Numunelere ait eşik değer ve etki mesafesi değerleri.....	50
Çizelge 5.1 Anizotropi oranları.....	67

1. GİRİŞ

Günümüzde doğal taşlar ve doğal taş işlemeçiliği her zamankinden daha fazla rağbet görmektedir. Yüzey işleme çalışmalarının çeşitliliği de bu bağlamda gittikçe artmaktadır. Cilalama, honlama, yakma gibi farklı teknikler kullanarak yapılan yüzey işleme yöntemleri birbirlerinden farklı özelliklerde yüzeyler oluştururlar. Bu tekniklerden biri de su jeti ile yüzey işlemedir.

Su jeti ile yüzey işleme pompalarla basıncı ve hızı arttırılmış su jetinin bir kayaç yüzeyine uygulanmasıdır. Su jeti ile yüzey işleme diğer yöntemlere göre oldukça yenidir. Taş yüzeyleri son bir kaç yıldan beri bilim adamları tarafından deneysel olarak su jeti ile işlenmektedir. Bu çalışmalarda yüzeyler yalnızca estetik açıdan değerlendirilmişlerdir. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda su jeti ile işlenen yüzeyler genellikle parlaklık, ışıklılık, renklilik ve pürüzlülük gibi parametreler baz alınarak incelenmişlerdir.

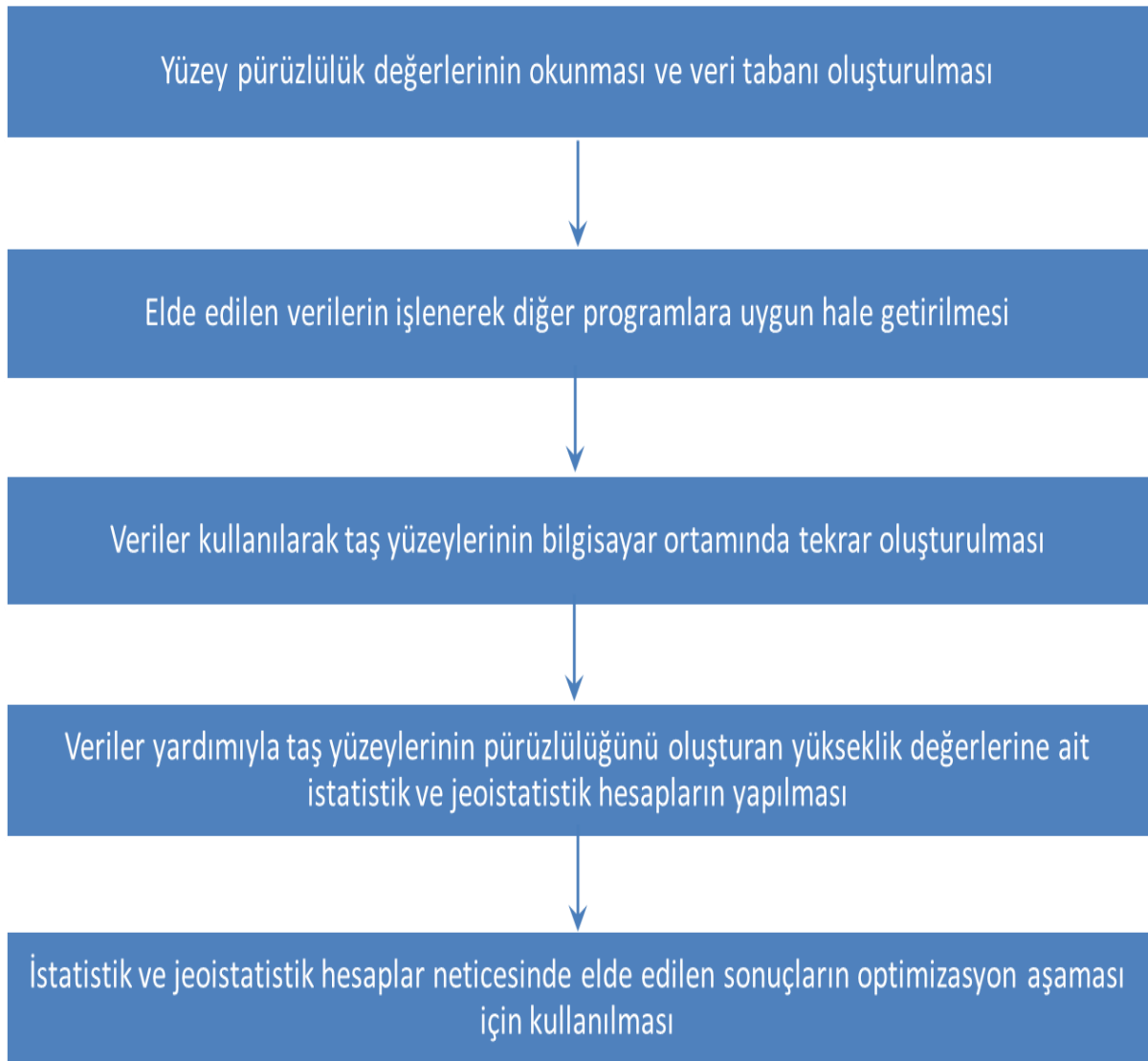
Bu çalışmada ise su jeti ile farklı pompa basıncı, çalışma mesafesi ve ilerleme hızı değerlerinde işlenmiş numunelerin yüzey topoğrafyaları ayrıntılı olarak belirlenmiş, bilgisayar ortamında yeniden oluşturulmuş ve variogram modelleri çizilerek istatistiksel ve jeostatistiksel açıdan analiz edilmişlerdir. Bu analizlerin sonucunda da her bir numune için yapısal uzaklık ve eşik değerler belirlenmiş ve bu parametrelerin çalışma koşullarına bağlı olarak nasıl bir değişim içinde olduğu ortaya konulmuştur. Sonuç olarak elde edilen tüm veriler kullanılarak Sardinya Bazaltı kayacının su jeti ile yüzey işleminde optimum çalışma koşulları belirlenmiştir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın amacı, su jeti ile yüzey işlemede farklı çalışma parametrelerinin (çalışma mesafesi, ilerleme hızı ve pompa basıncı) oluşan yüzeyin pürüzlülük açısından kalitesine etkisinin istatistiksel ve jeostatistiksel olarak incelenmesi ve optimum çalışma koşullarının belirlenmesidir.

Çalışmada ilk olarak numunelerin pürüzlülük değerleri oluşturulan koordinat sistemi ve belirlenen hatlar üzerinde okunarak elde edilmiştir. Bu veriler daha sonra bütün bir yüzeyi temsil edecek şekilde düzenlenerek diğer programlarda kullanılabilir hale getirilmişlerdir.

Hazırlanan veriler önce işlenmiş yüzeylerin bilgisayar ortamında daha iyi görülebilmesi için SURFER programına aktarılmıştır. Bu programla her yüzeyin topoğrafik haritaları çıkarılmıştır. Bu görüntüler yüzey işlemenin dokusu hakkında bilgi vermektedir. Daha sonra yüzey pürüzlülüğünü oluşturan yükseklik değerleri SGeMS adlı yazılıma aktarılarak yükseklik değerine ait variogramlar ortaya konulmuş ve eşik değer (sil) ve yapısal uzaklıkları belirlenmiştir. Buradan elde edilen yeni veriler de kullanılarak her yüzeyin izotropik olup olmadığı belirlenmiş, sonuçlar bu değerler baz alınarak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.1'de çalışmaya ait akım şeması verilmektedir.



Şekil 1.1. Çalışmada uygulanan yöntemin aşamalarını gösteren akım şeması

1.2. Çalışmanın İçeriği

Su jeti ile yüzey işlemede farklı çalışma parametrelerinin oluşan yüzeyin kalitesine etkisinin istatistiksel ve jeostatistiksel olarak incelenmesi ve optimum çalışma koşullarının tespit edilmesi amacıyla yapılan bu tez yedi ana bölümden oluşmaktadır. Birinci kısımda yüzey işleme, yüzey kalitesi ve yüzey kalitesini tanımlamada kullanılan parametreler genel olarak verilmiştir.

Yapılan tez çalışmasının ikinci bölümünde yüzey işlemenin tanımı, doğaltaş madenciliğinde kullanılan yüzey işleme yöntemleri ve su jeti ile yüzey işleme yöntemine dair bilgiler ve tanımlamalar yer almaktadır.

Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan su jeti ile yüzey işleme sistemi ve yüzey pürüzlülüğü ve yüksekliği ölçme sistemi hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışma prensiplerine ve sistemlerine değinilmiştir.

Dördüncü bölümde çalışmanın planına ve tez kapsamında yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün ve pürüzlülüğü oluşturan yükseklik değerlerinin tarifi, ölçümlerinin nasıl alındığı ve ham verilerin nasıl kullanılabilir verilere dönüştürüldüğüne dair bilgiler verilmiştir. Bu bölümde SGeMS programı ile yapılan pürüzlülük verilerinin istatistiksel ve jeostatistiksel analizleri ile bunlardan elde edilen yapılmış, Eşik değeri (C) , külçe etkisi (C_0) ve yapısal uzaklık (a) değerleri verilmiştir.

Beşinci bölümde ise dördüncü bölümde elde edilen jeostatistiksel veriler ile çalışma parametreleri arasındaki ilişkiler grafiksel olarak değerlendirilmiştir.

Altıncı bölümde elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara bağlı olarak ileride yapılması gereken çalışmalarla ilgili öneriler sunulmuştur.

2. YÜZEY İŞLEME VE YÜZEY İŞLEME YÖNTEMLERİ

Bir taşın yüzeyine, dış kesimlerine ve köşelerine özel bir görüntü vermek için gerçekleştirilen işlemlere yüzey işleme denir. Yüzey işleme yöntemleri ile işlenecek bir yüzeyin oluşturulması farklı amaçlarca kontrol edilir. Çünkü her taş kullanımına uygun teknik, işlevsel ve estetik koşulları karşılamalıdır, (Primavori, 2003). Yüzeyi işlenmiş dekoratif taşların, özellikle de pürüzlü yüzeyli taşların, kaplama ve döşeme için kullanılması, şehir dokusunda ve tasarımında yer bulmasıyla günümüz taş mimarisi iyice pekişmiştir (Özçelik ve Costa, 2010).

Doğal taşlar yapısına bağlı olarak hiçbir işleme tabi tutulmadan kesilmiş plaka olarak kullanılabilir de çoğunlukla kullanım amacına göre istenen boyutlara indirgemek için kesme ve bunu takip eden yüzey parlatma-cilalama veya diğer yüzey işleme uygulamalarına ihtiyaç duymaktadır (Kulaksız, 2005;Özçelik ve Costa, 2010),

Taşın yüzeyine estetik bir görüntü vermek ve/veya taşın pürüzlülüğünü arttırmak için (böylece kaymayı önleyici özellikleri artar) çok sayıda farklı yüzey işleme yöntemleri vardır. Uygulanacak olan yüzey işleme yönteminin seçimi; yüzey işleminin yapılacağı malzemenin tipine ve koşullarına, estetik etkiye, işin ekonomisine, genel kaniya ve pazar eğilimlerine bağlıdır (Özçelik ve Costa, 2010).

Mermer endüstrisinde;

- Testere ile kesme (Sawn cut)
- Honlama (Honed)
- Cilalama (Polished)
- Alevle yakma (Flamed)
- Eskitme (Tumbled/patinato)
- Kuşlama (Sand Blaster)
- Çekiçleme (Bush Hammered)
- Doldurma (Filled)

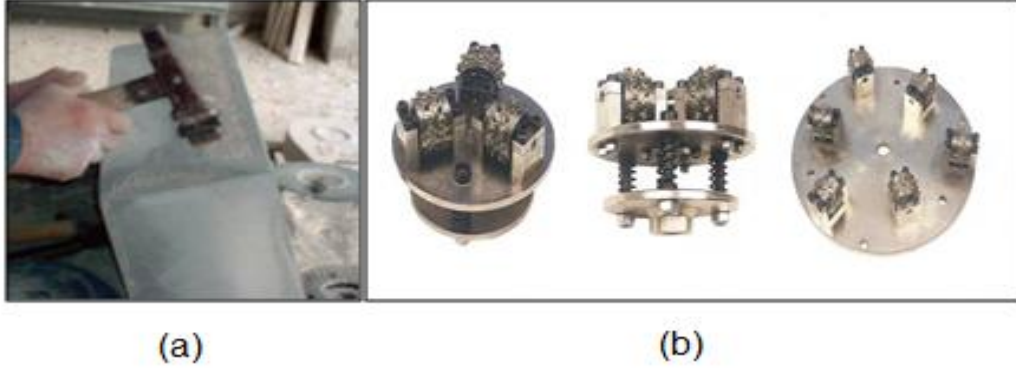
- Doğal boyutlandırma (Natural cleft)
- Asitle yıkama (Antico/acid washed)
- Oyma (Carved)
- Lazerle işleme (Laser treated)
- Su-jeti ile işleme (Water jet treated)

gibi pek çok yüzey işleme yöntemi mevcuttur. Adı geçen tüm bu teknolojiler pazarda kendilerine olan ilginin azalmasına sebep olabilecek farklı dezavantajlara sahiptirler. Yüzey işleme uygulaması mekanik aletlerin etkisiyle yapıldığı takdirde, ayrıca kumlama veya alevle yakma temelli olduğu durumlarda, işlenen malzemenin yüzeyinde değişimler olmaktadır. Bu değişimler; mekanik bozunmalar (darbelerin veya ısı şoku etkisiyle), mikro çatlakların oluşturulması ile kromatik (renge dayalı) değişimler ve parlaklıkta azalma ve son kullanıcı tarafından arzu edilmeyen opak etkisi olan kromatik farklılıklar sonucu oluşan kristal ergitmedir (Ciccu and Bortolussi, 2010; Primavori, 2006).

2.1. Yüzey İşleme Yöntemleri

Yukarıda da belirtildiği gibi uygulandığı kayaca farklı görünüm ve doku kazandıran birçok yüzey işleme yöntemi vardır. Bunlara aşağıda kısaca değinilmiştir.

Çekiçleme; geniş anlamıyla darbeli aletler kullanılarak yapılan bütün işlemleri kapsamaktadır. Bu yöntemle kendine has ve doğal olmayan yüzeyler elde edilmektedir. Bu amaçla keskin, mucartalar, çekiçler, pensler, raspalar gibi el aletleri veya darbeli mekanik aletler kullanılmaktadır. Yapılan işlem kullanılan alete veya sonuçta ortaya çıkan görünüme atıfla kırma, raspalama, çekiçleme, noktalama, çizme, dalgalandırma veya kırma gibi isimler almaktadır. Klasik çekiçleme işleminde, kullanılan alet, ucu yoğun bir şekilde piramit uç içeren çekiç veya keski/çekiç ikilidir. İşlem, yüzeyde oluşan kırıkların düzgün bir biçimde dağılımını sağlayacak şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu girinti çıkıntılarının büyüklüğü kullanılan alete ve çarpma şiddetine göre değişir. Önceleri elle yapılan bu işlem günümüzde, otomatik çalışan makinelerde yapılmaktadır (Şekil 2.1) (Kulaksız, 2005).



Şekil 2.1. (a) Elle ve (b) Makine ile taraklı çekiçleme (Özçelik ve Costa, 2010)

Çalışılan yüzeyler küçükse, üretim miktarı düşükse ve çalışılan yüzey geometrisi çok kompleks ise bu yöntem kullanılabilir. Aksi durumda yüksek miktarlarda üretime imkân veren çekiçleme makineleri kullanılmalıdır.

Bu tip yüzey oluşturulan mermerler ıslakta bile kayma özelliği göstermez. Çekiçleme yapılırken dikkat edilecek bir husus çekiçlemenin derinliğini fazla tutarak taşın kalınlığının gereğinden fazla azaltılmamasıdır. Çünkü gereğinden fazla kalınlığı azaltılan taşların dayanımı da azalır. Çekiçleme yapılan taşların yüzeyi kirlenmeye müsaittir. Bu nedenle yüzey koruyucu önlemler alınmalıdır (Çelik ve Kavuşan, 2001).

Çekiçleme işlemini elle çekiçleme ve makine ile işleme olarak ikiye ayırmak mümkündür. El ile çekiçlenme ile yapılan yüzey işlemleri, "çırpma/çarpma taş" olarak da isimlendirilmektedir. El ile çekiçlemede taşın yüzeyine değişik açılardan art arda çekiç darbeleri indirilerek taş yüzeyine kabartma şekli verilir. Kullanılan çekiçler özel olarak uçları sivriltilmiş ve bu amaç için dizayn edilmiştir.

Çekiçlenecek taşın özelliğine göre taş yüzeyinden kaldırılacak talaş yüksekliği de ayarlanabilir. İsteğe göre alçak (ince) veya yüksek (kaba) kabartma şeklinde taş yüzeyi yontulur. El ile çekiçlemede taş yüzeyine verilen desenler genelde gelişigüzel olup belirli bir sisteme bağlı olmamasına karşılık, bazı durumlarda desenlemeler de yapılabilmektedir. Makine ile çekiçleme de ise makinelerde bulunan çekiçler, bir veya daha fazla uç (keski) ile donatılmıştır. Bu uçlar bir köprü boyunca hareket ederler. Sert metal uçların taşın yüzeyine çarparak aşındırması ve bir miktar parça koparması ile yüzeye doğal ve değişik bir görünüm kazandırır. İstenilen görünüm ve yüzey şekline bağlı olarak bu uçlar değişik boyut ve şekillerde değiştirilebilecek tiptedir.

Çalışma basıncı, çekiç hızı ve darbe sayısı mermer özelliklerine bağlı olarak ayarlanabilir. Kırılma ihtimali olan hassas yüzeylerde düşük hızlarda uygun basınçta ve daha hafif darbelerle işlem yapılması gerekir. Kenarların büyük ölçekte kırılmasını önlemek amacıyla taşın boyutuna göre çekiçleme işlemini durduran sistemler de vardır. Bazı çekiçleme makineleri ise aynı anda yatay ve dikey yüzeylerde çalışan çekiçlerle donatılmışlardır. Çekiçleme makinelerinde mermerler için 3 cm den 30 cm kalınlığa kadar 1 veya 5 çekiç ile 5 – 16 m²/saat, granitler içinse 2 cm den 30 cm kalınlığa kadar 1 veya 5 çekiç ile 4,5 – 15 m²/saat üretim yapılabilmektedir (Set Makine, 2001).

Parlatma işlemi; farklı bileşim ve sertlikteki aşındırıcılar ile kimyasal eriticilerin amacına uygun bir şekilde sıralı ve ortak kullanımı sonucunda sağlanmaktadır. Genellikle 80 – 600 arası numaralı aşındırıcılar ve son olarak cila taşı kullanılır (Ozuloğul ve Erdoğan, 1995). Ancak daha hassas ve sorunlu taşlarda 36 – 1200 arası numaralı aşındırıcılar kullanılmaktadır. Taş yüzeyindeki birkaç mikronluk çok küçük pürüzleri gidermek için "oksalit asit" içerikli aşındırıcılar de kullanılmaktadır. Mermer yüzeylerinin mükemmel derecede düzgün olması ve parlaklık verilmesi için yapılan bu işlem iyi kristalleşmiş ve küçük kristalli olan mermer yüzeylerini daha iyi parlatır (Şekil 2.2). Parlatılmış yüzeylerden ışığın yansımaları yüzeydeki herhangi bir maddeden kaynaklanmaz. Parlaklık ve ışığın yansımaları direkt olarak mermerlerin doğal kristal yapısından kaynaklanır. Çünkü mermerleri oluşturan kristal tanelerinin her birisi bir elmasın yüzeyinin kesilerek parlatılması gibi tamamen aşındırılıp düzgün bir yüzey elde edilinceye kadar kesilir. Böylelikle yüzeydeki pürüzlülük ya tamamen giderilir veya en asgariye indirilir. Sonuç olarak kesilip parlatılan bir mermerin yüzeyine düşen ışık, pürüzlü olmayan yüzey tarafından tamamen geri yansıtılır. Böylece parlatılmış bir yüzey, mermerin rengini ve renk derinliğini daha iyi görülebilir bir hale getirir. Bu işlemin uygulandığı taşın yüzeyinde, boşlukların izole edilmesinden dolayı genellikle gözenek yoktur. Bu da atmosferik ve kimyasal etkilere karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. Ancak yoğun insan ve taşıt trafiğinin olduğu yerlerde bu yüzeylere yeterli bakım yapılmazsa parlaklık yavaş yavaş kaybolur (Çelik ve Kavuşan, 2001).



(a)

(b)

Şekil 2.2 Cilalama parlatma ünitesi (a) ve cilalı yüzey (b) (Özçelik ve Costa, 2010)

Alevle yakma işlemi; farklı termal genişleme katsayısına sahip değişik minerallerden oluşan kayalara uygulanır. Bu nedenle genellikle mağmatik kökenli kayaların yüzeylerine uygulanan bir işlemdir. Özellikle granit içerisinde yer alan kuvars minerallerinin ısı karşısındaki davranışları, bu işlemin granit yüzeylerinde etkili olmasını sağlar (Şekil 2.3). Kalsiyum karbonat kökenli mermerlerin yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmaması nedeniyle bu işlem uygulanamaz. Hatta bileşiminde demir bulunan bazı granitler bile bu ısıl işleme uygun olmayabilmektedir (Çelik ve Kavuşan, 2001).



(a)

(b)

Şekil 2.3 Granit yüzeyini alevle yakma (Özçelik ve Costa, 2010)

Alevle yakma işleminde, pürüzlü olan yüzeye 1000 – 1500 °C arasında çok yüksek sıcaklıklar, yüzey boyunca uygulanır. Bu işlem sırasında taşın yüzeyi yaklaşık 600 °C ısıya maruz kalır. Alev makinesinde oksijen ile beraber yakılan metan veya propan gazı tarafından üretilen alevler, taşın yüzeyindeki nemin aniden buharlaşmasına yol

açar. Taşın aniden ısınmasıyla oluşan patlamalar sonucunda taş yüzeyinde çukurluklar meydana gelirken yeni kristal taneleri ortaya çıkar. Bu işlem sonucunda kuvars kristalleri ısı şoku ve ani soğuma ile ufak parçalara ayrılır. Aynı zamanda yakılma nedeniyle indirgenmiş renkler ortaya çıkar. Bunun yanında taş yüzeyinde tümsekli — çukurlu, pürüzlü bir yapı oluşur. Bu yapı, kaymayı önleyici özellikte olması nedeniyle özellikle dış mekânlarda, yürüyüş yolu ve kaldırımlarda tercih edilmektedir. Fakat yüzey işlemi sonucunda taşın dayanımında bir miktar azalma ile beraber taş yüzeyinin çeşitli kirliliklere maruz kalması söz konusudur (Çelik ve Kavuşan, 2001).

Alevle yakma makineleri çok değişik şekillerde dizayn edilmiştir. Kullanma yöntemi çekiçleme makineleri ile aynıdır. Bazıları otomatik su soğutma sistemleri ile donatılmıştır. Bazı modellerde hem başlangıçta hem de son aşamada temizleme ve fırçalama sistemleri vardır. Bazı modellerde; 1 cm kalınlığa kadar 12–18 m²/saat, 2 cm kalınlığa kadar 18–24 m²/saat ve daha fazla kalınlıklarda ise 20-30 m²/saat üretim değerlerine ulaşılabilir (Set Makine, 2001).

Eskitme işlemi, son yıllarda antik görünümlü mermerlere olan yoğun ilgi nedeni ile popülerlik kazanmıştır. Bazı mermer türlerinin küçük ebatlı ve yüzeyleri pürüzlü parçalarının (30x30 cm) yıpranmış ve eskitilmiş bir görüntüye kavuşması için uygulanan bir işlemdir. Uygulanacak yere göre mermer parçaları, değişik kalınlıklarda ve değişik boyutlarda kare veya dikdörtgen şekillerde kesilir. Eskitilmiş taşların kenar ve köşelerindeki keskin yüzeylerin yerini daha yuvarlak bir profil alır. Eskitme işlemine giren mermerlerin yüzeylerinde ilk kesimde oluşan testere izleri vardır. Eğer eskitme işlemi yeteri kadar iyi yapılamazsa bu izlerin tam olarak kaybolmadığı görülür. Eskitilmiş mermerler cilalı veya mat olarak iç ve dış mekânlarda dekorasyon ve süs amaçlı kullanılır. Eskitme 2 farklı yöntemle yapılır: Bunlar; eskitme tamburları ve vibratörler ile eskitme ve bantlı eskitme fırçaları ile eskitmedir.

Eskitme tamburları ve vibratörler ile eskitme: Bu işlem için özel olarak yapılmış metal "eskitme tamburları" ve vibratörler kullanılır, (Şekil 2.4). Eskitme tamburları içerisine eskitilecek mermerler, su ve eskitme işlemini yapacak olan aşındırıcı maddeler beraberce konulur. Aşındırıcı olarak genellikle yıkanmış kuvars kumu, seramik aşındırıcılar, çakıl taşı ve çelik bilyeler kullanılmaktadır. Eskitmenin derecesine göre tambur belirli hızlarda belirli bir süre döndürülür. Tambur içerisindeki mermerler, aşındırıcı maddelerin etkisiyle kenar - köşe ve yüzeylerinden küçük taneler

koparılarak keskinlikleri giderilir eskimiş ve antik bir görüntüye kavuşturulur. 30x30 cm ve daha büyük boyutlu mermerler ise vibratörlerde eskitilmektedir (Çelik ve Kavuşan, 2001).



Şekil 2.4 Tamburlu eskitme ünitesi (a) ve eskitilmiş yüzey (b) (Özçelik ve Costa, 2010)

Bantlı eskitme fırçaları ile eskitme işleminde bantlı otomatik "eskitme tel fırça kafası ve eskitme fırçaları" kullanılır. Yumuşak ve sert yüzey özelliği lokal olarak beraberce taşıyan yüzeyler için uygundur. Çeşitli kalınlıkta çelik telden oluşan fırçalar taşın yüzeyine dairesel hareketlerle otomatik silim hattında olduğu gibi sırayla sürtülür. Bu esnada yüzeydeki yumuşak bölgelerden bir miktar talaş kaldırılır. Sonuçta taşın yüzey ve kenarlarında pürüzlü ve engebeli bir yüzey oluşarak taş eskimiş bir görüntüye kavuşturulmuş olur. Bu tip yüzeye sahip olan taşlara "patinato" adı verilmektedir. Son zamanlarda çelik telli fırçaların metal izi bırakması nedeniyle bunların yerine aşındırıcı emdirilmiş plastik fırçalar kullanılmaktadır. Eskitme yapılan yüzeylerin dış etkilere karşı korunması için özel kimyasal maddeler kullanılmalıdır. Bu kimyasal maddeler hem taşlarda koruyucu bir etki yapmakta hem de doğal yapıyı ortaya çıkardığı için antik bir görünüm sunmaktadır (Çelik ve Kavuşan, 2001).

Honlama (mat cilalı) işlemi; kesilmiş olan plaka yüzeylerinin çeşitli boyutlarda aşındırıcılarla aşındırarak pürüzlülüğün giderilmesidir. Honlama için istenilen matlık derecesine göre 240, 320 veya 3/4 taneye kadar silim yapılmaktadır. Bu işlem sonucunda abrasif izleri silinmekte ve daha sonra "mat cila abrasifi" (kıl keçe) kullanılmaktadır. Honlama işlemi sonucunda düz, pürüzsüz ve nispeten parlak bir yüzey elde edilir, (Şekil 2.5). Ancak elde edilen parlaklık, cilalanmış ve parlatılmış mermer yüzeyleri gibi ışığı yansıtmaz. Bu nedenle honlanmış mermerlerin doğal renkleri cilalanmış mermerler kadar etkili bir görünüme sahip değildir ve birbirine yakın renkli mermerlerin renkleri birbirine benzer özellik gösterir. Cilalı ve parlak

yüzeylerin özellikle istenmediği döşeme, merdiven ve havuz kenarları kaplamaları gibi yerlerde tercih edilir. Yüzey cilasız olduğu için kaymayı önleyici ve emniyetli bir yürüyüş imkânı da sağlar. Honlama işlemi genellikle, tüm uğraşlara rağmen istenilen şekilde cila almayan mermerlere uygulanır (Çelik ve Kavuşan, 2001).



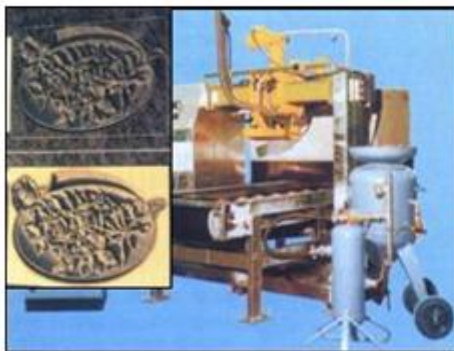
(a)



(b)

Şekil 2.5 Honlama ünitesi (a) ve honlanmış yüzey (b)

Kumlama; mermer yüzeylerinin mat — parlak pürüzlü bir görünüm kazanması ve değişik desenler oluşturulması için uygulanır. Bu işlemde su ve kum karışımı, yüksek basınçlı olarak mermer yüzeyine püskürtülür veya otomatik kumlama makineleri kullanılır. Mermer yüzeyinde kum tanelerinin ve/veya kumlama uçlarının çarpması ile küçük noktalar halinde çok küçük çukur ve tümsekler oluşturur. Böylelikle mermer yüzeyleri pürüzlü ve antik bir görüntü kazanır (Şekil 2.6) (Çelik ve Kavuşan, 2001).



(a)



(b)

Şekil 2.6 Kumlanmış yüzey (a) ve kumlama ünitesi (b) (Özçelik ve Costa, 2010)

Kumlama ile şekillendirilmiş mermer yüzeyleri kaymayı önleyici özelliğinden dolayı dış mekânlarda, yürüyüş yolu ve kaldırımlarda kullanılmaktadır. Kumlama ile şekillendirilmiş pürüzlü yüzeyler dış cephelerde kullanıldığı zaman yoğun kirliliğe maruz kalırlar. Yüzeyin pürüzlü olması sebebiyle kirliliğin temizlenmesi de zorlaşır. Bu yüzeyler için mutlaka koruyucu kaplama maddeleri kullanılmalıdır. Bu hem yüzeyin kirlenmesini önler hem de taşın renginin daha belirgin bir hale gelmesini sağlar. Giderek yaygınlaşan yüzey şekillendirme yöntemlerinden olan kumlama işlemi kumlama makinelerinde gerçekleştirilir. Kumlanacak parçalar tekerlekli bant üzerinde makineye girer ve çıkarlar. Kumlanacak parçaların yüzeyinde oluşturulmak istenilen yazı, şekil ve desenlere göre yüzey üzerine önceden çelik kalıplar yerleştirilir. Kumlama işlemi sırasında yüzey malzemesinde istenilen derinliğe bağlı olarak 5 mm kadar bir kalınlık kaldırılabilir. Bu makineler ile granit yüzeylerde bile 10 – 15m²/h üretim gerçekleştirmek mümkündür (Set Makine, 2003).

Diğer bir işlem; doğal taşların bir kısmında oluşumundan kaynaklanan ve ya kesme ve cilalama işlemleri sonucunda daha belirgin hale gelen çeşitli boyutlardaki gözeneklere dolgu uygulanmasıdır. Bu gibi taşlara suni yollarla dolgu yapılır ve gözenekler kapatılır. Taşlarda dolgu işlemi genellikle özel tip makinelerde yapılır. Bazı tip makineler ise fırınlı dolgu hattı şeklinde olup bu makinelerde kalibrasyon, ön silim, kurutma, dolgu, pişirme ve cilalama işlemleri tek bir hat üzerinde kesintisiz olarak yapılmaktadır (Çelik ve Kavuşan, 2001).

Gözenekleri doldurmak amacıyla genel olarak polyster esaslı ve çimento bileşimli dolgu maddeleri kullanılır. Ancak dolgu maddesi gözenek çapına göre sıvı veya akışkan olarak hazırlanır. Sık ve küçük ebatlı gözenekler için sıvı dolgu maddesi kullanılırken, seyrek ve iri boyutlu gözenekler için katı dolgu maddesi kullanılır. Şeffaf özellikli taşların dolgusu ise şeffaf olmalıdır. Kullanılan dolgu maddesinin rengi, mutlak suretle taşın orijinal rengi ile aynı olmalıdır. Aksi takdirde taşın olarak da bilmen bazı yapı taşları yüzeyindeki siyah renkli dentritik yapı, fosil görüntüsü verir (Çelik ve Kavuşan, 2001).

Doğal boyutlandırma; bu işlemde arduazlar gibi klivajlı yapılar boyunca düzgün yüzeyler halinde ayrılırlar. Doğal olarak ayrılan tabaka yüzeyleri pürüzlü bir yapıdadır. Kayrak taşı estetik bir kaplama malzemesi olarak, pencere kenarlarında, eşiklerinde ve taban döşemelerinde kullanılır. Bu düzenlemelerde doğal veya ebatlanmış

şekillerde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra arduazın bol olarak bulunduğu yörelerde bina yapı taşı olarak da rasgele boyutlu ve tuğla boyutunda kesilmiş olarak kullanıldığı görülmektedir (Çelik ve Kavuşan, 2001).

Asitle yıkama; pürüzlü mermer yüzeylerinin antik bir görüntü alması için yapılır. Kalsiyum karbonat bileşimli mermerler asitlere karşı çok duyarlıdır. Bu özellikten faydalanarak mermer yüzeylerine uygulanan asitli bileşikler yüzeydeki pürüzlülüğün bir kısmını yok ederek düzgün ve parlak fakat dalgalı bir yüzey ortaya çıkarırlar. Bu da mermerlerin, yürüme esnasında kaymasını önleyici bir yapıdır. Ancak bu tip mermerlerin bakım ve temizliği diğerlerine göre daha zordur. Aynı zamanda taşın kimyasal yapısında çeşitli reaksiyonlar meydana getirmesi nedeniyle tavsiye edilen bir yöntem değildir (Çelik ve Kavuşan, 2001)

2.2. Su Jeti İle Yüzey İşleme

Su jeti ile yüzey işleme, yukarıda anlatılan diğer yüzey işleme yöntemlerine göre yeni bir yöntemdir. Bu yöntem sabit basınçla çok yüksek hızlı suyun hareketine dayanır. Su jeti ile kesme sistemleri temel olarak aşındırıcısız ve aşındırıcılı sistemler olarak iki grupta incelenir. Aşındırıcısız su jeti ile kesme sistemi, basıncı artırılan suyun dar bir aralıktan geçirilmesiyle elde edilen yüksek hızlardaki su jeti huzmesinin çarpma etkisiyle malzemeden parçacıklar aşındırması ve bunun sonucu olarak malzemenin işlenmesi esasına dayanır (Kulaksız, 2005; Ciccu and Bortolussi, 2010).

Mekanik aletler ve uçlarla, kumlama ve yakma ile edilen yüzeyler kromatik farklılıklara, renk bozukluklarına, mikro çatlaklara ve mekanik bozunmalara maruz kalırlar. Su jeti diğer yöntemlere göre oldukça yenidir ve çok yüksek basınçlarla çok yüksek hızlara çıkarılan su sütununun yüzeylere uygulanması esasına dayanır ve estetik açıdan diğer yöntemlere göre daha iyi derecelerde estetiğe sahip görünüme sahiptir (Careddu et. al., 2007; Costa, 2007; Careddu et. al., 2008).

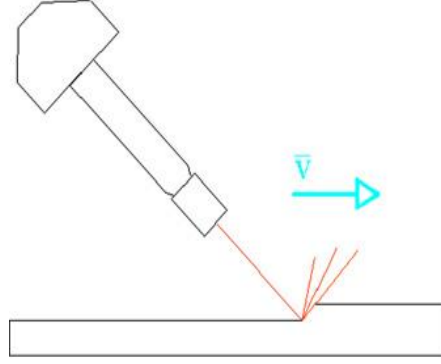
Taş yüzeyleri son bir kaç yıldan beri bilim adamları tarafından deneysel olarak su jeti ile işlenmektedir. Bu çalışmalarda yüzeyler yalnızca estetik açıdan değerlendirilmişler ve yakma, taraklı çekiçleme, kumlama gibi yöntemlerle karşılaştırılmışlardır. Bu karşılaştırmalarda, Bortolussi et. al., (2002) aşındırıcılı su jeti ile mermer yüzey işlenmesi konusunda çalışmıştır.

Su jeti ile yüzey işlemeye etki eden birçok parametre ve faktör bulunmaktadır. Bu parametreler Çizelge 2.1 'de verilmiştir (Gürsel, 2009).

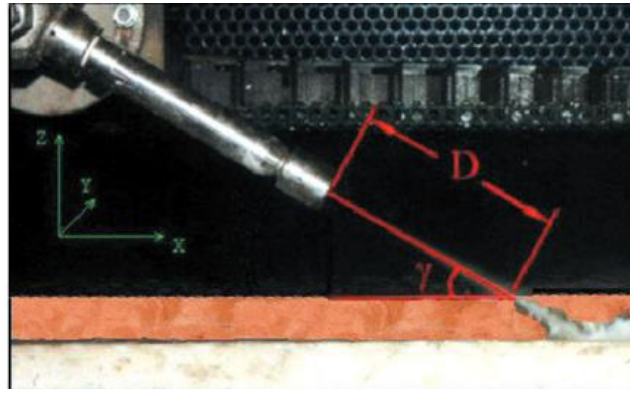
Çizelge 2.1 Su jeti ile yüzey işlemeye etki eden parametreler

Yüzey işlemede değiştirilemez faktörler (Kayaç Parametreleri)	Yüzey işlemede yarı değiştirilebilir parametreler (Makine Parametreleri)
<ul style="list-style-type: none"> *Kayacın kimyasal özellikleri *Kayacın mineralojik ve petrografik özellikleri *Kayacın fiziksel özellikleri <ul style="list-style-type: none"> —Özgül ağırlık —Gözeneklilik ve su emme *Kayacın mekanik özellikleri <ul style="list-style-type: none"> —Tek eksenli basma dayanımı <ul style="list-style-type: none"> —Elastisite modülü —Çekme dayanımı <ul style="list-style-type: none"> —Sertlik —Eğilme dayanımı 	<ul style="list-style-type: none"> *Pompa tipi ve basıncı *Nozül tipi *Nozülün çapı, geometrisi ve ebatı *Çalışma mesafesi *Kapasitesi *Hidrolik güç *Jetin performansı *Hatlar arası mesafe *Eğim açısı *Uygulanan jet tipi

Yüzey işlemede etken parametrelerden ilerleme hızının şematik görünümü Şekil 2.7de (Costa, 2007), çalışma mesafesi ve eğim açısının görünümü de Şekil 2.8'de verilmiştir (Özçelik vd., 2010).



Şekil 2.7 Su jeti ile yüzey işlemede ilerleme hızının şematik görünümü

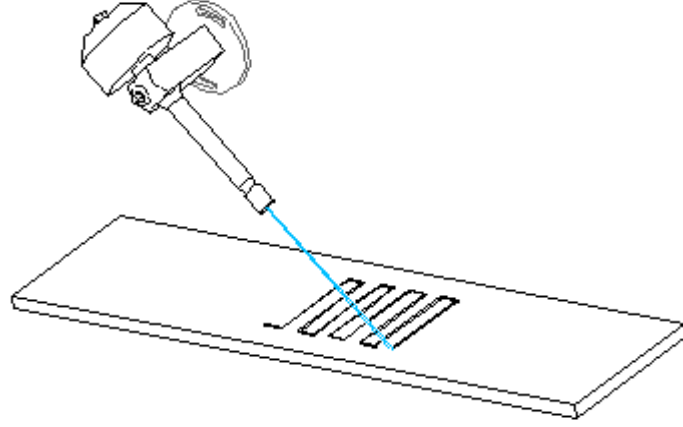


Şekil 2.8 Su jeti ile yüzey işlemede çalışma mesafesi ve eğim açısının görünümü

Belirlenen hat boyunca su jetinin ilerlediği hızla ilerleme hızı denir (Şekil 2.7). İlerleme hızı işlenen hat üstündeki bir noktanın su jetine ne kadar süre maruz kalacağına göstergesidir. Su jeti ile yüzey işlemede ilerleme hızı arttıkça yüzey daha az işlenir.

Şekil 2.8'de çalışma mesafesi (D) ve eğim açısı (γ) görülmektedir. Çalışma mesafesi nozül ile işleme yapılacak yüzey arasındaki mesafedir (Şekil 2.8). Daha önce yapılmış çalışmalarda çalışma mesafesi azaldıkça daha iyi bir yüzey işleme yapıldığı belirlenmiştir. Eğim açısı ise nozülün yatay ile yaptığı açıyı göstermektedir. Eğim açısı da su jeti ile yüzey işlemede önemli bir parametredir (Özçelik vd., 2011).

Bunlara ek olarak, yüzey işlemede hatlar arasındaki mesafe kayanın özelliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çalışmada paralel geçişler yaparak yüzey işleme yöntemi uygulanmıştır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Paralel geçişler yaparak yüzey işleminin şematik görünümü

Belirlenen hatlar boyunca ilerleyen su jeti yüzeye dikine veya açılı bir şekilde nüfuz ederek “micro – chips” adı verilen işlemle yüzeyden malzeme uzaklaştırılmaktadır.

Saf su jetinin yanı sıra ayrıca aşındırıcı su jeti sistemi de yüzey işlemede kullanılmaktadır. Büyük hızlara ulaşmış suyun etkisini daha da arttırmak için içine aşındırıcı tanecikler eklenir ve bu karışım yüzeye püskürtülür.

2.3. Farklı Yöntemler Kullanılarak İşlenmiş Yüzeylerin Kalitesi ile İlgili Yapılmış Önceki Çalışmalar

Yüzey kalitesini bilimsel olarak tanımlamak için ilk çalışmalar metal yüzeyler için sonraları plastik ve kompozit malzemeler için yapılmış ve yeni yöntemler belirlenmiştir. Daha sonra bazı yöntemlerin doğal taş yüzeyleri içinde uygun olduğu tespit edilmiş ve bu yönde ilk çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca literatüre yeni eklenen bazı yüzey işleme teknikleri de bu sınamalara ve deneylere tabi tutulmuş ve 2000’li yılların başlarında araştırmacılar su jeti ile işlenen yüzeylerle de ilgilenmeye başlamışlardır.

Araştırmacılar, yüzey kalitesini değerlendirmek için farklı parametreler kullanmışlardır. İlk kullanılan parametrelerden biri parlaklıktır. Parlaklık bir yüzeyin ışığı yansıtma kapasitesi olarak tanımlanmıştır ve o yüzeye belirli bir açıda gelen ışın demetinin yansıma oranına göre farklılıklar göstermektedir. Parlaklık, yüzeyden yansıyan ışığın yüzeye gelen ışığa oranı şeklinde değerlendirilmekte ve ışığın düştüğü düzlemdeki pürüzler azaldıkça parlaklık artmaktadır (Özçelik ve Costa, 2010).

Gelen ışığın yansımaya oranı, ışığın uygulandığı düzlemin yüzey özelliklerine bağlıdır. Yüzeyin pürüzlülük derecesine göre, gelen ışığın bir kısmı yutulmakta ya da yüzey içinde kırılarak arka tarafa geçmektedir. Tam yansımaya ya da ayna yansımaya denilen durumda, ışık demeti, yüzeye çarptıktan sonra geldiği açıda yön değiştirdiğinden o yüzey maksimum parlaklıkta görülmektedir. Bunun tersine mikropürüzler içeren bir yüzeye gelen ışık pürüzlere çarparak farklı yönlerde değişik açılarla yansıdığından pürüzlü yüzey donuk (mat) görünmektedir (Kulaksız, 2005).

Yüzey parlaklığının sayısal olarak belirlenmesi için kullanılan parlaklık ölçerler (Gloss meter), ölçüm yapılan yüzeye belirli bir açıyla ışın göndermekte ve ışının geri gelme açısına göre yüzeyin parlaklığını sayısal olarak (R:100 üzerinden) belirlemektedir (Costa, 2007). Wright ve Rouse (1993), mermerlerin yüzey parlaklığının ölçümüyle ilgili olarak yaptıkları çalışmada; ışının ölçüm yüzeyine 85°'lik açıyla gönderilmesi sonucunda malzemenin özelliklerinden daha az etkilendiğini vurgulamışlardır. Ozuloğul ve Erdoğan (1995), mermerlerde yüzey parlaklığının görüntü analiz yöntemi ile ölçülmesi konusunda yaptıkları bir çalışmada ise söz konusu açının 60° olmasının daha uygun olduğunu belirtmişlerdir (Özçelik ve Costa, 2010).

Pürüzlülük ilk çalışılan kalite parametrelerinden biridir. Ancak daha önce yapılmış çalışmalar kademeli aşındırıcı yöntemler baz alınarak araştırılmıştır. Honlama ve cilalama için yapılan çalışmalar literatüre 90'lı yıllardan itibaren girmeye başlamıştır.

Ojmertz (1993), düşük yanal ilerleme hızlarının düzensiz bir yüzey morfolojisine neden olmasına rağmen daha düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin elde edilebileceğini belirtmiştir. Böyle bir durumun ancak düşük yanal hız, yüksek aşındırıcı besleme oranı ve küçük delik çapları (su çıkışının gerçekleştiği açıklık) ile mümkün olabileceğini ifade etmiştir.

Careddu et. al. (2007) ve (2008) yakma ile yüzey işlemeye uygun olmayan kayalar için su jetinin nasıl uygun olabileceğini estetik ve ekonomik avantajlarıyla araştırmış ve elde ettikleri sonuçları taraklı çekiçleme yönteminin sonuçları ile karşılaştırmıştır. Costa (2007) su jeti ile yüzey işleme üzerine çalışmış ve sonuçlarını estetik açıdan analiz etmiştir. Bunlara ek olarak, Gürsel (2009) su jeti ile yapılan yüzey işlemlerinde özgül enerji, kazı hızı (yüzeyden malzeme uzaklaştırma hızı) ve

pürüzlülük gibi performans parametreleri ile makine çalışma parametreleri arasındaki ilişkileri incelemiştir.

Renklilik kavramı da yüzey kalitesini belirleyici faktörlerden biri olarak incelenmiştir. Kayaçların renkleri içeriklerine göre farklı olmaktadır. Farklı mineraller değişik kimyasal farklılaşmalar nedeniyle farklı renkleri yansıttıkları için görünüşleri de farklı olmaktadır (Ozuloğul ve Erdoğan, 1995; Sarı ve Yavuz, 2001). Kimyasal içeriğin kayaç görünüş renklerini ne derece etkilediğini vurgulamanın bir yolu da mermer renklerini incelemektir (Gündoğdu ve Gökay, 1999). Görüntü işleme (image processing) ve uzaktan algılamada en çok incelenen konuların başında gelen renklerin dağılımının analizi, incelenen görüntünün yorumlanmasında en önemli parametreler arasındadır (Castleman, 1979; Schalkolt, 1989). Özçelik ve Costa (2010) yaptıkları çalışmada farklı yöntemlerle yüzeyleri işlenen numunelerin renk analizlerini yapmışlar ve cilalıya en yakın renklerin su jeti ile yapılan yüzey işlemede elde edildiğini belirlemişlerdir.

Renk analizi yapılırken bilgisayara aktarılan görüntü bilgilerinin gösterime hazırlanabilmesi için belirli bir dönüşümden geçmeleri gerekir. Bilgisayar ekranı üzerindeki en küçük görüntü birimi piksel olarak bilinir ve her piksel için kırmızı, yeşil ve mavi sinyaller bilgisayar merkezi işlem birimi (CPU) tarafından gösterilecek piksele göre ayrı ayrı oluşturulur. Her pikselin rengi o pikseldeki kırmızı, yeşil ve mavi sinyallerin oranı ile belirlenir ve literatürde bu olay RGB (Red (Kırmızı)(K), Green (Yeşil)(Y), Blue (Mavi)(M)) sistemi olarak adlandırılır. Bu üç rengi temel renk kabul eden bu sistem doğadaki diğer tüm renkleri bu üç ana rengin oransal miktarları ile açıklar (Gündoğdu ve Gökay, 2003).

Görgülü ve Ceylanoğlu (2001) cilama ve parlatma yöntemleri ile işlenmiş yüzeyleri yüzey kalitesi bağlamında ele almışlardır. Pürüzlülük ve parlaklık parametrelerini baz alarak çalışmışlardır.

Yine Görgülü ve Ceylanoğlu (2001) daha önce yaptıkları çalışmaların devamı olarak pürüzlülük ve aşınabilirlik arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Bortolussi et. al. (2002); Careddu et. al. (2007); Costa (2007); Careddu et. al. (2008); Gürsel (2009) gibi araştırmacılar yüzeyleri su jeti ile deneysel olarak işlemişlerdir. Bu çalışmalarda su jeti ile yüzeyleri işlenmiş malzemeler estetik açıdan incelenmiş ve

yakma, taraklı çekileme, kumlama gibi diğer yüzey işleme yöntemleri ile mukayese edilmişlerdir. Özellikle Bortolussi et al. (2002) mermer yüzeyine son görüntü verme aşamasında aşındırıcı su jeti ile çalışmıştır.

Özçelik ve Costa (2010) su jeti ile işlenmiş yüzeyleri geleneksel yöntemlerle işlenmiş yüzeylerle renklilik, parlaklık, ışıklılık ve pürüzlülük açısından karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda su jeti ile işlenmiş yüzeylerin pürüzlülük, renklilik ve ışıklılık açısından cilalama gibi yöntemlerle rekabet edebileceğini ortaya koymuşlardır.

Yine Özçelik vd. (2011), yüzey işlemeye nozül eğim açısının etkisini jeostatistiksel yöntemler kullanarak incelemişlerdir. Burada özellikle düşük ve çok yüksek nozül açılarının yüzey kalitesini düşürdüğü ve en uygun nozül açısının 30° ile 75° arasında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu açılarda yüzey işleme yapıldığında işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlülüğün daha düzgün değişim gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada ise benzer metodoloji kullanılarak su jeti ile optimum çalışma koşulları belirlenecektir.

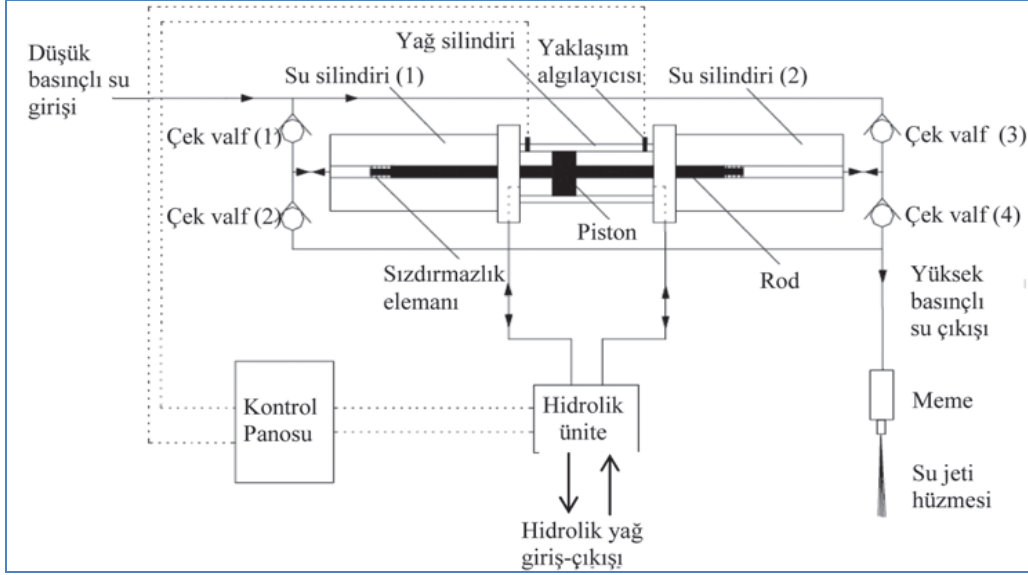
3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada doğal taş yüzeylerini işlemek için su jeti yüzey işleme sistemi, elde edilen yüzeylerin pürüzlülüklerinin ve yüzey kalitelerinin ölçümü için ise pürüzlülük ölçme sistemi kullanılmıştır.

3.1. Su Jeti Kesme/İşleme Sistemi

Su jeti kesme / işleme sistemi, basıncı artırılan suyun bir nozülden geçirilmesiyle elde edilen yüksek hızlardaki su jeti hızının veya aşındırıcı - su jeti karışımının, çarpma etkisiyle malzemedeki parçacıkların aşındırması ve bunun sonucu olarak yüzeyin işlenmesi ve/veya kesmesine esasına dayanır. Kısaca, su jeti teknolojisi aşındırıcı ve aşındırıcısız sistemler olmak üzere ikiye ayrılırlar. İlk defa 1970'lerde kullanıma giren aşındırıcısız sistemler sadece su jeti sistemleri olarak da adlandırılırlar. Isıl gerilmeler ve radyasyon oluşturmada parlak ve kompozit malzemeler dahil, hemen her türlü malzemeyi kesip işleyebilen aşındırıcı su jeti sistemleri 1982'den sonra metal endüstrisinde ön plana çıkmıştır. Aşındırıcı katkılı su jeti sistemlerinin lazer, elektron ışın ve plazma ark kesme sistemlerine ilk yatırım maliyetleri ve içerdiği kesme özellikleri yönünden kesin üstünlük sağlamaları aşındırıcı sistemlerin kullanımının yaygınlaşmasına neden olmuştur. Ayrıca, frezeleme işlemlerinde konvansiyonel talaş kaldırma sistemlerine, kesme kalitesi ve karmaşık şekilleri kesme yönünden üstünlük sağlarlar. Fakat daha yüksek çalışma basınçlarına çıkılması ve su jetinin dağılmasını önleyen bazı katkı maddelerinin de kullanılmasıyla, aşındırıcısız su jeti teknolojisi de daha yaygın kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Bu nedenle, metal endüstrisi haricindeki diğer endüstrilerde de su jeti teknolojisinin kullanımına çok hızlı bir geçiş olmuştur. Su jeti lülesinin robot, bilgisayar kontrollü sayısal konumlandırma tablası gibi esnek üretim sistemlerine rahatlıkla yerleştirilmesi ve karmaşık şekilleri yüksek kesme hızlarında kesilebilmeleri bu sistemlerin gelişmiş ülkelerde kullanımını daha da yaygın hale getirmiştir. Son yıllarda, aynı tip ürün çeşitliliğinin artması tüketici taleplerini artıran ürün çeşitliliği nedeniyle çok yüksek imalat sayılarından orta ve bazen de daha az sayıdaki üretilere indirmiştir. Bu gereksinim, esnek imalat sistemleri kullanımı ve esnek imalat sistemlerine adapte olabilen teknolojileri ön plana çıkardığından aşındırıcı ve aşındırıcısız su jeti sistemleri, kullanımı hızla artan yeni teknolojiler sınıfında yer almışlardır.

Klasik bir su jeti kesme/işleme sisteminde yüksek basınç ve jet hızı belirli sistem elemanları tarafından sağlanır (Yazıcıoğlu vd., 1993). Bu sistem elemanları başlıca; basınç ünitesi, aşındırıcı karışım ünitesi, kesme kafası ve bilgisayar kontrol ünitesi olarak dört ana bileşenden oluşmakta olup sistemin şematik görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Su jeti kesme/işleme sisteminin çalışma ilkesi ve temel elemanları (Geren ve Tunc, 2008).

Su jeti ile kesme/işleme sisteminde, basınç yükselticiden çıkan su dar bir boru içerisinde geçerek meme içerisinde yüksek basınçta ilerler ve meme ağzına yaklaştıkça daralan kısımlarda hızını daha da arttırarak malzeme yüzeyine püskürtülür. İşlem sırasında, yüzeye çarpan su jeti hüzmesi ile malzeme yüzeyinden parçacık kopararak kesme/işleme işlemini gerçekleştirir. Yüzeyden aşındırma ile uzaklaştırılan parçacık oranı; jet basıncına, yanal ilerleme hızına, kesilen malzemenin özelliğine, su jeti içerisindeki katkı maddesi (aşındırıcı malzeme) ve oranına bağlı olarak değişir (Wakuda et. al., 2003; Karakurt, 2007; Hascalık vd., 2007).

Su jeti ile kesilen/işlenen malzemelerde elde edilen yüzey karakteristikleri, Çizelge 2.1 de verilen çalışma basıncı, kullanılan aşındırıcı tipi, memenin örneğe olan mesafesi, aşındırıcı besleme miktarı, kesilen malzeme ve su jeti makinesine ait özellikler gibi birçok parametrenin denetimi altındadır.

Bu çalışmada kullanılan su jeti ile yüzey işleme sisteminin görünümü Şekil 3.2 de verilmiştir.



Şekil 3.2 Çalışmada kullanılan su jeti ile yüzey işleme makinesi (Özçelik ve Costa, 2010)

Sistem aşağıdaki bileşenlerden meydana gelmektedir;

- 37 kW'lık basınçlı hızlandırıcı ve üç adet paralel basınç artırıcı pompa 390 MPa'lık maksimum su basıncı sağlamaktadır ve 7 litre/dakika'lık kapasiteye sahiptir.
- Püskürtme memesini taşıyan kafa eğim ayarlayıcı bir sistemle donatılmıştır ve yakınsak kesitli 0,3 mm çapında safir püskürtme memesi taşımaktadır. Bu kafa hareketli bir köprüye (robot) monte edilmiştir ve çelik bir yapıyla desteklenmektedir.
- Bir tezgâh (kullanım alanı $2 \times 1,6 \text{ m}^2$) üzerinde çalışan su jetinin hareketi iki ekseninde (X ve Y) nümerik olarak kontrol edilirken Z ekseninde manüel olarak kontrol edilmektedir. Bu eksenlerde hareket, yüksek çözünürlüklü ölçme sistemleriyle donatılmış hareket sistemleri ile sağlanmaktadır. Maksimum püskürtme memesi çıkış hızı 24.5 m/dak'dır. Çalışma tezgâhının altında, kullanılan ve eksilen suyu toplayan bir tank bulunmaktadır.
- Bütün fonksiyonların ayar ve otomatik kontrollerinin bağlı olduğu programlanabilir bir birimi vardır. Bu birim bir CAD-CAM programlama sistemi ara yüzüne sahiptir (Careddu et. al., 2007; Costa, 2007; Özçelik ve Costa, 2010)

3.2. Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüksekliği Ölçüm Cihazı

Bu çalışmada Mitutoyo Surftest SJ-400 taşınabilir yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı, su jeti ile yüzeyleri işlenmiş numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır (Şekil 3.3). Sistem ölçüm aldığı numunenin yüzey kesit profilini kaydeden bir iğneye sahiptir ve iğne ilerlediği hat boyunca yüzeye bağlı olarak aşağı ve yukarı hareket ederek bu yüzeyi kaydeder. Yüzey boyunca yaptığı bu hareket bir amfikatör vasıtasıyla 10 – 100000 kat büyütülür ve kaydedilir. Böylece mikron mertebesinde ölçümler rahatlıkla yapılabilir. Surftest SJ-400 cihazı ISO (4287-1997, 4287/1-1997), DIN(4776) ve JISS (B 0601:2001, 0632:2001, 0633:2001, 0651:2001) standartlarını da içeren 36 biçimde ölçüm alabilir. Pürüzlülük ve buna bağlı diğer ölçümler ekranda görülebildiği gibi çıktı olarak da alınabilir (Özçelik ve Costa, 2010).



Şekil 3.3 Mitutoyo SJ-400 pürüzlülük ve yüzey yüksekliği ölçme cihazı (Özçelik ve Costa, 2010)

3.3. Çalışmada Kullanılan Malzemenin Özellikleri

Bu çalışmada Sardinya Bazaltı ticari isimli doğal taş numunesi kullanılmıştır. Sardinya Bazaltı numunesine ait bazı fiziksel ve mekanik özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Costa (2007) tarafından sabit çalışma parametreleri (optimum yüzey işleme eğim açısı ve hatlar arası mesafe) Sardinya bazaltı için belirlenmiş koşullarda, farklı pompa basıncı, çalışma mesafesi ve ilerleme hızlarında, Prof. Dr. Yılmaz Özçelik tarafından İtalya'da Cagliari Üniversitesi'nde deneyler yapılmış ve yüzeyi işlenmiş numuneler bu tez çalışmasında kullanılmak üzere getirilmiştir.

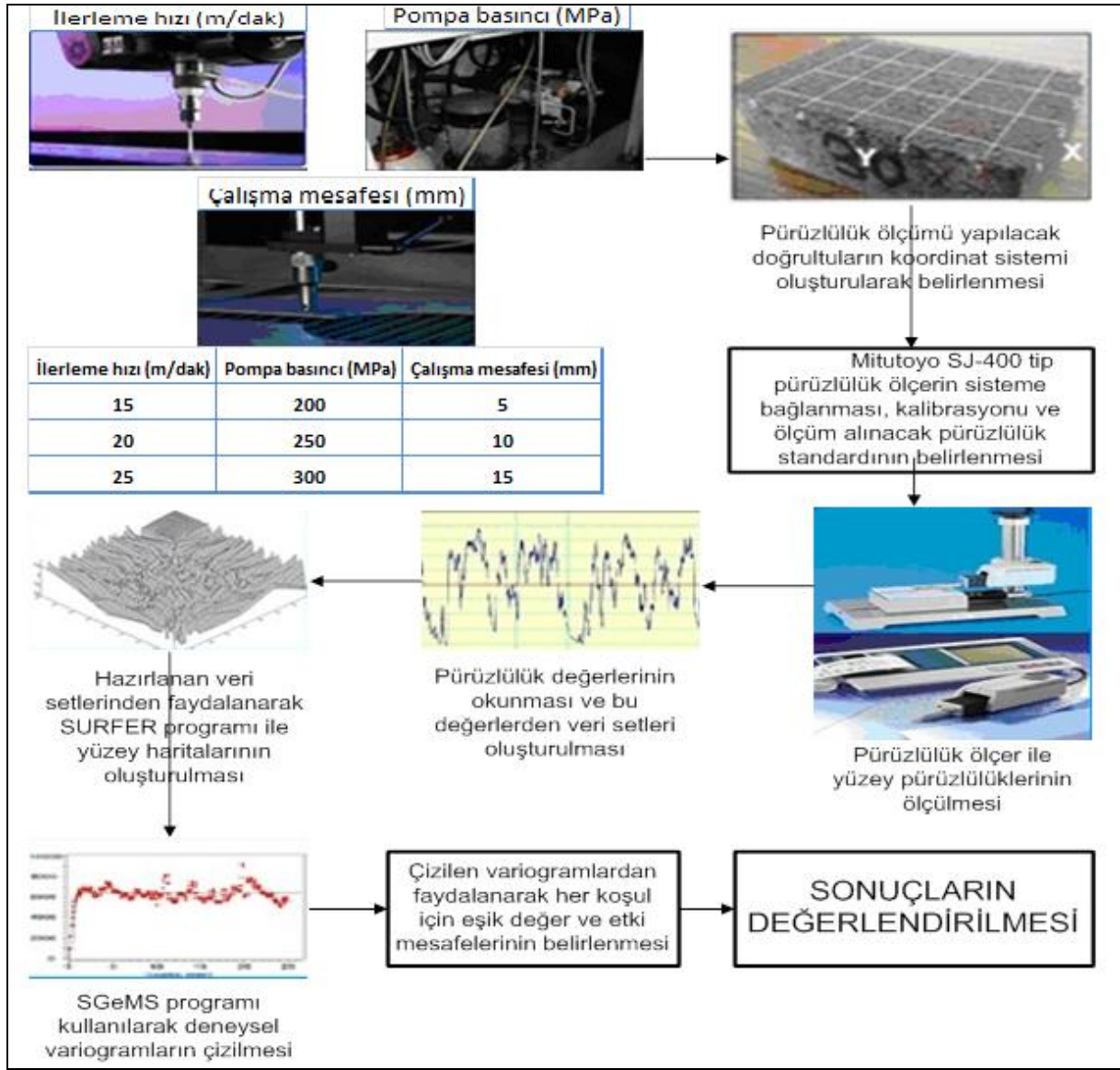
Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan Sardinya bazaltı ticari isimli doğal taşın bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Ağırlıkça Su Emme (%)	Görünür Gözeneklilik (%)	Shore Sertliği	Cerchar Aşındırıcılık İndeksi (CAI) (1/10 mm)
2352	4,28	9,88	44	1,1

Sardinya Bazaltı; bir olivin bazalt olup gözenekli yapıda ve porfirik dokuludur. Ayrıca, fenokristalli; çoğunlukla oksitlenmiş mineral izleri ve psödömorf yapılar içermektedir. Matris yapısında ise önemli miktarda plajiyoklaz mikrolit ve az miktarda piroksen bulunmaktadır (Özçelik vd., 2011).

3.4. Çalışma Yöntemi

Bu çalışmada takip edilen yöntem Şekil 3.4'de verilmiştir. Çalışma yönteminde verildiği biçimde nozül çapı, hatlar arası mesafe, eğim açısı ve su debisi parametreleri sabit tutulurken püskürtme (çalışma) mesafesi, pompa basıncı ve ilerleme hızı parametreleri değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Costa (2007)'nin yaptığı tez çalışmasında elde ettiği sonuçlara paralel olarak bu çalışmada hatlar arası mesafe 2 mm, eğim açısı ise Costa (2007) ve Özçelik vd. (2011)'nin elde ettikleri sonuçlara bağlı kalarak 30° olarak seçilmiştir. Çalışmada sabit tutulan işlem parametreleri Çizelge 3.2'de, değiştirilen çalışma parametreleri ise Çizelge 3.3' de verilmiştir.



Şekil 3.4 Çalışmada izlenen yöntem

Çizelge 3.2 Çalışmalar boyunca sabit tutulan parametreler

İşlem Parametreleri			
Püskürtme Memesi Çapı	Eğim Açısı	Su Besleme Miktarı	Nozül Çapı
0,3 mm	30 °	2,5 lt/dak	2,0 mm

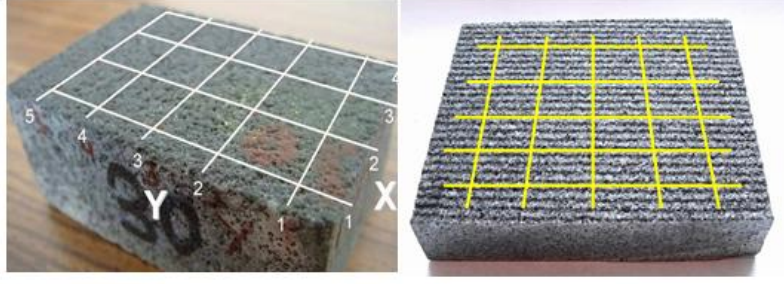
Çizelge 3.3 Su jeti ile yapılan yüzey işlemede kullanılan çalışma parametreleri

Çalışma Planı									
Örnek Numarası	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Püskürtme Mesafesi (mm)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Pompa Basıncı (MPa)	200	200	200	250	250	250	300	300	300
İlerleme Hızı (m/dak)	15	20	25	15	20	25	15	20	25
Örnek Numarası	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Püskürtme Mesafesi (mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Pompa Basıncı (MPa)	200	200	200	250	250	250	300	300	300
İlerleme Hızı (m/dak)	15	20	25	15	20	25	15	20	25
Örnek Numarası	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Püskürtme Mesafesi (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Pompa Basıncı (MPa)	200	200	200	250	250	250	300	300	300
İlerleme Hızı (m/dak)	15	20	25	15	20	25	15	20	25

3.4.1. Yüzeylerin Topografyalarının Belirlenmesi

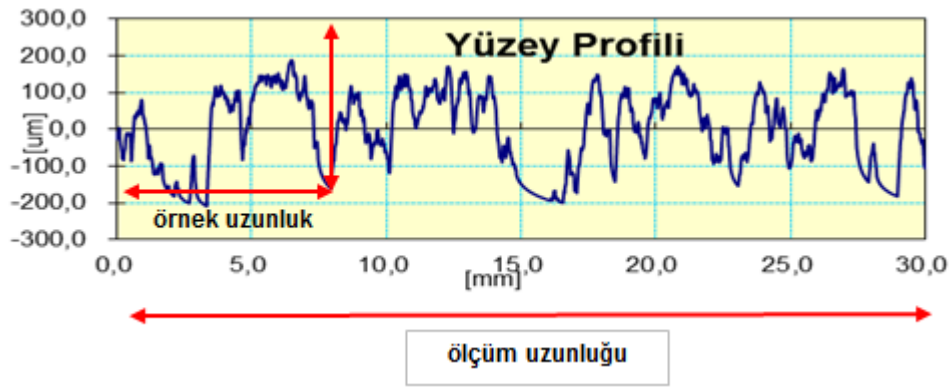
Yüzeylerin kesilerek şekillendirilmesi sırasında; seçilen yöntem, kesici cinsine ve işleme şartlarına bağlı olarak fiziksel, kimyasal, ısıl faktörlerin ve kesici-kesilen malzeme arasındaki mekanik hareketlerin etkisi ile işlenen yüzeylerde işleme izleri oluşmaktadır. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü (yüksekliği) adı verilmektedir (Güllü vd., 2003).

Çalışmada her bir kayacın yüzeyinde X ve Y eksenleri boyunca 8–10 farklı doğrultuda ölçümler alınmış (Şekil 3.5) ve farklı tipte işlenmiş her bir kayaç için ortalama yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.5 Ölçüm alınan numune, eksenler ve ölçüm hatları (Özçelik vd, 2010).

Ölçüm sonucunda elde edilen bir yüzey profili örneği Şekil 3.6 da verilmiştir.



Şekil 3.6 Bu çalışmada elde edilen yüzey profili görünümüne bir örnek

3.4.2. Elde Edilen Pürüzlülük Değerlerinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi

Bu çalışmada su jeti ile yüzeyleri işlenmiş numunelerin yüzeylerine ait temel istatistik analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar optimum koşulun tespit edilmesinde kullanılmışlardır. Bu kapsamda incelenen temel istatistik öğeleri ve tanımları aşağıda verilmiştir.

Ortalama: Verilerin toplamının veri sayısına bölümü ile elde edilen değerdir.

Medyan: Veriler büyükten küçüğe sıralandığında tam ortada kalan veridir.

En yüksek değer: Veri setindeki en büyük değerdir.

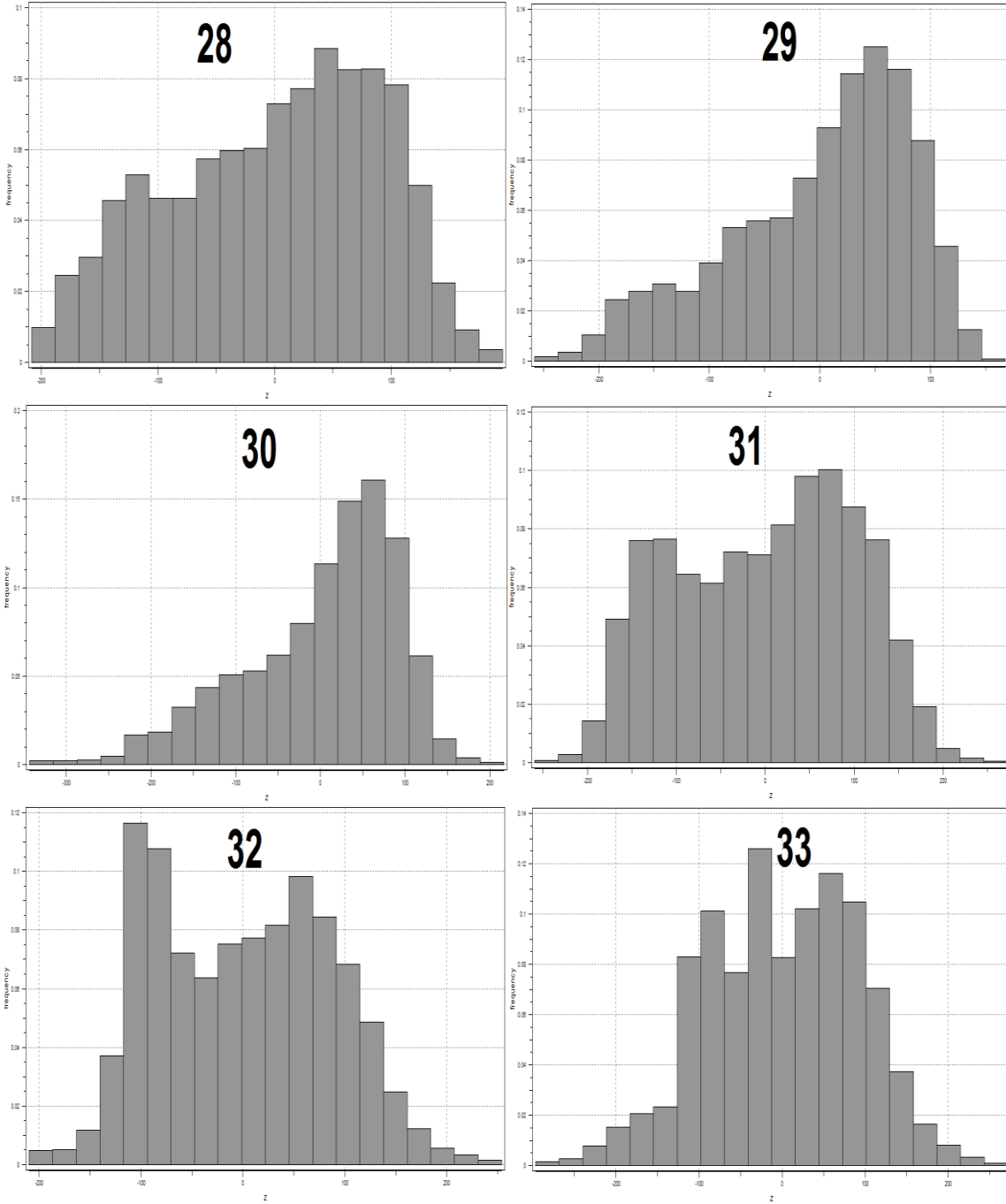
En düşük değer: Veri setindeki en küçük değerdir.

Varyans: Bir olasılık dağılımı için varyans dağılımın kendi ortalamasından sapmasının karesinin beklenen değeridir. Varyans kavramı dağılıma ait herbir değer için dağılımın ortalamasından ne kadar uzak olduğuyla ilgilidir. Varyans söz konusu sapmaların ortalama değerini ölçmektedir.

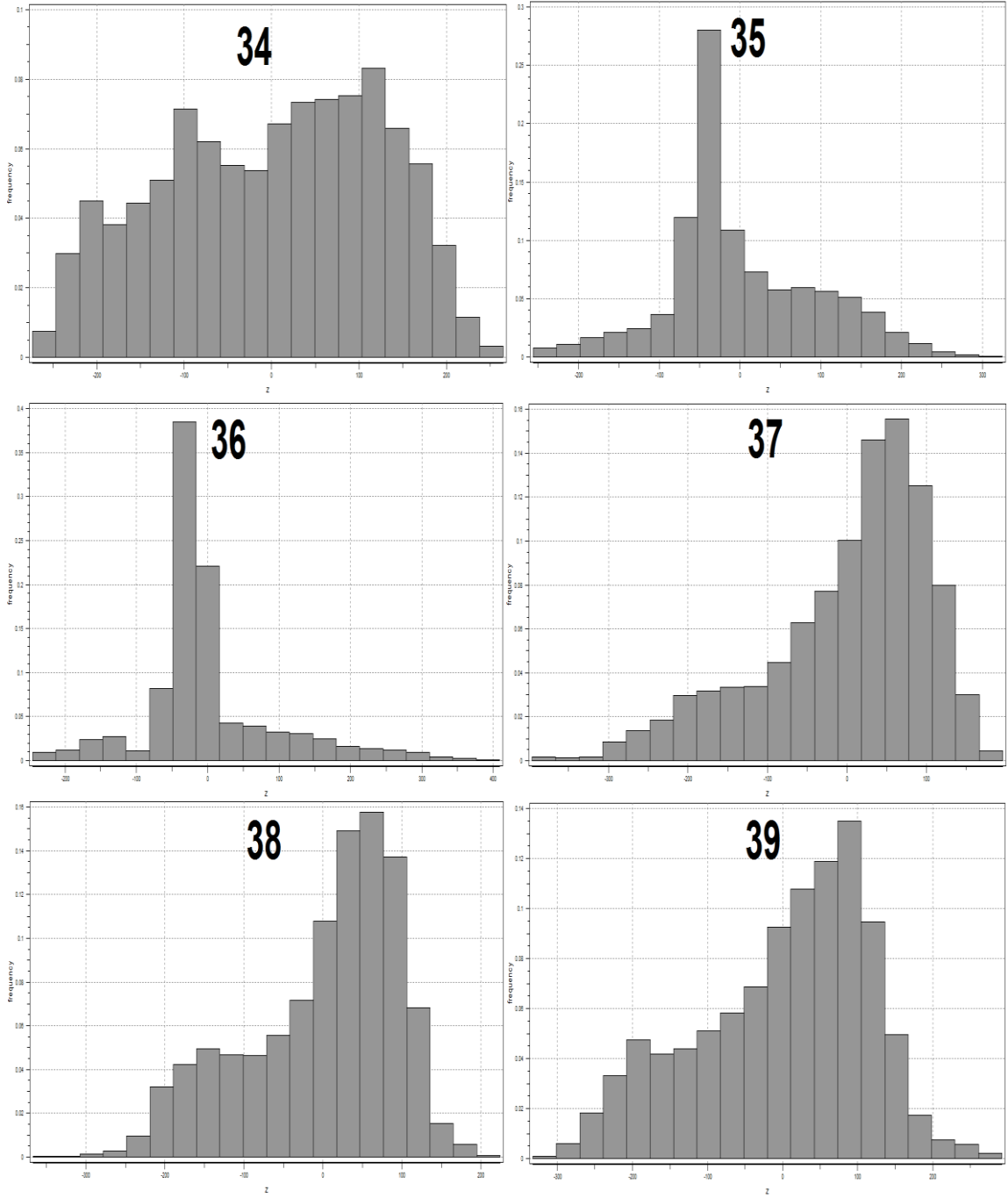
Ayrıca verilerin dağılımları da histogram olarak ortaya konmuştur. Bu histogramlar ve bu histogramlara ait özet istatistik verileri de Çizelge 3.4.' de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Çalışmada kullanılan numunelerin yüzeilerine ait özet istatistik değerleri

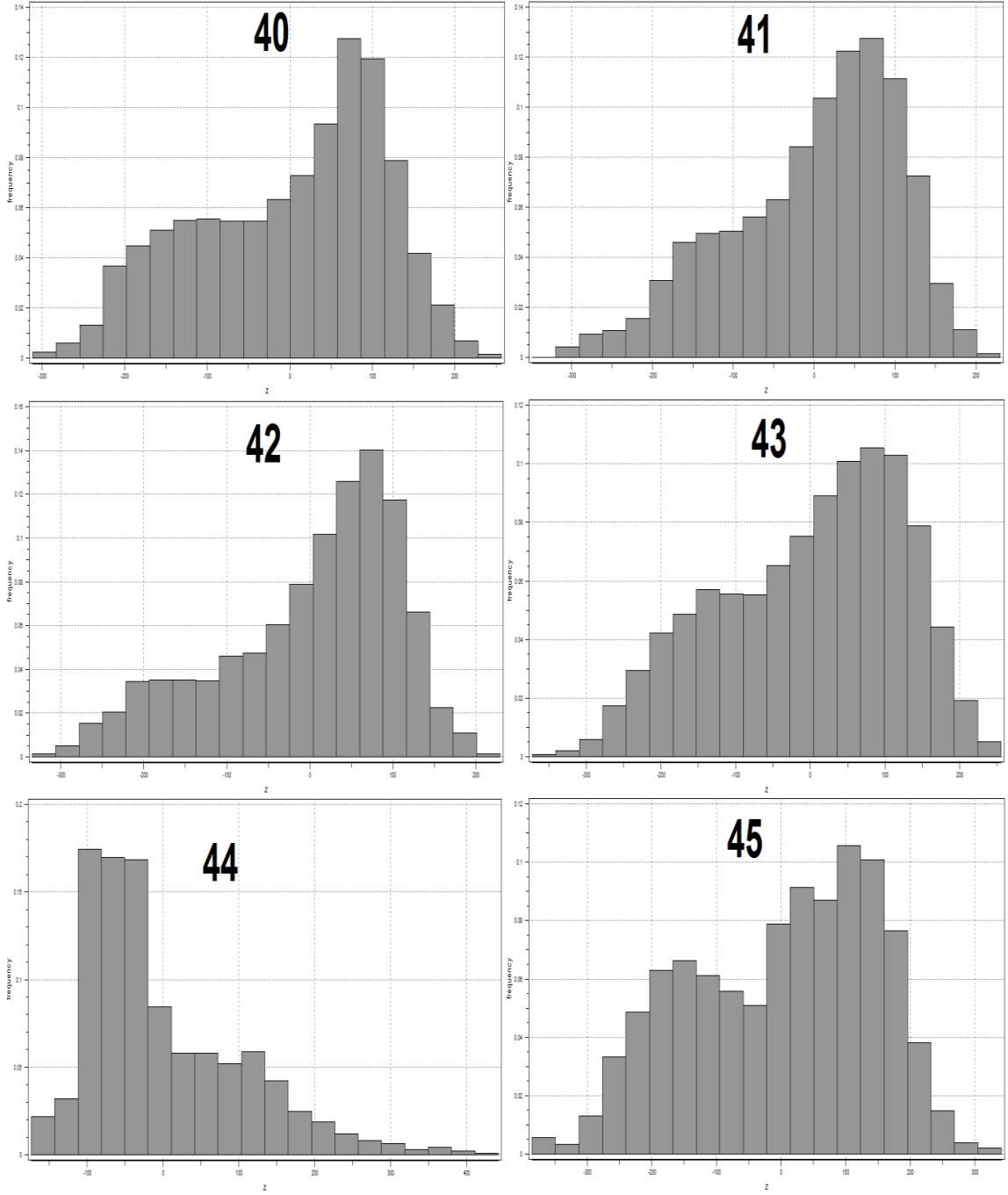
Numune	En yüksek (µm)	En düşük (µm)	Ortalama (µm)	Medyan (µm)	Üst Çeyrek (µm)	Alt Çeyrek (µm)	Varyans (µm) ²
28	195,31	-208,26	0,0000046	12,38	73,21	-69,41	8073,18
29	167,7	-258	0,0000353	19,18	63,36	-54,41	6845,52
30	216,64	-343,46	2,06	24,23	69,57	-51,9	8220,18
31	272,41	-259,31	0,0000387	10,38	81	-88,35	10030,19
32	253,88	-209,97	-0,0000232	0,33	68,12	-79,02	7432,7
33	271,72	-296,89	-0,0000145	2,47	70,65	-71,05	8373,05
34	265,04	-273,76	0,0000328	13,09	103,86	-71,02	15370,2
35	324,65	-255,77	0,000062	-26,1	60,34	-99,12	8607,59
36	409,18	-245,41	-1,92	-20,61	6,22	-50,47	8520,21
37	196,96	-395,97	-0,0000436	27,72	75,43	-41,33	10945,3
38	224,26	-366,76	0,0000203	25,05	72,2	-55,2	9157,42
39	292,15	-332,72	0,0000249	22,12	87,45	-60,75	13232,5
40	256,18	-311,14	0,00004	25,08	90,07	-77,9	12993,5
41	230,06	-348,54	0,0000156	21,89	79,84	-91,24	10946,8
42	229,04	-334,25	0,00000222	28,11	81,51	-69,7	11811,8
43	255,34	-372,01	-0,0000375	20,54	58,63	-66,55	15244,5
44	441,72	-173,05	0,000039	34,14	63,78	-94,85	10920
45	341,03	-385,16	0,0000685	21,93	118,16	-78,18	20882,7
46	187,03	-396,15	0,0000177	15,03	60,45	-121,57	6293,5
47	191,18	-391,2	-0,0000375	20,53	60,75	-26,78	8520,42
48	132,9	-285,69	0,0000232	18,07	49,09	-63,03	4810,38
49	174,19	-267,68	0,00000501	22,4	62,18	-31,31	7019,05
50	166,58	-288,47	0,0000182	20,37	56,26	-44,62	5849,78
51	146,01	-369,8	0,00000937	20,94	55,33	-46,72	6389,08
52	267,36	-409,99	0,0000194	32,75	96,38	-32,92	16048,6
53	287,97	-471,86	0,0000212	23,87	75,98	-56,87	11923,4
54	161,86	-447,95	0,0000114	18,57	53,66	-28,2	7472,69



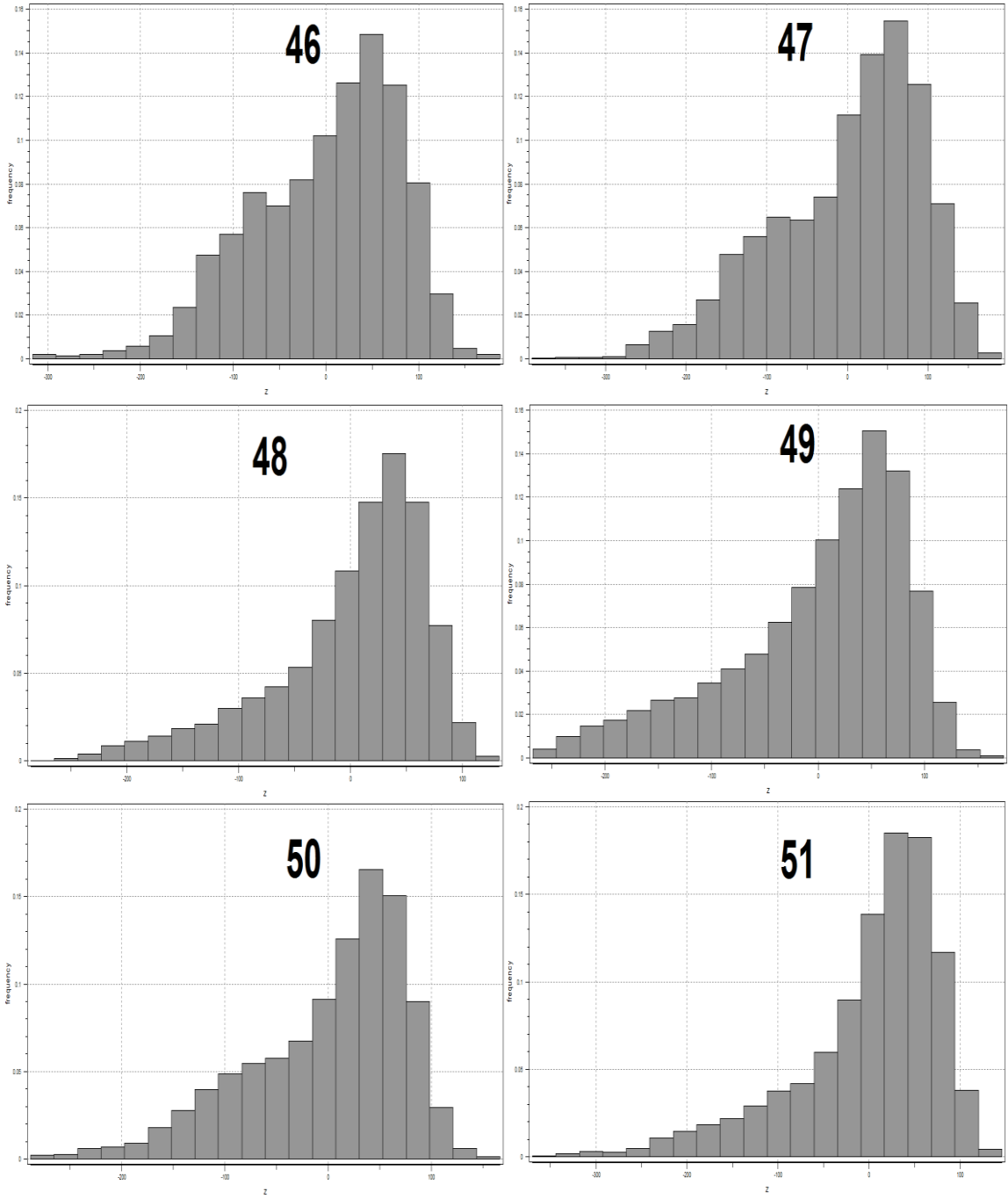
Şekil 3.7 28, 29, 30, 31, 32 ve 33 nolu numunelerin yüzeylerine ait histogramlar



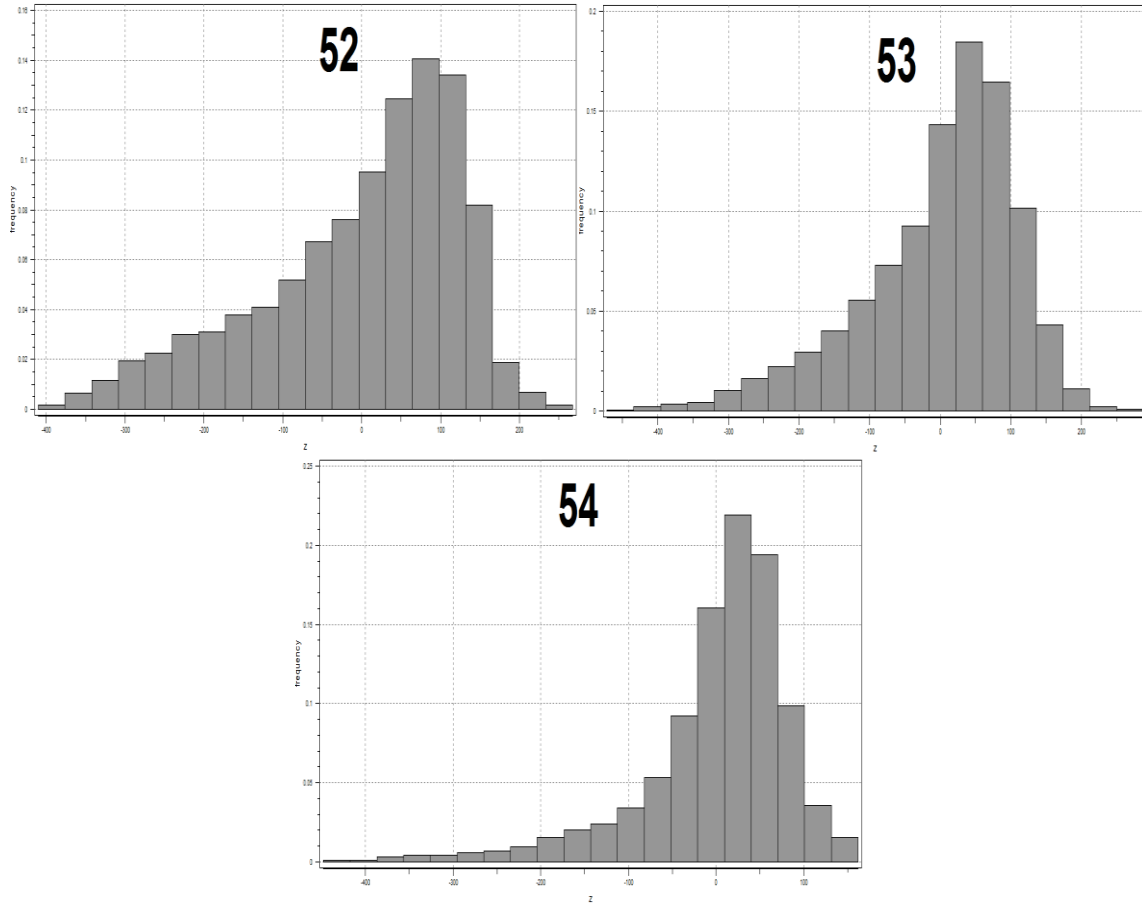
Şekil 3.8 34, 35, 36, 37, 38 ve 39 nolu numunelerin yüzeylerine ait histogramlar



Şekil 3.9 40, 41, 42, 43, 44 ve 45 nolu numunelerin yüzeylerine ait histogramlar



Şekil 3.10 46, 47, 48, 49, 50 ve 51 nolu numunelerin yüzeylerine ait histogramlar



Şekil 3.11 52, 53, ve 54 nolu numunelerin yüzeylerine ait histogramlar

3.4.3. Elde Edilen Pürüzlülük Değerlerinin Jeostatistiksel Yöntemle İncelenmesi

Bu çalışmada yüzeyleri su jeti ile işlenmiş numunelerin yüzey pürüzlülüğüne bağlı yükseklik değerleri variogram analizi yapılarak incelenmiştir. Daha önceki adımlarda elde edilen ve işlenen veriler istatistiksel ve jeostatistiksel yöntemler kullanılarak analiz edilmişlerdir. Verilerin analizlerinde variogramlar çizilerek eşik değer ve yapısal uzaklık değerleri belirlenmiştir. Elde edilen eşik değer ve yapısal uzaklık değerleri de izotropikliğin tespitinde kullanılmıştır.

3.4.3.1. Variogram Fonksiyonu

Bölgesel değişken, belirli bir bölgeye özgü olan ve en az bir koordinat ile ifade edilen değişkendir (Matheron, 1971). Tenör, ısı değer, kalınlık gibi değişkenler bölgesel değişkene örnek olarak verilebilir. Bölgesel değişkenlerin en önemli özelliği uzaklığa bağlı bir ilişki göstermesidir. Maden yatakların değerlendirilmesinde de göz önüne alınan değişkenlere ait değerler uzaklığa bağlı yapısal bir ilişki gösterebilirler. Bu gibi durumlarda iki farklı noktadan alınan tenör değerleri arasındaki ilişki, bu noktalar

arasındaki uzaklığa bağlıdır; ilişkinin uzaklık arttıkça azalması beklenir. Genellikle belirli bir uzaklıktan sonra bu ilişkinin tümüyle ortadan kalktığı gözlenir. Ters durumda, yani uzaklık azalınca ilişki artar. Sıfır olduğunda ise ilişki en yüksek değerine erişir. Öznitelik (tenör, ısı değer vb.) değerlerindeki farklılığın uzaklığa bağlı değişimi, uzaklığa bağlı ilişki olarak adlandırılır. Bölgesel değişkenlerin modellenmesinde genelde variogram fonksiyonu kullanılır (Atalay, 2011). Bölgesel Variogram fonksiyonu aralarında birbirinden h uzaklığı ile ayrılmış iki rastlantı değişkeni arasındaki farkın varyansı ile ifade edilir (Tercan, 2011), (bu çalışmada yüzeydeki yükselti farklılığının varyansı) teorik olarak Eşitlik 3.7’de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$2\gamma(h) = \text{Var}[Z(x) - Z(x+h)] \quad (3.7)$$

Burada $2\gamma(h)$, variogramı; $\text{Var}(\cdot)$, varyans işlemcisini; $Z(x)$; x noktasındaki rastlantı değişkenini, $Z(x+h)$ ise x+h noktasındaki rastlantı değişkenini göstermektedir.

İkinci dereceden durağanlık varsayını göz önünde bulundurulduğunda variogram beklenen değerler cinsinden Eşitlik 3.8’da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$2\gamma(h) = E[Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (3.8)$$

Burada $E(\cdot)$ beklenen değer işlemcisini göstermektedir.

Deneysel veriler için variogram hesabı ise Eşitlik 3.9’da gösterilmiştir.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z_i(x) - Z_i(x+h))^2 \quad (3.9)$$

Burada $N(h)$, h uzaklığına karşılık gelen örnek çift sayısını göstermektedir.

Deneysel variogram da Eşitlik 3.9’de gösterildiği gibi variogram değerleri çeşitli mesafeler için hesaplanır. Model variogram ise deneysel variogram değerlerinden yola çıkılarak belirlenir. Variogram modeli; külçe etkisi (C_0), eşik değeri (C) ve yapısal uzaklık (a) gibi parametrelerce tanımlanır. Külçe etkisi uzaklığa bağlı değişkenliği kısa mesafede ölçen bir parametredir. Şayet yükseklik değerleri kısa mesafede ani

değişiklikler gösteriyorsa külçe etkisi büyük olacaktır. Yapısal uzaklık, artık ötesinde uzaklığa bağlı bir değişimin gözlemlenmediği mesafedir. Eğer yükselti değerleri anizotropik davranış gösterirse yapısal uzaklıklar doğrultuya göre değişiklik gösterirler. Bu ifadeye bağlı olarak yapısal uzaklık yükselti değerlerinin anizotropisini ve düzenliliğini temsil eder. Eşik değeri yükseltilerin varyansına yakındır.

3.4.3.2. Variogram Fonksiyonunun Özellikleri

Tanım olarak variogram; verilen ilgili yönde numune çiftleri arasındaki değerlerin olası farklarını tanımlayan formül veya grafikdir. Diğer bir tanımla, incelenen değişkenin uzaysal süreklilik yapısını karakterize etmeye yarayan bir ifadedir (Journel, 1989; Öztürk, 2001). Değerler arasındaki uyumluluk daha öncede belirtilen durağanlık hipotezi ile açıklanır.

Variogram uygulaması ile elde edilecek avantajlar şu şekilde özetlenebilir (Isaak and Srivastava, 1989; Journel and Huijbregts, 1978).

1. Bağımlılığının yanında uzay içindeki değişkenlerin farklarının ölçülmesi içinde kullanılır.
2. Örneklendirilen sahadaki uyumluluk analizi en iyi variogram ile gösterilir.
3. Variogramlar global (omnidirectional, ortalama) veya farklı yönlerde elde edilebilir. Bu işlem ile homojenliğin yanında süreklilik hakkında da bilgi sahibi olunabilir.
4. Eğer variogram sadece kesin bir h mesafesine bağlı ise, incelenen bölgedeki değişkenin değişimi izotropiktir. Ancak, variogram h 'nin yönü ve değerine bağlı ise sahadaki incelenen değişkenin değişimi anizotropiktir.
5. Göreceli (Relative) ve indikatör (Indicator) variogramlar durağan olmayan ve bölgesel ortalama etkisinin çözümü için kullanılabilir.

Deneysel variogram elde edildikten sonra, ileride modelleri verilecek olan teorik variogramlara geçiş yapılır. Bu teorik variogram incelenen rastlantı değişkeninin incelendiği bölge içerisinde nasıl dağıldığını söylemesi açısından son derece önemlidir. Variogramın elde edilebilmesi içinse aşağıda verilen temel kabullere ihtiyaç duyulmaktadır (Isaak ve Srivastava, 1989, Journel ve Huijbregts, 1978, Öztürk, 2001, Sen, 1998).

1. Kabul: Pozitif tanımlılık şartı; Kriging matris sisteminin çözülebilmesi için, sisteme giren bütün kovaryansların pozitif tanımlı fonksiyonlardan elde edilmesi gerekir. Kısacası, kriging matrislerinin sadece bir çözümünün elde edilebilmesi için sistemin pozitif tanımlı olma şartı vardır.

$Z(x)$ ' in durağan bir fonksiyon olduğu kabul edilirse, m , $C(h)$ gibi $Z(x_0)$ 'da bu fonksiyonun bir doğrusal birleşimi olsun. W_i değeri ağırlıkları gösterirse;

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^m w_i Z(x_i) \quad (3.10)$$

Bu varsayım altında, rassal değerlerin bu doğrusal birleşimi ve onun varyansı pozitif olmak zorundadır ($\text{Var}[Z(x_0)] > 0$).

2. Kabul: $\gamma(h)$ orijinde süreklidir. Bu durum şöyle gösterilebilir;

$(E[Z(x)-Z(x+h)]^2 \rightarrow 0$, bu durum ancak ve ancak $\gamma(h) \rightarrow 0$ ve $a > |h| \rightarrow 0$ şartları gerçekleştiğinde mümkün olur.

3. Kabul: Eğer $\gamma(h)$ değeri pozitif bir sabitse (0 olduğu değer hariç), bu sabitlikten sonra $Z(x)$ ve $Z(x+h)$ arasında bir ilişki yoktur. Başka bir deyişle, variogram değerindeki artış belli bir mesafenin ötesinde duruyorsa ve yatay doğrusal bir fonksiyon halini alıyorsa, $\gamma(h)$ 'nin sabit olduğu sayıya sili (eşik değeri) $\gamma^{(\infty)}$ denir. Bu değer rassal fonksiyonun varyansına eşittir (Eşitlik 3.11).

$$\gamma^{(\infty)} = \text{Var}[Z(x)] = C_{(0)} \quad (3.11)$$

4. Kabul. Eğer h değeri orijine yaklaşırken, $\gamma(h)$ değeri de orijine yaklaşıyorsa, saha için incelenen değişkenin bir süreklilik arz ettiği söylenir. Ancak $\gamma(h)$ değerinin orijine yaklaşmadığı durumlarda variogram fonksiyonunun orijinde bir süreksizliği vardır. Bu durum külçe etkisi olarak adlandırılır ($C_{(0)}$). Variogram fonksiyonunda külçe etkisinin olması, incelenen değişkenin çok kısa mesafelerde hızlı değişimler gösterdiğini işaret

eder. Külçe etkisinin diğer bir sebebi ise ölçme hatası olabilir. Variogramın orijindeki davranışı olayın değişkenliğinin derecesini saptamak için önemlidir. Sadece külçe etkisinin veya yatay doğrusal bir ilişkinin olduğu variogramlarda değişkenin tamamen rassal olduğu söylenir.

5. Kabul: Variogram fonksiyonu simetrik bir fonksiyondur $(\gamma(h)) = (\gamma(-h))$.

Bu aşamadan sonra, gerek deneysel variogramının saha içersindeki dağılımını yorumlamada kullanılacak olan, gerekse de tahmin probleminin çözümünde ihtiyaç duyulan matematiksel bölgesel fonksiyonun (model variogram) eldesine sıra gelmektedir.

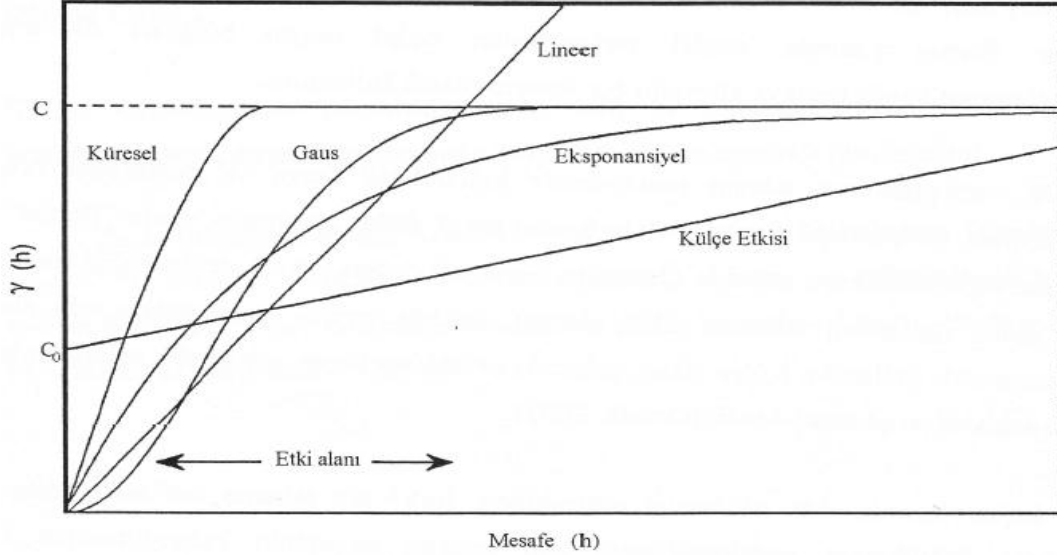
Variogram modelleri silli ve silsiz olmak üzere ikiye ayrılırlar. Silli daha öncede anlatıldığı üzere variogramın düzlüğe ulaştığı maksimum noktadır ve yaklaşık olarak sahadaki verinin varyansına eşittir. Variogramın sille ulaştığı kritik mesafeye ise yapısal uzaklık (a) denmektedir. Silli bütün modellerde numuneler arası mesafe belli bir değeri geçtikten sonra (a) numuneler arasında tahmin probleminde kullanılabilir uzaysal bir korelasyon yoktur.

Silli olmayan modeller doğrusal modellerdir. Bu modeller, h mesafesiyle birlikte doğrusal olarak artmaktadır. Bu durum ise olayın durağan olmadığını gösterir. Yani sahada sonsuz varyans varken kovaryans yoktur ve sil (eşik değeri) ve etki alanı bir anlam ifade etmez. Ancak tahmin probleminin çözülebilmesi için modifiye edilebilir.

$$\begin{aligned}\gamma(h) &= C_0 + bh, h > 0 \\ \gamma(h) &= 0, h = 0\end{aligned}\tag{3.12}$$

Burada C_0 külçe etkisini, b ise modelin eğimini göstermektedir.

Silli modeller kovaryans fonksiyonu içermesinden dolayı dönüşüm modelleri olarak da isimlendirilirler. Bunlar, küresel, eksponansiyel, gauss v.b. modellerdir. Sekil 3.12' da doğrusal, küresel, gauss ve eksponansiyel modeller verilmiştir. (Isaak ve Srivastava, 1989, Journel ve Huijbregts, 1978, Clark, 1979, Rendu, 1981). Bu çalışmada küresel model kullanıldığı için diğer modellerden ayrıntılı olarak bahsedilmeyecektir.



Şekil 3.12 Variogram Modelleri

Küresel model hızla yükselerek eşik değere ulaşır ve etki alanından sonra ($h > a$) fonksiyon yatay doğrusal olur. Üssel model, küresel modele benzer ancak daha yavaş yükselir. Gauss modeli ise, daha çok üssel modelde olduğu gibi devam eden olayın modellenmesi için kullanılır.

Küresel model Eşitlik 3.14'de gösterildiği gibi hesaplanır ve pratikte en sık kullanılan modeldir.

$$\begin{aligned}
 \gamma(h) &= C_0 & h &= 0 \\
 \gamma(h) &= C_0 + C * \left[1.5 * \left(\frac{h}{a} \right) - 0.5 * \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] & h &\leq a \\
 \gamma(h) &= C_0 + C & h &> a
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

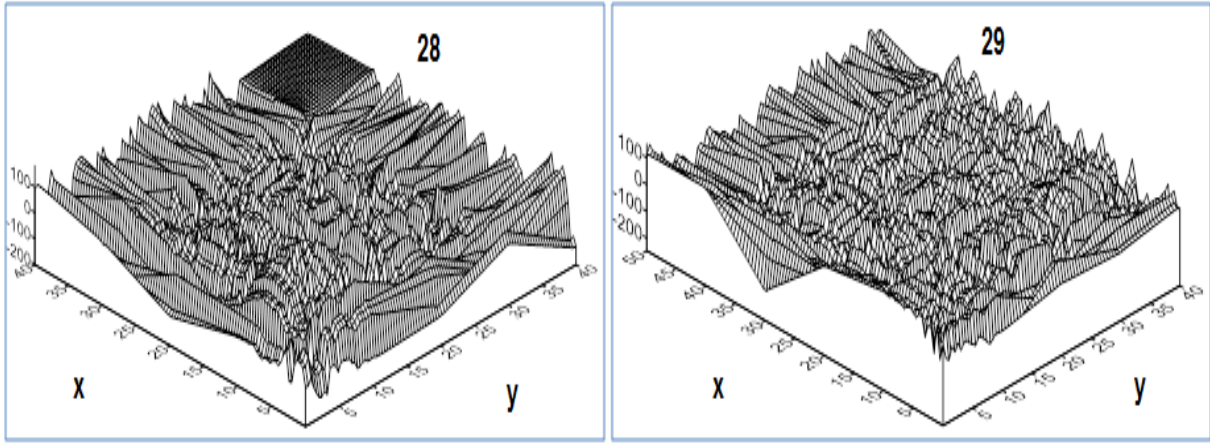
Küresel model eşik değere diğer modellere göre daha hızlı ulaşır. Süreklilik göstermeyen yapılarda kullanılır.

Burada eşik değer variogramın düzlüğe ulaştığı maksimum noktadır ve yaklaşık olarak sahadaki verinin varyansına eşittir

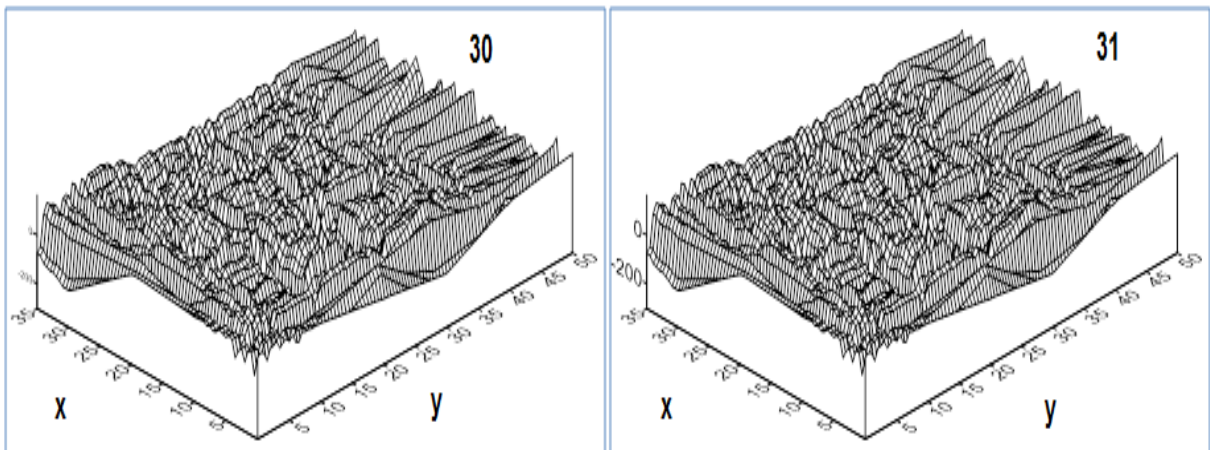
Yapısal uzaklık ise variogramın eşik değere ulaştığı kritik mesafedir.

4. DENEYSEL SONUÇLARIN ANALİZİ

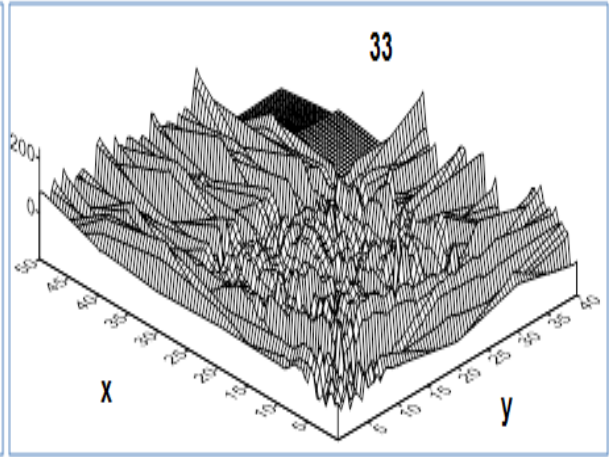
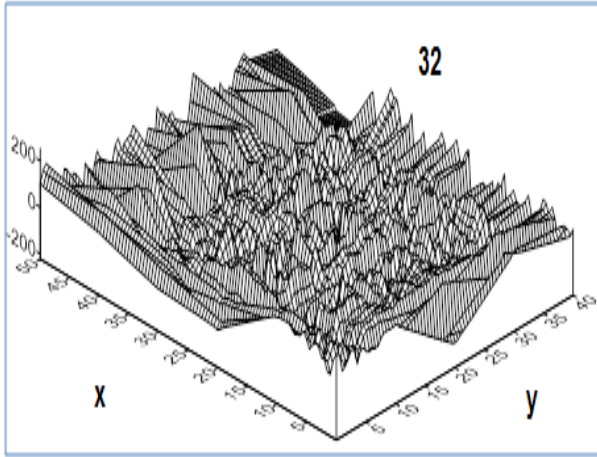
Yüzeyleri işlenen numunelerin Surfer yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamında oluşturulan yüzey yükseklik haritaları Şekil 4.1-4.13 arasında verilmiştir. Yüzey haritaları numune yüzeylerinin bilgisayar ortamında daha rahat gözlemlenebilmesi için SURFER programı ile ortalama krigleme yöntemi kullanılarak kestirilmiş ve çizdirilmiştir. Böylece işlenen yüzeylerin davranışları ve yüzey dokularının nasıl görüldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca tepe ve vadi noktaları gibi yapılarda görünür hale getirilmiştir.



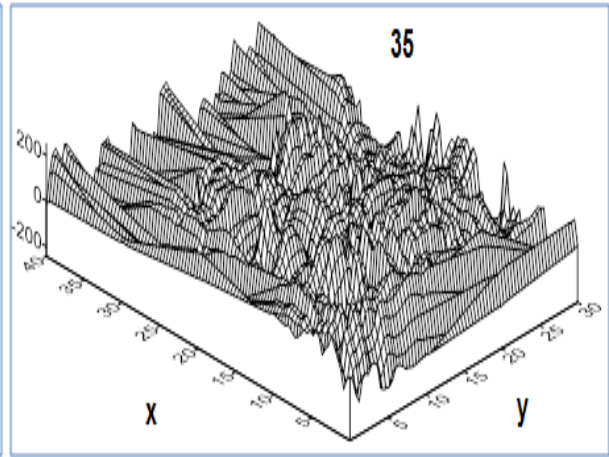
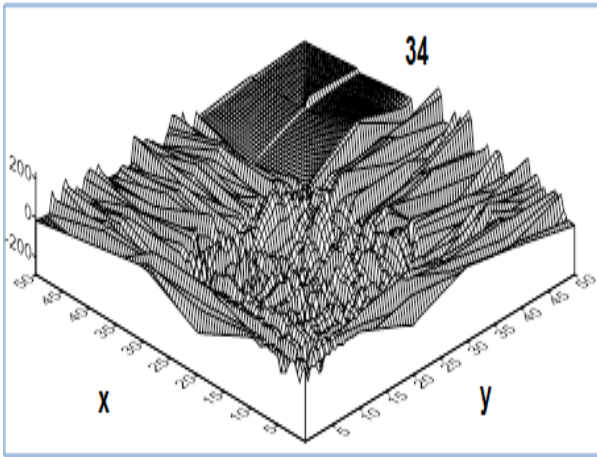
Şekil 4.1 28 ve 29 nolu numunelere ait yüzey haritaları



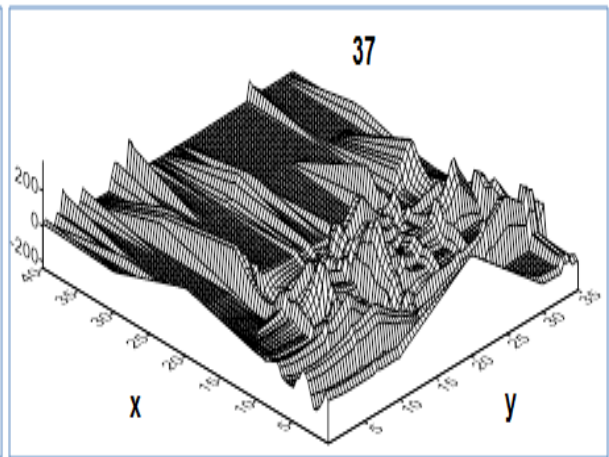
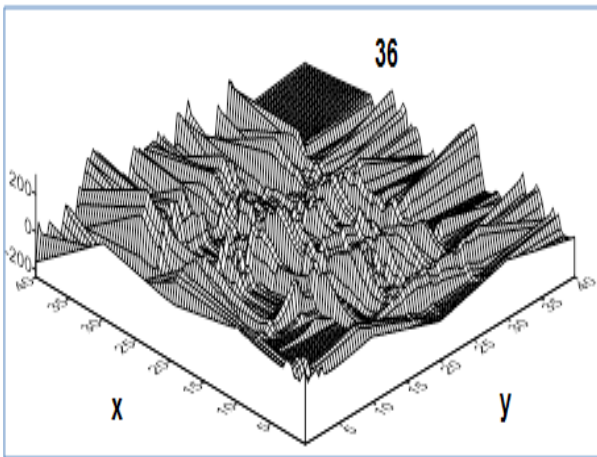
Şekil 4.2 30 ve 31 nolu numunelere ait yüzey haritaları



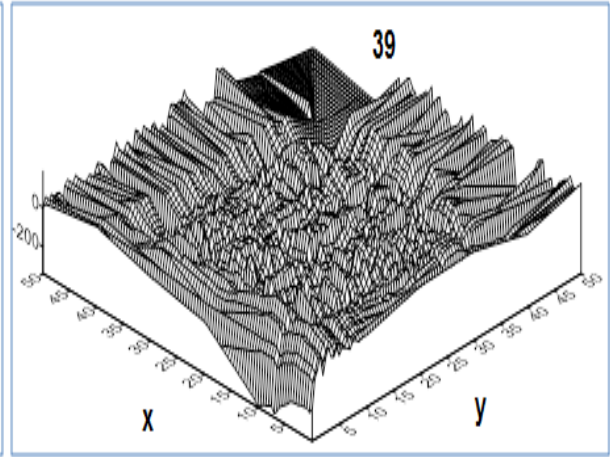
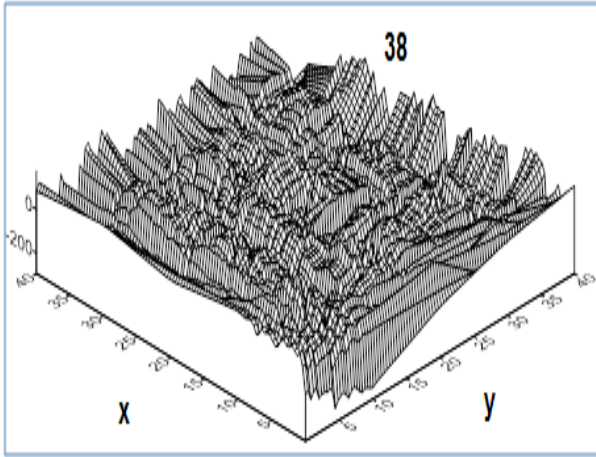
Şekil 4.3 32 ve 33 nolu numunelere ait yüzey haritaları



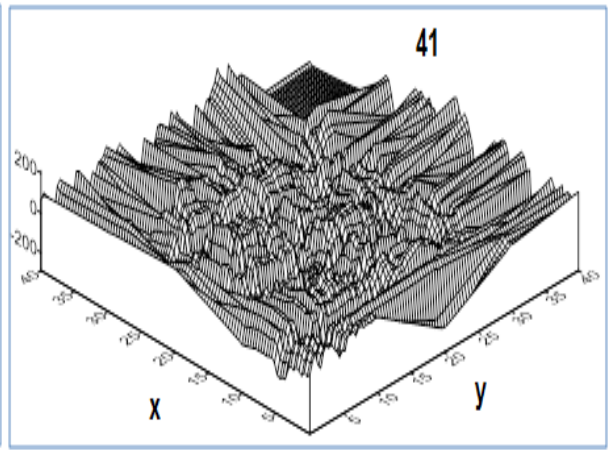
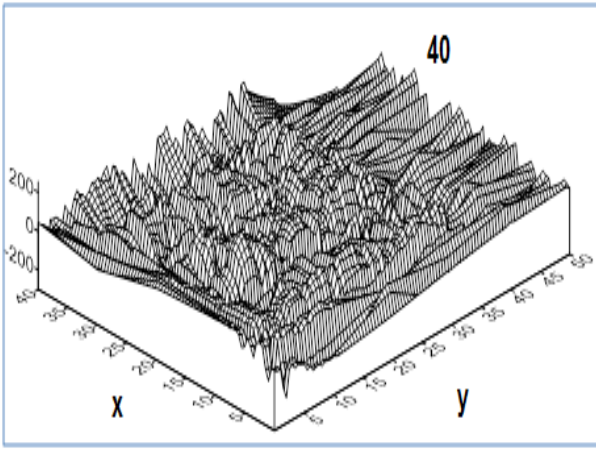
Şekil 4.4 34 ve 35 nolu numunelere ait yüzey haritaları



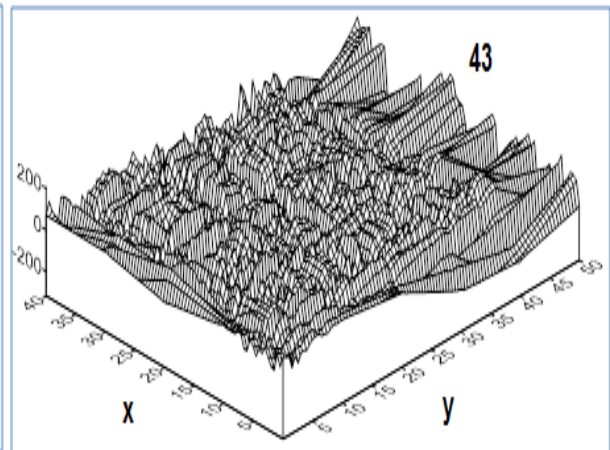
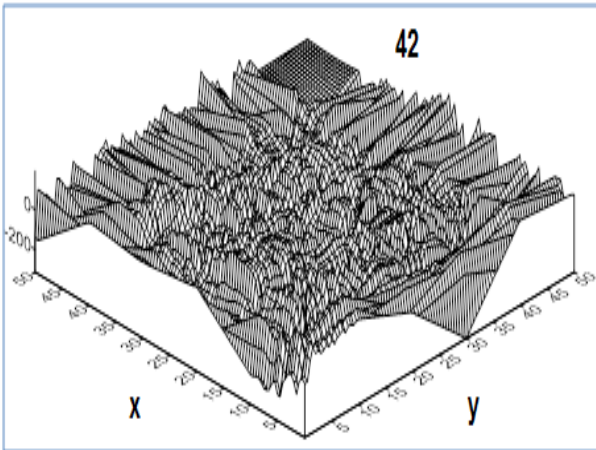
Şekil 4.5 36 ve 37 nolu numunelere ait yüzey haritaları



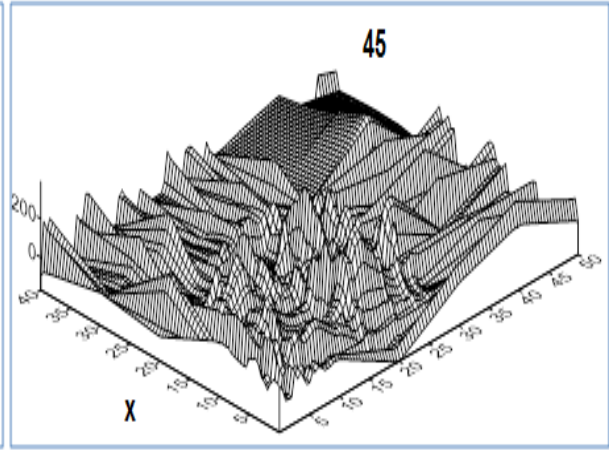
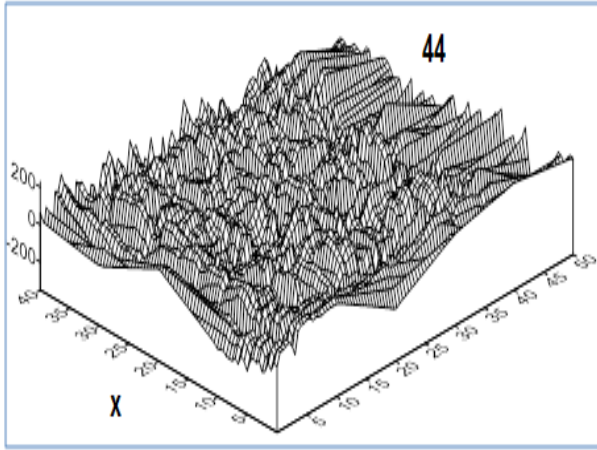
Şekil 4.6 38 ve 39 nolu numunelere ait yüzey haritaları



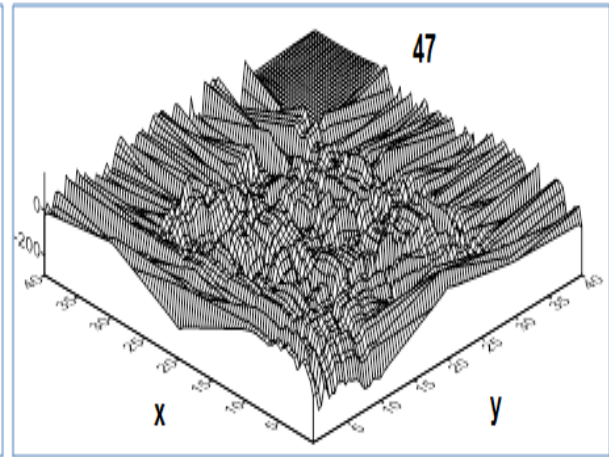
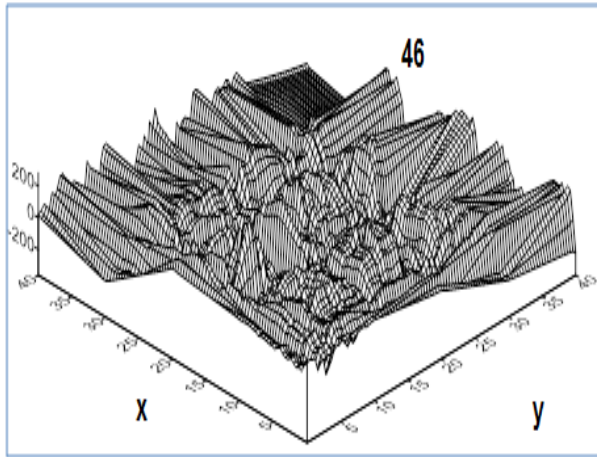
Şekil 4.7 40 ve 41 nolu numunelere ait yüzey haritaları



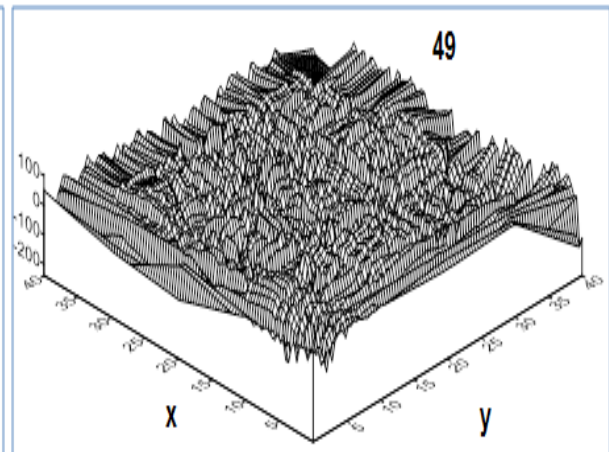
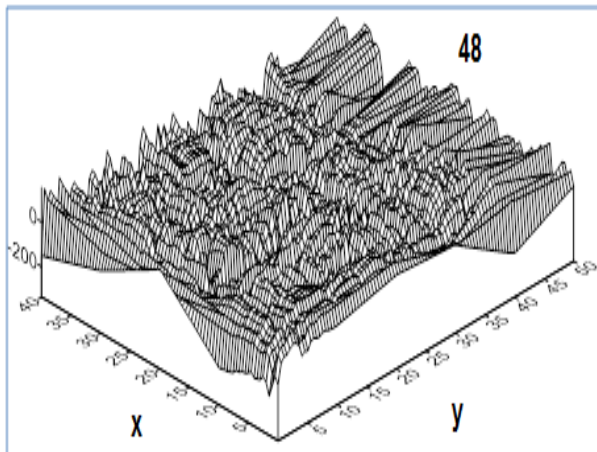
Şekil 4.8 42 ve 43 nolu numunelere ait yüzey haritaları



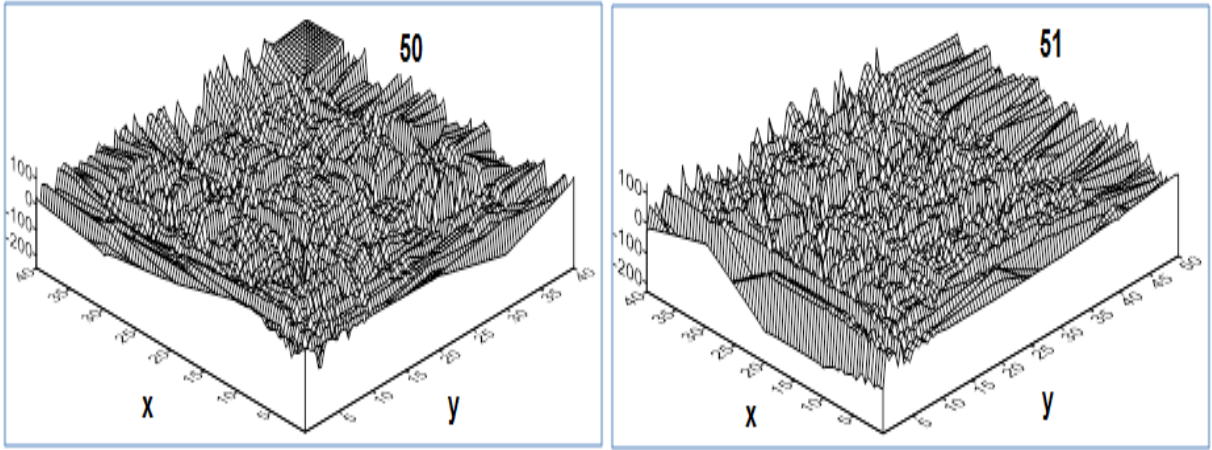
Şekil 4.9 44 ve 45 nolu numunelere ait yüzey haritaları



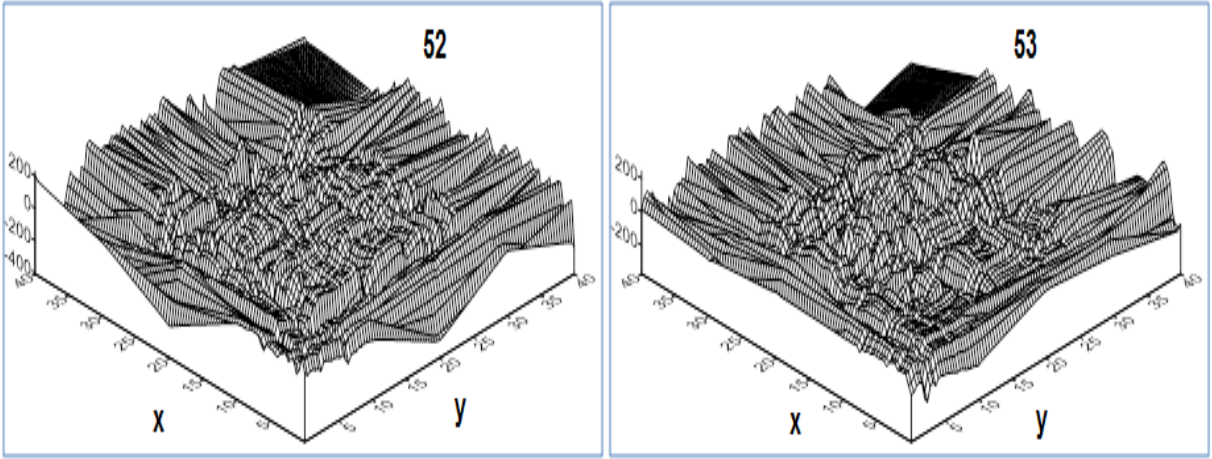
Şekil 4.10 46 ve 47 nolu numunelere ait yüzey haritaları



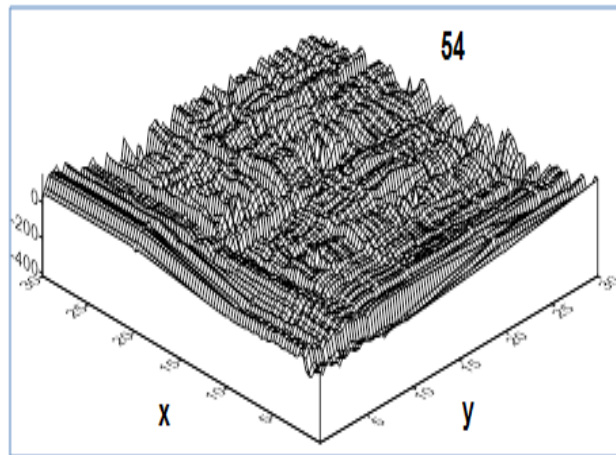
Şekil 4.11 48 ve 49 nolu numunelere ait yüzey haritaları



Şekil 4.12 50 ve 51 nolu numunelere ait yüzey haritaları



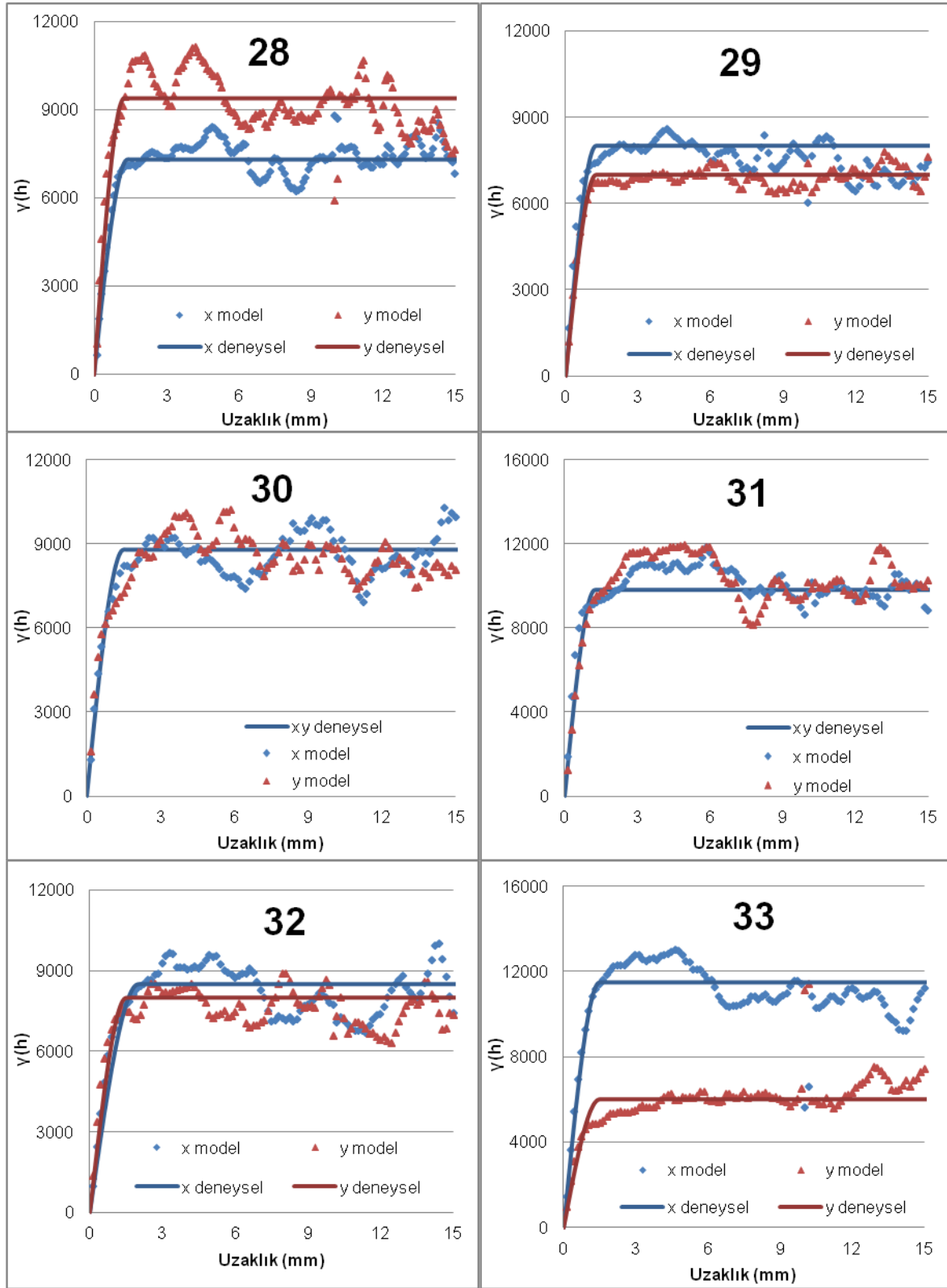
Şekil 4.13 52 ve 53 nolu numunelere ait yüzey haritaları



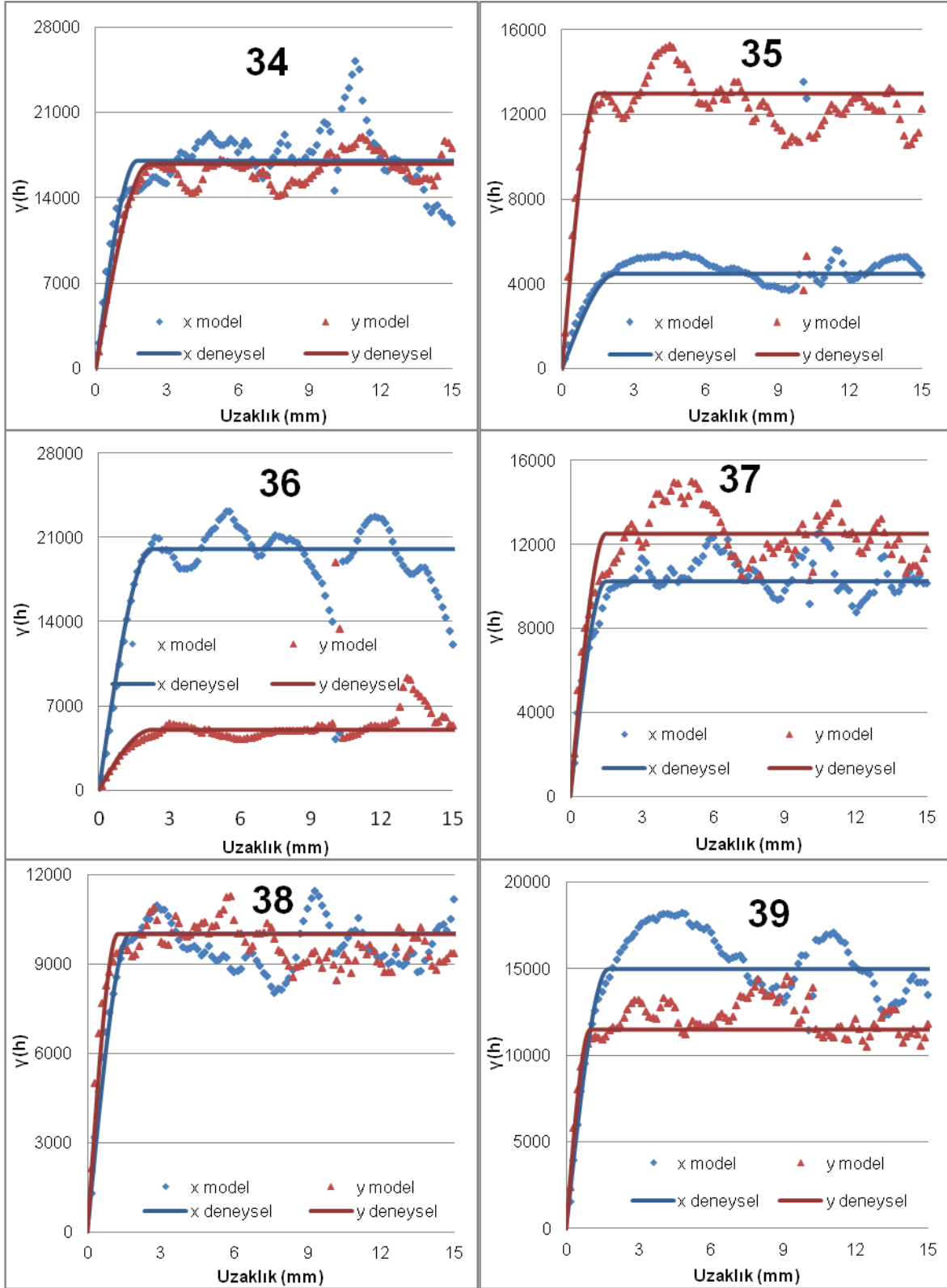
Şekil 4.14 54 nolu numuneye ait yüzey haritası

4.1. Yüzeylerin Variogram Analizleri

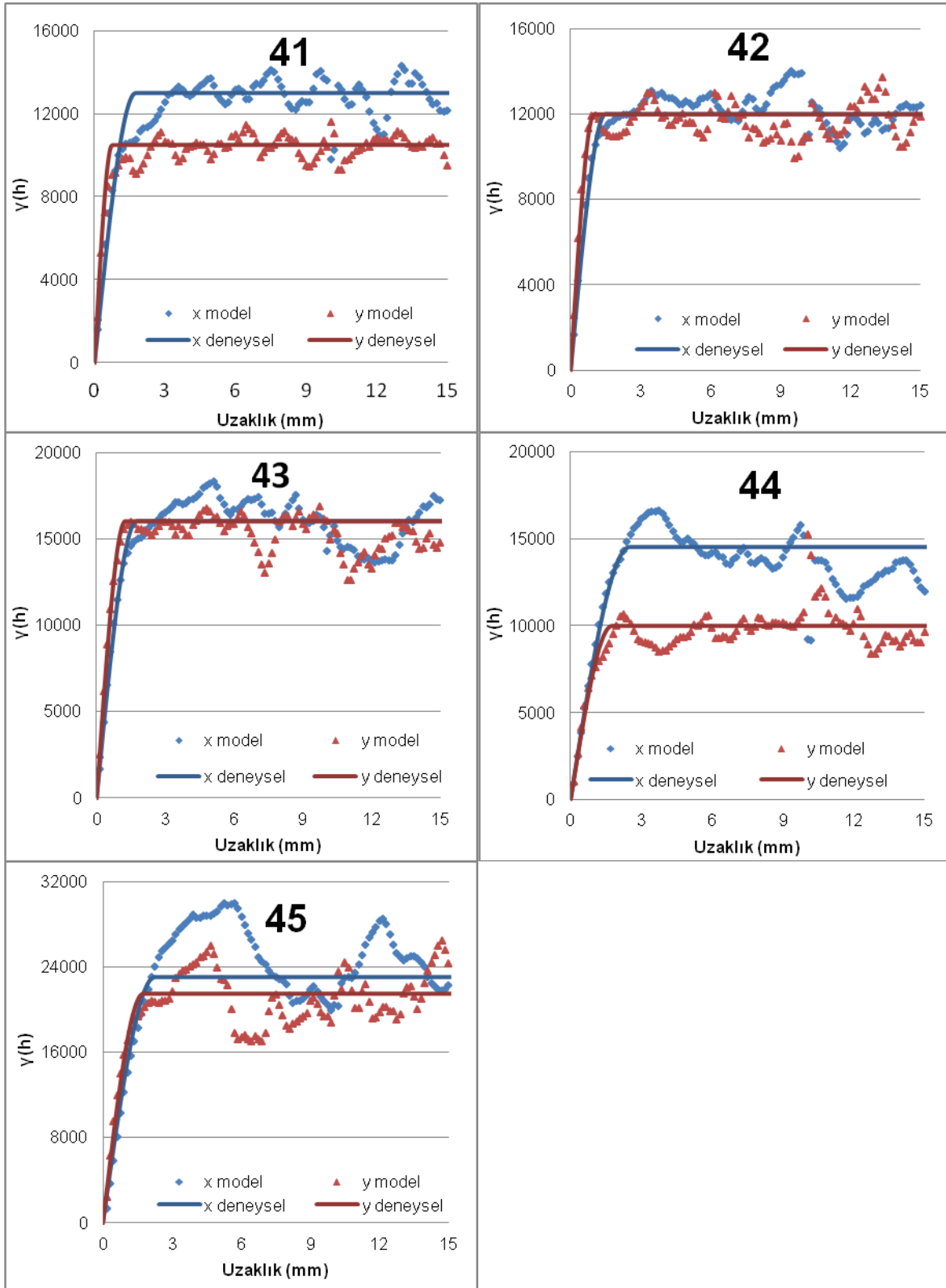
Bu çalışmada numunelerin yüzey yükseklikleri ölçümlendikten sonra yüksekliklerin x ve y yönlerindeki davranışlarını analiz etmek, varsa izotropi ve anizotropi durumlarını tespit etmek ve çalışma parametrelerinin değişik değerler alması durumunda eşik değer ve yapısal uzaklığın nasıl davranacağını (yüzey kalitesine olan etkilerini) belirlemek amacı ile 27 numuneye ait deneysel ve model variogramlar çizilmiştir (Şekil 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19)



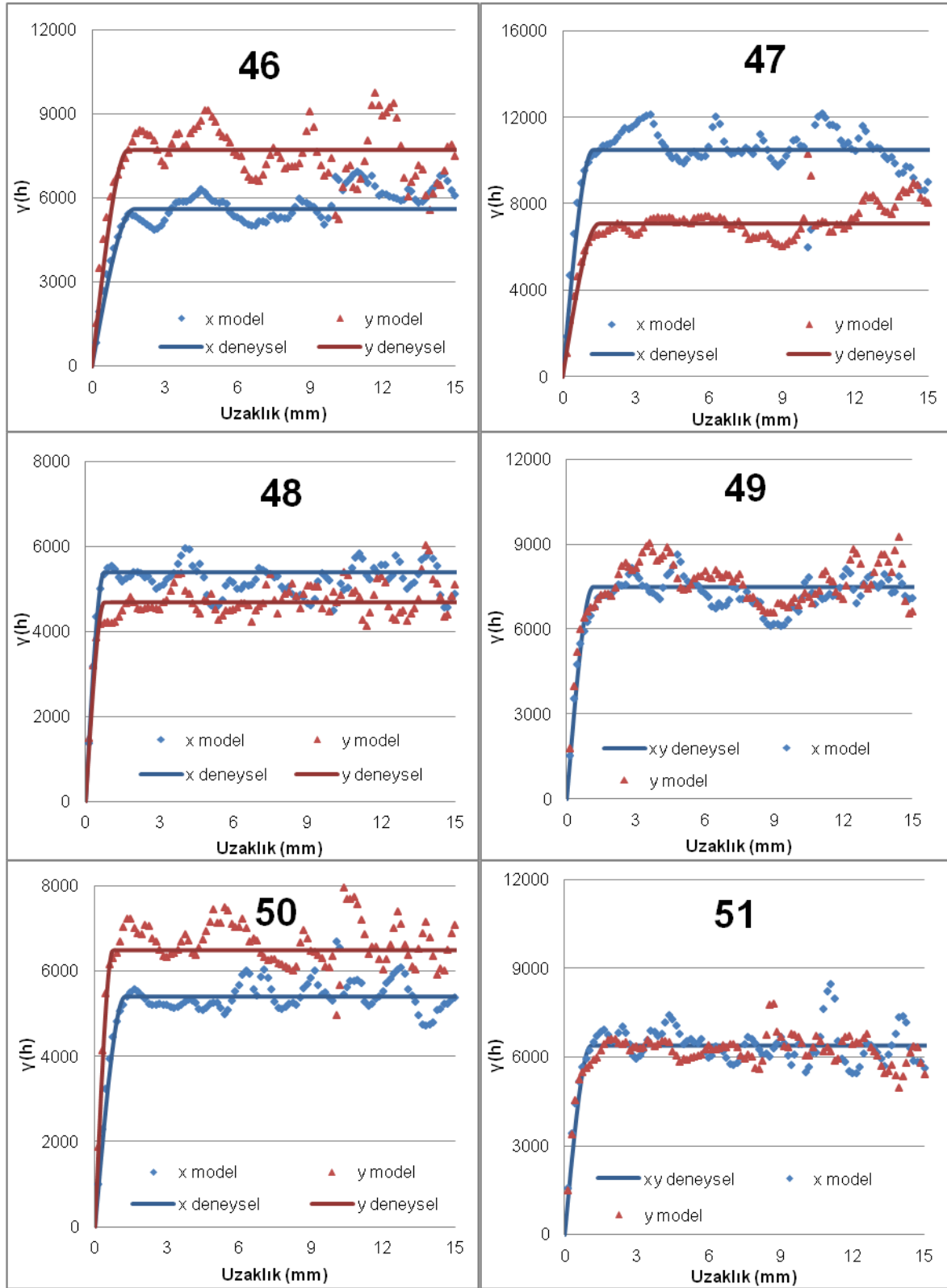
Şekil 4.15 28, 29, 30, 31, 32 ve 33 nolu örneklere ait deneysel ve model variogramlar



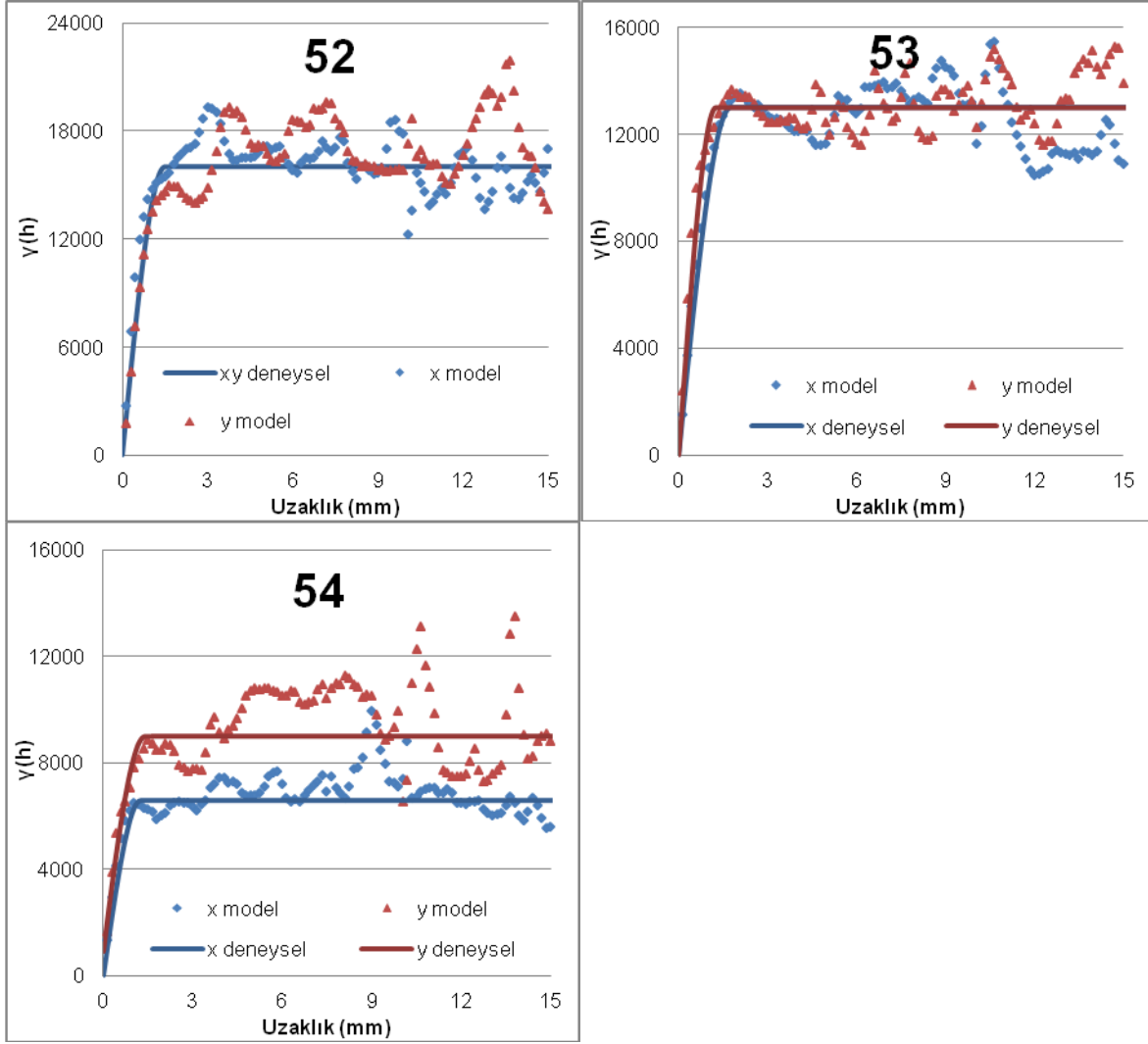
Şekil 4.16 34, 35, 36, 37, 38 ve 39 nolu örneklere ait deneysel ve model variogramlar



Şekil 4.17 40, 41, 42, 43, 44 ve 45 nolu örneklere ait deneysel ve model variogramlar



Şekil 4.18 46, 47, 48, 49, 50 ve 51 nolu örneklere ait deneysel ve model variogramlar



Şekil 4.19 52, 53 ve 54,nolu örneklere ait deneysel ve model variogramlar

Şekil 4.15, 4.16, 4.17,4.18 ve 4.19 de verilen deneysel ve model variogramlar kullanılarak elde edilen her bir numuneye ait X ve Y yönlerindeki yapısal uzaklık ve eşik değerler Çizelge 4.1 de verilmiştir.

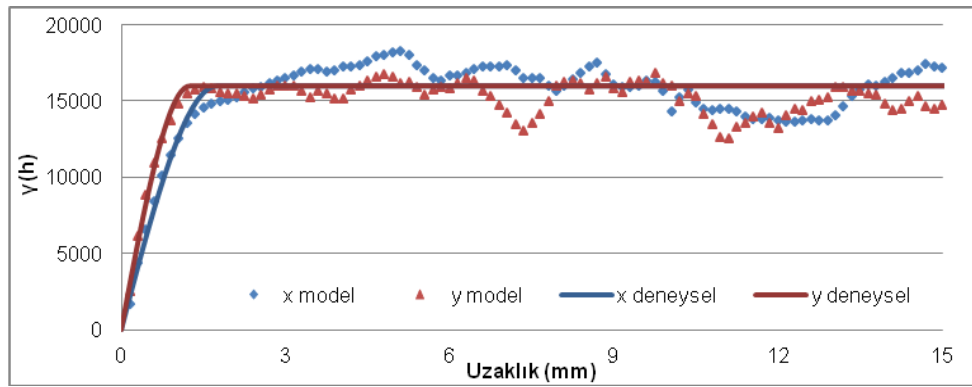
Çizelge 4.1 Numunelere ait eşik değer ve yapısal uzaklık değerleri

Örnek no	Çalışma Parametreleri			X		Y	
	Pompa Basıncı (Mpa)	İlerleme Hızı (m/dak)	Çalışma Mesafesi (mm)	Eşik Değer (mm ²)	Yapısal uzaklık (mm)	Eşik Değer (mm ²)	Yapısal uzaklık (mm)
28	200	15	50	7300	1,4	9400	1,25
29	200	20	50	8000	1,25	7000	1,25
30	200	25	50	8800	1,5	8800	1,5
31	250	15	50	9800	1,25	9800	1,25
32	250	20	50	8500	2	8000	1,5
33	250	25	50	11500	1,5	6000	1,5
34	300	15	50	17000	1,75	16800	2,25
35	300	20	50	4500	2,25	13000	1,5
36	300	25	50	20000	2,25	5000	2,25
37	200	15	100	10250	1,5	12500	1,5
38	200	20	100	10000	1,75	10000	1,25
39	200	25	100	15000	1,75	11500	1
40	250	15	100	16000	2	12000	1,5
41	250	20	100	13000	1,75	10500	0,75
42	250	25	100	12000	1,5	12000	1
43	300	15	100	16000	1,75	16000	1,25
44	300	20	100	14500	2,5	10000	1,75
45	300	25	100	23000	2,25	21500	1,75
46	200	15	150	5600	1,75	7700	1,5
47	200	20	150	10500	1,25	7100	1,5
48	200	25	150	5400	0,75	4700	0,75
49	250	15	150	7500	1,15	7500	1,15
50	250	20	150	5400	1,25	6500	0,75
51	250	25	150	6400	1,1	6400	1,1
52	300	15	150	16000	1,25	15000	1,5
53	300	20	150	13000	1,75	13000	1,25
54	300	25	150	6600	1,25	9000	1,5

4.2. İzotropi ve Anizotropi

Bu çalışmada yüzey kalitesi istatistiksel ve jeostatistiksel yöntemlerle incelenmiştir. Bu bağlamda yüzey kalitesinin belirlenmesinde önemli bir parametre de yüzeyin izotropik bir yapıda olup olmamasıdır.

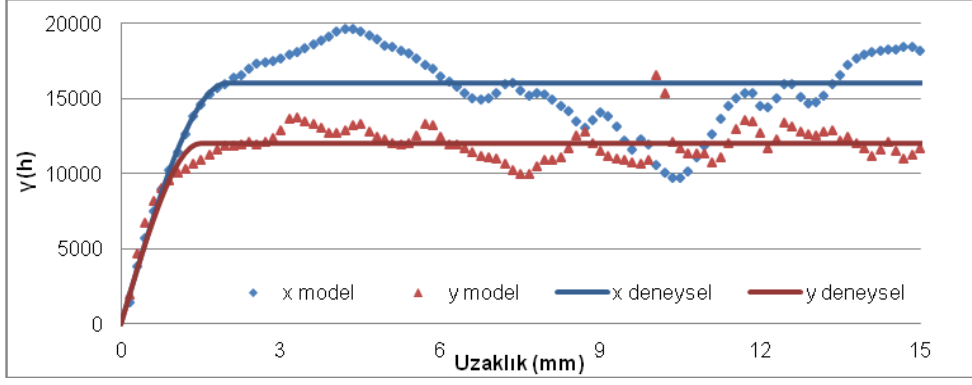
Kayaçların yüzeylerinde uzaklığa bağlı değişkenlik her yönde aynı olmak zorunda değildir. Variogram farklı yönde farklı yapısal süreklilik gösteriyorsa bu durum geometrik anizotropi olarak adlandırılır (Tercan, 2011). Şekil 4.20'de bu çalışmada elde edilen geometrik bir anizotropi gösterilmiştir.



Şekil 4.20 Geometrik anizotropi

Şekil 4.20 de rahatça anlaşılacağı üzere X ve Y yönünde her iki variogram da aynı eşik değere sahiptir ancak yapısal uzaklıkları birbirlerinden farklıdır. Bu tür yapıya geometrik anizotropi adı verilir.

Eğer X ve Y yönünde variogramların yapısal uzaklıkları birbirine eşit ancak eşik değerleri birbirinden farklı ise bu durumda zonal anizotropiden bahsedilebilir. Bu farklı yönlerde farklı varyansların olduğu anlamına gelir. Zonal anizotropiye sahip bu çalışmadan elde edilen variogram modelleri Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21 Zonal anizotropi

Şekil 4.21’de ise X ve Y yönünde her iki variogramın da aynı yapısal uzaklık değerine sahip olmakla beraber farklı eşik değere sahip oldukları görülmektedir. Bu tip yapılara da zonal anizotropi denir.

Bu tip zonlanmaların sebebi malzemenin sadece bir yönde işlenmesidir. İşleme yapılan yöndeki varyanslar ile işleme yönüne dik olan eksendeki varyanslar farklılık arz etmektedir. Bu durum tamamen tek yönlü yüzey işleme yapmanın sonucudur.

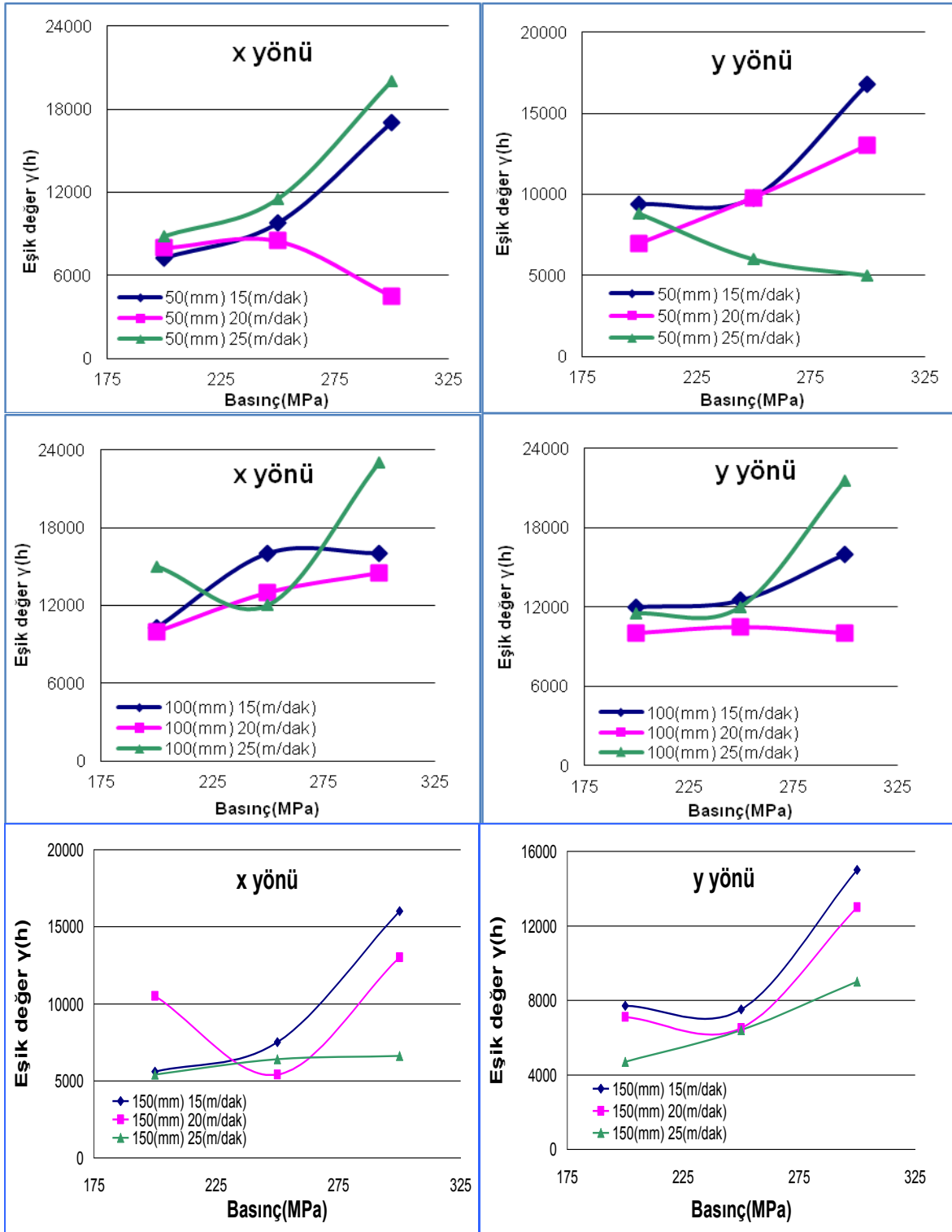
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde jeostatistiksel yöntemler kullanılarak farklı çalışma koşulları için elde edilen eşik değer ve yapısal uzaklıkne çalışma koşullarının etkisi ortaya konulmuştur. Bu amaçla pompa basıncı, çalışma mesafesi ve ilerleme hızı ile eşik değer ve yapısal uzaklık değerleri arasındaki ilişkiler grafiksel olarak incelenmiştir.

5.1. Pompa Basıncının Eşik Değere Etkisi

Su jeti ile yüzey işleme yönteminde farklı çalışma mesafesi ve ilerleme hızlarında pompa basıncı-variogram eşik değerleri ilişkilerini gösteren grafikler Şekil 5.1'de verilmiştir.

Şekil 5.1 incelendiğinde pompa basıncı arttıkça eşik değerlerin artma eğilimi gösterdiği ve en yüksek eşik değer genellikle 300 MPa pompa basıncı ile yapılan yüzey işlemede elde edildiği görülmektedir. Eşik değer yüzeyin işlenme derecesini gösteren faktörlerden biridir ve belirli bir mesafe içindeki değişimi ifade eder. Buna göre basınç arttıkça yüzeyin daha iyi işlendiği söylenilebilir. Şekil 5.1 – 5.13' de verilen numunelere ait yüzey haritalarında da bu durumu görmek mümkündür. 34,35,36 nolu numunelerde bu durum iyi gözlemlenemese de 43,44,45,52,53 ve 54 nolu numunelerin yüzey haritalarında görmek mümkündür.

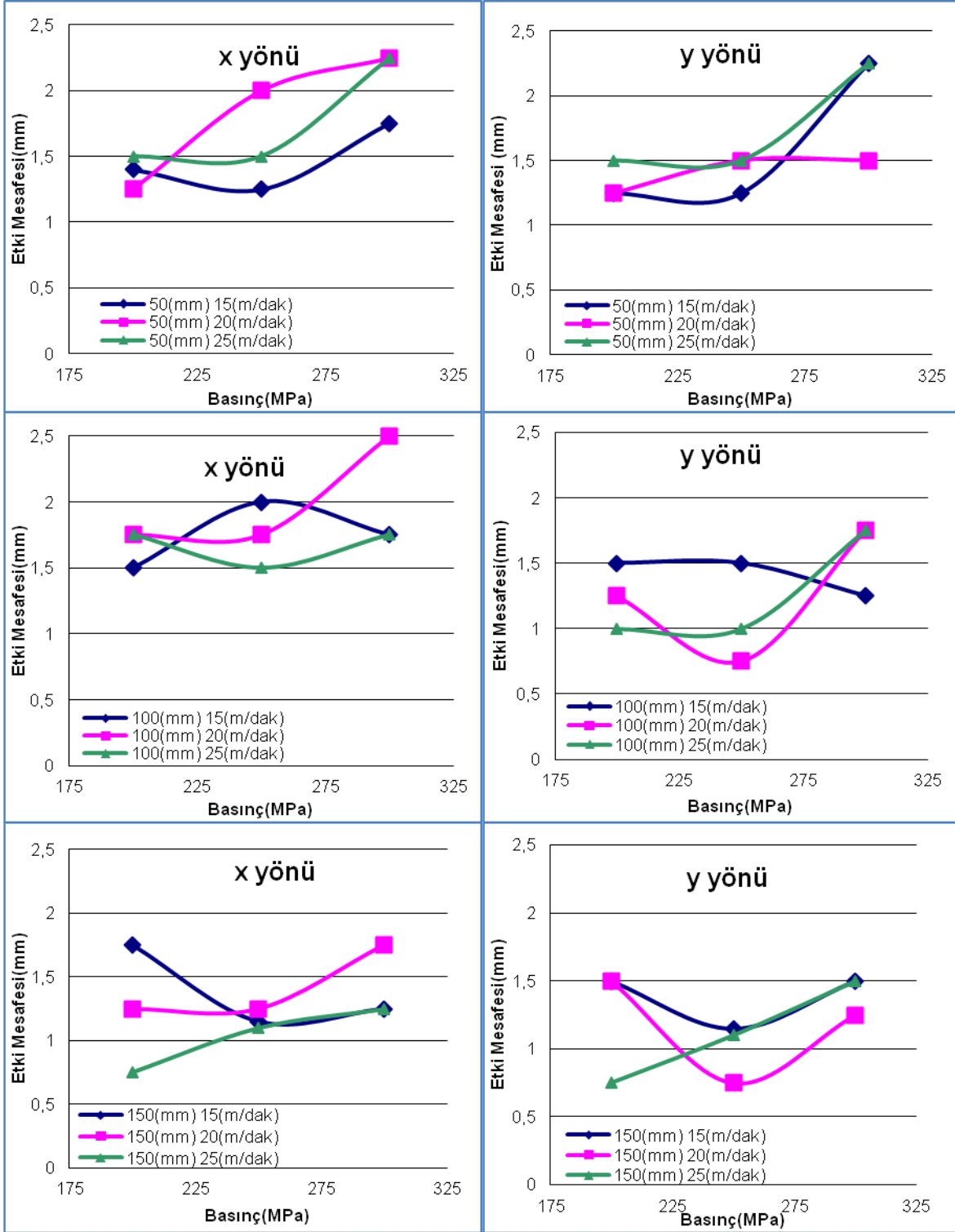


Şekil 5.1 Farklı çalışma mesafesi ve ilerleme hızlarında basınç - eşik değer ilişkileri

5.2. Pompa Basıncının Yapısal Uzaklığa Etkisi

Farklı çalışma mesafesi ve ilerleme hızlarında pompa basıncı ile yapısal uzaklık arasındaki ilişkileri gösteren grafikler Şekil 5.2'de verilmiştir.

Şekil 5.2 incelendiğinde, uygulanan pompa basıncı arttıkça yapısal uzaklığın da artma eğiliminde olduğu görülmektedir. X yönünde yapılan yüzey işlemlerinde en yüksek yapısal uzaklık değerlerinin 20 m/dak ilerleme hızı ve 300 MPa pompa basıncında olduğu, Y yönünde ise 25 m/dak ilerleme hızı ve 300 MPa pompa basıncında olduğu görülmektedir. Yapısal uzaklık eşik değerini geçerli olduğu limittir. Yapısal uzaklık azaldıkça sistem kendini, daha çok tekrar eder. Dolayısıyla daha düzenli bir pürüzlülüğe sahip düzenli bir yüzey işleme yapıldığı anlamına gelmektedir. Bu durum "frekans" olgusuna benzetilebilir. Yüzeyin daha iyi işlenebilmesi adına yapısal uzaklık (yüksek frekans) düşük olması istenmektedir.

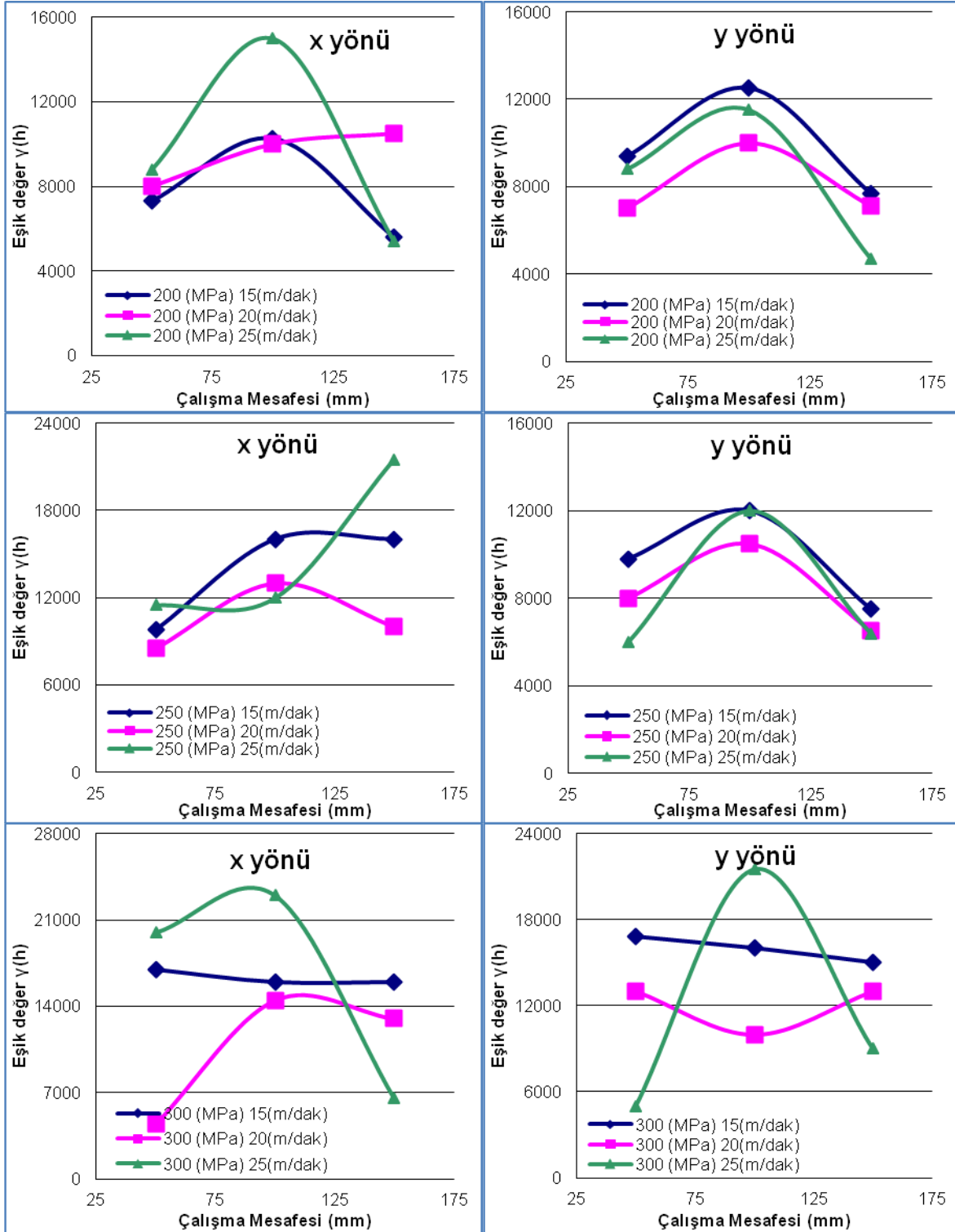


Şekil 5.2 Farklı çalışma mesafesi ve ilerleme hızlarında basınç - yapısal uzaklık ilişkileri

5.3. Çalışma Mesafesinin Eşik Değere Etkisi

Farklı pompa basıncı ve ilerleme hızlarında, çalışma mesafesi ile variogramların eşik değerleri arasındaki ilişkileri gösteren grafikler Şekil 5.3'de verilmiştir.

Şekil 5.3 incelendiğinde 200 MPa ve 300 MPa pompa basıncı değerlerinde X ve Y yönlerinde ve 250 MPa pompa basıncında, Y yönünde en yüksek eşik değerlerin 100 mm çalışma mesafesinde elde edildiği görülmektedir. Çalışma mesafesi yüzeyin ne kadar su gücüne maruz kalacağını gösteren faktörlerden birisidir. Bu çalışmada çalışma mesafesi arttıkça eşik değer azalmıştır. Bunun nedeni ise artan çalışma mesafesi ile yüzeyin işlenme derecesinin düşmesidir.

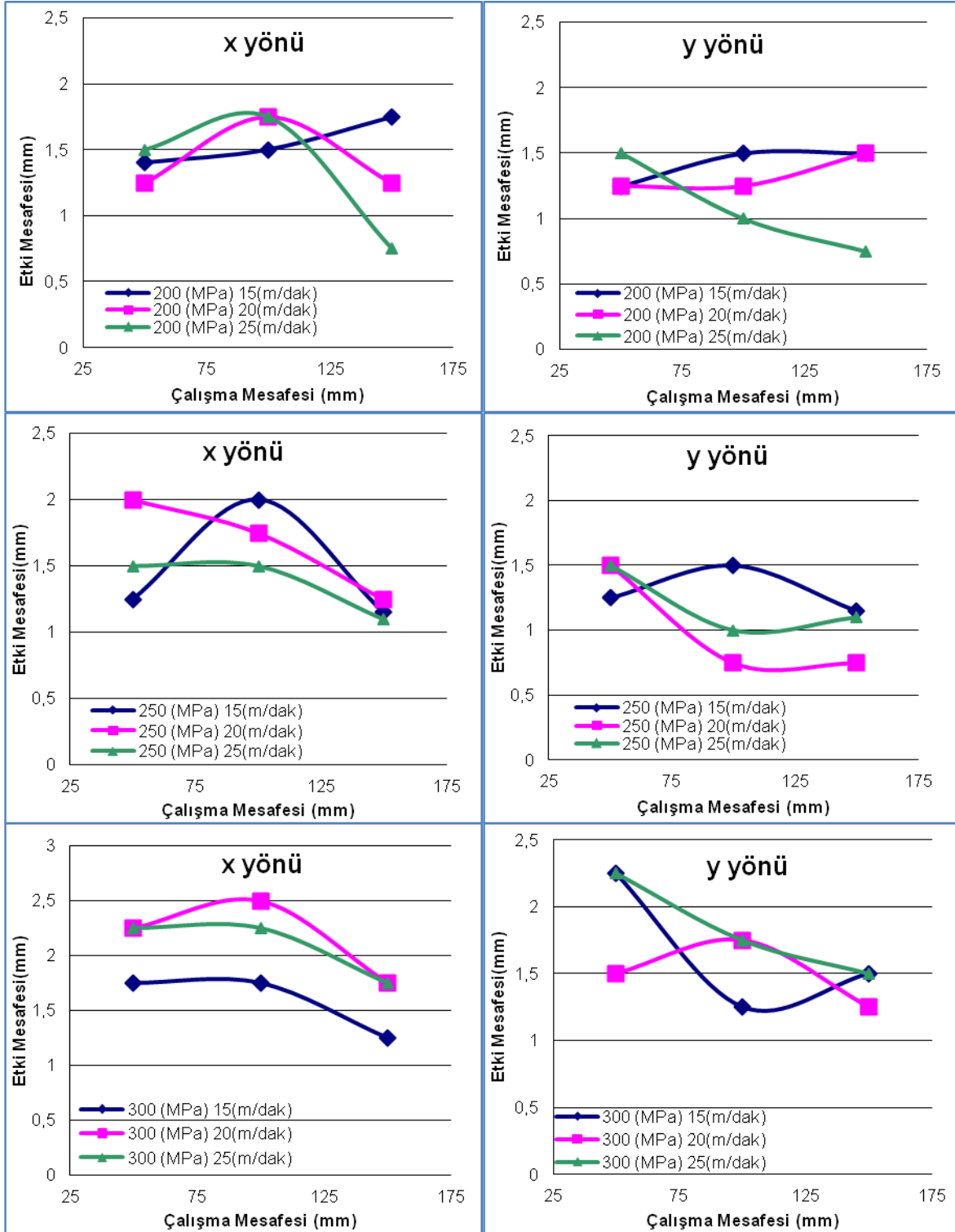


Şekil 5.3 Farklı pompa basıncı ve ilerleme hızlarında çalışma mesafesi - eşik değer ilişkileri

5.4. Çalışma Mesafesinin Yapısal Uzaklığa Etkisi

Farklı pompa basıncı ve ilerleme hızlarında, çalışma mesafesine bağlı olarak variogramların yapısal uzaklık değişimlerini gösteren grafikler Şekil 5.4’de verilmiştir.

Şekil 5.4 incelendiğinde X yönünde yapılan yüzey işlemlerinde en yüksek yapısal uzaklık değerlerinin 200 ve 250MPa pompa basıncında 100 mm çalışma mesafesinde elde edildiği görülmektedir. Çalışma mesafesi, nozül ile işlenecek yüzey arasındaki mesafedir. Burada genel olarak çalışma mesafesi arttıkça yapısal uzaklık azalma eğilimindedir. Bunun başlıca nedeni yüzeye etki eden suyun çalışma mesafesi arttıkça işleme etkisinin azalmasıdır. Bu durum düşük yapısal uzaklıkne sebep olarak sistemin “frekansını” dolayısı ile de yüzey kalitesinin arttırmasına yol açmıştır. Ancak burada pürüzlülük açısından homojen bir yüzey elde edilmiş olmasına rağmen daha az pürüzlü bir yüzey oluşmuştur.

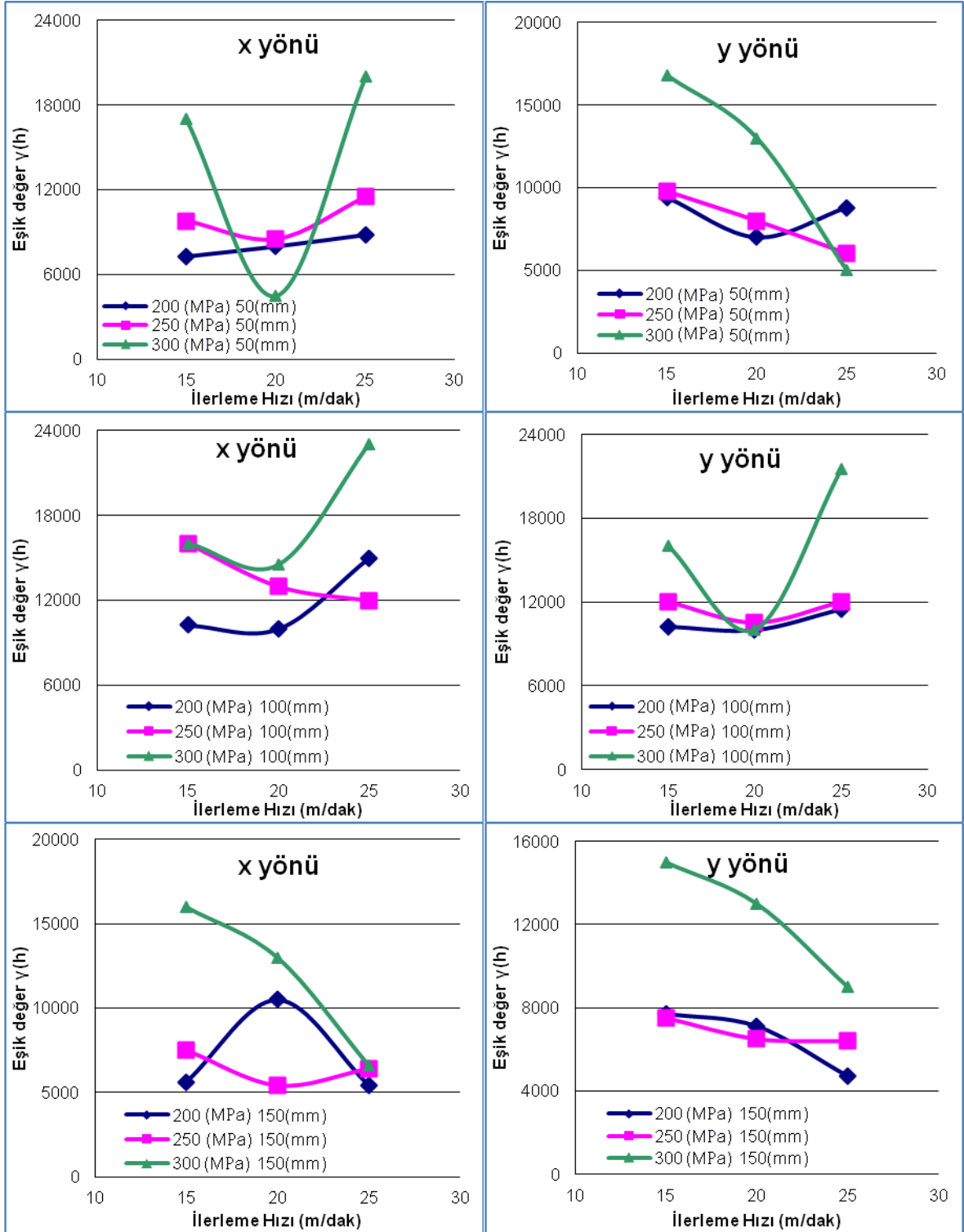


Şekil 5.4 Farklı pompa basıncı ve ilerleme hızlarında çalışma mesafesi - yapısal uzaklık ilişkileri

5.5. İlerleme Hızının Eşik Değere Etkisi

Farklı pompa basıncı ve çalışma mesafelerinde, ilerleme hızı ile variogramların eşik değerleri arasındaki ilişkileri gösteren grafikler Şekil 5.5'de verilmiştir.

Şekil 5.5 incelendiğinde X ve Y yönlerinde en yüksek eşik değerlerin 300 MPa pompa basıncında, 100 mm çalışma mesafesinde ve 25 m/dak ilerleme hızında yapılan yüzey işlemede elde edildiği görülmektedir. İlerleme hızı işlenecek yüzey üzerindeki bir noktanın su jetine ne kadar süre ile maruz kalacağına göstergesidir. Beklenen durum ilerleme hızının artması ile yüzeye etkiyecek suyun etki süresinin kısılacağı dolayısıyla da eşik değerlerde belirgin bir azalma eğilimi olmasıdır. Ancak bu durum grafiklerden gözlemlenememiştir.

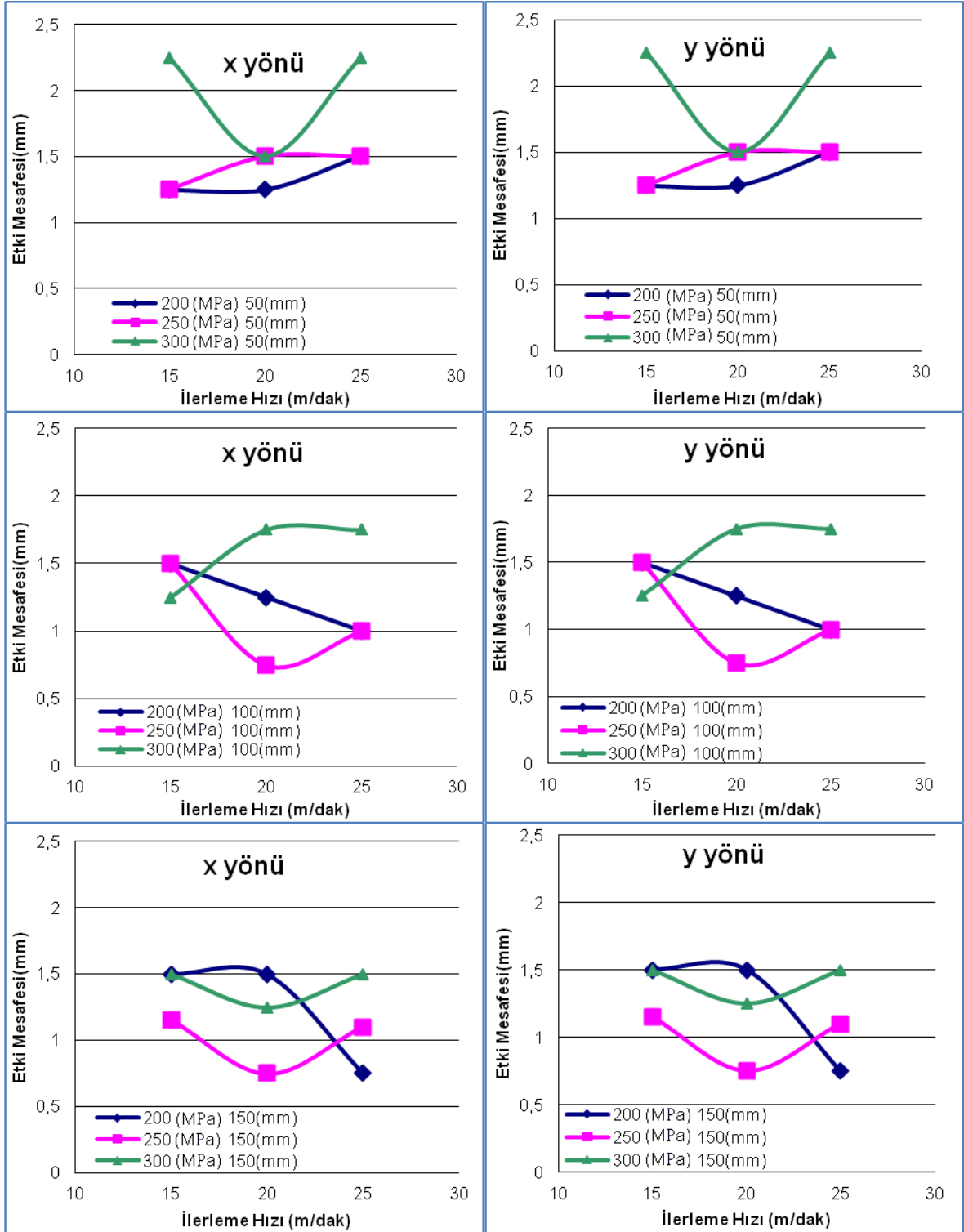


Şekil 5.5 Farklı pompa basıncı ve çalışma mesafesinde ilerleme hızı - eşik değeri ilişkileri

5.6. İlerleme Hızının Yapısal Uzaklığa Etkisi

Farklı pompa basıncı ve çalışma mesafelerinde, ilerleme hızı ile variogramların yapısal uzaklıkları arasındaki ilişkileri gösteren grafikler Şekil 5.6'da verilmiştir.

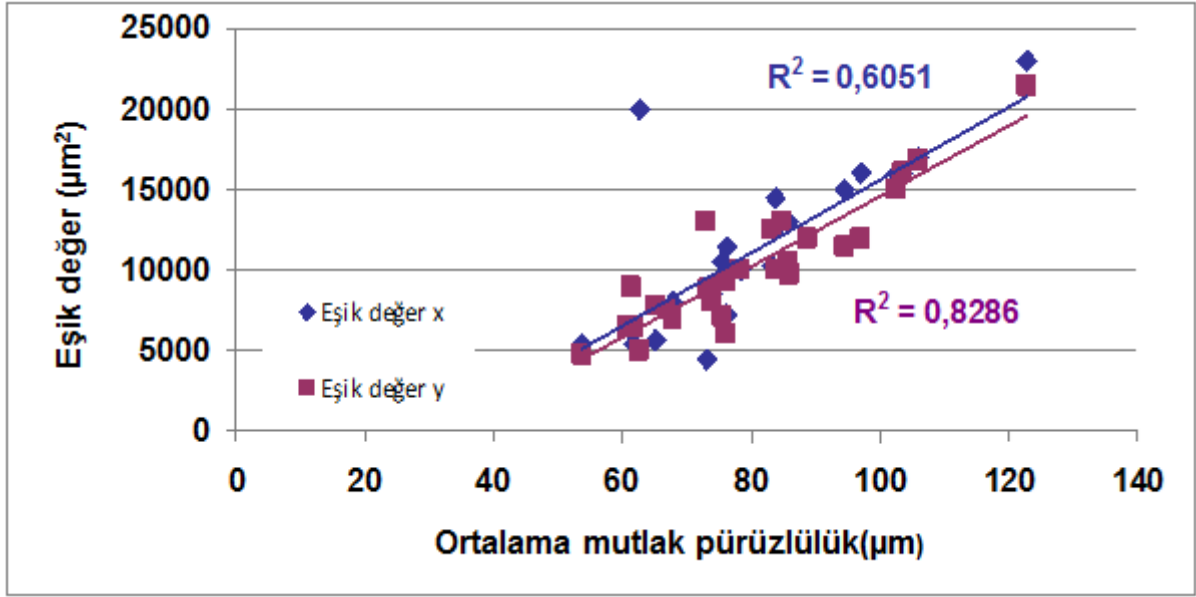
Şekil 5.6 incelendiğinde genel olarak ilerleme hızı arttıkça yapısal uzaklık azalmaktadır. Bu ise su jeti ile yapılan yüzey işlemede, ilerleme hızı arttıkça yüzeyin daha homojen işlendiğini göstermektedir. Bu durum Şekil 4.1 – 4.14'de verilen yüzey haritalarında da görülmektedir. Ancak bu koşullarda elde edilen yüzeylerin ortalama pürüzlülük değerleri daha düşük olacaktır. 30,39,42,48,51,54 nolu numunelerin yüzey haritalarında bu durumu görmek mümkündür.



Şekil 5.6 Farklı pompa basıncı ve çalışma mesafelerinde ilerleme hızı - yapısal uzaklık ilişkileri

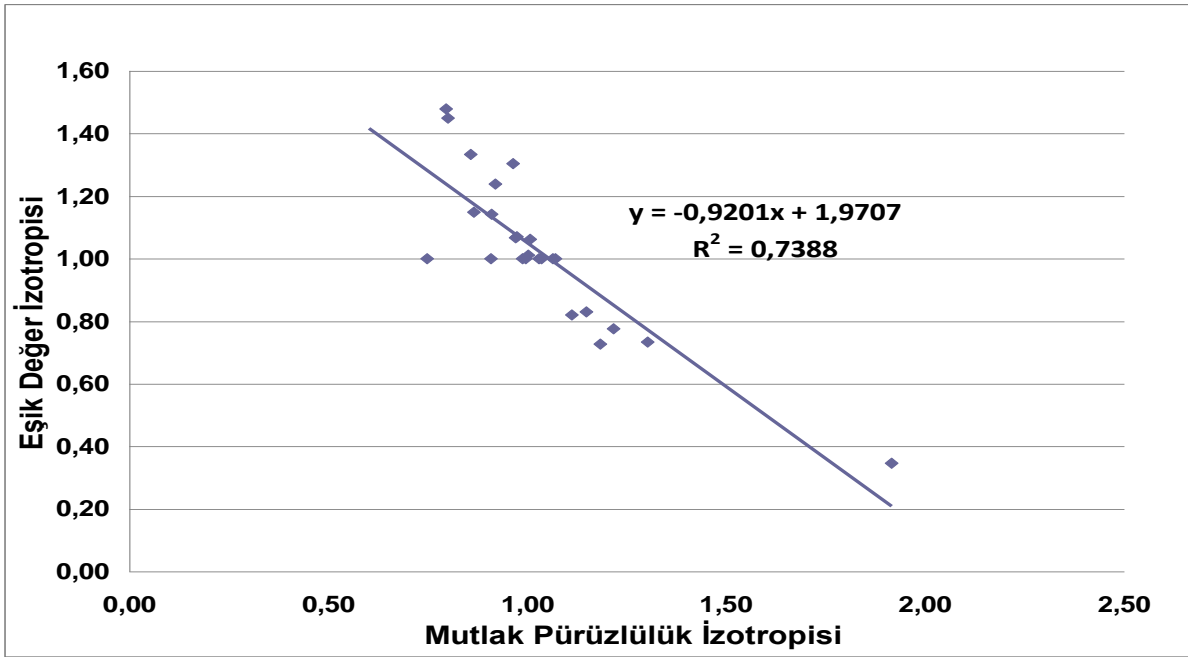
5.7. Mutlak Pürüzlülük ile Eşik Değer İlişkisi

Mutlak pürüzlülük aynı matematikte olduğu gibi iki nokta (uç) arasındaki mesafe olarak tanımlanabilir. Mutlak pürüzlülük, yüzeyin ne kadar girintili ve çıkıntılı olduğunu gösteren önemli parametrelerdendir. Mutlak pürüzlülük kullanılarak yüzey işleminin yüzeyde oluşturduğu farklılıklar daha iyi gözlemlenebilir. Bu nedenle burada mutlak pürüzlülük-eşik değer ilişkisi ile, mutlak pürüzlülük izotropisi eşik değer izotropisi arasındaki ilişkiler grafiksel olarak incelenmiş ve sırasıyla Şekil 5.7 ile 5.8 de verilmiştir.



Şekil 5.7 Mutlak pürüzlülük eşik değer ilişkisi

Şekil 5.7 incelendiğinde mutlak pürüzlülük arttıkça eşik değerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 5.8 Mutlak pürüzlülük izotropisi ile eşik değer izotropisi arasındaki ilişki

Şekil 5.8 incelendiğinde mutlak pürüzlülük izotropisi (x ve y yönündeki mutlak pürüzlülüklerin birbirine oranı) azaldıkça eşik değer izotropisi artmaktadır.

5.8. Anizotropi oranı

İzotropiklik ve anizotropiklik bir yüzeyin X ve Y yönlerindeki pürüzlülük değişimlerinin jeostatistiksel olarak ortaya konulması sonucu ortaya çıkan variogramlardan faydalanılarak tespit edilir. Çizilen variogramlar sayesinde bulunan yapısal uzaklık (a) ve eşik değeri (C_0) kullanılarak farklı yönlerde bulunan bu değerlerin birbirlerine oranı olarak hesaplanır. Bu çalışmada hesaplanan anizotropi oranları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Anizotropi oranlarının hesaplanmasında kullanılan yöntem 28. numaralı numune için aşağıdaki şekilde yapılmıştır. Diğer numuneler için ise yine benzer yöntemle hesaplamalar gerçekleştirilerek Çizelge 5.1 oluşturulmuştur.

28 nolu numunenin X yönündeki yapısal uzaklık “1,4”, Y yönündeki yapısal uzaklık “1,25” olarak tespit edilmiştir. Anizotropi oranı X ve Y yönlerindeki yapısal uzaklıklarının birbirine oranıdır; bu şekilde X ve Y yönlerindeki yapısal uzaklıklar oranlanırsa (1,4 / 1,25) 28 nolu numune için anizotropi oranı “1,12” olarak bulunur.

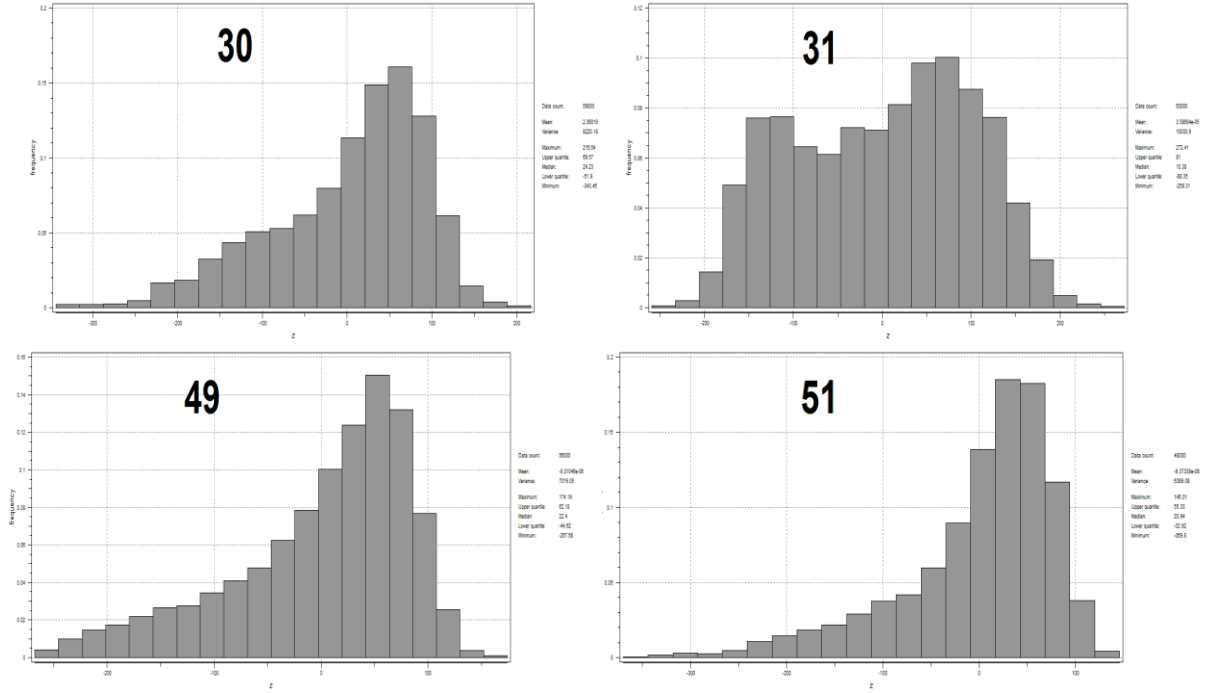
Şayet bu değer “1” olursa izotropik bir yapı söz konusudur. Birden daha düşük veya yüksekse anizotropik bir yapı mevcuttur.

Çizelge 5.1 Anizotropi oranları

Örnek no	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Geometrik anizotropi oranı	1,12	1,00	1,00	1,00	1,33	1,00	0,78	1,50	1,00
Zonal anizotropi oranı	0,78	1,14	1,00	1,00	1,06	1,92	1,01	0,35	4,00
Örnek no	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Geometrik anizotropi oranı	1,00	1,40	1,75	1,33	2,33	1,50	1,40	1,43	1,29
Zonal anizotropi oranı	0,82	1,00	1,30	1,33	1,24	1,00	1,00	1,45	1,07
Örnek no	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Geometrik anizotropi oranı	1,17	0,83	1,00	1,00	1,67	1,00	0,83	1,40	0,83
Zonal anizotropi oranı	0,73	1,48	1,15	1,00	0,83	1,00	1,07	1,00	0,73

Çizelge 5.1'e göre numuneler arasında 4 adet izotropik yapı bulunmaktadır. Bunlar 30, 31, 49 ve 51 nolu numunelerdir. Ayrıca 29, 33, 36, 37 ve 48 nolu numuneler yapısal uzaklık baz alındığında zonal anizotropiye sahip oldukları görülmektedir. Ancak eşik değerleri için içine girdiğinde durum tamamen değişmektedir. Eşik değerleri izotropiklik tespitinde kullanıldığında ise 34, 38, 42, 43 ve 53 nolu numunelerin aynı değerlere yani geometrik anizotropiye sahip olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada optimum yüzey varyansın en yüksek ve x ve y yönlerinde eşit, yapısal uzaklığın en düşük ve x ve y yönlerinde eşit, en yüksek ve en düşük değerlerin mutlak değer olarak birlerine en yakın olduğu ve dağılımın uniform olduğu yüzeydir. Bu tip bir yüzey estetik olarak en iyi koşulları sağlamaktadır. Aşağıda Şekil 9'da 30,31,49,51 nolu numunelere ait histogramlar verilmiştir.



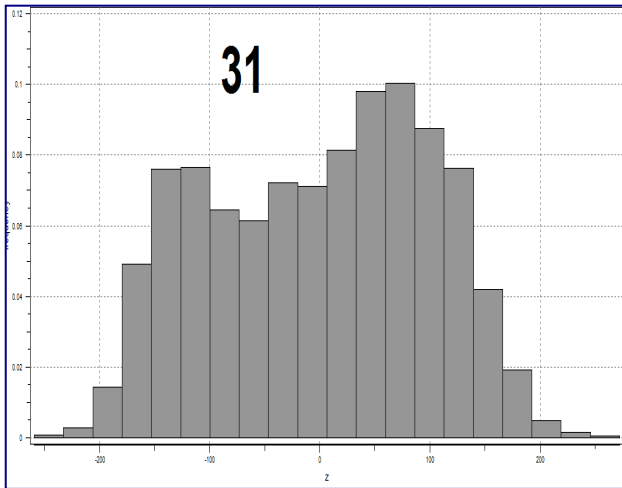
Şekil 5.9 30, 31, 49 ve 51 nolu numunelere ait histogramlar

Burada 30, 31, 49 ve 51 nolu numunelerin işlendiği koşullar optimum çalışma koşulları olarak kullanılabilir. Çünkü X ve Y yönlerinde aynı eşik değeri ve yapısal uzaklığa sahiptirler. Yüzey özellikleri bakımından da X ve Y yönlerinde tekdüzelik gösterirler. Ancak daha ileri bir karşılaştırma ile tek bir koşul tespit edilebilir. Çalışma koşulları incelendiğinde 30 nolu numune 50 mm çalışma mesafesi, 200 MPa pompa basıncı ve 15 m/dak ilerleme hızı ile işlenmiştir ve eşik değeri 8800, yapısal uzaklık 1,5 mm olarak bulunmuştur. 31 nolu numune püskürtme mesafesi 50 mm, 250 MPa pompa basıncı 25 m/dak ilerleme hızları ile işlenmiş, eşik değeri 9800 yapısal uzaklık 1,25 mm olarak tespit edilmiştir. 49 nolu numune ise 250 MPa basınç, 150 mm çalışma mesafesi ve 15 m/dak ilerleme hızı ile işlenmiş; yapısal uzaklık ve eşik değerleri sırası ile 1,15 mm ve 7500 olarak bulunmuştur. 51 nolu numune ise 250 MPa'da 150 mm çalışma mesafesinden 25 m/dak ilerleme hızı ile işlenmiş; eşik değeri 6400, yapısal uzaklık 1,1 mm olarak tespit edilmiştir.

Burada 49 ve 51 nolu numuneler 150 mm lik çalışma mesafesi ile işlenmişlerdir ancak çalışma mesafesi arttıkça yüzey daha az işlendiğinden yani daha az pürüzlü bir yüzey elde edildiğinden bu koşullar optimum nokta olarak değerlendirilmemişlerdir.

30 ve 31 nolu numunelere ait koşullar incelendiğinde ise 31 nolu numuneye ait eşik değer (9800), 30 nolu numuneninkinden (8800) daha yüksek , 31 nolu numunenin yapısal uzaklık (1,25), 30 nolu numunenin yapısal uzaklığından (1,5) daha düşük çıkması nedeniyle 31 nolu numuneye ait çalışma koşulunun yani 50mm çalışma mesafesi, 250MPa pompa basıncı ve 25m/dak ilerleme hızının optimum çalışma koşulu olduğu söylenebilir.

Ayrıca 31 nolu numuneye ait özet istatistik değerleri ve histogramı da jeostatistiksel bulgulara paraleldir. Aşağıda Şekil de 31 nolu numuneye ait histogram ve özet istatistik bilgileri verilmiştir.



- Varyans = 10030
- En yüksek değer = 272
- En düşük değer = 259

Dağılımı 30,49 ve 51 nolu numunelere göre daha uniform dur.

Şekil 5.10 31 nolu numuneye ait histogram

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Su jeti ile yüzey işlemede optimum çalışma koşullarını belirlemek amacıyla jeostatistiksel yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Yüzey kalitesi pürüzlülük variogram modellerinin eşik değeri ve yapısal uzaklığı ile ifade edilebildiği ortaya konmuştur. Ayrıca istatistiksel olarak da varyans, en yüksek ve en düşük değerler ve dağılımın türü (düzenli - uniform) gibi parametreler de yüzey kalitesine ilişkin bilgi sağladığı ortaya konmuştur.
- Pompa basıncı değerlerinin artması ile eşik değerde ve yapısal uzaklığa da artış tespit edilmiştir.
- Çalışma mesafesi arttığında eşik değerin ve yapısal uzaklığın azaldığı belirlenmiştir.
- İlerleme hızı arttığında hem eşik değerin hem de yapısal uzaklığın azaldığı tespit edilmiştir.
- Mutlak pürüzlülük arttıkça eşik değerde artış olduğu belirlenmiş ancak yapısal uzaklık için böyle bir ilişki tespit edilememiştir.
- Eşik değer izotropisi ile mutlak değer izotropisi arasında ters orantılı bir ilişki tespit edilmiştir.
- 30, 31, 49 ve 51 nolu numuneler yapılan jeostatistiksel analizler sonucunda izotropik olarak tespit edilmişlerdir. Ancak 31 nolu numune 9800 eşik değeri ve 1,25mm yapısal uzaklık ile daha iyi koşulları sağladığı gerekçesiyle optimum çalışma koşulları olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla 50mm çalışma mesafesi, 250MPa pompa basıncı ve 25m/dak ilerleme hızı Sardinya bazaltı için optimum su jeti ile yüzey işleme çalışma koşulu olarak tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmanın Sardinya bazaltından başka diğer doğaltaşlar için de tekrarlanması ve elde edilen sonuçların birbirleriyle karşılaştırılması tavsiye edilmektedir.

Bununla birlikte benzer çalışmaların aşınırıcılı su jeti ile de yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Atalay F., 2011, "Türkiye Tersiyer Kömürlerinin Jeostatistiksel Olarak İncelenmesi," Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 93 s.
- Bortolussi A, Careddu N, Ciccu R, Manca MG, Olla A. 2002, Surface finishing of marble with abrasive water jet. 16th Int. Conference on Water Jetting. Aix en Provenc, pp. 425-435.
- Careddu N, Costa G, Ciccu R, Medda R, Naitza S, Primavori P. 2007, Working the surfaces of non-flammable ornamental rocks with water-jets technology (Part one). Technical Review, Marble machine classic, Vol. 196, pp. 164-187.
- Careddu N, Costa G, Ciccu R, Medda R, Naitza S, Primavori P. 2008, Working the surfaces of non-flammable ornamental rocks with water-jets technology (Part Two). Technical Review, Marble machine classic; Vol.197, pp.102-124.
- Castleman, K.R., 1979; "Digital Image Processing", Prentice-Hall Yayınevi. Englewood Cliffs. NJ US, 429.
- Ciccu, R and Bortolussi, A., 2010; "Stone Surface Finishing by Pulsed Water Jet" Global Stone Congress 2010, Alicante, Spain
- Clark, I., 1979, Practical Geostatistic Applied Science Publisher Ltd, London, 129 p.
- Costa, G., 2007, Surface Finishing Operations on Marbles with Water Jet, Ph.D. Thesis, University Of Cagliari, Italy.
- Çelik, M. Y., Kavuşan, G., 2001, Doğal Taş ve Mermerlere Uygulanan Yüzey Şekillendirme Teknikleri, 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s. 77-86.
- Geren, N. ve Tunç, T., 2008. Su jeti kesme sistemlerinde kullanılan basınç arttırıcılarda gerilme analizleri ve tasarım sınırları. 13. Uluslararası Makine Tasarımı ve İmalatı Kongresi (UMTİK), İstanbul, s. 609–618
- Görgülü, K., Ceyhanoğlu,A., 2001, Bazı mermer birimlerinde değişik aşındırıcılarla yerinde gerçekleştirilen yüzey aşındırma deney sonuçları ve değerlendirilmesi, Madencilik Dergisi, s. 11-17
- Görgülü, K., Ceyhanoğlu,A., 2001, Bazı mermer birimlerinde değişik koşullarda gerçekleştirilen laboratuvar Yüzey Aşındırma Deney Sonuçları ve değerlendirilmesi, Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS 2001, s. 229-238.
- Güllü, A., Özdemir, A. ve Demir, H. 2003, "Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Yöntemleri ve Mukayesesi", Teknoloji Dergisi, 6(1-2), 79-92.
- Hasçalık A., Çaydaş U., and Gürün H. 2007. Effect of traverse speed on abrasive waterjet machining of Ti-6Al-4V alloy. Materials and Design, 28, 1953-1957.

- Isaaks, E. H., Srivastava, R. M., 1989, An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, New York, 561 p.
- Journel, A. G., Huijbregts, C. H. J., 1978, Mining Geostatistic, Academic Press, London, 600 p.
- Journel, A. G. 1989, Fundamentals of Geostatistics in Five Lessons, The American Geophysical Union, Washington, 39 p.
- Karakurt, İ., 2007, Aşındırıcı su jeti kesme sistemlerinin kayaç kesme performanslarının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon (yayımlanmamış).
- Kulaksız, S., 2005, "Doğal Taş Maden İşletmeciliği ve İşleme Teknolojileri", Ankara, 634 s.
- Matheron, G., 1971, The Theory of Regionazied Variables and Its Applications 173 p.
- Miranda, M.R., Quintino, L., 2005. Microstructural study of material removal mechanisms observed in abrasive waterjet cutting of calcareous stones. Materials Characterization, 54, pp. 370 – 377.
- Ojmertz, K.M.C., 1993, Abrasive waterjet milling: an experimental investigation. Proceedings of the 7th US Waterjet Conference, M. Hashish (ed.), Waterjet Technology Association, St. Louis, pp. 777–791.
- Ozuloğul, A., Erdoğan, M., 1995, (Afyon), Mermerlerde Yüzey Parlaklığının Görüntü Analiz Yöntemi ile Ölçülmesi, Türkiye I. Mermer Sempozyumu, s. 37-44,
- Özçelik, Y., Tercan, A. E., Yilmazkaya, E., Ciccu, R., Costa, G., 2011, A Study of Nozzle Angle in Stone Surface Treatment with Water Jets, Vol. 25(11), pp. 4271–4278.
- Özçelik, Y., Costa, G., 2010, Su jeti ve bazı geleneksel yüzey işleme yöntemlerinin karşılaştırılması, Madencilik Dergisi, 49(4), s.13-25.
- Ozçelik, Y., Gursel, M., Ciccu, R., Costa, G., Bortolussi, A., 2010, Performance assessment of water jet cutting for Italian granite, 7th International Marble and Natural Stone Congress of Turkey, pp. 39-47.
- Ozçelik, Y., Gursel, M., Ciccu, R., Costa, G., Bortolussi, A., 2010, Effect of Working Parameters on Excavation Rate and Specific Energy on Surface Treatment with Pure Water Jet, Journal of Testing and Evaluation, Vol. 40, No. 6.
- Öztürk, C.A., 2010, Jeostatistik ders notları (İstanbul Teknik Üniversitesi)
- Öztürk, C.A., 2001. Geostatistical assessment for ore deposits for comparison of kriging and point cumulative semivariogram techniques, MSc Thesis, Istanbul Technical University.
- Primavori, P., 2003, 'Workmanship and Surface Finishes on Stone Materials, Directory 2003, 504 p.

- Primavori, P., 2006, Technologies for Stone Extraction and Processing, Directory 2006, 270 p.
- Rendu, J.M., 1981. An introduction to geostatistical methods of mineral evaluation. South Africa, South African Institute of mining and metallurgy monograph series.
- Sari, D., Yavuz, H., 2001, Mermer parlaklığının nicel tanımı, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM '2001), s. 265-275.
- Schalkolt, R.J., 1989, Digital Image Processing and Computer Vision, Wiley & Sons Yavinevi New York US, 489 p.
- Sen, Z.,1998, Point cumulative semivariogram for identification of heterogeneities in regional seismicity of Turkey Math. Geol., 30 pp. 767–787
- Set Makine Broşürleri, 2001.
- Set Makine Broşürleri, 2003.
- Tercan A.E., 2011, Jeostatistik Semineri, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara
- Yazıcıoğlu, O., Kurt, M., Çetinkaya, Y.U., 1993, Sert parçaların kesilmesinde basınçlı su jetinin kullanılması, 6. Makine Teorisi Sempozyumu, Trabzon, s. 249-258.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mikail Başıyigit

Doğum Yeri : Bayburt

Doğum Yılı : 1987

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : Şevket Sabancı Kaynarca Lisesi 2000–2003

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü 2003–2009

Yabancı Dil: İngilizce (iyi)

İş Tecrübesi:

2011 – İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi

