

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**ÇOKLU PÜRÜZ TEMASI KULLANILARAK YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜ ve KAYMA HIZININ YARI-SONSUZ
ORTAMIN DEFORMASYONU ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mulla Ahmet PEKOK

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Alaettin ÖZER**

Yozgat 2014

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**ÇOKLU PÜRÜZ TEMASI KULLANILARAK YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜ ve KAYMA HIZININ YARI-SONSUZ
ORTAMIN DEFORMASYONU ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mulla Ahmet PEKOK

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Alaettin ÖZER**

Yozgat 2014

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün Makina Mühendisliği Anabilim Dalı70110910004numaralı öğrencisi Mulla Ahmet PEKOK'un hazırladığı **“Çoklu Pürüz Teması Kullanılarak Yüzey Pürüzlülüğü ve Kayma Hızının Yarı-Sonsuz Ortamın Deformasyonu Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”** başlıklı ~~DOKTORA~~/YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 06/01/2014 Pazartesi günü saat 13:00'te yapılmış, tezin onayına OY ÇOKLUĞU / OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan :

Üye :

Üye :

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../20..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../20.....

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1.Çalışmanın Amacı	3
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1.Pürüzlülük Parametreleri	5
2.2.Sabit Diskin Yapısı ve Çalışması	6
2.3.Fraktal Geometri ile Modellenen Pürüzlü Yüzeylerin Kayma Temasının Termo-mekanik Analizi	8
2.4.Mikro-temastaki İki Yüzeyin Maksimum Sıcaklık Artışı	10
2.5.Fraktal Alanda Maksimum Sıcaklık Artışı	12
2.6.Yüzeylerin Teması ve Isı Akış Hatları	13
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR	15
3.1.Fraktal Geometri Kullanılarak Yüzeylerin Modellenmesi	16
3.2.Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması	18
3.3.Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İki Boyutlu Temas Analizinin Yapılması...	20
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	23
4.1.Ağ Yoğunluğunun Optimizasyonu	23
4.2.Girişim ve Fraktal Boyut Değişiminin YSO'daki Sıcaklık Artışı Gerilmeler ve Temas Ara Yüzeyinde Oluşan Basınç Üzerindeki Etkileri.	26
4.3.Sabit Fraktal Boyut ve Girişim Mesafesi Altında Değişken Kayma Hızının Sıcaklık ve Gerilmelere Etkisi	84
SONUÇ	91
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	96

ÇOKLU PÜRÜZ TEMASI KULLANILARAK YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ve KAYMA HIZININ YARI-SONSUZ ORTAMIN DEFORMASYONU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mulla Ahmet PEKOK

**Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

2013; Sayfa: 87

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Alaettin ÖZER

ÖZET

Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü, kayma hızı ve girişim mesafesi değişiminin fraktal geometri ile tanımlanmış pürüzlü bir yüzey ile temas eden elastik-plastik yarı-sonsuz ortamın deformasyon davranışı ve sıcaklık artışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla rijit pürüzlü bir yüzeyin yarı-sonsuz ortam üzerinde kaydığı iki boyutlu sonlu elemanlar modeli kullanılmıştır. Öncelikle ağ yoğunluğu değiştirilerek analizlerde kullanılacak optimum eleman boyutu belirlenmiştir. Geleneksel yöntemlerle yüzey pürüzlülük ölçümü ölçü aleti çözünürlüğü, ortam etkileri gibi etkilere bağlı olduğundan bu çalışmada yüzey pürüzlülüğünü çok daha gerçekçi olarak modelleyebilen fraktal geometri kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün deformasyon ve sıcaklık artışı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan analizlerde kullanılan değişik yüzey topografileri fraktal boyut değiştirilerek elde edilmiştir. Bu amaçla 1.41, 1.43, 1.45 ve 1.47 olmak üzere dört farklı fraktal boyut kullanılmıştır. Kayma hızının etkisini belirlemek amacıyla kayma mesafesi 50 nm olarak sabit tutulmuş; 1, 1.25, 1.67, 2.5, 5, 10, 20 nm/s sürelerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ayrıca pürüzlü yüzeyin yarı-sonsuz ortama bastırılma miktarı olan girişim de 1.5, 1.6, 1.7 ve 1.8 nm olarak alınmak suretiyle deformasyon ve sıcaklık artışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analizler sonucunda fraktal boyut arttıkça pürüzlülüğün azaldığı bununla birlikte sıcaklık ve gerilmelerinin düştüğü belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuru Sürtünme, Yüzey Pürüzlülüğü, Fraktal Yüzey, Sonlu Elemanlar yöntemi, Baş-Disk Ara Yüzeyi

**INVESTIGATION of EFFECTS of FRACTAL DIMENSION and
SLIDING SPEED on DEFORMATION of SEMI-INFINITE MEDIUM
by USING MULTIPLY ASPERITY CONTACT**

Mulla Ahmet PEKOK

**Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Master of Science Thesis**

2013; Page: 87

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. Alaettin OZER

ABSTRACT

The effects of surface roughness, sliding speed and indentation dept on deformation and temperature rise of elastic-plastic semi-infinite medium in contact with fractal rough surface were analyzed by using the finite element method. A 2-dimensional finite element model that rigid rough surface which is sliding over semi-infinite medium was used. Initially, an optimum element edge was determined by analyzing mesh densities. In this study fractal geometry was used to model rough surface due to ability of representing multiscale real surfaces. Because, traditional methods which were used to model surface roughness depend on sensitivity of measuring device, the vibrations in the environment etc. In order to determine effects of surface roughness on deformation and temperature rise, fractal rough surfaces were obtained by using fractal dimensions such as 1.41, 1.43, 1.45 ve 1.47. Sliding distance was fixed by changing sliding time to obtain effect of sliding speed. Also, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm indentations which are displacement distances to the semi-infinite medium by rough surface were used to get effects on deformation and temperature rise. It is obtained that increasing fractal dimension reduces surface roughness, temperature rise and stresses.

Keywords: Dry Friction, Surface Roughness, Fractal Surface, Finite Element Method, Head-Disk Interface

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlamamda maddi manevi her türlü ihtiyacımda yanımda olan aileme, değerli bilgilerini, emeklerini ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Alaettin ÖZER hocama ve Bozok Üniversitesindeki tüm hocalarıma teşekkür ederim.

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1 : Termo-mekanik Analizlerde Kullanılan Yarı-sonsuz Ortamın Malzeme Özellikleri	22

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1 : Ardışık Olarak Büyütüldüğünde Tekrarlanan Koch Eğrileri.....	2
Şekil 2 : Ortalama (Aritmetik) Pürüzlülük Değeri R_a 'nın Hesaplanması....	6
Şekil 3 : Manyetik Film Üzerinde Rastgele Dağılmış Demir Parçacıklarını Hizaya Getirmek İçin Yazma/Okuma Kafasındaki Bobin Telinden Elektrik Akımının Geçirilmesi.....	7
Şekil 4 : Taşıyıcı Kolun ve Disklerin Üstten ve Yandan Görünüşü.....	7
Şekil 5 : Temas ile Akış Hatlarındaki Daralma Modeli.....	14
Şekil 6 : Bir Sabit Disk'in Atom Mikroskobu ile Elde Edilmiş Yüzey Fotoğrafi	15
Şekil 7 : Beş Farklı Fraktal Boyut için 0-6000 Arası Yüzey Pürüzlülüğü....	17
Şekil 8 : Beş Farklı Fraktal Boyut için 3400-3600 Arası Yüzey Pürüzlülüğü	18
Şekil 9 : YSO'nun ve Kafa/Disk Modelinin Şematik Gösterimi	19
Şekil 10 : Kenar Uzunluğu 3 nm'lik Kare Elemanlardan Oluşan YSO'nun Sonlu Elemanlar Modeli ve Ağın Detaylı Gösterimi	20
Şekil 11 : Kenar Uzunlukları Sırası ile (a) 4, (b) 3 ve (c) 2 nm'lik Kare Eleman Olarak Tanımlanmış Ağ Yoğunluklarına Sahip Sonlu Elemanlar Modeli	21
Şekil 12 : Fraktal Boyut 1.5, Girişim 1.5 nm ve Kenar Uzunlukları (a) 4 nm, (b) 3 nm, (c) 2 nm Alındığında Yarı-sonsuz Ortamdaki Sıcaklık ($^{\circ}C$) Dağılımı.....	24
Şekil 13 : Fraktal Boyut 1.5, Girişim 1.5 nm ve Kenar Uzunlukları (a) 4 nm, (b) 3 nm, (c) 2 nm Alındığında Yarı-sonsuz Ortamdaki Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	25
Şekil 14 : Fraktal Boyut 1.5, Girişim 1.5 nm ve Kenar Uzunlukları (a) 4 nm, (b) 3 nm, (c) 2 nm Alındığında Yarı-sonsuz Ortamdaki Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	26
Şekil 15 : Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Sıcaklık ($^{\circ}C$) Artış Dağılımı	28

Şekil 16	: Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Basınç (MPa) Dağılımı	29
Şekil 17	: Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Dağılımı	30
Şekil 18	: Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Artış Dağılımı	31
Şekil 19	: Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Basınç (MPa) Dağılımı	32
Şekil 20	: Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Dağılımı	33
Şekil 21	: Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Artış Dağılımı	34
Şekil 22	: Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Basınç (MPa) Dağılımı	35
Şekil 23	: Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Dağılımı	36
Şekil 24	: Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Artış Dağılımı	37
Şekil 25	: Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Basınç (MPa) Dağılımı	38
Şekil 26	: Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Dağılımı	39
Şekil 27	: Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Artış Dağılımı	40

Şekil 28	: Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Basınç (MPa) Dağılımları	41
Şekil 29	: Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Artış Dağılımları	42
Şekil 30	: Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Artış Dağılımı	43
Şekil 31	: Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Basınç (MPa) Dağılımları	44
Şekil 32	: Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Artış Dağılımları	45
Şekil 33	: Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	46
Şekil 34	: Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	47
Şekil 35	: Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	48
Şekil 36	: Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	49
Şekil 37	: Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	50
Şekil 38	: Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	51

Şekil 39	: Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	52
Şekil 40	: Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	53
Şekil 41	: Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	54
Şekil 42	: Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	55
Şekil 43	: Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	56
Şekil 44	: Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	57
Şekil 45	: Girişim Mesafesi 1.7 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	58
Şekil 46	: Girişim Mesafesi 1.7 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	59
Şekil 47	: Girişim Mesafesi 1.8 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	60
Şekil 48	: Girişim Mesafesi 1.8 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	61
Şekil 49	: Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme	

	(MPa) Dağılımı	62
Şekil 50	: Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	63
Şekil 51	: Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	64
Şekil 52	: Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	65
Şekil 53	: Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	66
Şekil 54	: Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	67
Şekil 55	: Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	68
Şekil 56	: Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	69
Şekil 57	: Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	70
Şekil 58	: Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	71
Şekil 59	: Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	72
Şekil 60	: Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47	

	Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	73
Şekil 61	: Girişim Mesafesi 1.7 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	74
Şekil 62	: Girişim Mesafesi 1.7 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	75
Şekil 63	: Girişim Mesafesi 1.8 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	76
Şekil 64	: Girişim Mesafesi 1.8 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	77
Şekil 65	: Girişim 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.5 ve Kayma Hızı 1, 1.25, 1.67, 2.5, 5, 10, 20 nm/s Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Artış Dağılımı	79
Şekil 66	: Girişim 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.5 ve Kayma Hızı 1, 1.25, 1.67, 2.5, 5, 10, 20 nm/s Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı	81
Şekil 67	: Girişim 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.5 ve Kayma Hızı 1, 1.25, 1.67, 2.5, 5, 10, 20 nm/s Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı	83

KISALTMALAR LİSTESİ

- AISI** : Amerikan Demir Çelik Enstitüsü Standartları
MR : Magneto-Rezist
BISO : Bilinear Isotropic Hardening
YSO : Yarı-Sonsuz Ortam
SEY : Sonlu Elemanlar Yöntemi

SEMBOL LİSTESİ

- p : Temas Basıncı
- δ : Temas Girişimi
- K : Temas Rijitliği
- τ : Kayma Gerilmesi
- η : Sürtünme Isısına Dönüşen Enerji Miktarı
- f : Yüzeğe Dağılan Sürtünme Isısı
- q : Isı Akısı Yoğunluğu
- Δs : Yanal Yer Değişirme Artım Miktarı
- Δt : Zaman Artışı
- q_k : Temas Ara Yüzeyi Boyunca İletim Nedeni ile Oluşan Isı Akısı
- θ_1 : Rijit Yüzey Üzerindeki Sıcaklıklar
- θ_2 : Yarı-sonsuz Ortam Üzerindeki Sıcaklıklar
- k_g : Boşluğun İletimi
- S_{ij} : Deviyatorik Gerilme Tansörü
- σ_{ij} : Gerilme Tansörü
- $d\lambda$: Plastik Şekil Değişirme Hızına Bağlı Pozitif Katsayı
- ξ : Isı Geçiş Oranı
- μ : Sürtünme Katsayısı
- p_a : Mikro Temastaki Ortalama Basınç

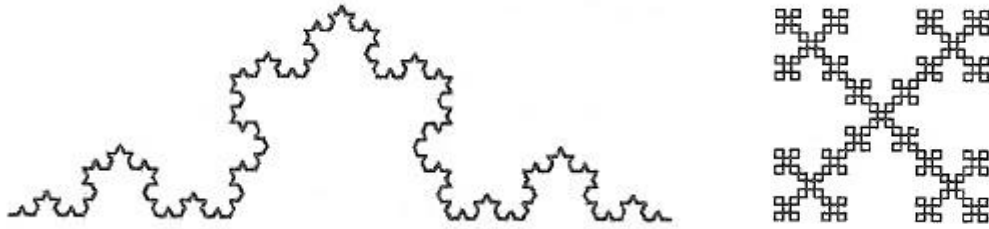
- R : Eşdeğer Pürüz Yarıçapı
- a' : Kesilmiş Alan
- r' : Kesilmiş Alanın Yarıçapı
- P : Elastik Mikro Temastaki Yük
- E^* : Eşdeğer Elastisite Modülü
- ϑ : Poisson Oranı
- a'_L : En Büyük Makro Temas Alanı
- A_{rf} : Fraktal Alanın Gerçek Temas Alanı
- A_{af} : Fraktal Alanın Görünen Temas Alanı
- G : Fraktal Pürüzlülük
- D : Fraktal Boyut
- L : Fraktal Örnek Uzunluk
- Υ : Yüzey Profilindeki Frekansların Yoğunluğunu Kontrol Eden Parametre
- n : Frekans İndisi
- L_s : Kesim Uzunluğu
- σ_y : Akma Gerilmesi

1. GİRİŞ

Herhangi bir imalat metodu kullanılarak (talaşlı yâda talaşsız imalat) elde edilen yüzeylerde giderilmesi imkânsız olan pürüzler mutlaka meydana gelmektedir. 1930'lu yıllarda imalat sonrası yüzeyin hassasiyeti ve pürüzlülük değerlendirmesi işlenen yüzeye bakılarak veya dokunularak yapılırdı. Yüzeyde yüksek yansıma varsa yüzey pürüzsüz kabul edilirdi. Fakat bilinmektedir ki sağlıklı bir insanın gözü 300 nm'den küçük değişiklikleri görememektedir. Bu yüzden metal yüzeylerin pürüzlülük değerlendirmesi bu ölçüm yöntemine göre kişiden kişiye değiştiği için yerini standartlara ve yüzey hassasiyeti parametrelerine bıraktı. Günümüzde artık geçerliliğini kaybetmekte olan geleneksel yöntemler yerini istatistikî bir yaklaşımlara örneğin yükseklik varyansı, eğim ve eğrilik gibi parametrelere bırakmaktadır.

Pürüzlü bir yüzeyin geometrik yapısının rastgele bir dağılıma sahip olduğu ve bu yüzeydeki pürüzlerin, örnek uzunluğundan atom boyutuna kadar çok geniş ölçekte değerler aldığı bilinmektedir. Bu pürüzlerin bir kısmı göz ile tespit edilebilir veya dokunularak anlaşılabilir. Fakat bazı pürüzler sadece hassas elektronik cihazlar kullanılarak ölçülebilecek boyutlarda olur. Üretilen bir makine elemanının fonksiyonunu yerine getirebilmesinde yüzey kalitesinin önemi büyüktür. Farklı talaşlı imalat usulleri kullanılarak yapılan yüzey işlemlerinde yüzeyin kalitesini, seçilen kesici takımın geometrisinden, kaplama malzeme çeşidinden ve işleme parametrelerinden doğrudan veya dolaylı olarak etkilenmektedir. İyi seçilmeyen bu tür etkenler kesici takımların hızlı aşınması ve kırılması gibi kayıpların yanı sıra iş parçasının bozulması veya yüzey kalitesinin düşüklüğü gibi ekonomik kayıplara da neden olmaktadır. Hassas toleranslar isteyen parçalarda verilen toleransların dışına çıkılması montajının yapılamaması anlamına geldiği gibi istenen pürüz değerinin aşılması da sürtünerek çalışan parçaların birbirlerini aşındırması anlamına gelmektedir. Ancak diğer yandan sürtünmenin çok olmasının istendiği alanlarda bulunmaktadır; fren balataları, lastikler gibi. Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için geleneksel yaklaşımlarda kullanılan örnek uzunluğu, ölçüm cihazı çözünürlüğü ve istatistiksel parametrelerin ölçümünde ölçüm cihazının etkisi bilindiği için mühendislik yüzeylerini modellemek amacıyla fraktal geometri kullanılır [1].

Farklı yüzeyler üzerinde yapılan ölçümler sonucu yüzeyler ardışık olarak büyütüldükleri zaman büyütülmüş yüzeydeki pürüzler ile orijinal yüzeydeki pürüzlerin birbirlerine benzedikleri görüldü. Bu ise matematiksel olarak kendine-benzerlik ve kendine-yakınlık özellikleri ile açıklana bilmektedir. Bu iki özellik fraktal geometrinin esasını teşkil eder. Şekil 1’de ardışık olarak büyütüldüklerinde kendini tekrar eden Koch eğrileri görülmektedir. Fraktal geometrinin esasını teşkil eden fraktal boyut hem skalası değişmeyen hem de kendine-benzerlik ve kendine-yakınlık özelliklerini bünyesinde taşıyan bir faktördür. Bu özelliklerden faydalanarak karışık gelen geometrik yüzeyleri fraktal geometri kullanarak modellemek mümkündür.



Şekil 1. Ardışık Olarak Büyütüldüğünde Tekrarlanan Koch Eğrileri

Block [2] ve Jaeger [3] yüzeydeki hareketli ısı çalışmaları ile temas yüzeyleri sıcaklık ilişkisi çalışmalarına öncülük etmiştir. Çoğu araştırmacı katmanlı bir ortamda ince sert kaplama ile bir yarı-sonsuz ortamda sıcaklık ve termal stres alanları için analitik çözümler yaparken Fourier dönüşümünü kullanır.

Kopac ve Bahor [4], sanayide sık kullanılan temperlenmiş AISI 1060 ve AISI 4140 çeliklerinin işleme koşullarına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi üzerine çalışmalarında, işleme parametrelerinin rastgele seçimi neticesinde ne tür sonuçlar ile karşılaşılacağı üzerinde durdular. Çalışmalarında, her iki çelik için büyük yarıçaplı kesici takım kullanıldığında, düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaşıldığını bildirdiler. Benzer çalışmalar Yuan ve diğerleri [5], Eriksin [6] ve Özses [7] tarafından da yapıldı.

Dhar, AISI 1060 [8] ve AISI 4140 [9] çeliklerinden talaş kaldırılması sırasında soğutma faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması ve ölçüsel sapmalar

üzerinde belirli bir tesirinin olduğunu tespit etti. Talaş kırıcılı ve kırıcısız iki tip takım kullandı ve sıvı azotun $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de takım yüzeyine püskürtülmesiyle elde ettiği sonuçlarda ön ve yan kenar aşınmasının azaldığı, operasyon sırasında parçalarda ölçüsel sapmalarının azaldığı ve yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği bildirildi.

Lee ve Barber [10] iki fren disk balataları arasındaki sürtünmeyi incelerken, Azarkhin ve Barber [11] Green fonksiyonu ve fourier dönüşümü kullanarak geçici hertz problemi için çözüm yolu sundu. Daha sonralarda iki sonsuz büyüklükteki pürüzlü yüzeylerde iki boyutlu ve üç boyutlu temas modelleri sunuldu. Sürtünme ısınması nedeni ile yarı-sonsuz ortamda hareketli kontak ara birimlerinde sıcaklık artışı gövdede hareket eden ısı kaynağına maruz bırakılma problemi İntegral ve Green fonksiyonu ile çözümlendi.

Lin'in [12] S55C çeliği kullanarak yaptığı çalışmada, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin deneysel çalışmalarla elde ettiği sonuçları, regresyon analizleriyle formülize etti, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkilerini modelledi. Lin'in çalışmasına benzer çalışmalar Risbood [13], Ghani [14], Petropulos ile Torrance [15], Feng [16], Sekuliç [17] ve Gadelmawla [18] tarafından yapıldı.

Vick ve diğerleri [19] sabit bir ısı kaynağına maruz kalan kayar cisimlerin termal cevabını bir sonlu elemanlar modeli olarak bize sundu. Kennedy, Ling, Day ve Newcomb [20] otomotiv disk fren sisteminin termal davranışını incelemek için sonlu elemanlar modelini sundu. Çalışmalarında termal ve mekanik yüklemelere kayan ortamın cevabını da eşzamanlı olarak dikkate aldılar. Bilgisayar teknolojisinin iyice gelişmesi ile birlikte analitik yöntemler ile çözülmesi zor olan ve zaman alıcı sayısal yöntemler yerini karmaşık problemleri de kısa sürede çözme imkânı veren bilgisayar programlarına bıraktı. Sonlu elemanlar metodu bu konuda bize büyük katkı sağladı.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı ağ yoğunluğu, yüzey pürüzlülüğü, kayma hızı ve girişimin elastik–tam plastik yarı-sonsuz ortamın deformasyon ve sıcaklık artışı üzerindeki etkilerinin sonlu elemanlar metodu kullanılarak eşzamanlı olarak analizini yapmaktır.

Bu amaçla fraktal geometriyle modellenmiş bir rijit pürüzlü yüzeyin elastik-tam plastik yarı-sonsuz ortam üzerinde kaydığı iki boyutlu sonlu elemanlar modeli kullanılmıştır. Fraktal geometri ile 6000 nm uzunluğunda yüzey oluşturulmuştur. Bu yüzeyin sonlu elemanlar yöntemi ile analizinin yapılması hem kullanılan program için çok büyük bir yük hem de aşırı zaman kaybı oluşturacağı için analizler yapılırken bu yüzeyi yeniden sunabilen 3400 ile 3600 noktaları arasındaki eğri baz alınarak pürüzlü yüzey elde edilmiştir. Fraktal boyut, girişim mesafesi, kayma hızı ve ağ yoğunluğu değiştirilerek yarı-sonsuz ortamdaki sıcaklık, normal gerilme ve von-Mises eşdeğer gerilmesi incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Pürüzlülük Parametreleri

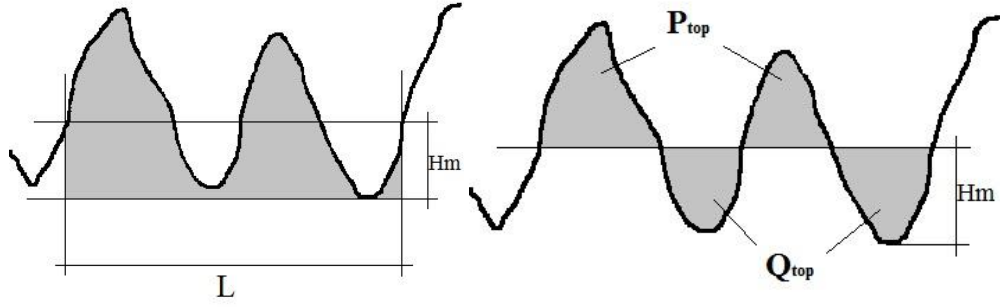
Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesinde kullanılan parametreler aşağıda olduğu gibi adlandırılmaktadır:

- Ra: Aritmetik ortalama sapma.
- Rz: 5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalaması.
- Rt: Tüm ölçüm uzunluğu için maksimum yükseklik ile maksimum derinlik arasındaki mesafedir.

Ra yüzey pürüzlülüğü hesaplamada çok kullanılan bir yöntem olup yüzey pürüzünü ölçen cihazlarda ekrandan direkt olarak okunabilmektedir. Ra değerini tespit etmek için ilk önce pürüzlü yüzeyin en dip noktası tespit edilir ve bu seviyeden yüzeye paralel bir çizgi çizilir. Şekil 2'den de görüldüğü gibi tam bir dalga boyu oluşturacak şekilde L uzunluğu seçilir. Planimetri yardımı ile düzensiz eğrinin altındaki alan hesaplanır daha sonra $H_m = A/L$ formülü kullanılarak bulunan değer kadar dip noktanın üstünden yeni bir eksen çizgisi çizilir. Eksen çizgisinin üzerinde kalan alanların toplamına P_{top} , altında kalan alanların toplamına Q_{top} denir ve hesaplanan değerler aşağıdaki formülde yerlerine yazılarak Ra değeri tespit edilir.

$$Ra = \left[\frac{P_{top} + Q_{top}}{L} \right] \frac{1000}{V_p} \quad (2.1)$$

Burada V_p düşey büyültme değeridir.



Şekil 2. Ortalama (Aritmetik) Pürüzlülük Değeri Ra'nın Hesaplanması

Rt pürüzlü yüzeylerdeki tepe notası ile çukur noktasının arasındaki mesafedir. Pürüzlü yüzeyin alt noktasında yüzeye paralel bir çizgi çizilir ve bu çizgiye en uzak ve en yakın noktalar tespit edilir. Bu değerler birbirlerinden çıkarılır ve Rt değeri bulunmuş olur.

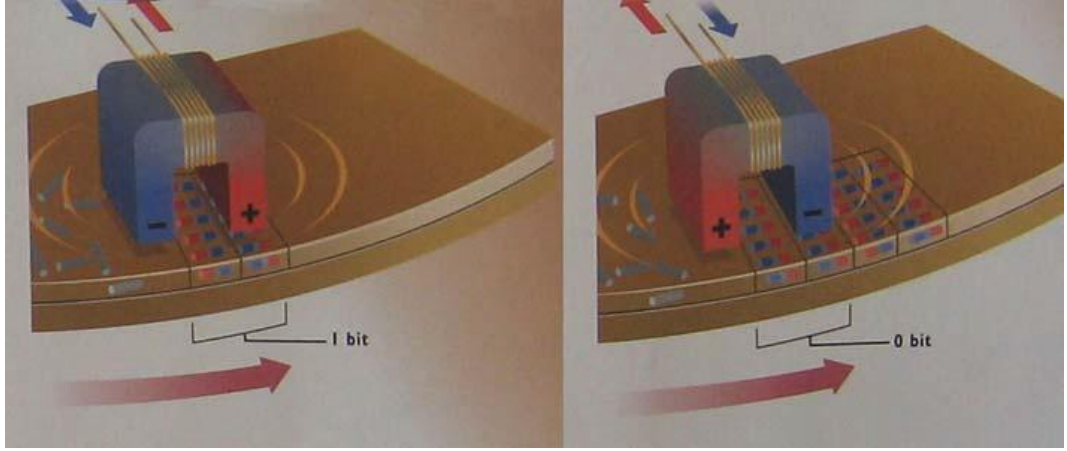
$$Rt = R_{tepe} - R_{çukur} \quad (2.2)$$

Rt değeri ne kadar düşük olursa tepe ve çukur noktaları birbirlerine o kadar yakın olacağı için pürüzlülük azalmış olur.

2.2. Sabit Diskin Yapısı ve Çalışması

Sabit diskler yüzeyleri manyetik özelliğe sahip, dönen disklerden oluşan cihazlardır. Bilgisayar verileri olan 0 ve 1'ler manyetik olarak mıknatıs çekim kutuplarına göre bu disklerde oluşturulurlar.

Sabit disk sürücülerinin her bir yüzeyi manyetik alan etkisine sahip manyetik bir bant ile kaplanmıştır. Disklerin üzerinde çok yakın bir mesafede konuşlandırılmış olan okuma ve yazma görevini yerine getiren yazma/okuma kafası bulunmaktadır. Her bir kafanın üzerinde magneto-rezistif (MR) algılayıcısı bulunmaktadır. Şekil 3'de disk üzerine elektrik akımı ile veri yazma işleminin nasıl gerçekleştirildiği gösterilmektedir.



Şekil 3. Manyetik Film Üzerinde Rastgele Dağılmış Demir Parçacıklarını Hizaya Getirmek İçin Yazma/Okuma Kafasındaki Bobin Telinden Elektrik Akımının Geçirilmesi

Yazma/okuma kafası bir motor yardımı ile 3600-10000 rpm arası disk üzerinde devir yaparken diskin yüzeyinden geçtikçe MR algılayıcısında direnç değişimi meydana getirmektedir. Bu analog direnç değişimleri yorumlanarak sayısal verilere yani 1 ve 0'lara çevrilir. Alandan daha fazla yararlanmak amacı ile katmanlı bir yapı olarak tasarlanan sabit disklerin her katmanının arasında ve yüzeyinde bulunan ve tarayıcı kol yardımı ile yay çizecek şekilde hareket eden yazma/okuma kafası diskin tüm yüzeyine ulaşarak okuma ve yazma işleminin gerçekleşmesini sağlıyor.



Şekil 4. Taşıyıcı Kolun ve Disklerin Üstten ve Yandan Görünüşü

Diskleri döndüren iğnenin hareketi, yazma/okuma kafalarını hareket ettiren taşıyıcı kolun hareketleri ve yazma-okuma işlemi (Şekil 4) elektronik kontrol kartları ile denetlenir.

2.3. Fraktal Geometri ile Modellenen Pürüzlü Yüzeylerin Kayma Temasının Termo-mekanik Analizi

İki metal birbirleri üzerinde kaydıkları zaman temas bölgelerindeki mekanik enerji sürtünmenin etkisi ile birlikte ısıya dönüşür. Oluşan ısı temas bölgelerinde termal genişleme nedeni ile temas alanını değiştirir ve dolayısıyla temas basıncında değişmiş olur. Bu sebeple mekanik termal analizler yapılırken eş zamanlı olarak değerlendirilmesi daha sağlıklı olacaktır.

Sürtünen iki metalin ara yüzeyindeki herhangi bir noktadaki temas basıncı p , yerel temas girişimi (δ) ile doğru orantılıdır. Yani,

$$\delta < 0 \text{ için } p = 0 \quad (\text{temas yok}) \quad (2.3)$$

$$\delta \geq 0 \text{ için } p = K\delta \quad (\text{temas var}) \quad (2.4)$$

İki metal yüzey aralıklı olduklarında temas etmiyor demektir ve (2.3) eşitliği geçerli olur. Temas ediyor ise (2.4) eşitliği kullanılır. Bu eşitlikteki K değeri, temas rijitliği olup dengeyi sağlayan bir iteratif yöntem ile belirlenir.

Temas eden iki metal yüzeyler arasında çok küçük bağıl teğetsel depresman ile birlikte bir τ kayma gerilmesi meydana gelir. Şayet $\tau < \mu p$ ise iki yüzey birbirlerine yapışır. $\tau = \mu p$ olduğunda ise kayma başlar.

Temas alanı, kayma sırasında sürtünme ısısına dönüşen enerji miktarına η , ve sırasıyla her bir yüzeyde dağıtılan sürtünme ısısı f_1 ve f_2 miktarına bağlıdır. Sürtünme ısısı nedeniyle oluşan ısı akısı yoğunluğu, q_g aşağıdaki gibi verilir.

$$q_g = \eta \tau \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2.5)$$

Δs ve Δt sırasıyla yanal yer değiştirme artım miktarı ve zaman artışını ifade etmektedir. Sürtünmeden kaynaklanan ısı, f_1 ve f_2 değerlerine bağlı olarak her bir

cisme aniden geçiş yapar. Sonuç olarak ısı elemanlar içerisinde üretilmediği için, f_1 ve f_2 ısı parçaları temas eden her bir cisimdeki ısı dağılımını modellemek için kullanılır. Temas eden cisimlerin ısı akısı yoğunlukları q_1 ve q_2 (2.6) ve (2.7) de verilmiştir.

$$q_1 = q_k + f_1 q_g \quad (2.6)$$

$$q_2 = q_k + f_2 q_g \quad (2.7)$$

Burada q_k temas ara yüzeyi boyunca iletim nedeniyle oluşan ısı akısıdır.

Her bir cisimde üretilen ısı miktarı geleneksel ısı faktöründen (q_1/q_2) farklıdır. Bu çalışmada geleneksel ısı faktörü temas ara yüzeyi boyunca oluşan ve aşağıdaki formülle verilen ısı akısıyla, q_k , değişmektedir.

$$q_k = k_g (\theta_1 - \theta_2) \quad (2.8)$$

Burada θ_1 ve θ_2 sırasıyla rijit yüzey ve yarı-sonsuz ortam üzerindeki yüzey elemanlardaki sıcaklıklar, k_g boşluk iletimidir.

Yarı-sonsuz ortam elastik-tam plastik olarak modellendiğinden aşağıdaki akma kriterine uymaktadır.

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{3}{2} S_{ij} S_{ij}} = \sigma_y \quad (2.9)$$

Burada σ_M von-Mises eşdeğer gerilmesi, S_{ij} deviyatorik gerilme tansörü olup, $s_{ij} = \sigma_{ij} - \sigma_{kk} \delta_{ij}/3$ şeklinde verilir. Burada σ_{ij} gerilme tansörü, δ_{ij} ise Kronecker delta fonksiyonudur. σ_y ise tek eksenli çekmede akma gerilmesidir. Eğer $\sigma_M < \sigma_y$ ise yarı-sonsuz ortam lineer elastik davranış gösterir. Eğer malzeme akma sınırını aşarsa ($\sigma_M \geq \sigma_y$), bilinen $d\mathcal{E}_{ij}^p = d\lambda S_{ij}$ genel akma formülasyonu kullanılır. Burada $d\mathcal{E}_{ij}^p$ plastik şekil değiştirme artışı ve $d\lambda$ ise plastik şekil değiştirme hızına bağlı pozitif bir katsayıdır.

2.4. Mikro-temastaki İki Yüzeyin Maksimum Sıcaklık Artışı

Aşağıdaki eşitliğe göre, maksimum sıcaklık artışını belirlemek için, silindirik mikro temasa doğru olan ısı akısı için bir analitik ifade türetmek gereklidir. Küresel pürüzlere sahip bir yüzeyin mikro temas alanına doğru olan ortalama ısı akısı $q_1 = \xi \mu p_a V$ şeklinde verilir. Burada ξ ısı geçiş oranı, μ sürtünme katsayısı ve p_a ise mikrotemastaki ortalama basınçtır. Isı geçiş oranı, küresel pürüzlere sahip bir yüzeye transfer olan ısı miktarının mikro-temasta üretilen toplam ısı miktarına oranı olarak tanımlanır.

Mikro-temastaki ortalama basınç p_a 'yı hesaplamak amacıyla pürüzün eğrilik yarıçapı için bir ifade elde edilmelidir. Temas eden yüzeyler rijit düzlem tarafından sıkıştırılan küresel pürüzler olarak modellendiğinden; mikro-temastaki eğrilik yarıçapı R eşdeğer pürüz yarıçapıdır. Yani, eşdeğer pürüzlü yüzeydeki bir pürüzün yarıçapıdır. Pürüzün en üst noktasından itibaren belli bir mesafeye ($\delta \ll R$) yerleştirilmiş bir rijit düzlem tarafından kesilmiş küresel pürüzün geometrisinden, kesilmiş alanın yarıçapı $r' = \frac{a'}{2}$ ile verilir ve $\delta \ll r'$ olduğundan dolayı pürüz yarıçapı R aşağıdaki gibi verilir.

$$R = \frac{a'}{2\pi\delta} \quad (2.10)$$

W-M fonksiyonu $\sqrt{a'}$ uzunluk ölçüsünde düşünüldüğünde, pürüzün temas girişimi δ , kesilmiş alanı a' olan bir mikrotemas için aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$\delta = G^{(D-1)} \sqrt{(a')^{(2-D)}} \quad (2.11)$$

(2.11) ve $a = a'/2$ eşitlikleri (2.10) eşitliğinde yerine yazıldığında (2.12) elde edilir.

$$R = \frac{\sqrt{a^D}}{\sqrt{2^{(2-D)}\pi} G^{(D-1)}} \quad (2.12)$$

Eğer W-M fonksiyonunun kosinüs bileşeninin uç değerinden elde edilen pürüz yarıçapı kullanılırsa, pürüz yarıçapı için elde edilen ifade (2.12) eşitliğinden farklı

olur. Oysa bu teoride Hertz teorisiyle uyumlu olması açısından pürüzlerin başlangıç geometrilerinin küresel şekilleri dikkate alınmıştır.

(2.10) eşitliğinden bir mikro-temasın kesilmiş alanı $a' = 2\pi R\delta$ olarak verilir. Bu ilişki $a = a'/2$ eşitliğinde yerinde yazıldığında, elastik olarak deforme olan bir mikro-temastaki a alanı $a = \pi R\delta$ bulunur. Hertz temas teorisine göre elastik mikro-temastaki yük P

$$P = \frac{4}{3} E^* \sqrt{R\delta^3} \quad (2.13)$$

şeklinde verilir. Burada E^* eşdeğer elastisite modülü olup $E^* = \left[\frac{1-V_1^2}{E_1} + \frac{1-V_2^2}{E_2} \right]^{-1}$ şeklinde verilir. Ayrıca E_1, V_1 ve E_2, V_2 ise sırasıyla 1 numaralı küresel pürüzlere sahip ve 2 numaralı rijit düzgün yüzeylerin elastisite modülleri ve Poisson oranlarıdır.

(2.12), $a = a'/2$ ve $a = \pi R\delta$ eşitlikleri (2.13) eşitliğinde yerine yazıldığında

$$P = \frac{4}{3\sqrt{2\pi}} E^* G^{D-1} (a')^{(3-D)/2} \quad (2.14)$$

elde edilir. $a = a'/2$ ve (2.14) eşitliğini kullanarak bir elastik mikro-temastaki ortalama basınç p_a aşağıdaki gibi bulunur.

$$p_a = \frac{P}{a} = \frac{8}{3\sqrt{2\pi}} E^* G^{D-1} (a')^{(1-D)/2} \quad (2.15)$$

(2.15) eşitliği $q_1 = \xi \mu p_a V$ eşitliğine taşındığında, bir elastik mikro-temastaki ısı akısı q_1 elde edilir.

$$q_1 = \frac{8}{3\sqrt{2\pi}} E^* \xi \mu V G^{D-1} (a')^{(1-D)/2} \quad (2.16)$$

(2.14), $r = \sqrt{\frac{a}{\pi}} = \sqrt{\frac{a'}{2\pi}}$ ve $T_{s,M} = \frac{qr}{k}$ eşitlikleri kullanılarak bir mikro-temastaki maksimum sıcaklık artışı $T_{s,M}$ aşağıdaki gibi bulunur.

$$T_{s,M} = \frac{4}{3\pi} \frac{E^* \xi \mu V}{k_1} G^{D-1} (a')^{(1-D)/2} \quad (2.17)$$

(2.17) eşitliğindeki ısı geçiş oranı ξ , bir mikro-temastaki iki yüzeyin maksimum sıcaklıklarını eşitleyerek belirlenebilir. Böylece ısı geçiş oranı ξ aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\xi = \frac{k_1}{k_1+k_2} \quad (2.18)$$

2.5. Fraktal Alanda Maksimum Sıcaklık Artışı

İki metal arasında sürtünme sonucu oluşan sürtünme ısısı gerçek temas alanı üzerinden dağıtıldığından, bir fraktal alandaki maksimum sıcaklık artışı, $T_{s,max}$ bölgenin gerçek temas alanında elde edilir. (2.17) eşitliğine göre maksimum sıcaklık artışı en büyük mikro-temas, $a' = a'_L/2$ 'de oluşur. Çünkü a' , $1 < D < 2$ aralığında pozitifdir. $a = a'/2$ eşitliği ve mikro temasların genişletilmiş boyut dağılım fonksiyonu kullanılarak bir fraktal alanın gerçek temas alanı A_{rf} ile en büyük mikro temasın alanı a'_L arasındaki ilişki aşağıdaki gibi verilebilir.

$$A_{rf} = \frac{D}{4-2D} \Psi^{(2-D)/2} a'_L \quad (2.19)$$

(2.17), (2.18) ve (2.19) eşitlikleri kullanılarak bir fraktal alanın maksimum sıcaklık artışı $T_{s,max} = \theta_{max} T_c$ şeklinde bulunur. Burada θ_{max} fraktal alanın boyutsuz maksimum sıcaklık artışı olup aşağıdaki gibi verilir.

$$\theta_{max} = \frac{4}{3\sqrt{\pi}} \left[\frac{4-2D}{D} \Psi^{-(2-D)/2} \right]^{(2-D)/2} (G^*)^{(D-1)} (A^*_r)^{(2-D)/2} \quad (2.20)$$

Fraktal alanın görünen temas alanı $A_{af} = L^2$ alınırsa boyutsuz çok küçük temas alanı $A^*_r = A_{rf}/A_{af}$ olarak bulunacaktır. Burada $G^* = \frac{G}{\sqrt{A_{af}}}$ olarak tanımlanan normalize edilmiş fraktal pürüzlülük parametresi ve T_c ise aşağıdaki gibi tanımlanan karakteristik sıcaklık artışıdır.

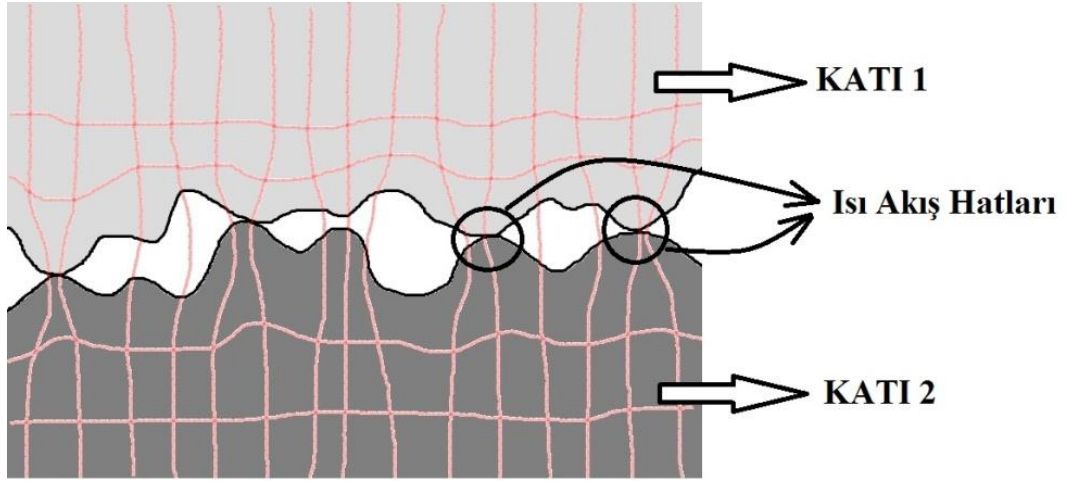
$$T_c = \frac{\mu E^* V \sqrt{A_{af}}}{\sqrt{\pi} (k_1+k_2)} \quad (2.21)$$

Karakteristik sıcaklık artışı, verilen bir malzeme çifti için temas sıcaklık artışını, sürtünme katsayısını ve ortalama basıncı eşdeğer elastisite modülüne ve gerçek temas alanı görünen temas alanına eşit kabul edilen fraktal ortamın kayma hızını temsil eder.

Bir fraktal alanın verilen malzeme özellikleri, sürtünme katsayısı, kayma hızı ve görünen temas alanı için $T_{s,max} = \theta_{max} T_c$, (2.20) ve (2.21) eşitlikleri $T_{s,max}$ 'ın T_c sabit iken, fraktal boyut D , normalize edilmiş fraktal pürüzlülük parametresi G^* ve çok küçük temas alanı A_r^* 'ye bağlı olduğunu gösterir. Fraktal parametreler D ve G yüzey geometrisi ölçümlerinden elde edildiğinde, Majumdar ve Bhushan tarafından geliştirilmiş olan fraktal temas modeli kullanılarak A_r^* normal yükün fonksiyonu olarak belirlenebilir.

2.6. Yüzeylerin Teması ve Isı Akış Hatları

Yüzey karakterizasyonu sürtünme, yağlama ve aşınma içeren uygulamalar için önemlidir. Genel olarak ortalama pürüzlülük ile bu sürtünmenin arttığı tespit edilmiştir. Bu nedenle pürüzlülük parametreleri otomobil fren balataları ve lastikler gibi sürtünmenin önemli ve gerekli olduğu uygulamalarda oldukça önemlidir. Yüzey pürüzlülüğünü inceleyen ilk araştırmacılar sürtünen yüzeylerin pürüzlülüğü ve aşınma oran arasında bir ilişki buldular. Bu tür korelasyonlar temas yüzeylerinin başarısızlık zamanını tahmin etmek için kullanıldı. Yüzey pürüzlülüğünde rol alan başka bir etken ise temas direncidir. Temas halindeki iki yüzey arasında ısı veya elektrik iletimi sadece belli kanallar yolu ile gerçekleşir (Şekil 5).



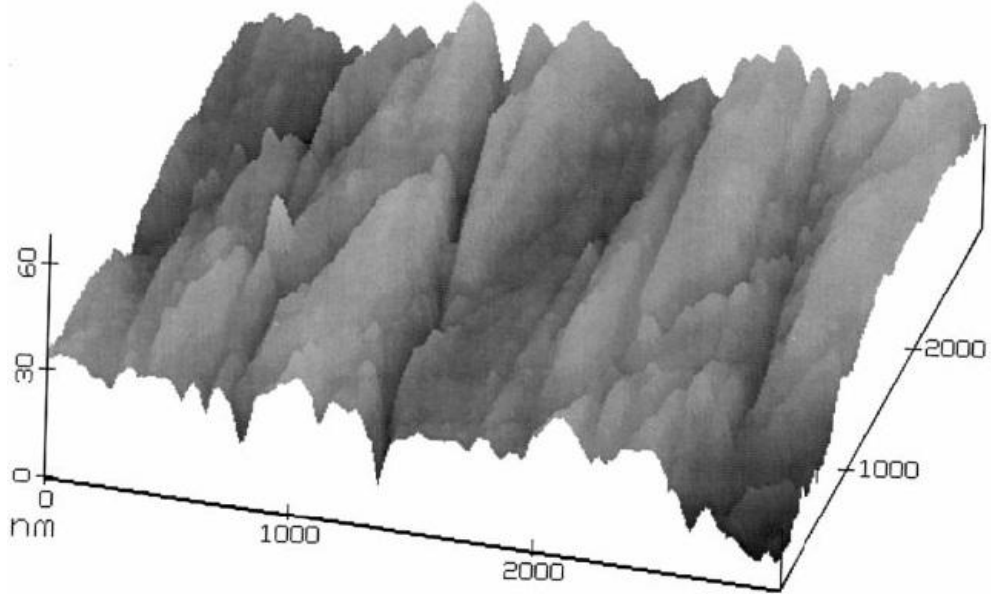
Şekil 5. Temas İle Akış Hatlarındaki Daralma Modeli

Örneğin Şekil 5’de gösterildiği gibi ısı iletimi olması durumunda ısı akış hatları temas noktalarında birbirlerine yaklaşır. Bu izotermal hatların bozulmasına neden olur. Termal temas direnci gibi elektronik cihazlar tarafından üretilen uydular ısını sadece iletim yolu ile uzaklaştırabilirler. Uzay ile ilgili uygulamalar için bu konu çok önemlidir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü boruların iç yüzeyinin pürüzlülüğü gibi akış rejimini değiştirmek için de kullanılır. Reynolds sayısı olarak akım parametrelerini etkiler. Pürüzlülük gemilerin performansını da akmaya karşı %80-90 mukavemet göstererek etkilemektedir. Yukarıda belirtilen örnekler yüzey pürüzlülüğünün önemini gösteren uygulamalardan bir kaçıdır.

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Doğadaki birçok obje geometrik şekil bakımından Euclid geometrisi ile karakterize edilememektedir. Bu tür objelerin modellenmesi için çok küçük boyutlar kullanmak gerekmektedir. Pürüzlü yüzeylerde bunlardan birisidir. Gerçek gerilme ve gerçek şekil değiştirme dağılımlarını elde edebilmek yüzey pürüzlülüğünü gerçekçi bir şekilde modellemeye bağlıdır. Şekil 6'da bir sabit disk'in atom mikroskobu ile elde edilmiş 9 cm^2 'lik yüzey fotoğrafı görülmektedir.

Sabit diskler tabakalı yapıların üst üste birleştirilmesi ile meydana gelir. Bu tabakalar üst katmandan alt katmana doğru sırası ile ince karbon kaplama, manyetik tabaka CoCrPt, kromca zengin CrV, NiP tabakası ve en altta AlMg tabakası bulunmaktadır. Yazma/okuma kafası ise $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ malzemesinden yapılmıştır.



Şekil 6. Bir Sabit Disk'in Atom Mikroskobu ile Elde Edilmiş Yüzey Fotoğrafi [21]

Bu çalışmada sabit disklerin mekanik ve termo-mekanik analizleri sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu tür bir çalışma A.Özer [22] tarafından yapılmış ve başlangıç niteliği taşıyan simülasyonların sonuçları maksimum girişim mesafesi için oluşan gerilme alanının sadece diskin karbon kaplama ve manyetik tabaka ile

sınırlı olduğunu doğrulamıştır. Bu nedenle bu çalışmada bu iki tabaka göz önüne alınarak iki boyutlu yarı sonsuz ortanın modellenmesi yapılmıştır.

3.1. Fraktal Geometri Kullanılarak Yüzeylerin Modellenmesi

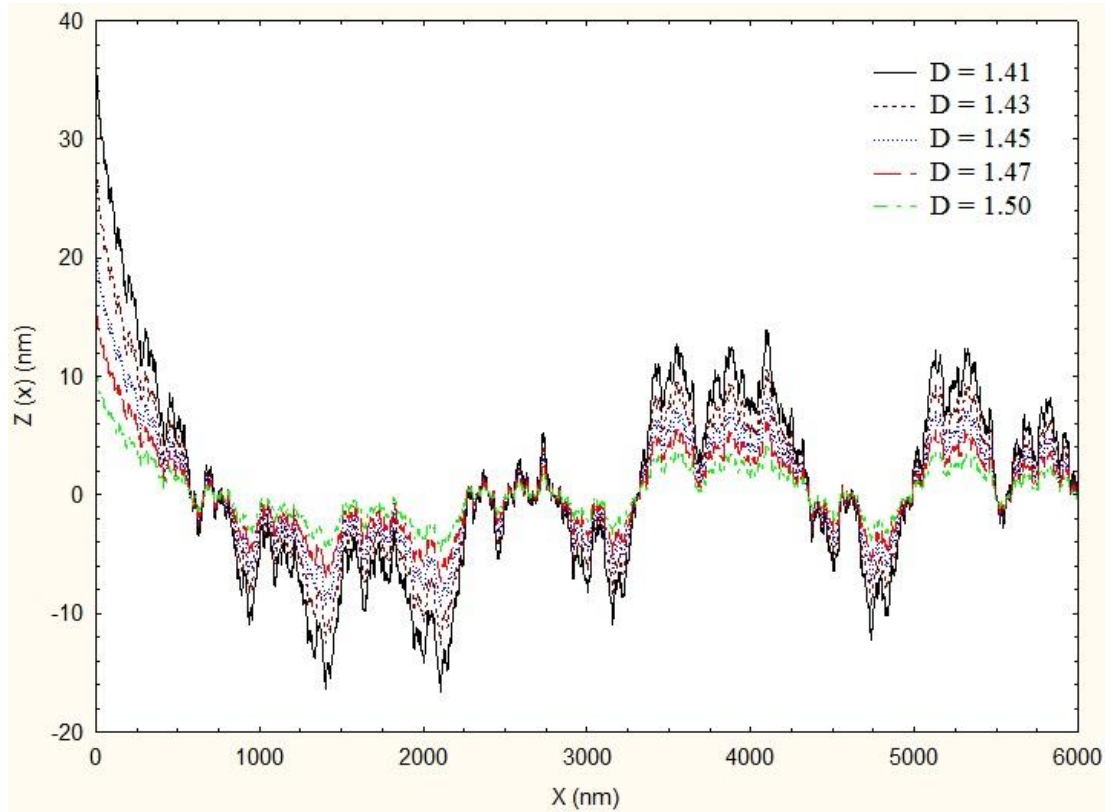
Yüzey karakterizasyonu için, yüzey topografisi parametrelerinin belirlenmesinde örnek uzunluğu ve ölçüm cihazının hassaslığı gibi olumsuz etkilerin üstesinden gelmesi sebebiyle, skaladan bağımsız parametreler kullanan fraktal geometriden yararlanmak avantajlı olmaktadır [22]. Fraktal davranış gösteren pürüzlü yüzeylerin iki boyutlu temas mekaniği analizlerinde kullanılan yüzey profili, Weierstrass-Mandelbrot (W-M) fonksiyonu $z(x)$ ile temsil edilir.

$$z(x) = L \left(\frac{G}{L}\right)^{D-1} \sum_{n=0}^{n_{max}} \frac{\cos\left(\frac{2\pi\gamma^n x}{L}\right)}{\gamma^{(2-D)n}} \quad (3.1)$$

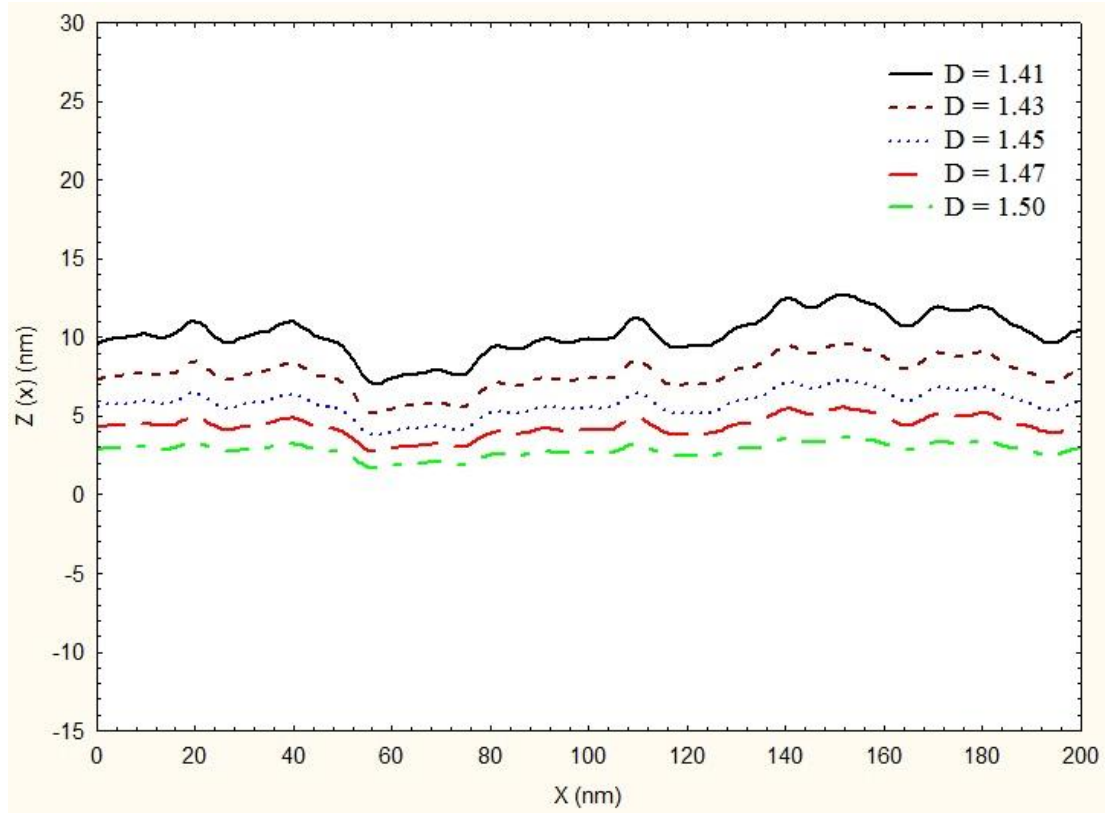
Burada L fraktal örnek uzunluğu, G fraktal pürüzlülük, D fraktal boyut ($1 < D < 2$), γ yüzey profilindeki frekansların yoğunluğunu kontrol eden bir parametre (tipik olarak $\gamma=1.5$ [23]), ve n ise $n_{max} = \text{int}[\log(L/L_s)/\log\gamma]$ ile verilen frekans indisidir. Buradaki L_s ise kesim uzunluğudur. Fraktal pürüzlülük G, frekanstan bağımsız olan bir yükseklik ölçü parametresidir. Fraktal boyut D'nin büyüklüğü $z(x)$ yüzey fonksiyonundaki yüksek ve düşük frekans bileşenlerinin katkılarını belirler. (3.1) eşitliğinde verilen fonksiyon, D ve G fraktal parametrelerinin deneysel olarak belirlendiği gerçek yüzeylere benzeyen yüzey topografilerinin simülasyonu için uygundur. Rijit pürüzlü yüzeyi oluşturmak için $G=9.46 \times 10^{-4}$ nm, $L=4379$ nm ile birlikte (3.1) eşitliği kullanılmış ve Şekil 7'de verilen 0-6000 arasında eğriler elde edilmiştir. Fakat bu altı bin noktadan oluşan yüzeye sık ağ yoğunluğu uygulayarak sonlu elemanlar modelini oluşturup çözüm yapmak bilgisayara aşırı yük, aşırı zaman kaybı ve ileri teknoloji bilgisayar sistemi gerektirdiği için analizler yapılırken bu aralığı yeniden sunabilen 3400-3600 nm'lik pürüzlü yüzey kullanıldı. Bu yüzeyleri elde etmek için fortran programlama dili kullanıldı. Programdan alınan çıktılar ANSYS-Multiphysics sonlu elemanlar programının parametrik dilindeki düğüm noktaları ve eleman tipi giriş komutuna uygun olarak girildi. Elde edilen $z(x)$ grafiğinin her bir çıktısı bir düğüm noktasının koordinatlarını karşılayacak şekilde

ayarlandı. Programın her bir çift düğüm bir eleman oluşturacak şekilde çıktı vermesi sağlandı. Düğüm noktası ve elemanların koordinatlarından oluşan dosyalar elde edildikten sonra bunlar daha önceden oluşturulan ANSYS'in girdi dosyasına eklendi ve sonra ANSYS programının batch simülasyon çevre biriminde Multiphysics modülünde çözüldü.

Şekil 7 ve 8'de görüldüğü gibi fraktal boyut ($1 < D < 2$) azaldıkça pürüzlülük artmaktadır. Yani, yüzeydeki tepe ve çukur noktaları birbirlerinden uzaklaşmaktadır. Fraktal boyut arttıkça tepe ve çukur noktalarının birbirlerine yaklaştıkları Şekil 8'de görülmektedir. Ancak iki boyutlu bir analiz için tamamen pürüzsüz bir yüzey elde etmek teknik açıdan imkânsız olduğu için gerçek hayatta fraktal boyut değerinin 2 değerine ulaşması beklenemez. ($D \neq 2$).



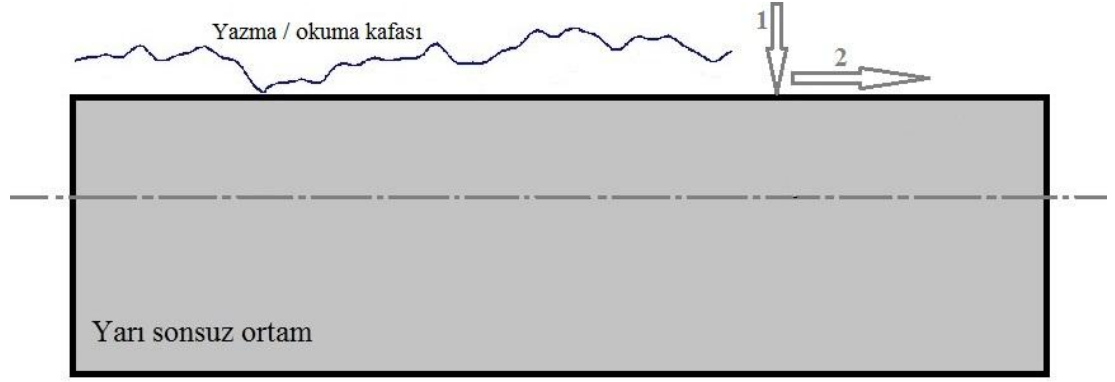
Şekil 7. Beş Farklı Fraktal Boyut için 0-6000 nm Arası Yüzey Pürüzlülüğü



Şekil 8. Beş Farklı Fraktal Boyut için 3400-3600 Arası Yüzey Pürüzlülüğü

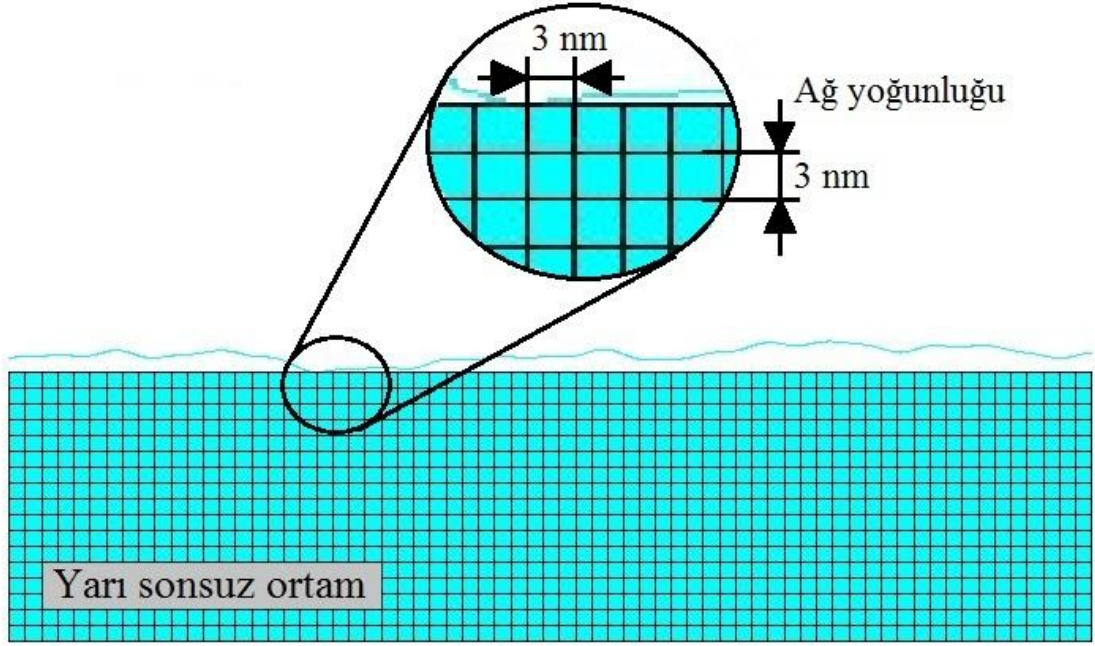
3.2. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Bu çalışmada rijit pürüzlü bir yüzey ile deforme olabilen pürüzsüz elastik-tam plastik yarı-sonsuz ortamın (YSO) temas analizi sonlu elemanlar yöntemi (SEY) ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 9). Bu amaçla rijit fraktal pürüzlü yüzeyin (baş) elastik-tam plastik, homojen, izotropik yarı-sonsuz ortam (disk) üzerinde kaydığı iki boyutlu SEY modeli geliştirilmiş ve Şekil 9'da verilmiştir. Oluşturulan iki boyutlu sonlu elemanlar modelinde iki-boyutlu, üç düğüm noktalı targe-169 hedef elemanları; iki boyutlu, iki düğüm noktalı yüzey-yüzey Conta-171 temas elemanları ve yine iki-boyutlu, dört düğüm noktalı, plane-13 ilişkilendirilmiş-alan elemanları kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modelindeki eleman sayıları, eleman genişliği 4 nm için 100 adet Targe-169, 50 adet Conta-171 ve 650 adet plane-13 olmak üzere toplamda 800 adet, eleman genişliği 3 nm için 100 adet Targe-169, 66 adet Conta-171 ve 1137 adet plane-13 olmak üzere toplamda 1303 adet, eleman genişliği 2 nm için ise 100 adet Targe-169, 100 adet Conta-171 ve 2500 adet plane-13 olmak üzere toplamda 2700 adet eleman şeklindedir.



Şekil 9. YSO'nun ve Kafa/Disk Modelinin Şematik Gösterimi

Targe-169 mekanik ve termo-mekanik temas analizlerinde hedef yüzeyleri modellemek için kullanılırken, Conta-171 ise yine mekanik ve termo-mekanik temas analizleri için deforme olabilen yüzeyleri modellemek için kullanılır. Şekil 10'da yarı-sonsuz ortamda oluşturulan ağ yoğunluğu verilmektedir. Analizler, önce fraktal geometriyle modellenmiş rijit pürüzlü yüzeyin yarı-sonsuz ortam üzerine belli bir girişim mesafesine kadar bastırılması ve sonra bu girişim mesafesi değişmeden yarı-sonsuz ortam üzerinde +x yönünde 50 nm kaydırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Çözümler için çok amaçlı ANSYS Multyphysics sonlu elemanlar paket programı kullanıldı. Analizlerde yakınsamayı sağlamak amacıyla simetrik olmayan matrislerle birlikte tam Newton-Rapson iteratif yöntemi kullanıldı. Ayrıca Newton-Rapson çözümünü iyileştirmek amacıyla line-search özelliği kullanıldı.



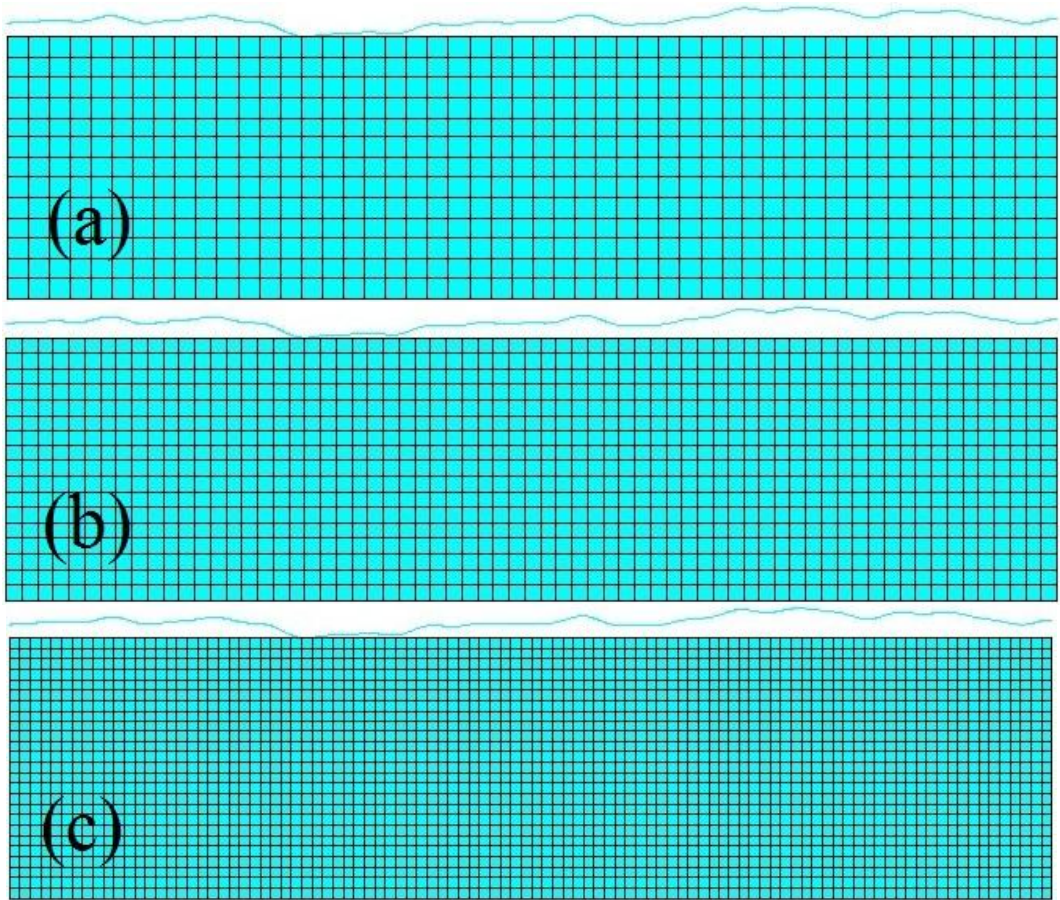
Şekil 10. Kenar Uzunluğu 3 nm’lik Kare Elemanlardan Oluşan YSO’nun Sonlu Elemanlar Modeli ve Ağın Detaylı Gösterimi

3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İki boyutlu Temas Analizinin Yapılması

Birbirleri üzerinde hareket eden iki katı temas ettiklerinde temas bölgelerinde normal gerilme, kayma gerilmesi, sürtünmeden kaynaklanan ısınma ve deformasyon gibi belli başlı etkiler meydana gelir. Bu tür bir problem çözmek istendiği zaman üç boyutlu olan problem Şekil 11’de görüldüğü gibi pürüzlü bir yüzeyin yarı-sonsuz ortam ile temas halinde olduğu iki boyutlu düzlem şekil değiştirme haline dönüştürülebilir. Bu çalışmada fraktal geometri ile modellenmiş pürüzlü bir yüzey ile boyutları 200 nm ye 50 nm olan yarı-sonsuz ortamın temas analizinin iki boyutlu modeli Şekil 10’da verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan ve yarı-sonsuz olarak tasarlanan parçanın elastik-tam plastik malzeme olarak davrandığı varsayıldı. Yarı-sonsuz ortamın mekanik özellikleri manyetik depolama aygıtının mekanik özelliklerine sahiptir (Tablo 1). Bu depolama aygıtının elastisite modülü $E=92$ GPa, Akma gerilmesi $\sigma_y=7$ GPa ve poisson oranı $\nu=0.3$ dür.

Bu çalışmada manyetik depolama aygıtlarındaki manyetik kafa ve diskin birbirleri ile teması sonucu oluşan deformasyon, gerilmeler ve ısınmaların nedenleri analiz edildi. Dört farklı fraktal boyut (1.41, 1.43, 1.45, 1.47) ve dört farklı girişim mesafesi (1.5,

1.6, 1.7, 1.8 nm) girilerek sıcaklık ve gerilmelere etkileri eş zamanlı olarak incelendi. Bu çalışmada, öncelikle girişim ve kayma hızı sabit tutularak fraktal boyuttaki değişimin yarı-sonsuz ortamdaki sıcaklık artışı ve deformasyon davranışı incelenmiştir. Daha sonra ise fraktal boyut sabit iken girişim mesafesi değiştirilerek sıcaklık ve gerilmelerdeki değişimler incelendi. En son safhada ise sabit fraktal boyut ve girişim mesafesi için değişik kayma hızlarının yarı-sonsuz ortamın deformasyon davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir.



Şekil 11. Kenar Uzunlukları Sırası İle (a) 4, (b) 3 ve (c) 2 nm'lik Kare Eleman Olarak Tanımlanmış Ağ Yoğunluklarına Sahip Sonlu Elemanlar Modeli

Bu çalışmada optimum ağ yoğunluğunu elde etmek amacıyla 4, 3, 2 nm kenar uzunluğuna sahip elemanlar ayrı ayrı modellerde kullanılmak suretiyle ağ optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda 3 nm kenar uzunluğuna sahip ağ yoğunluğunun hem sonuç olarak hem de hesaplama açısından daha uygun

olduğu görülmüştür. Bu nedenle bundan sonraki analizlerde yarı-sonsuz ortam kenar uzunluğu 3 nm olan kare profilli elemanlara bölünmek suretiyle kullanılmıştır.

Temas algoritması olarak Penalty Fonksiyonu metodu kullanıldı. Yarı-sonsuz ortamın şekil değiştirme davranışı için Ansys'deki malzeme modellerinden BISO (Bilinear Isotropic Hardening) kullanıldı. Kullanılan bu malzeme modeli izotropik deformasyon sertleşmesi ile birlikte von-Mises akma kriterini kullanır. Elastik tam plastik malzeme modelini varsaymak amacı ile tanjant modülü sıfır yerine son derece küçük bir değer alındı. Normal temas simülasyonları, rijit przly yzeyeye yarı-sonsuz ortama doru bir kısım yer değiştirme hareketleri verilmek sureti ile ve sonlu elemanlar paket programı Multyphysics kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 1. Termomekanik Analizlerde Kullanılan Yarı-sonsuz Ortamın Malzeme zellikleri [24]

MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİK	DEĞERİ
Elastisite Modülü, E	92 GPa
Akma Gerilmesi, σ_y	7 GPa
Poisson Oranı, ν	0.3
Termal Genleřme Katsayısı, α	$3.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Özgül Isı, c	0.5 J/gK
Isı İletim Katsayısı, k	5.2 W/mK
Yođunluk, ρ	2150 kg/m ³

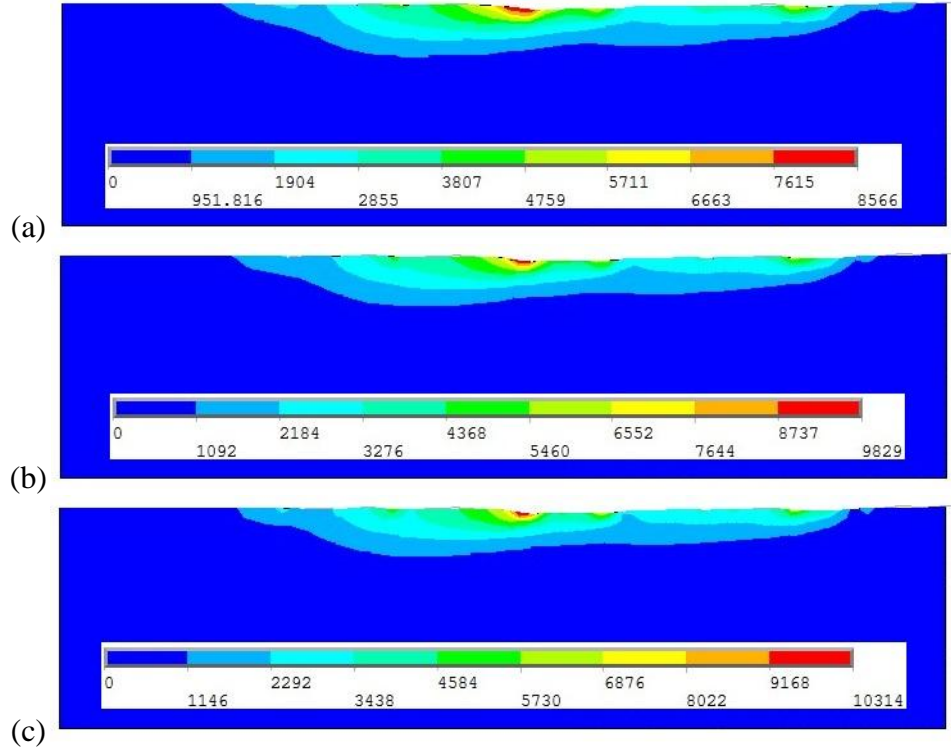
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada pürüzlü bir yüzeyin elastik-tam plastik yarı-sonsuz bir ortama belirli girişim mesafesinde bastırılarak, bu mesafe korunarak +x yönünde 50 nm kaydırılması ile birlikte yarı-sonsuz ortamda oluşan basınç, gerilme ve sıcaklık değerleri elde edildi. Ağ yoğunluğu, girişim, fraktal boyut ve kayma hızı değişiminin yarı-sonsuz ortamın deformasyon davranışı üzerindeki etkileri incelendi. Dört farklı girişim mesafesi (1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm), dört farklı fraktal boyut (1.41, 1.43, 1.45, 1.47) ve yedi farklı kayma hızı (1, 1.25, 1.67, 2.5, 5, 10, 20 nm/s) için yarı-sonsuz ortamdaki deformasyon davranışları incelenmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

4.1. Ağ Yoğunluğu Optimizasyonu

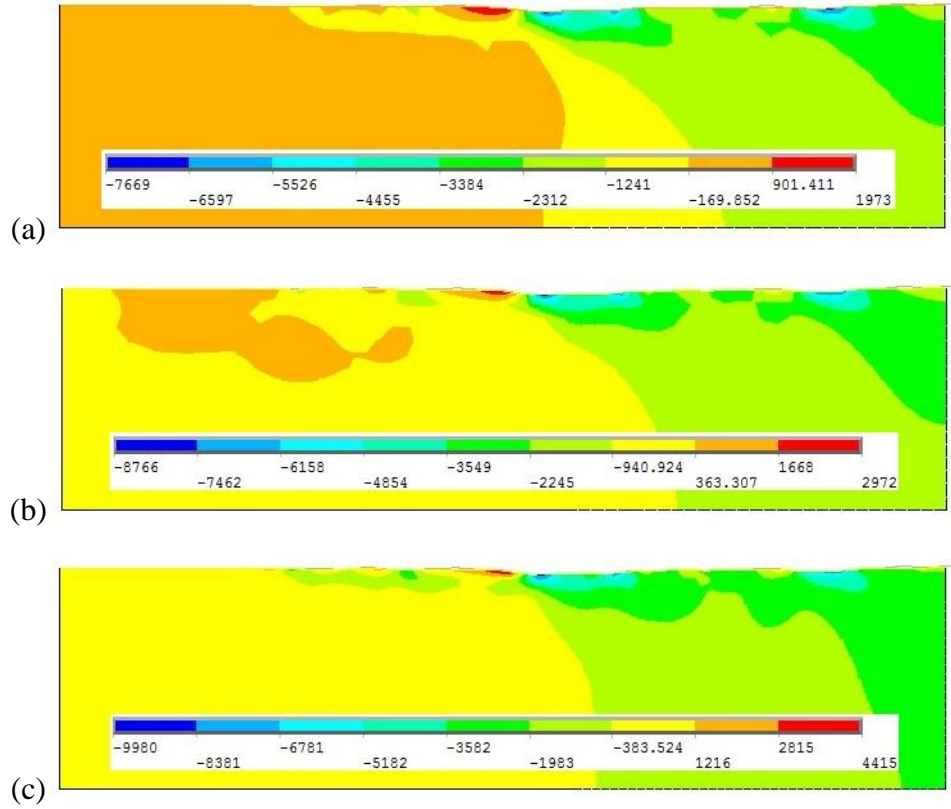
Analizlerde kullanılacak optimum ağ yoğunluğunu belirlemek amacıyla üç farklı eleman kenar uzunluğu için analizler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 12'den 14'e kadar fraktal boyut 1.5, girişim mesafesi ise 1.5 nm olarak sabit alınmış, buna karşılık ağ yoğunluğu değiştirilmiştir. Buna göre, kenar uzunlukları sırasıyla 4, 3, 2 nm ve kare şeklinde olan elemanlar kullanılarak ağlar elde edilmiş ve bu ağlarla birlikte analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda sıcaklık artışı, normal gerilme ve von-Mises eşdeğer gerilme değerleri elde edilmiş ve bu değerler üzerinden ağ yoğunluğu değişiminin sonuçlara etkisi ve bunun sonucunda da hangi ağ yoğunluğunun kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Öncelikle yarı-sonsuz ortamın içindeki elemanlar kenar uzunluğu 4 nm'lik karelere bölünerek 800 adet eleman elde edildi. Daha sonra ise yarı-sonsuz ortamın içindeki elemanlar 3 nm'lik karelere bölünerek 1303 adet, yarı-sonsuz ortamın içindeki elemanlar 2 nm'lik karelere bölünerek 2700 adet eleman elde edildi.



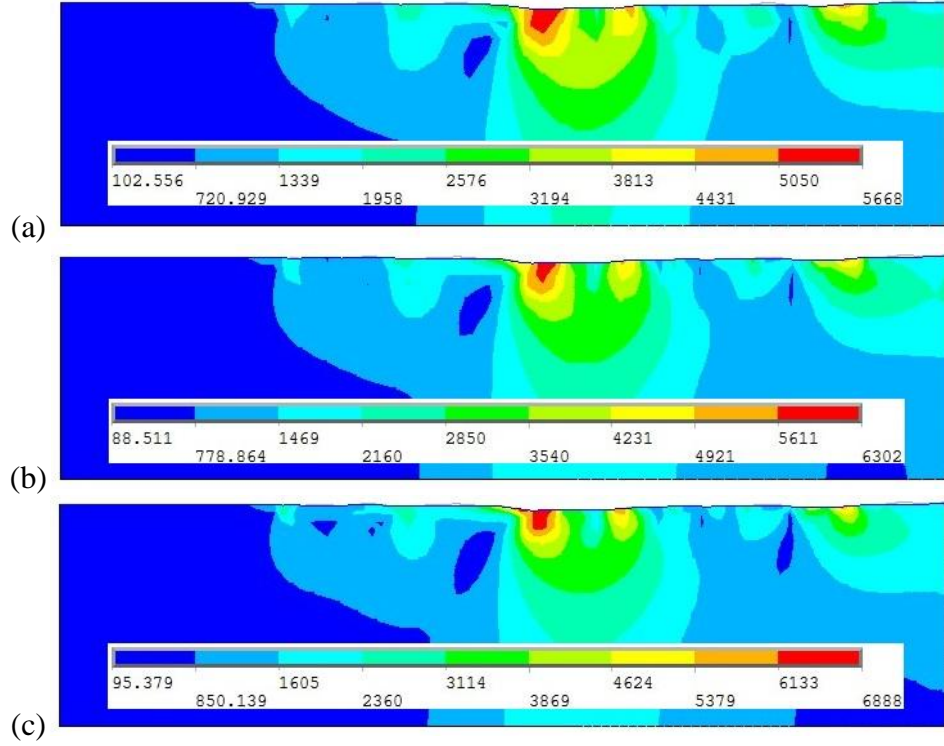
Şekil 12. Fraktal Boyut 1.5, Girişim 1.5 nm ve Kenar Uzunlukları (a) 4 nm, (b) 3 nm, (c) 2 nm Alındığında YSO'daki Sıcaklık (°C) Dağılımı

Şekil 12'de girişim mesafesi 1.5 nm, fraktal boyut 1.5 ve kayma hızı 5 nm/s iken farklı ağ yoğunluklarının (4, 3, 2 nm) sıcaklığa etkileri gösterilmektedir. Şekil 12-(a)'da kenar uzunluğu 4 nm olarak alındığında elde edilen yarı-sonsuz ortamda oluşan maksimum sıcaklık değeri, kenar uzunluğu 3 nm olduğunda Şekil 12-(b) %14.7 artmıştır. Kenar uzunluğu 2 nm olduğunda Şekil 12-(c) ise bir önceki ağ yoğunluğuna göre %5 arttığı görülmüştür. Ağ yoğunluğunun sıklaştırılması yarı-sonsuz ortamda bulunan plane-13 elemanlarının daha küçük parçalardan oluşması ve doğal olarak da hassasiyetin artması anlamına gelir. Buradaki %14.7'lik ve %5'lik artışın nedeni ağ yoğunluğunun arttırılması ile hassasiyetin artmasıdır. Ağ yoğunluğu sıklaştıkça elde edilen maksimum sıcaklık değeri de artmıştır. Ağ yoğunluğunun 2 nm ile 3 nm olması durumlarında görülen %5'lik fark sisteme gelen aşırı yük, zaman kaybı ve aşırı işlem yükünden kaynaklanacak hatalar göz önüne alındığında ihmal edilebilecek seviyededir. Bu sebepten dolayı analizler yapılırken ağ yoğunluğu 3 nm olarak alındı.



Şekil 13. Fraktal Boyut 1.5, Girişim 1.5 nm ve Kenar Uzunlukları (a) 4 nm, (b) 3 nm, (c) 2 nm Alındığında YSO'daki Normal Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 13'de girişim mesafesi 1.5 nm, fraktal boyut 1.5 ve kayma hızı 5 nm/s iken farklı ağ yoğunlukları kullanılarak (4, 3, 2 nm) gerilmeye etkileri gösterilmektedir. Kenar uzunluğu 4 nm'lik kare elemanlardan oluşan ağ yoğunluğu kullanılarak elde edilen maksimum çeki gerilmesi, ağ yoğunluğu sıklaştırıldıkça artmıştır. Aynı sebepten dolayı maksimum bası gerilmesinde de artış görülmüştür. Kenar uzunluğu 4 nm olarak alındığında yarı-sonsuz ortam'da meydana gelen maksimum bası gerilmesi, kenar uzunlukları 3 nm ve 2 nm olarak alınırsa sırası ile %50 ve %48 arttığı görülmüştür. Aynı şekilde maksimum çeki gerilmesi de %14.3 ve %13.8 artmıştır. Buradaki artışın sebebi yine hassasiyetin artmasıdır.



Şekil 14. Fraktal Boyut 1.5, Girişim 1.5 nm ve Kenar Uzunlukları (a) 4 nm, (b) 3 nm, (c) 2 nm Alındığında YSO'daki Eş Değer Gerilme (MPa) Dağılımı

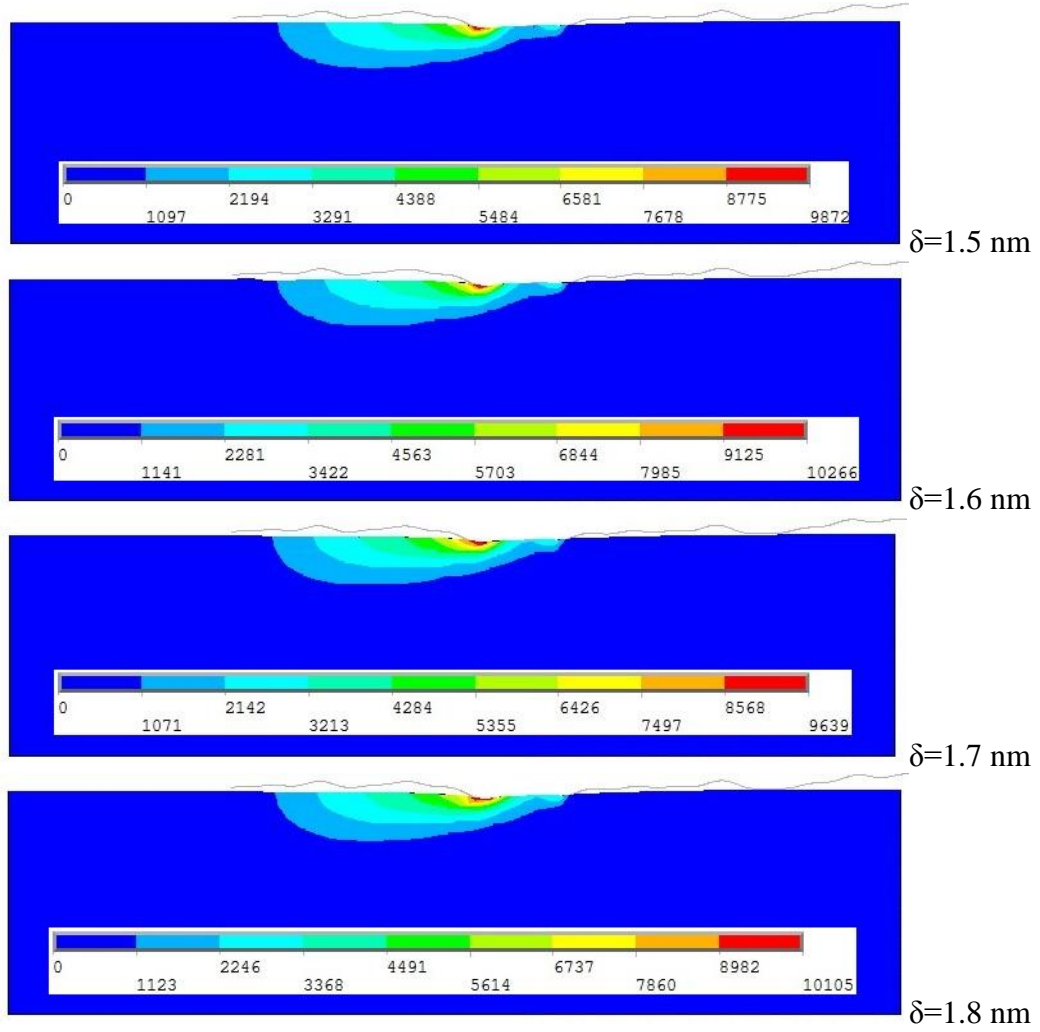
Şekil 14'de girişim mesafesi 1.5 nm, fraktal boyut 1.5 ve kayma hızı 5 nm/s iken farklı ağ yoğunlukları kullanılarak (4, 3, 2 nm) von-Mises eşdeğer gerilmesine etkileri gösterilmektedir. Kenar uzunluğu 4 nm'lik kare elemanlardan oluşan ağ yoğunluğu seçildiğinde yarı-sonsuz ortam'da meydana gelen maksimum von-Mises eşdeğer gerilmesi ağ yoğunluğu sıklaştırıldıkça artmıştır. Kenar uzunluğu 4 nm'lik kare elemanlara bölünerek yarı-sonsuz ortam'da elde edilen maksimum von-Mises eşdeğer gerilmesi ile kenar uzunluğu 3 nm olduğunda %11.2 artmıştır. Kenar uzunluğunun 2 nm olması durumunda ise bir önceki ağ yoğunluğuna göre %9.3 artmıştır. Kenar uzunluklarının ölçüsünü düşürerek yani ağ yoğunluğunu sıklaştırarak eleman sayısının artırılması işlemin yapıldığı sisteminde daha özellikli olmasını gerektirmektedir. Analizlerin yapıldığı bilgisayar sisteminin yüksek özelliklere sahip olması çözümleri daha kolay ve doğru yapmasında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca bu analizlerde görülmüştür ki; kenar uzunlukları 2 ve 3 nm'lik kare elemanlardan oluşan ağ yoğunlukları seçildiğinde bu iki değer arasında sonucun çok fazla değişmemiş ve birbirlerine yakın değerler elde edilmiştir. Bu çalışmada yapılan analizlerde elimizde yüksek teknolojiye sahip bilgisayar sisteminin

bulunmaması, aşırı zaman israfının önüne geçilmesi ve analizlerin hatasız çözümlenmesi için ağ yoğunluğu 3 nm'lik kenar uzunluklarına sahip kare elemanlar olarak almak alınmıştır.

4.2. Girişim ve Fraktal Boyut Değişiminin YSO'daki Sıcaklık Artışı, Gerilmeler ve Temas Ara Yüzeyinde Oluşan Basınç Artışı Üzerindeki Etkileri

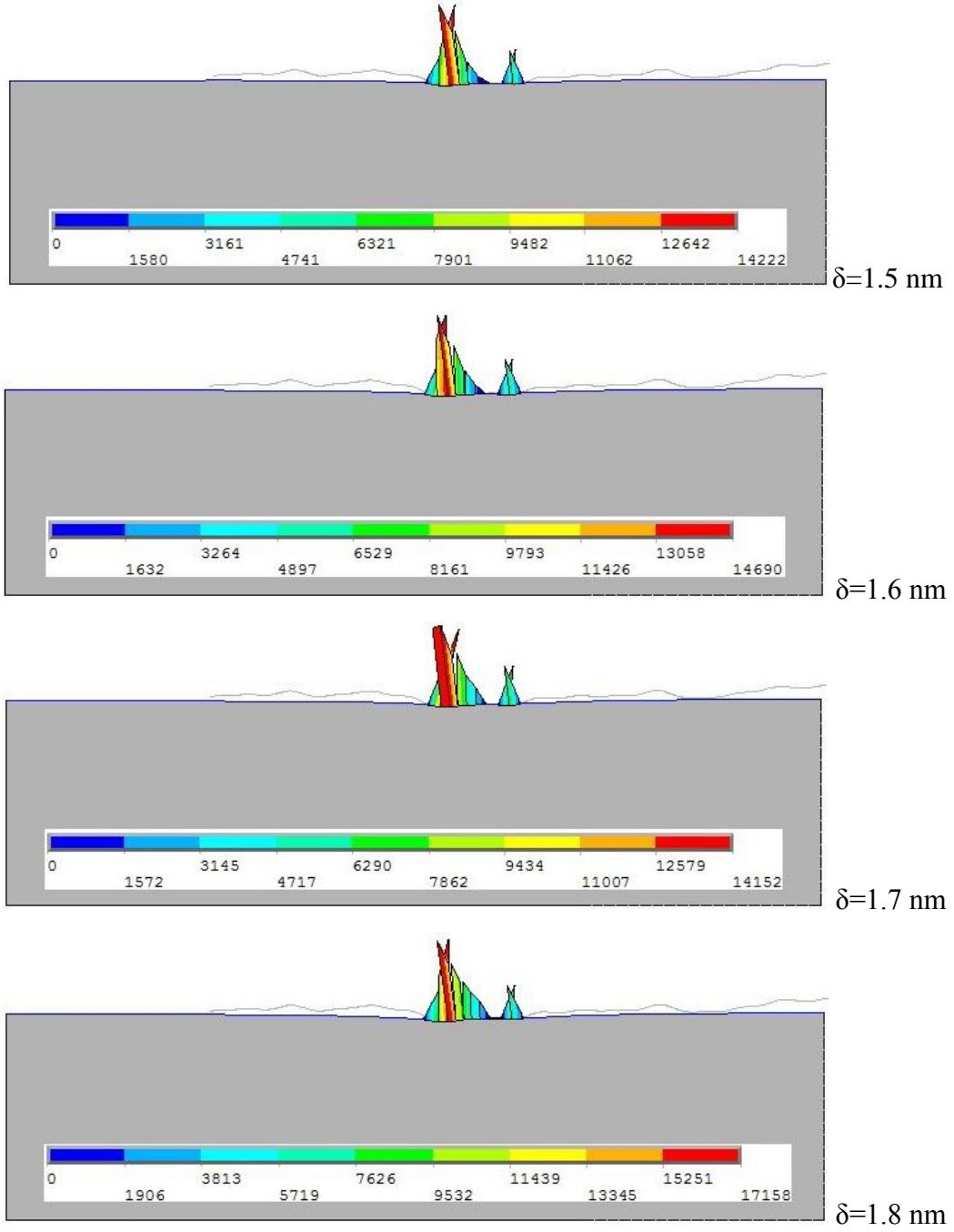
Bu kısımda, fraktal boyut sabit tutularak girişim mesafesi 1.5 nm'den başlayarak 1.6, 1.7 ve 1.8 nm değerine kadar çıkarılmış ve bu değişimin sıcaklık, gerilmeler ve basınç üzerindeki etkileri incelenmiştir. Daha sonra girişim mesafesi sabit tutularak fraktal boyut 1.41'den başlayarak 1.43, 1.45 ve 1.47 değerine kadar çıkartılmış ve yine bu değişimlerin sıcaklık, gerilmeler ve basınç üzerindeki etkileri incelenmiştir. Burada yapılan analizlerde ağ yoğunluğu olarak 3 nm'lik kare elemanlar kullanılmış ve hız sabit tutularak 5 nm/s olarak alınmıştır. Şekil 15 ile 32 arasında analizler sonucunda elde edilen sıcaklık artış değerleri temas ara yüzeyinde oluşan basınç dağılımlarının değişimi ve yine temas ara yüzeyinde oluşan sıcaklık artış değişimi verilmektedir.

Sıcaklık artış şekillerindeki mavi renk minimum sıcaklığı temsil ederken, kırmızı renk maksimum sıcaklığı temsil etmektedir. Kırmızı ve mavi arasındaki tüm renkler ara değerlerdeki sıcaklıklara karşılık gelmektedir. Normal gerilme şekillerinde bulunan mavi renk maksimum bası gerilmesini, kırmızı renk ise maksimum çeki gerilmesini ifade etmektedir. Ara renkler ara değerleri karşılarken gerilmenin hiç görülmediği sıfır değeri sarı rengin içinde yer almaktadır. Von-Mises eşdeğer gerilmesinde ise sıcaklık şekillerine benzer bir renk kullanımı görülmektedir. Mavi renk minimum eşdeğer gerilmeyi, kırmızı renk ise maksimum eşdeğer gerilmeyi temsil eder. Ara renkler ise ara değerlerdeki gerilmelere karşılık gelmektedir.



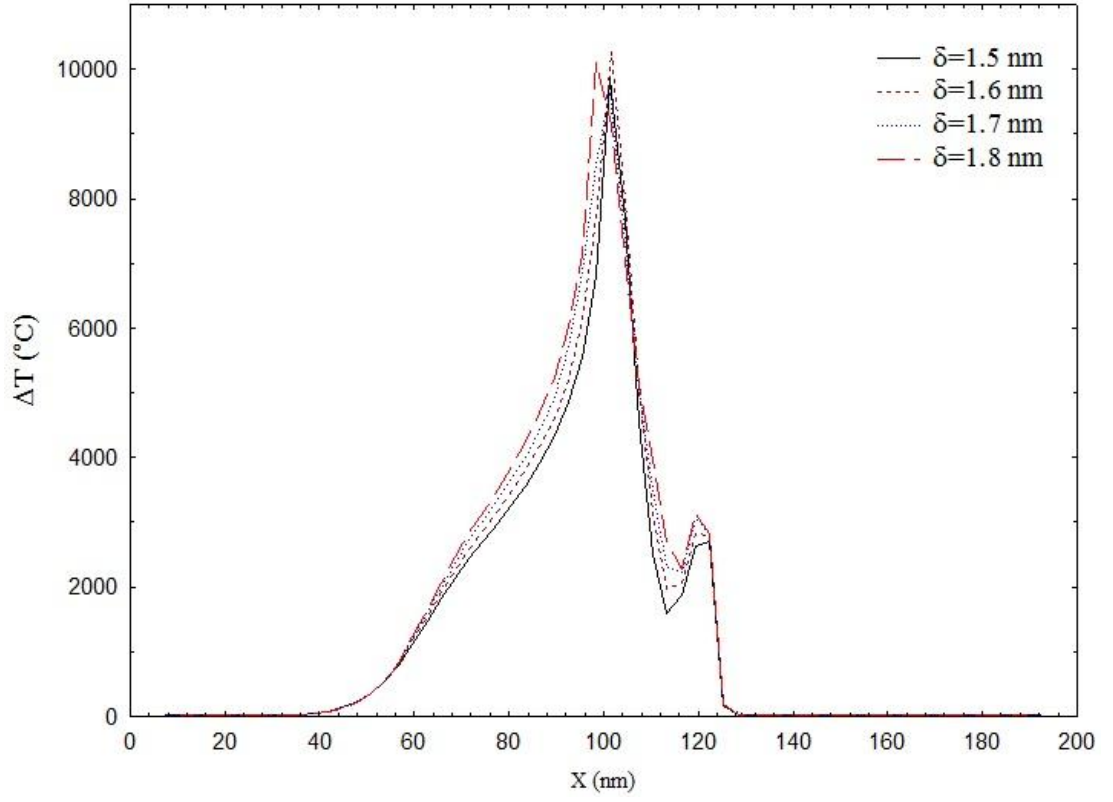
Şekil 15. Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO’da Meydana Gelen Sıcaklık ($^{\circ}$ C) Artış Dağılımı

Şekil 15’de fraktal boyut 1.41 ve kayma hızı 5 nm/s iken girişim mesafelerinin 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm olduğu durumlardaki sıcaklık değişimlerini göstermektedir. Girişim mesafesi 1.5 nm olduğundaki maksimum sıcaklık değeri girişim mesafesi 1.6 nm’ye çıkarılınca %3.6 artmıştır. Şekil 16’dan da görüldüğü gibi girişimin arttırılması ile temas basıncı artmış ancak temas alanı çok fazla artmamıştır. Bu durum temas ara yüzündeki sıcaklığın artmasına sebep olmuştur. Girişim mesafesi 1.7 nm’ye çıkarılınca temas eden pürüzlerin ve temas alanının bir önceki girişim mesafesine göre biraz daha artması buna karşılık artan temas alanıyla birlikte basıncın azalması nedeniyle sıcaklık %5.7 düşmüştür.

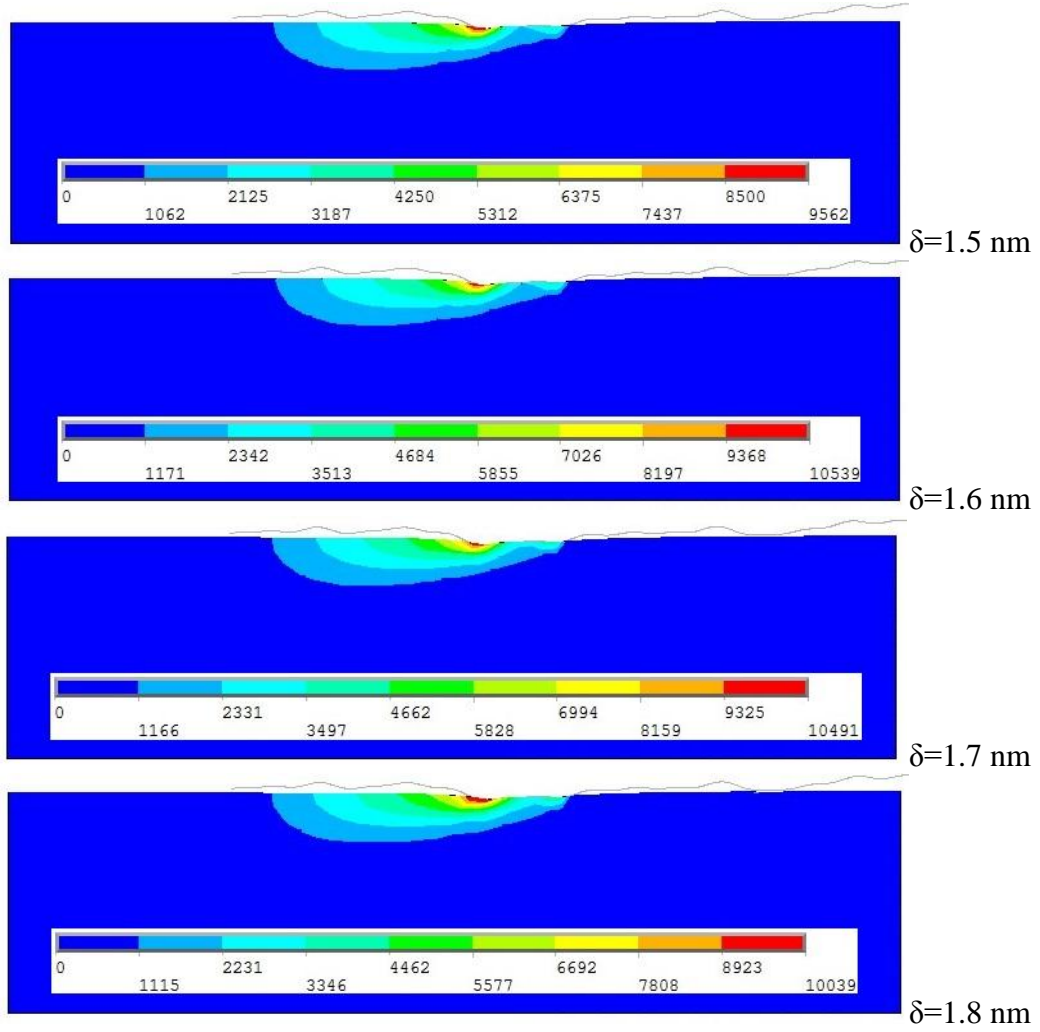


Şekil 16. Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Basınç (MPa) Dağılımı

Girişim mesafesi 1.8 nm'ye çıkarılınca bu sefer bir önceki girişim mesafesi 1.7'ye göre basınç artmış ve böylece sıcaklıkta buna bağlı olarak %4.8 artmıştır. Şekil 16'da Fraktal boyut 1.41 ve kayma hızı 5 nm/s için farklı girişim mesafeleri (1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm) altında temas ara yüzeyinde elde edilen sıcaklık artışı verilmektedir.

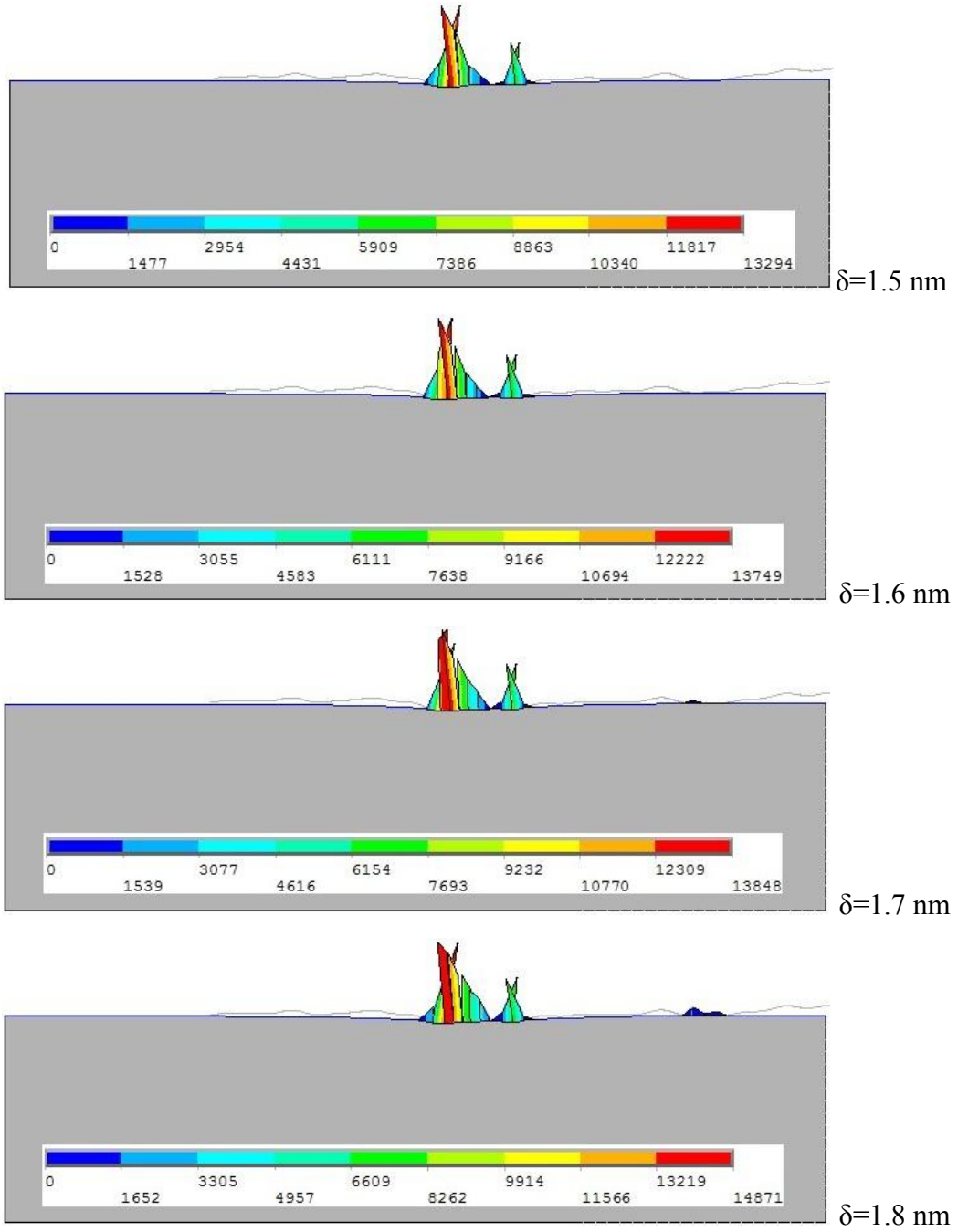


Şekil 17. Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) Artış Dağılımı



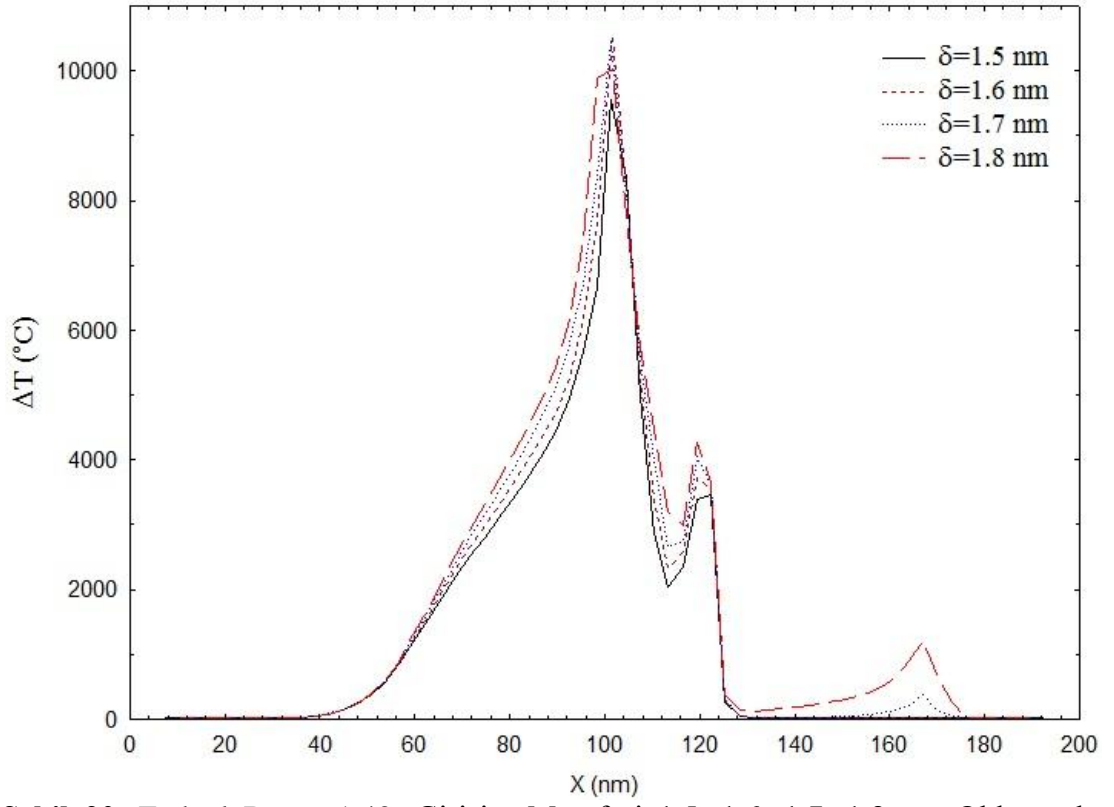
Şekil 18. Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) Artış Dağılımı

Şekil 18'de fraktal boyut 1.43 ve kayma hızı 5 nm/s iken girişim mesafelerinin 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm olduğu durumlardaki sıcaklık değişimlerini göstermektedir. Girişim mesafesi 1.5 nm iken elde edilen maksimum sıcaklık değerinin girişim mesafesi 1.6 nm olduğu zaman daha önceki girişim mesafesine göre %10 arttığı görülmüştür. Girişim mesafesi 1.7 nm'ye çıkartıldığında ise sıcaklık bir önceki girişim mesafesi 1.6 ya göre %0.5 düşmüştür. Bunun sebebi Şekil 19'dan da görüldüğü gibi temas basıncı artmasına rağmen fraktal boyutun $D=1.43$ 'e çıkmasıyla elde edilen pürüzlülük azaldığı için, yani pürüz şekilleri daha da yuvarlanması nedeniyle temas alanı da artmıştır. Temas alanının artması sıcaklığın yarı-sonsuz ortam içersine yayılmasını kolaylaştırmış ve bu da düşmesine sebep olmuştur.

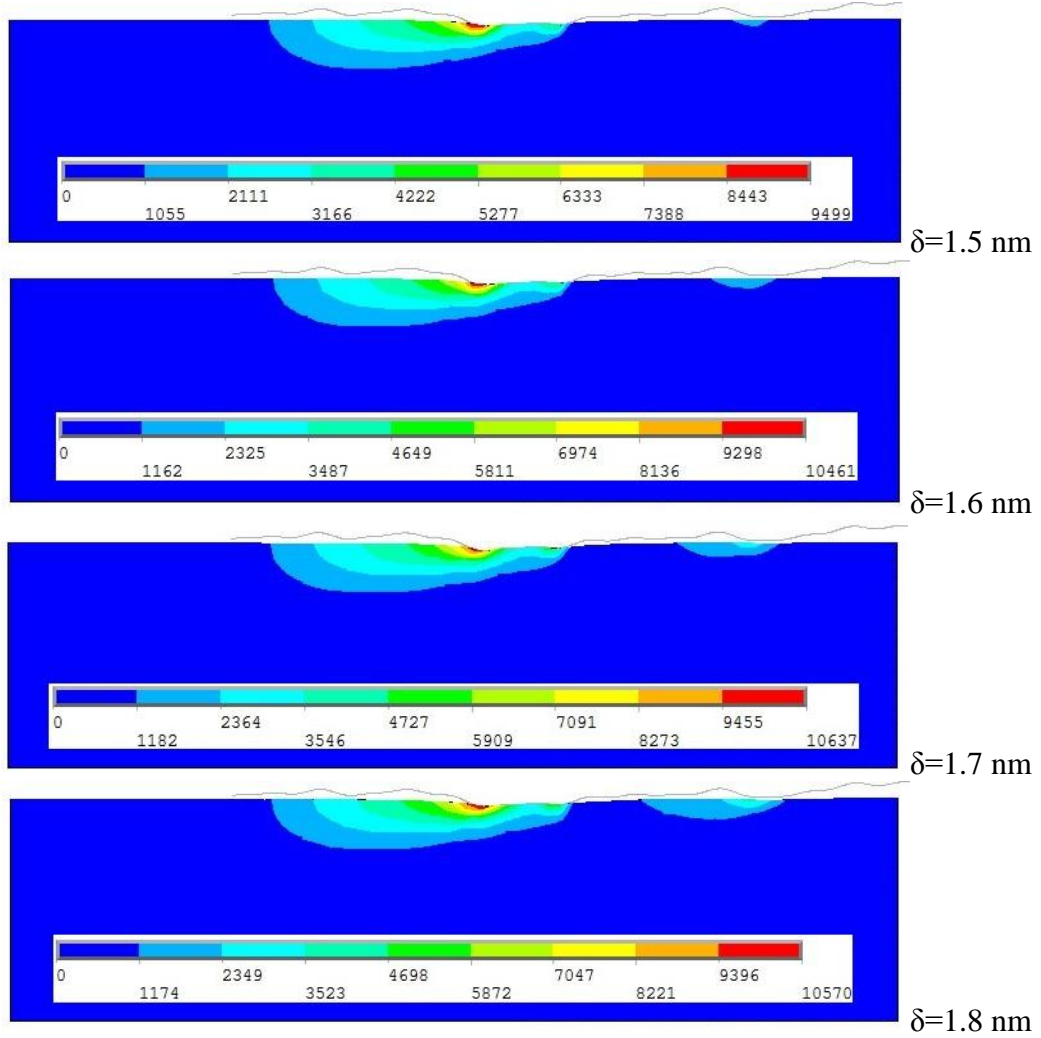


Şekil 19. Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Basınç (MPa) Dağılımı

Girişim mesafesi 1.8 nm'ye çıkarıldığında, yine bu sebepten dolayı 1.7 nm'ye göre sıcaklık %4.3 düşmüştür. Ayrıca Şekil 20'den de görüldüğü gibi girişim arttırıldıkça yeni pürüz temasları ve yeni sıcaklık artış alanları oluşmaktadır.

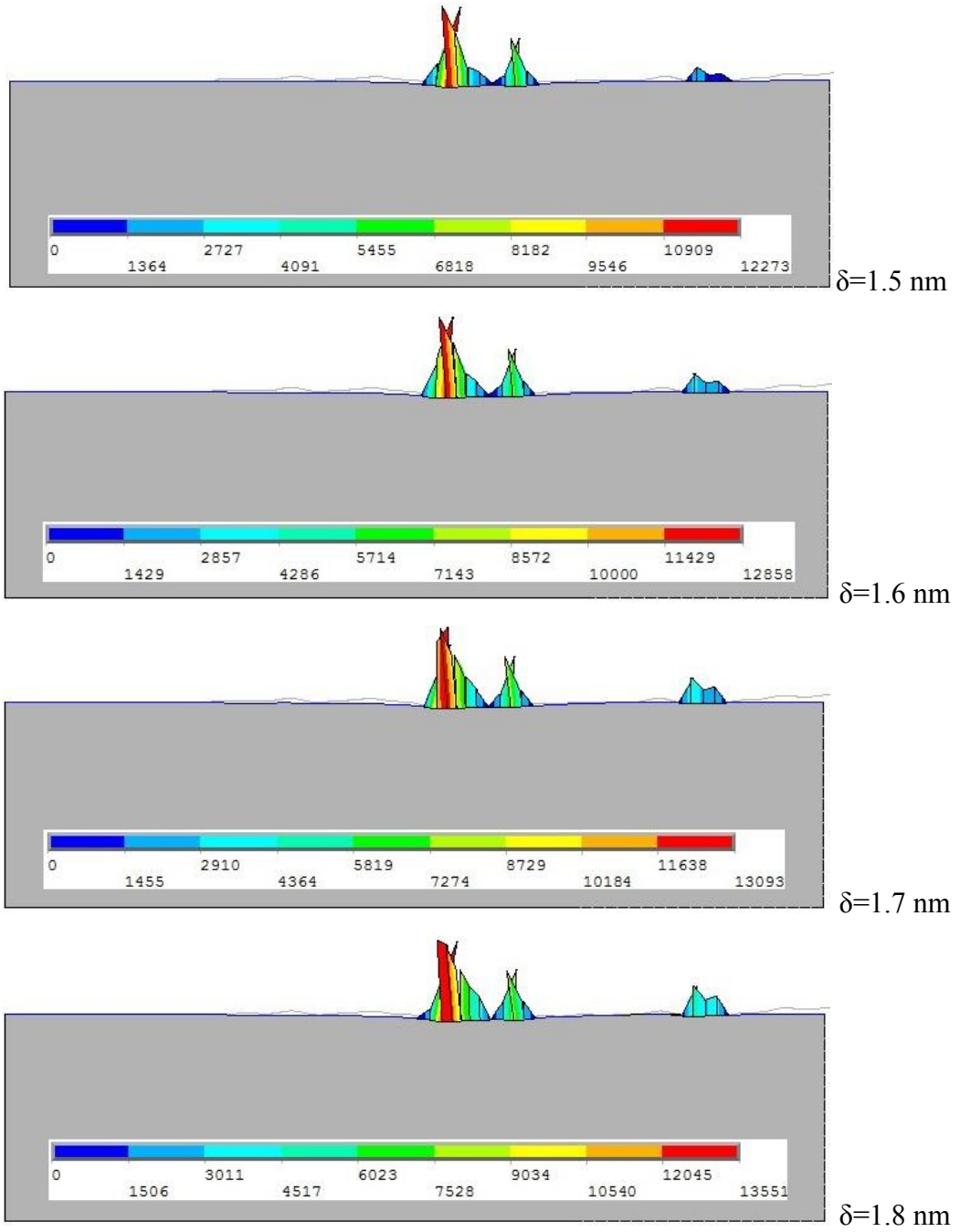


Şekil 20. Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) Artış Dağılımı

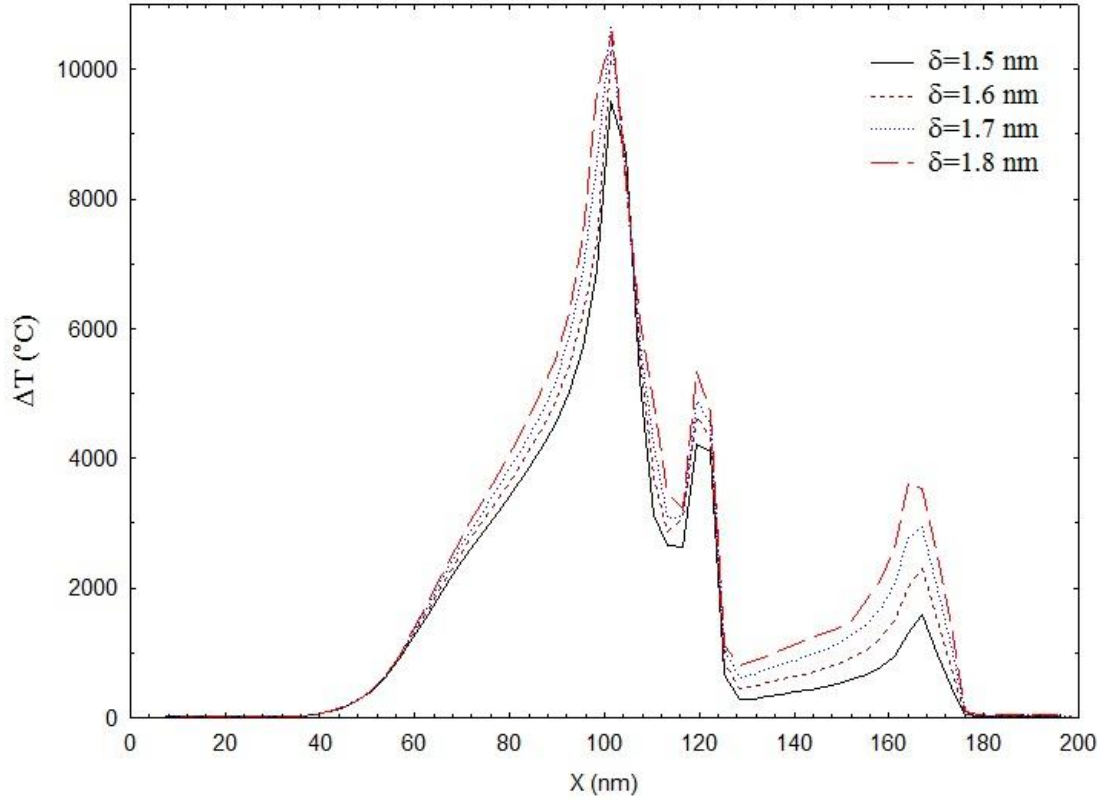


Şekil 21. Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Sıcaklık ($^{\circ}$ C) Artış Dağılımı

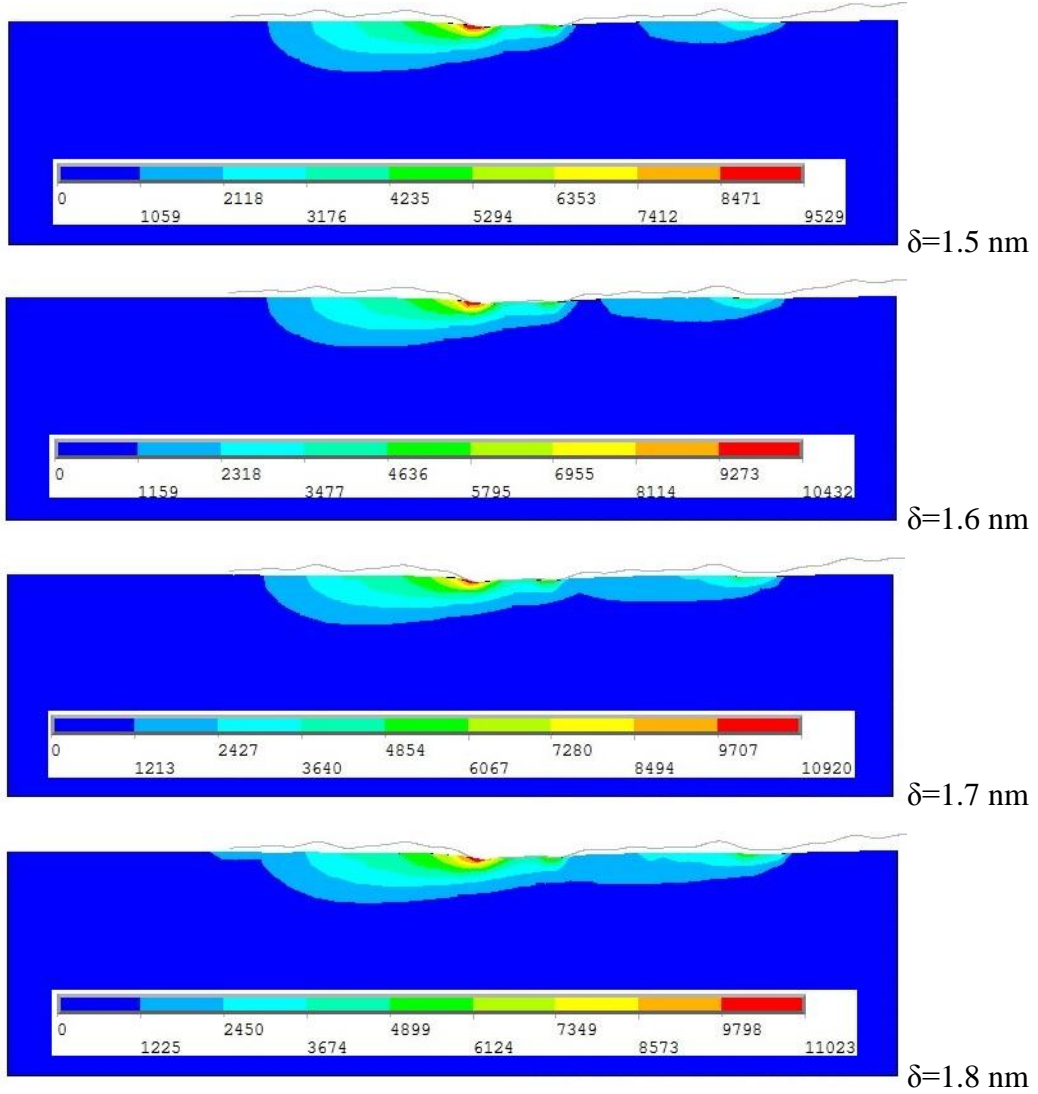
Şekil 21'de fraktal boyut 1.45 ve kayma hızı 5 nm/s iken girişim mesafesinin 1.5, 1.6, 1.7 ve 1.8 nm olduğu durumlardaki sıcaklık değişimlerini verilmiştir. Fraktal boyutun 1.45 ve girişimin 1.5 nm olduğu durumda elde edilen maksimum sıcaklık değeri, girişim mesafesi 1.6 nm ve 1.7 nm'ye yükseltildiğinde sırası ile %10 ve %1.7 artmıştır. Girişim mesafesi 1.8 nm olduğu durumda ise sıcaklık %0.6 düşmüştür. Girişim arttıkça temas alanında artmış ve yeni pürüzler yarı-sonsuz ortama temas etmeye başlaması Şekil 23'de temas ara yüzeyindeki sıcaklık dağılımından anlaşılmaktadır. Ayrıca temas ara yüzeyinde de basınç artmıştır (Şekil 22). Bu durum fraktal boyutun artması ile pürüzlerin azalması, tepe ve çukur noktaların birbirlerine yaklaşmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 22. Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Basınç (MPa) Dağılımı

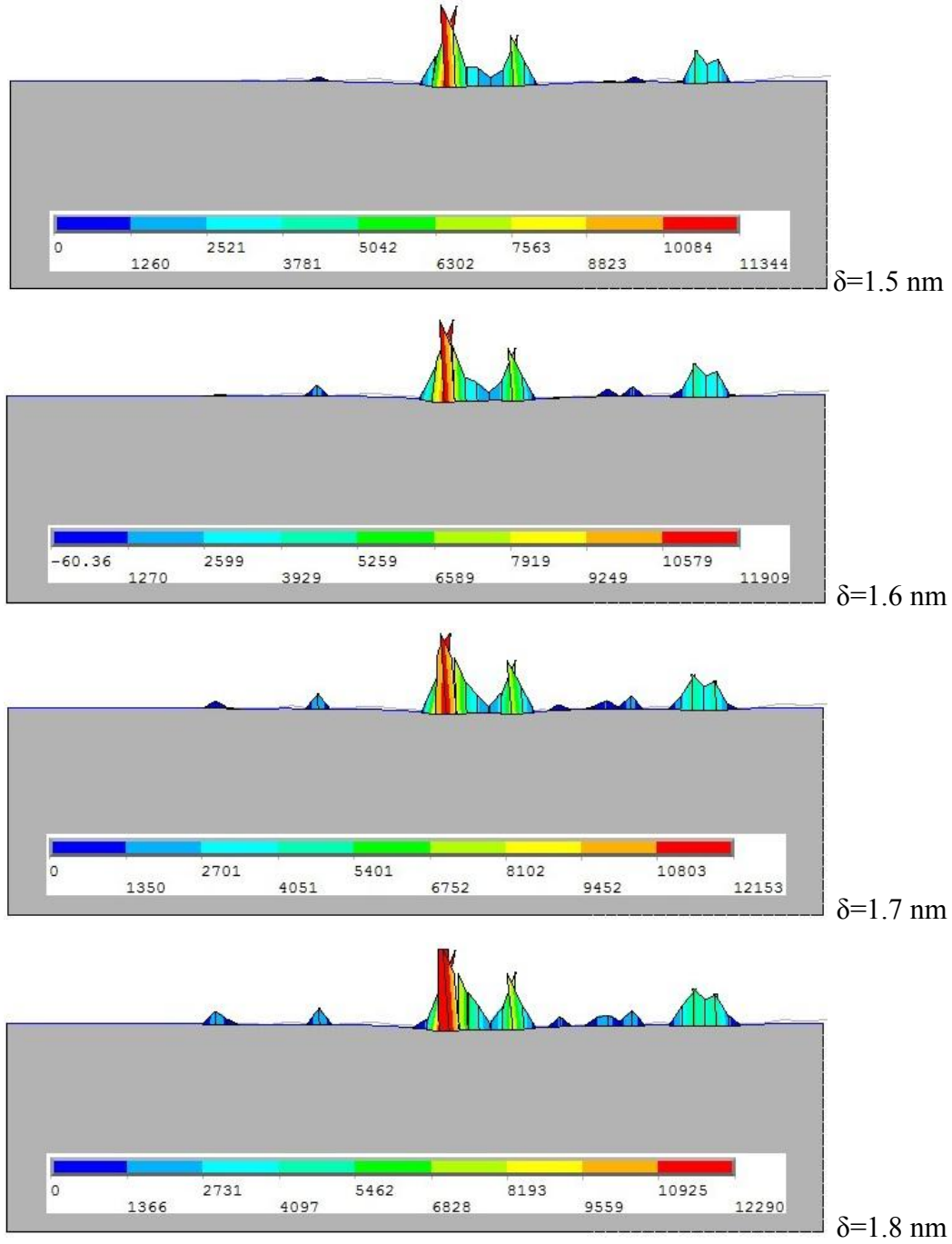


Şekil 23. Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) Artış Dağılımı



Şekil 24. Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) Artış Dağılımı

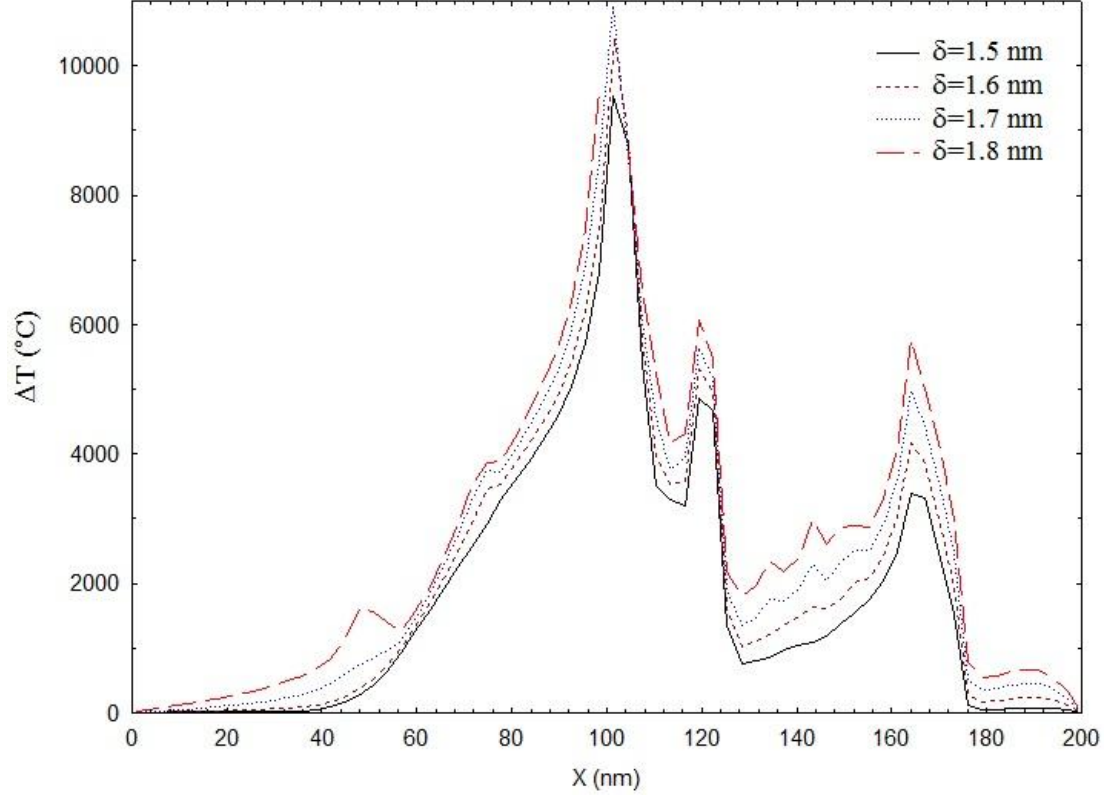
Şekil 24'de fraktal boyut 1.47 ve kayma hızı 5 nm/s iken girişim mesafesinin 1.5, 1.6, 1.7 ve 1.8 nm olduğu durumlardaki sıcaklık değişimlerini göstermektedir. Girişim mesafesi 1.5 nm iken elde edilen maksimum sıcaklık değeri girişim arttırıldıkça artmıştır. Girişim mesafesi 1.6 nm, 1.7 nm ve 1.8 nm olduğunda sıcaklıklar bir önceki girişim mesafelerine göre sırası ile %9.5, %4.6 ve %1 oranında artmıştır. Fraktal boyutun $D=1.47$ olmasıyla pürüzlülük en alt değerine inmiştir. Yani yarı-sonsuz ortam ile temas eden pürüz sayısı en üst seviyeye çıkmış; pürüzler ise kullanılan fraktal boyutlar içerisinde en yuvarlak hallerini almıştır.



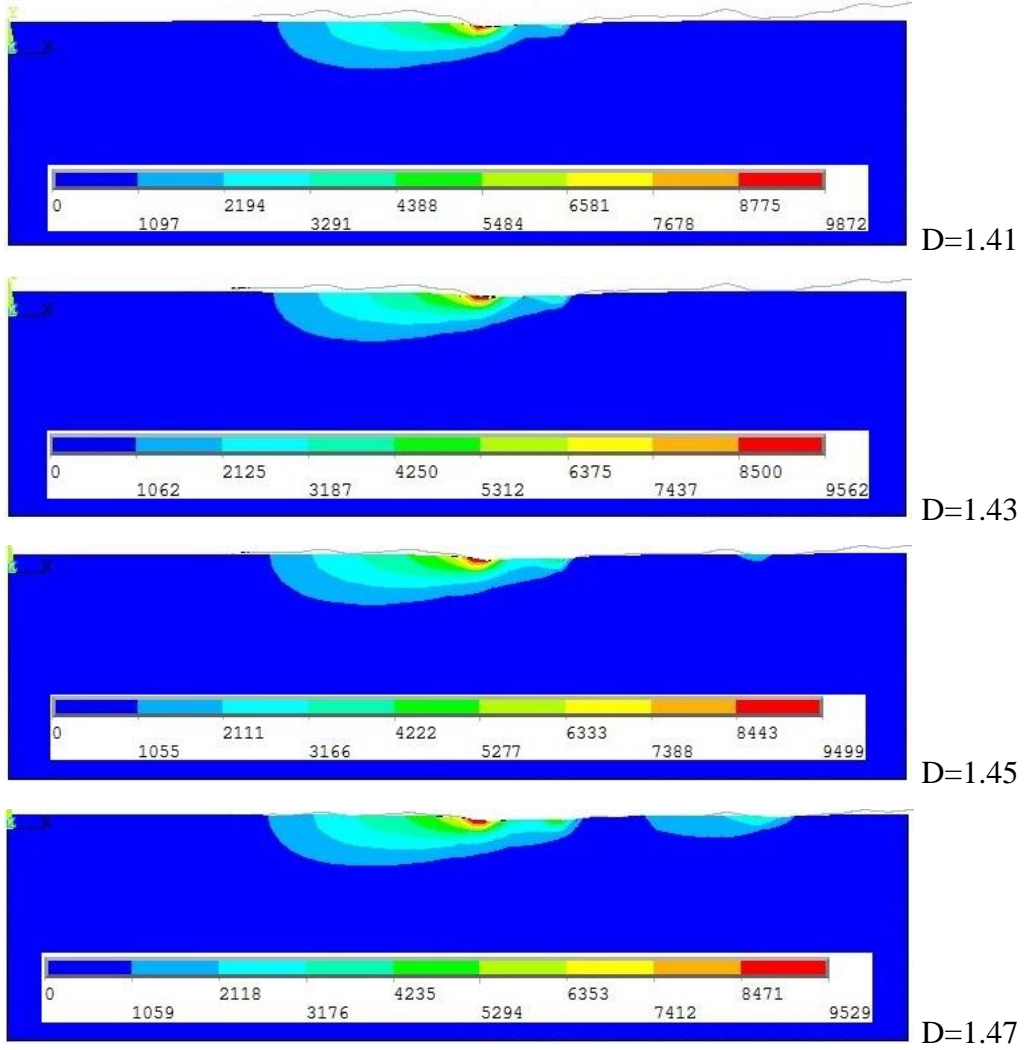
Şekil 25. Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Basınç (MPa) Dağılımı

Bu çalışmada kullanılan fraktal boyut ve girişim mesafeleri göz önüne alındığında en yüksek sıcaklık ve en fazla temas alanı (Şekil 25 ve 26) fraktal boyut 1.47 ve girişim mesafesi 1.8 nm olduğunda elde edilmiştir. Bu durum girişim miktarı kademeli olarak artmasıyla birlikte sıcaklığında artışını birlikte getirmiştir. Fraktal boyut 1.47

ve değişik girişim değerleriyle elde edilen sıcaklık artış dağılımları beklenen eğilimler verebilmiştir.

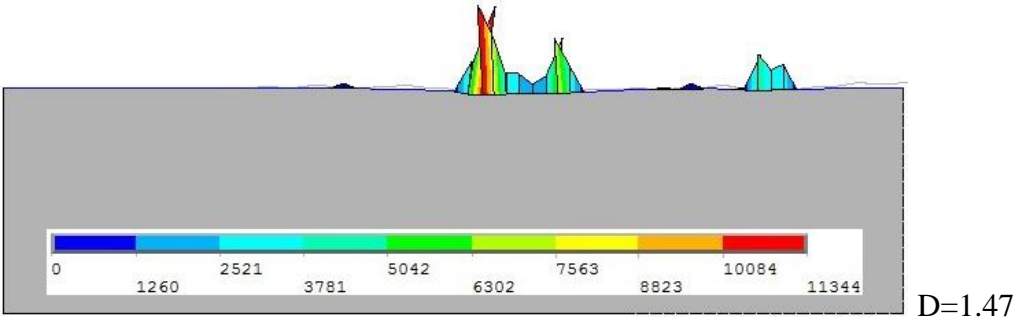
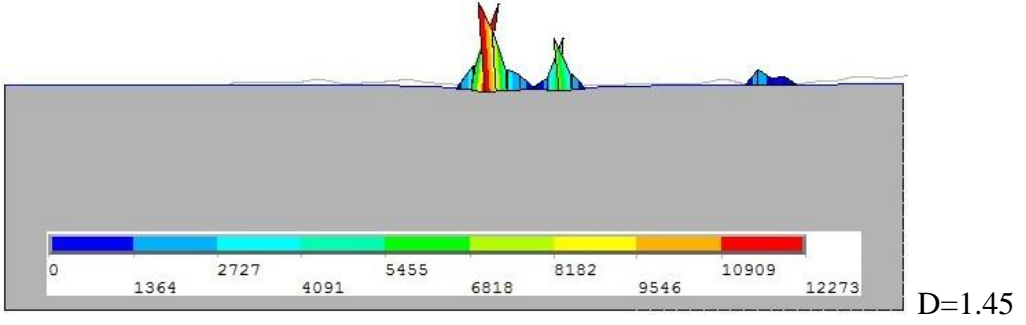
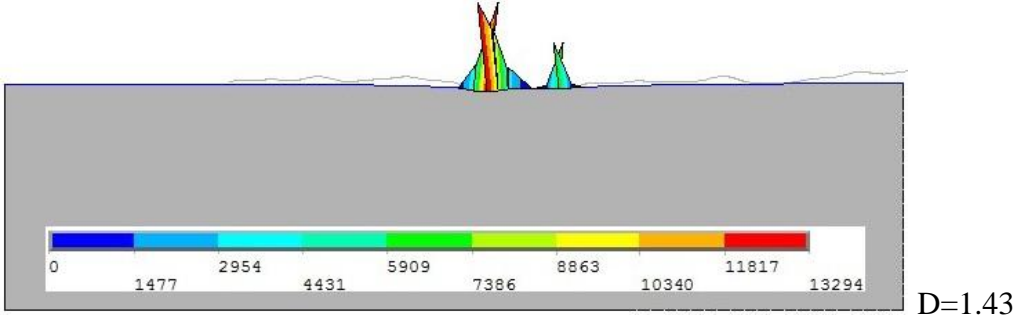
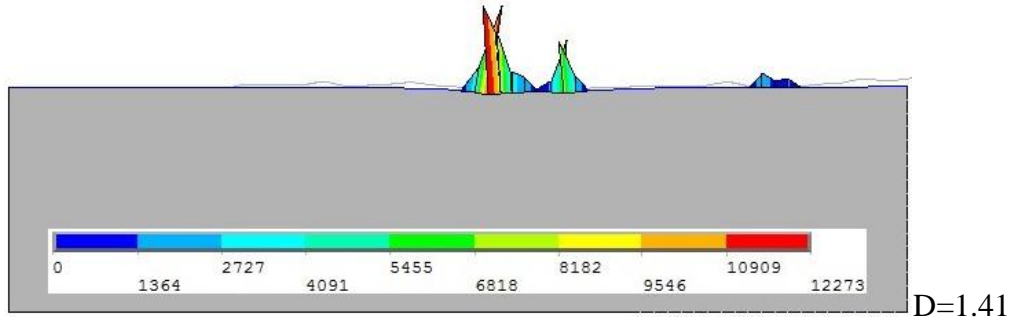


Şekil 26. Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Artış Dağılımı

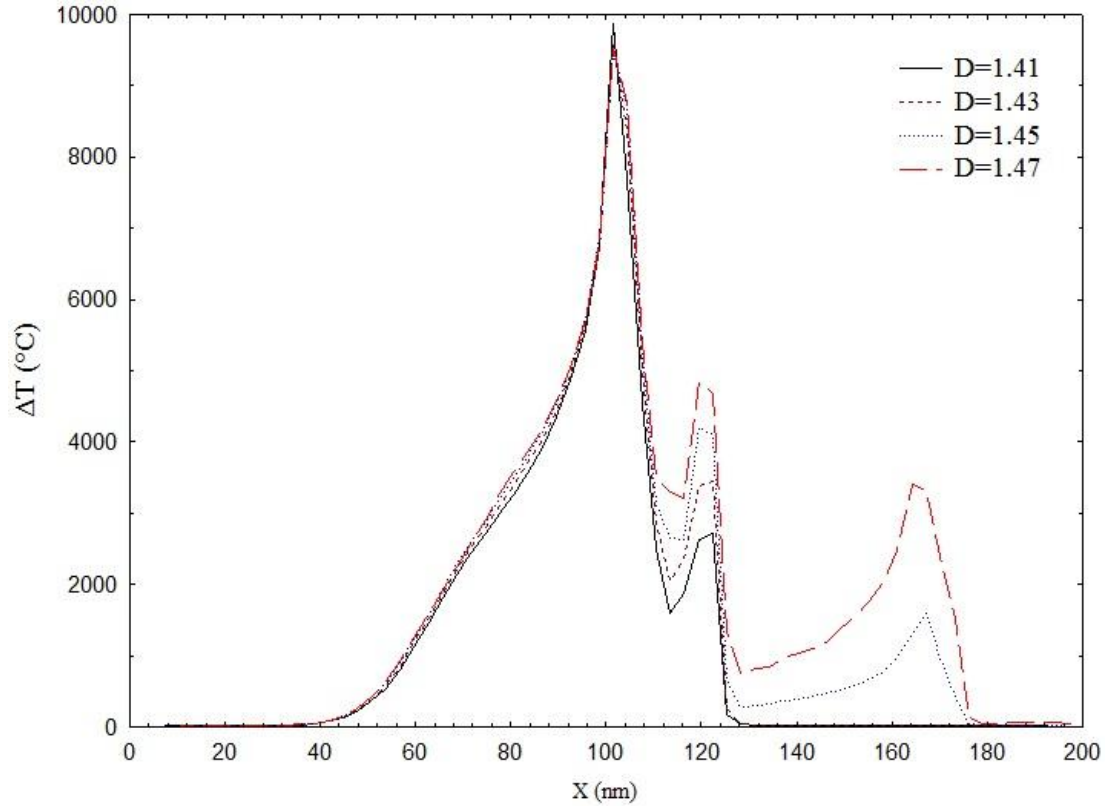


Şekil 27. Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Artış Dağılımı

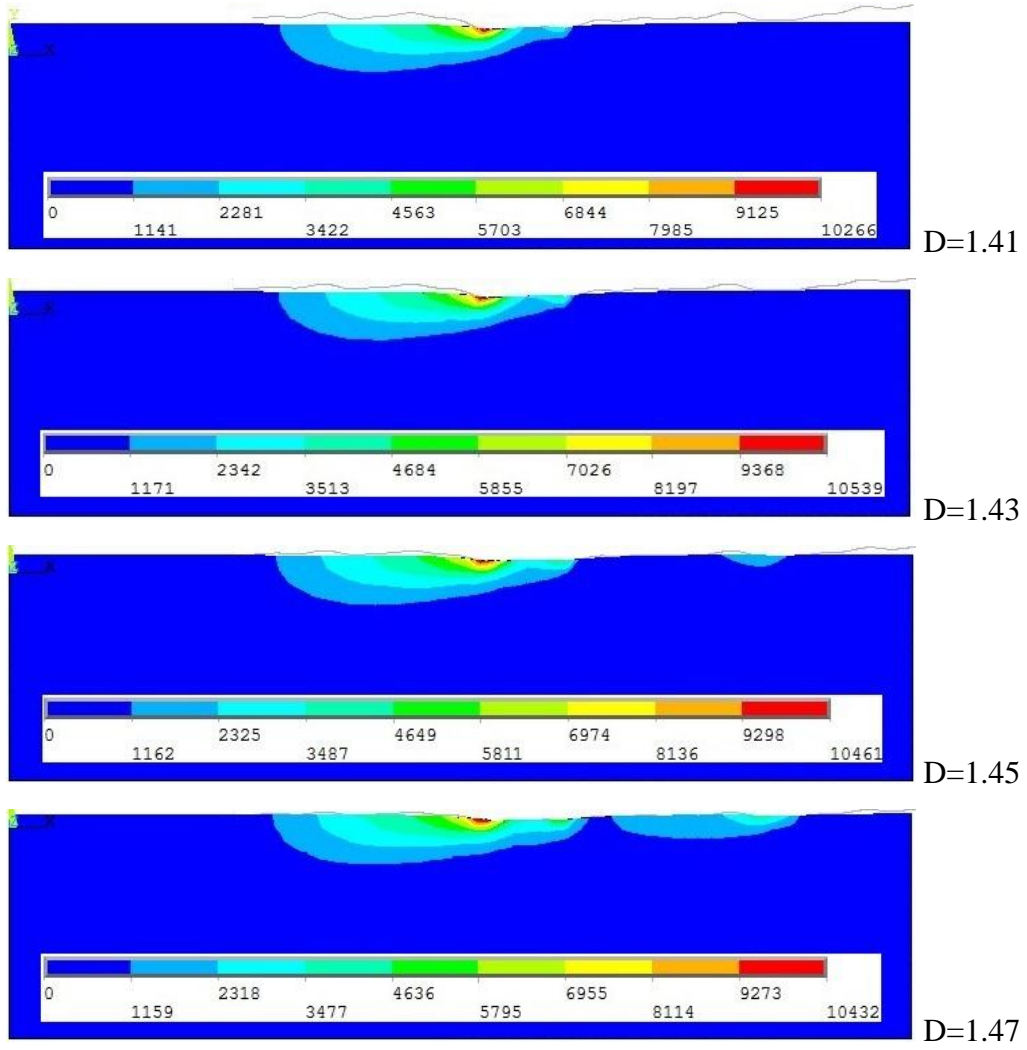
Şekil 27'de girişim mesafesi 1.5 nm ve kayma hızı 5 nm/s iken fraktal boyutun 1.41, 1.43, 1.45 ve 1.47 olduğu durumlardaki sıcaklık değerlerini göstermektedir. Sabit girişim mesafesi altında fraktal boyut arttıkça pürüzlülük azalmaktadır. Yani aynı girişim mesafesi altında daha fazla pürüz teması söz konusudur. Bu da aynı yük altında fraktal boyut arttıkça temas alanının arttığı böylece basıncın azaldığı sonucunu vermektedir. Bu durum Şekil 28'deki basınç dağılımlarından ve Şekil 29'daki ara yüzey sıcaklık artış dağılımlarından da görülmektedir. D=1.41 iken elde edilen sıcaklık, fraktal boyut 1.43 olduğunda %3, fraktal boyut 1.45 olduğunda ise %0.7 düşmüştür. Bu durumun sebebi yukarıdaki gibi açıklanabilir.



Şekil 28. Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Basınç (MPa) Dağılımı

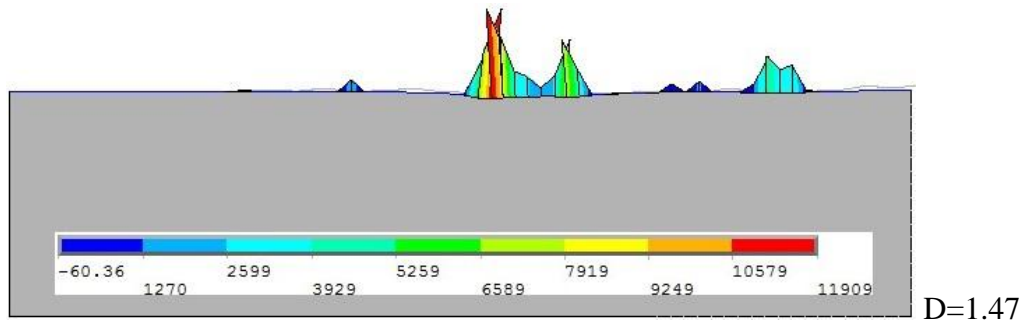
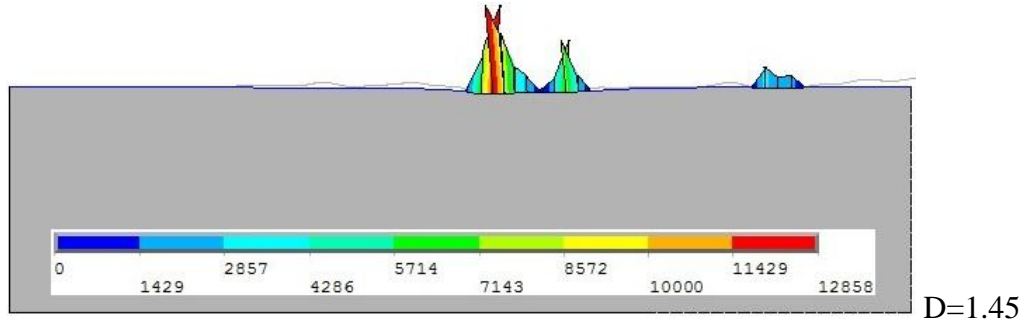
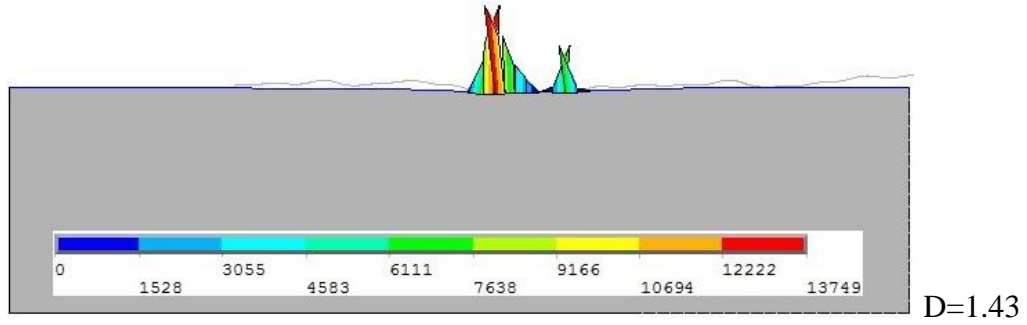
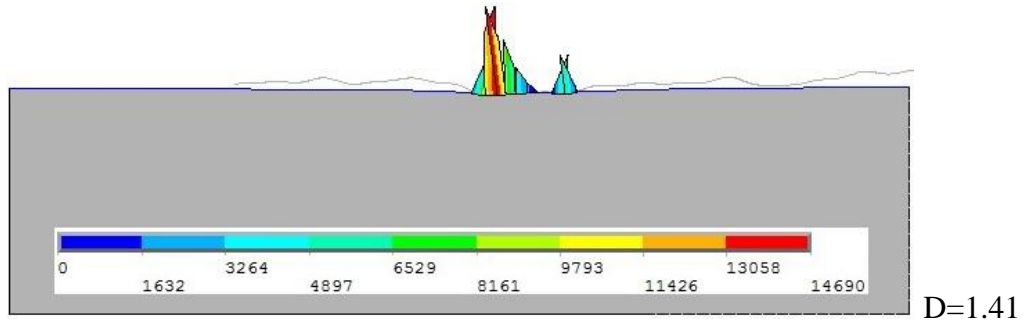


Şekil 29. Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) Artış Dağılımı



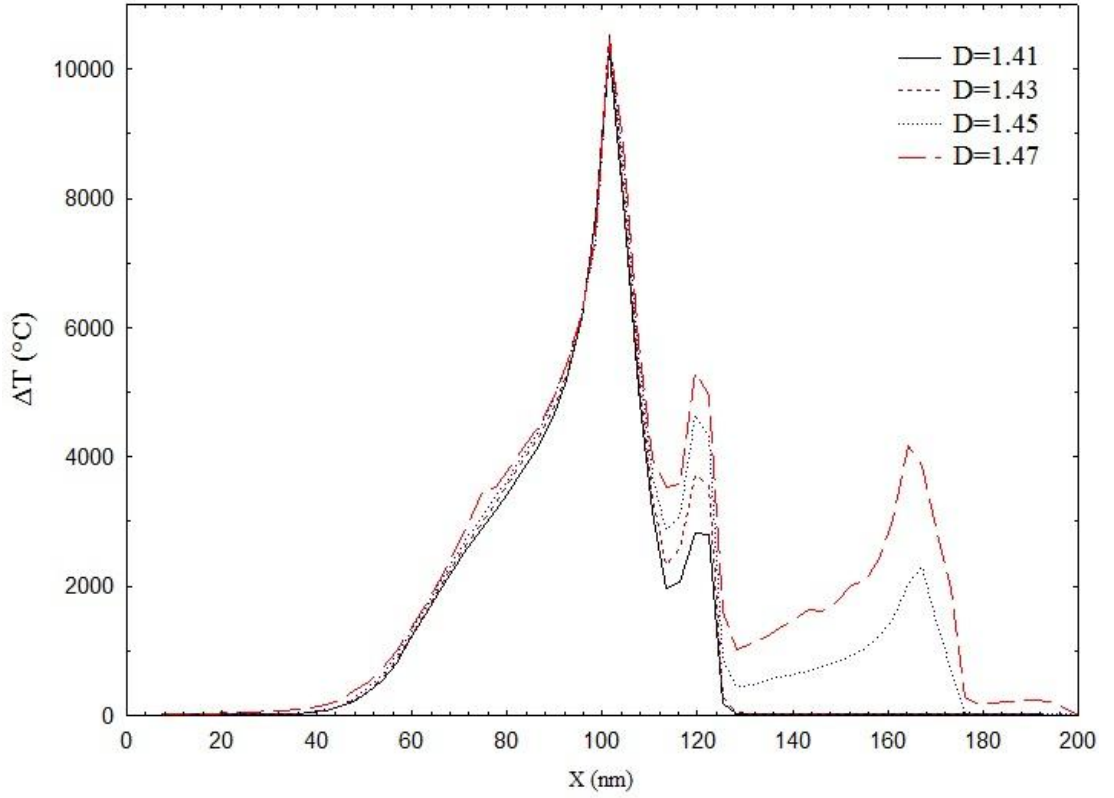
Şekil 30. Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Artış Dağılımı

Şekil 30'da girişim mesafesi 1.6 nm ve kayma hızı 5 nm/s iken fraktal boyutun 1.41, 1.43, 1.45 ve 1.47 olduğu durumdaki sıcaklık değişimlerini göstermektedir. Fraktal boyut 1.41 iken görülen sıcaklık değeri fraktal boyut 1.43 olduğunda %2.7 artmıştır. Sonrasında fraktal boyut 1.45 ve 1.47 değerleri için sırası ile %0.8 ve %0.3 azalmıştır. Burada da yine bir önceki girişim mesafesinde olan durum için yapılan açıklama söz konusudur. Ayrıca görüldüğü üzere girişim miktarının artmasıyla her bir fraktal boyut için temas alanı daha da artmıştır. Buda girişim miktarı 1.6 nm için elde edilen sıcaklık değerlerinin 1.5 nm için elde edilenlerden daha büyük olmasını açıklamaktadır.



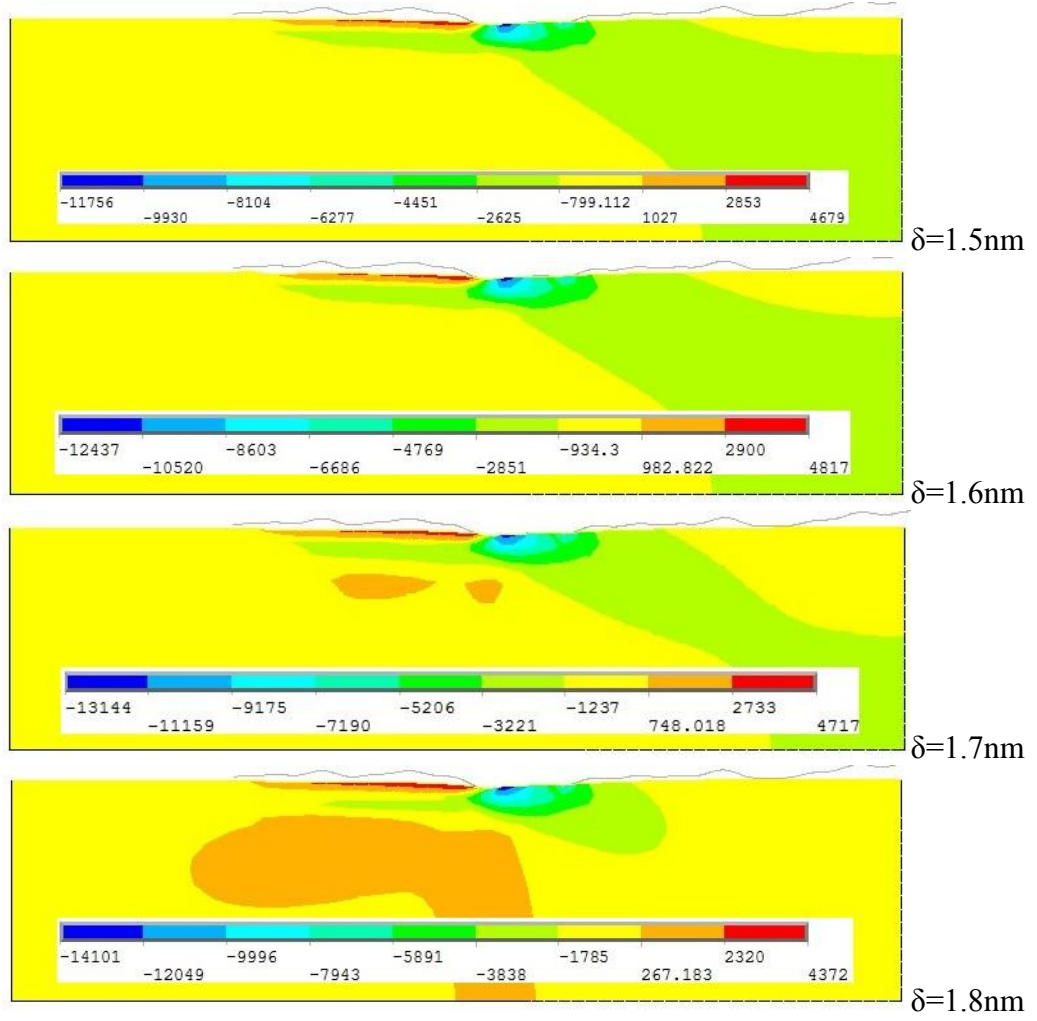
Şekil 31. Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Basınç (MPa) Dağılımı

Fraktal boyutun artırılması temas ara yüzeyindeki basıncı düşürürken (Şekil 31) bu ara yüzeydede yeni temas noktalarının etkisi ile sıcaklık artış bölgeleri (Şekil 32) oluşturmaktadır.



Şekil 32. Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Artış Dağılımı

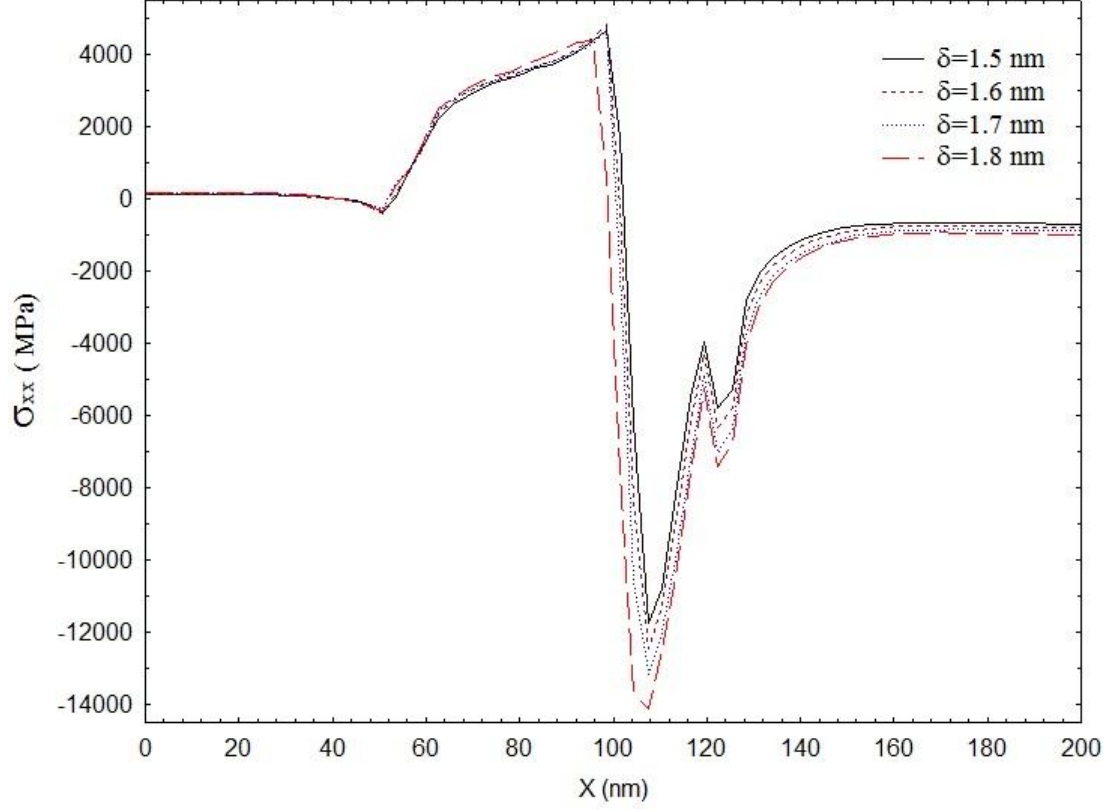
Şekil 33 ile 48 arasında dört farklı fraktal boyut için (1.41, 1.43, 1.45, 1.47) ve dört farklı girişim mesafeleri için (1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm) yapılan analizler sonucu elde edilen normal gerilme ve temas ara yüzeyinde meydana gelen normal gerilme değerleri verilmektedir. Şekil 33'den 40'a kadar fraktal boyut sabit tutularak girişim mesafesinin değiştirilmesi sonucu elde edilen değerler gösterilirken, Şekil 41'den 48'e kadar ise girişim mesafesi sabit tutularak fraktal boyutun değiştirilmesi sonucu elde edilen değerler gösterilmektedir. Hem çeki yönünde oluşan maksimum gerilmeler için hem de bası yönünde oluşan maksimum gerilme için yorumlar yapılarak birbirleri ile kıyaslanmıştır.



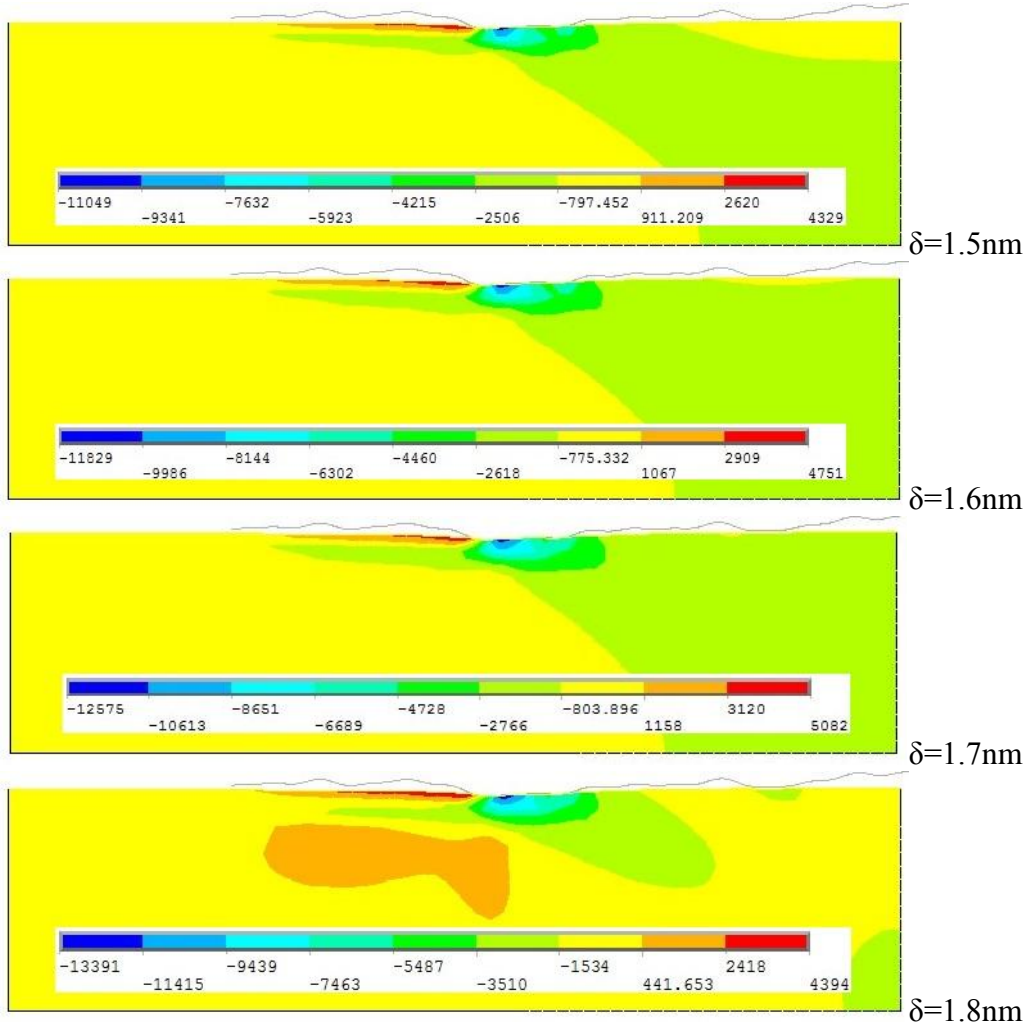
Şekil 33. Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO’da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 33’de fraktal boyut 1.41 ve kayma hızı 5 nm/s iken girişim mesafesinin 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm olduğu durumdaki normal gerilme dağılımlarını göstermektedir. Pürüzlü yüzey yarı-sonsuz ortam üzerinde kaydığında bası ve çeki gerilmeleri elde edilir. Fraktal boyutun 1.41 ve girişim mesafesinin 1.5 nm olması durumunda elde edilen bası yönündeki maksimum gerilme değeri, girişim artırılarak 1.6, 1.7, 1.8 nm’ye çıkarılınca sırası ile %6, %6 ve %7.3 arttığı görülmüştür. Bu durum girişimin artması ile yarı-sonsuz ortama daha fazla baskı yapılmasından kaynaklanmaktadır. Pürüzlü yüzeyin yarı-sonsuz ortam üzerinde kayması ile pürüz kayma yönünde ön tarafı bastırıp arka tarafı kaldırarak hareket ettiğinden girişimin artması da bu bası işlemini daha da artırır. Yani bası gerilmeleri daha da artar. Bu durum sadece temas

arayüzeyindeki normal gerilme dağılımını gösteren Şekil 34'den de açıkça görülmektedir.



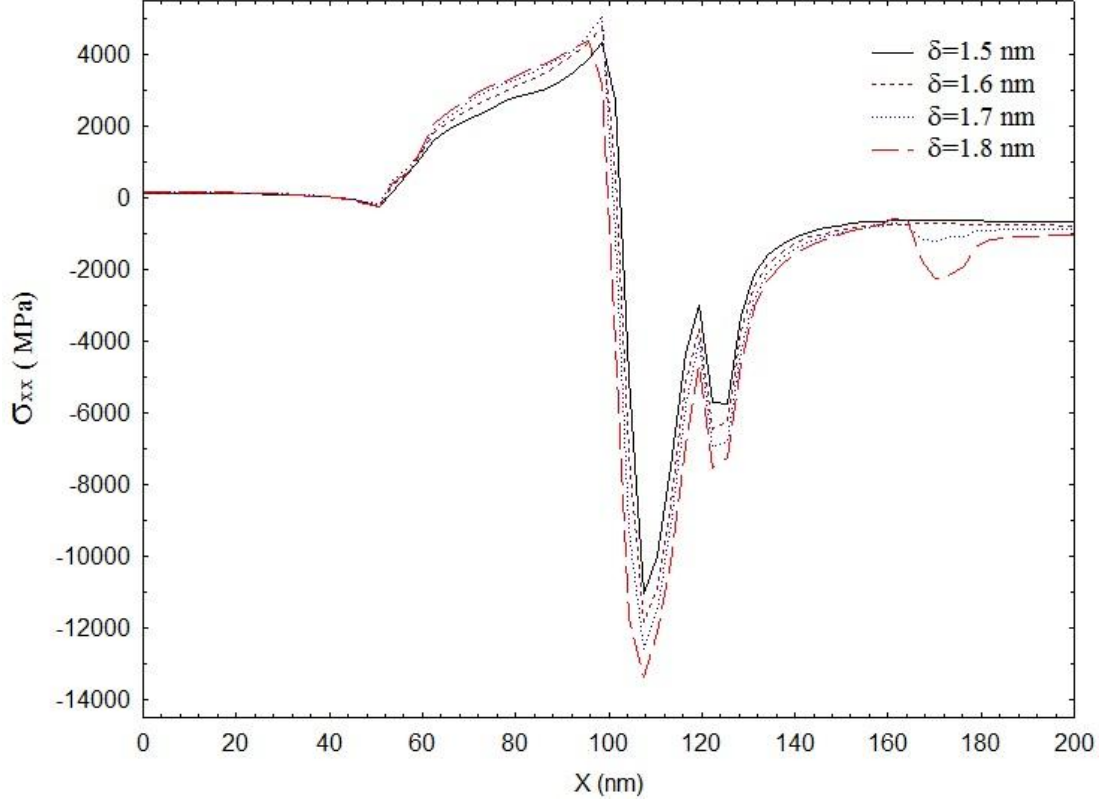
Şekil 34. Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı



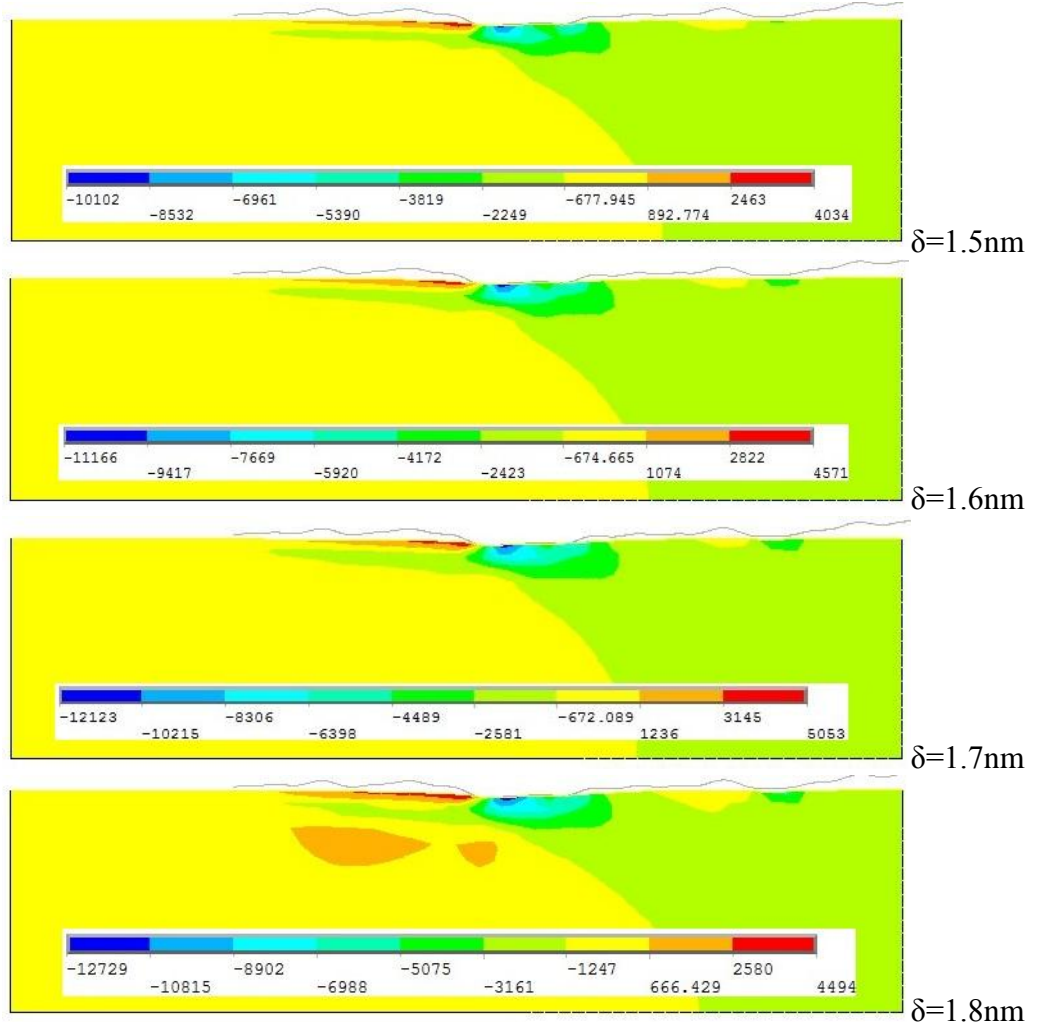
Şekil 35. Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO’da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 35’de fraktal boyut 1.43 ve kayma hızı 5 nm/s iken dört farklı girişim mesafesi için (1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm) elde edilen normal gerilme dağılımları görülmektedir. Fraktal boyut bir miktar artmış buna karşın pürüzlülük azalmıştır. Bununla birlikte az da olsa temas alanı artmıştır. Artan temas alanı ile birlikte mesela 1.5 nm girişim değeri için gerilme değeri 1.41 lik fraktal boyutlu yüzey ile elde edilen aynı girişim mesafesi için bası gerilmesi değerinden daha az olmuştur. Bu durum diğer girişim değerlerinde de aynı eğilimde olmuştur. Burada da yine önceki fraktal boyut ile elde edilen normal gerilme dağılımlarında olduğu gibi girişim arttıkça (1.6, 1.7, 1.8 nm için) bası gerilmesi sırası ile %7, %8 ve %4 artmıştır. Bu da girişim arttıkça oluşan

basıncın temas alanındaki artışa göre daha fazla arttığını göstermektedir. Şekil 36'da yine ara yüzeydeki yukarıda bahsedilen gerilme değişimleri görülebilmektedir.

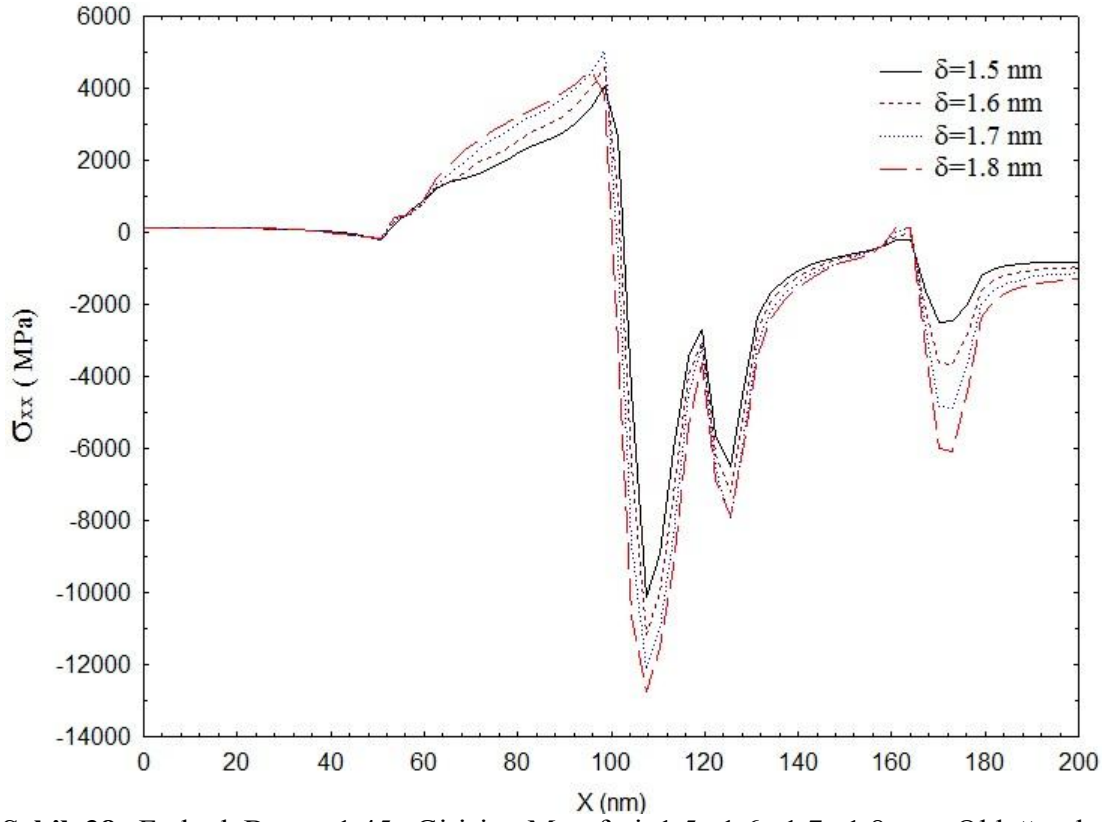


Şekil 36. Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı

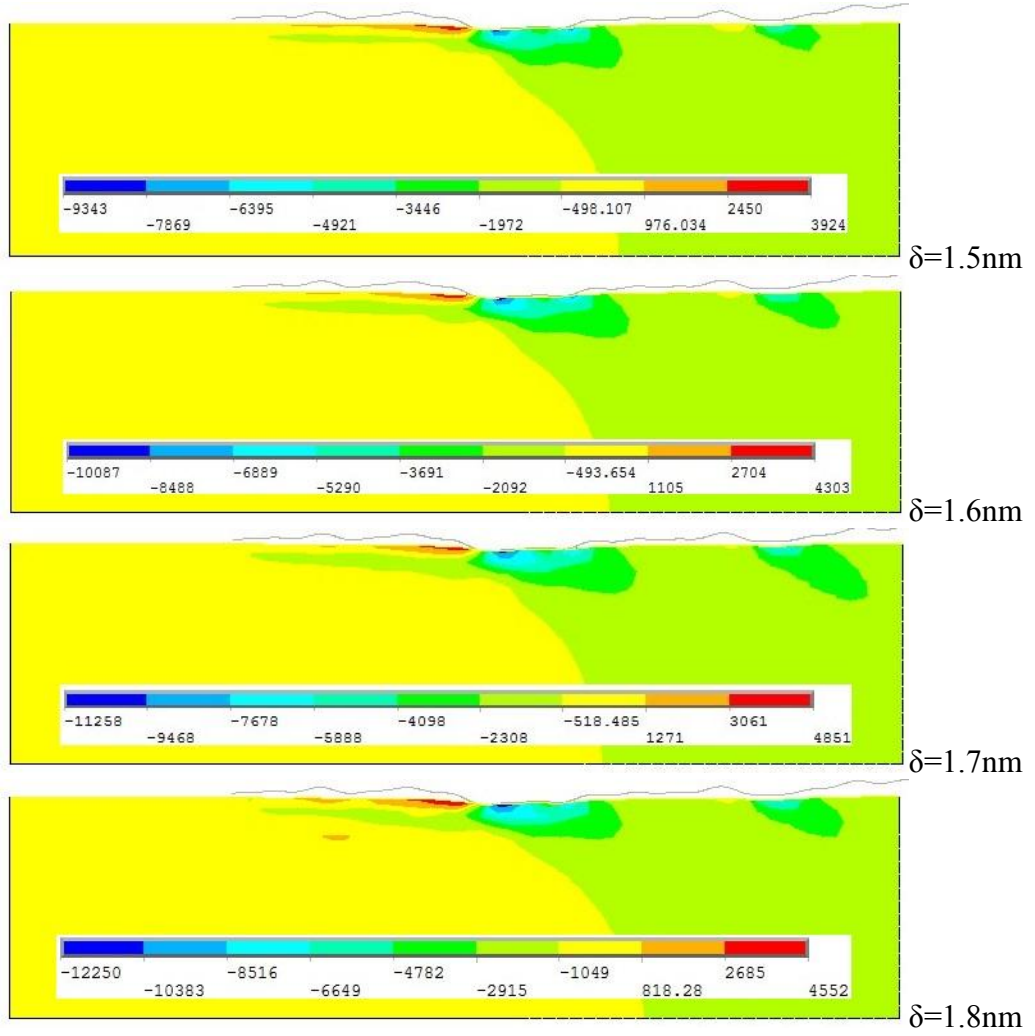


Şekil 37. Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 37'de fraktal boyut 1.45 ve kayma hızı 5 nm/s iken dört farklı girişim mesafesi için (1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm) elde edilen gerilmeler görülmektedir. Girişim mesafesi 1.5 nm iken elde edilen maksimum bası gerilmesi girişim arttıkça sırası ile %10, %8.5 ve %5 artmıştır. Girişim mesafesi 1.6 nm olduğunda meydana gelen %10'luk bası gerilmeleri arasındaki artış girişim mesafesi arttırıldıkça %5'e kadar düşmüştür. Bu da yine fraktal boyut artmasıyla pürüzlülüğün azalması ve daha fazla pürüzün temas etmesine bağlanabilir. Şekil 38'de fraktal boyutun artmasıyla yeni oluşan pürüzler ve bu pürüzlerin meydana getirdikleri gerilme etkileri görülmektedir. Özellikle kayma yönüne göre ilk pürüzdeki bası gerilmesi bir önceki fraktal boyut 1.43'e göre oldukça artarak 6 Gpa değerini aşmıştır.

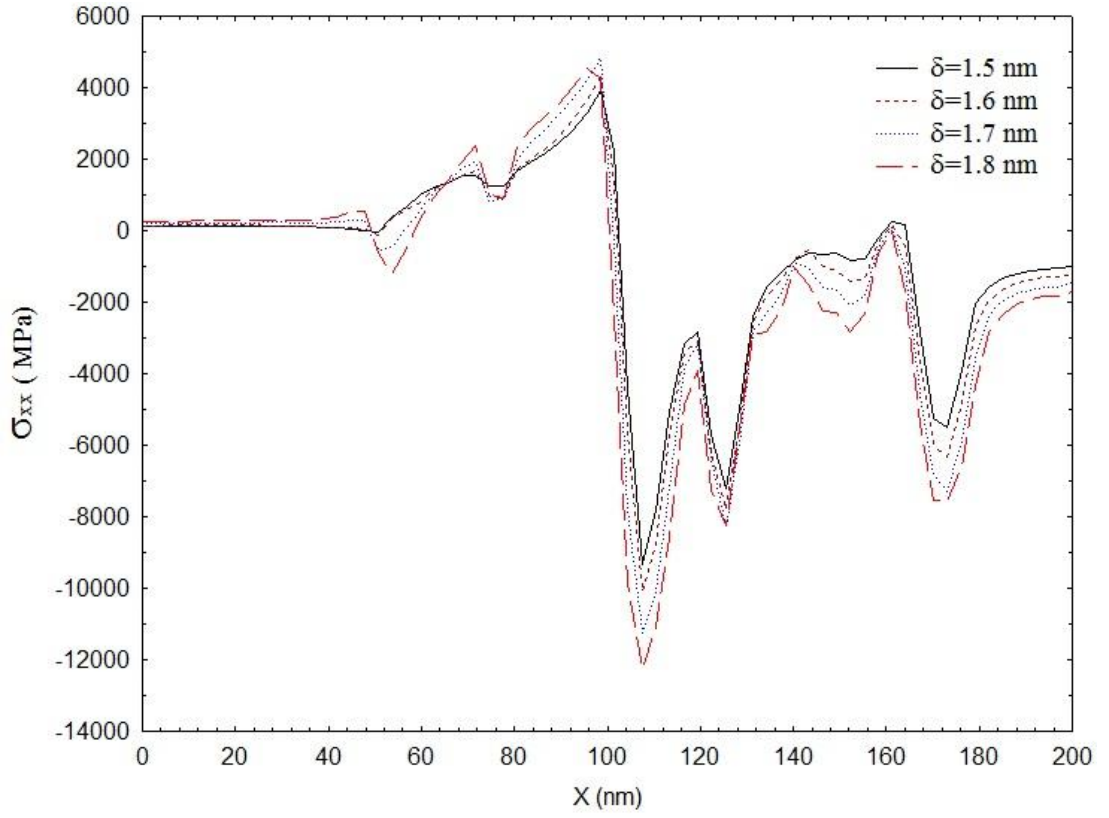


Şekil 38. Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı

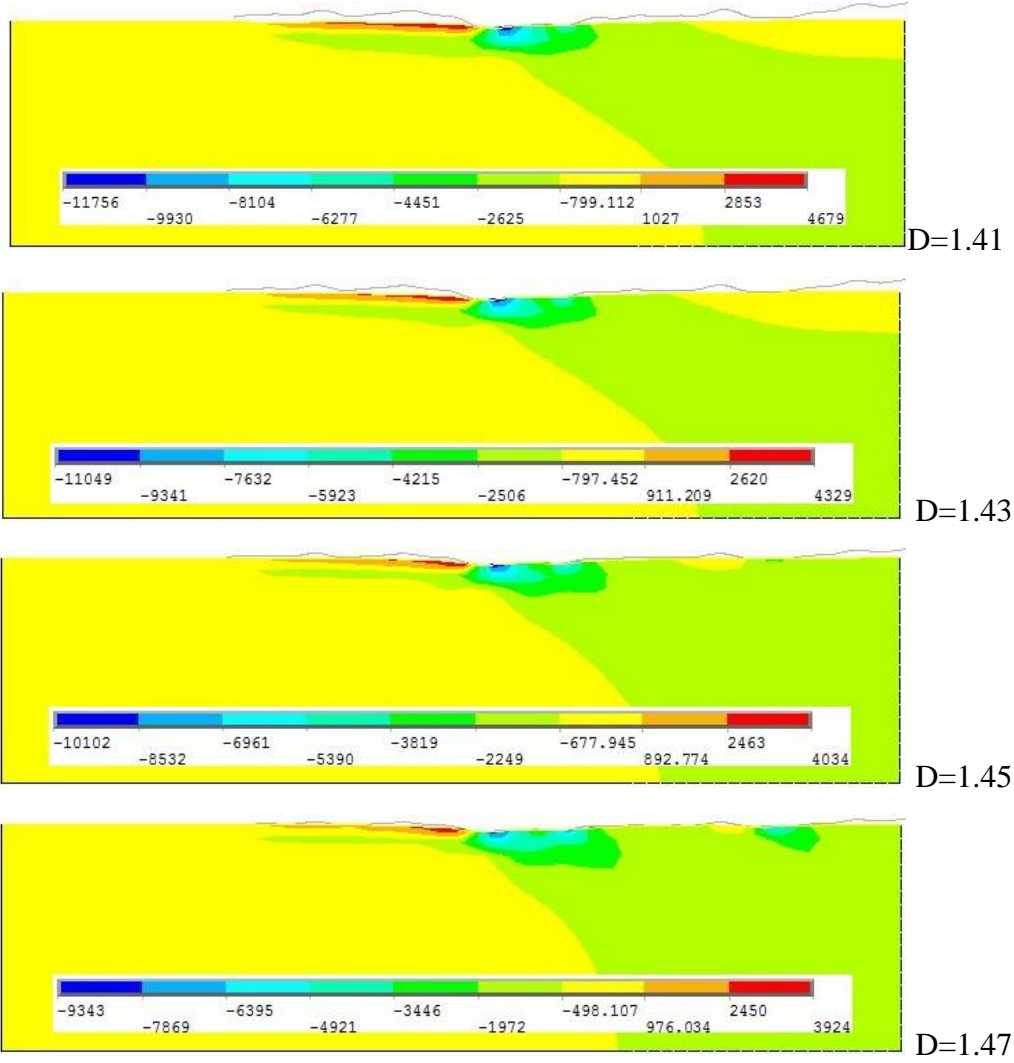


Şekil 39. Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 39'da fraktal boyut 1.47 ve kayma hızı 5 nm/s iken girişim mesafesi değiştirilerek (1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm) elde edilen normal gerilmelerdeki değişiklikler görülmektedir. Bu fraktal boyut için elde edilen maksimum bası gerilmesi de yine girişim arttıkça sırası ile %8, %11.6 ve %8.8 artmıştır. Ayrıca temas eden yeni pürüzler yeni gerilme alanları oluşturmuştur. Fraktal boyutun en yüksek değeri almasıyla pürüzlülük en alt değerine düşmüş böylece kayma yönüne göre en önde yer alan pürüzün oluşturduğu bası gerilmesi de en yüksek değerine çıkmıştır (Şekil 40).



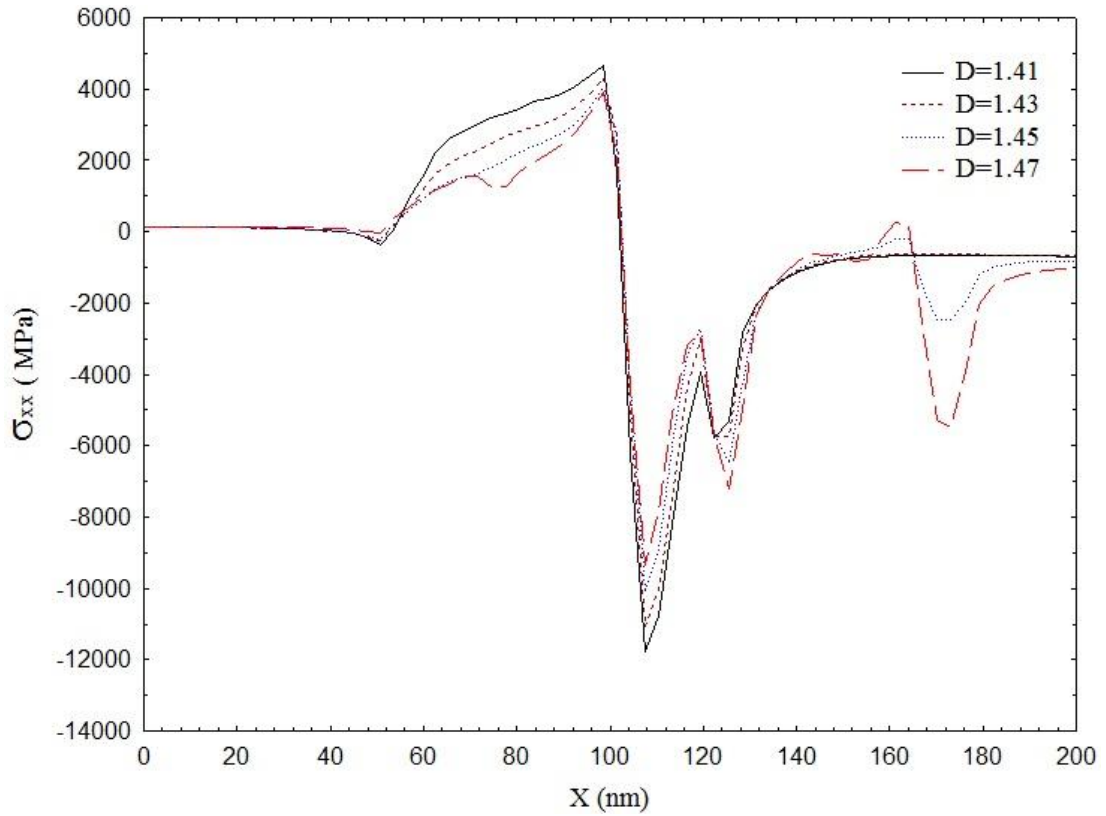
Şekil 40. Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı



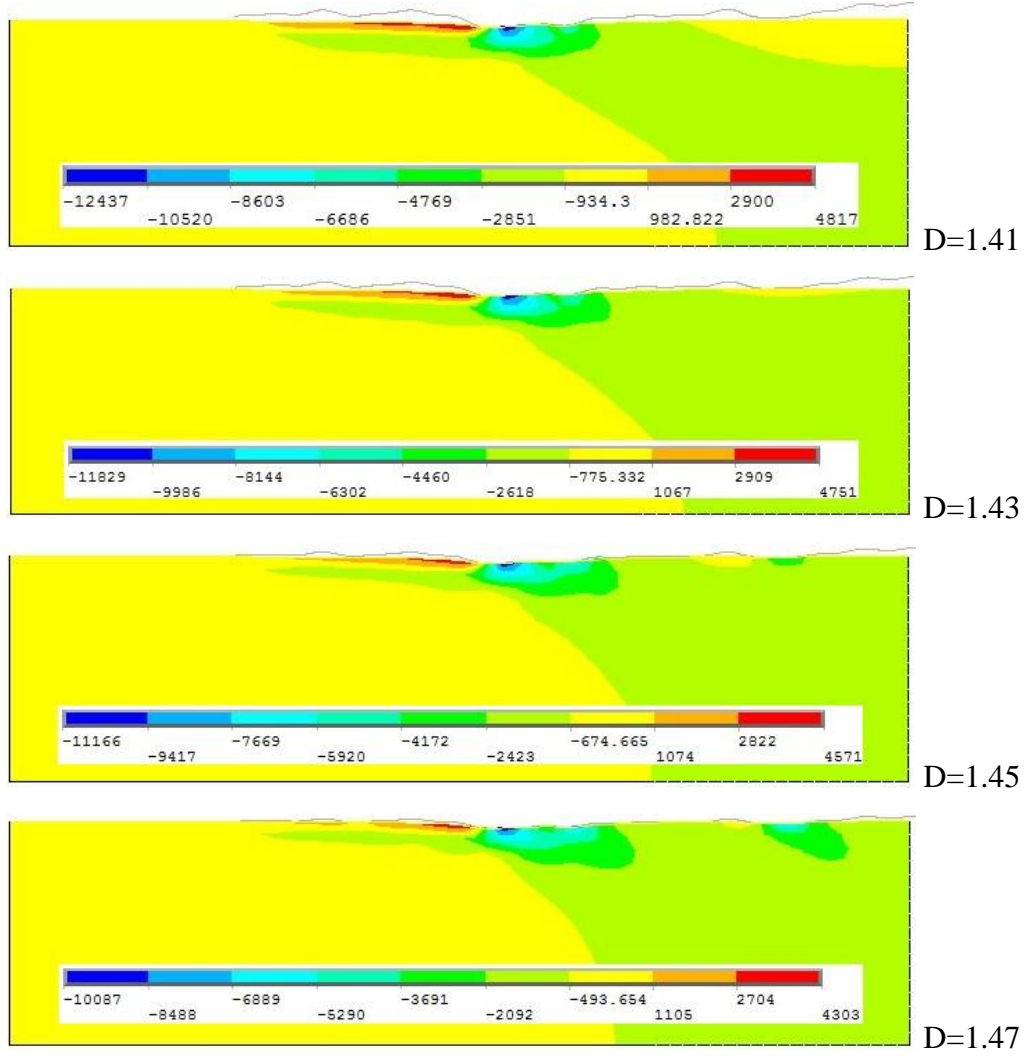
Şekil 41. Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Yarı-Sonsuz Ortamda Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 41’de girişim mesafesi 1.5 nm ve kayma hızı 5 nm/s iken dört farklı fraktal boyut değeri için (1.41, 1.43, 1.45, 1.47) elde edilen normal gerilme değişimleri gösterilmektedir. Girişim sabit iken fraktal boyut 1.41 alınarak elde edilen maksimum bası gerilmesinin, fraktal boyut 1.43, 1.45, 1.47 olarak alındığında %6, %8.5 ve %7.5 azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi fraktal boyutun artırılması ile pürüzlüğün azalmasıdır. Bu durum daha oval bir pürüz ile aynı girişim mesafesinden yarı-sonsuz ortama baskı yapmak demektir. Fraktal boyut 1.41 olduğunda maksimum çeki gerilmesinin konturlarının etkilediği alan geniş iken, fraktal boyut arttıkça bu alanda daralma görülmüştür. Bunun sebebi fraktal boyutun 1.41 olduğu analizlerdeki diğer boyutlara göre temas alanının daha az olması nedeniyle gerilmenin daha fazla

olması, bası gerilmesi konturlarının daha fazla olmasıdır. Buna karşın Şekil 42'den görüldüğü gibi fraktal boyut 1.45 olduğunda ortaya çıkan ve yarı-sonsuz ortamla yeni temas eden kayma yönüne göre öndeki pürüzün fraktal boyut 1.47'ye çıktığında meydana getirdiği gerilmenin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi de yeni temasa gelen pürüzün de artık yük taşımaya başlaması ve pürüzlülük azaldıkça bu yükün artmasıdır.



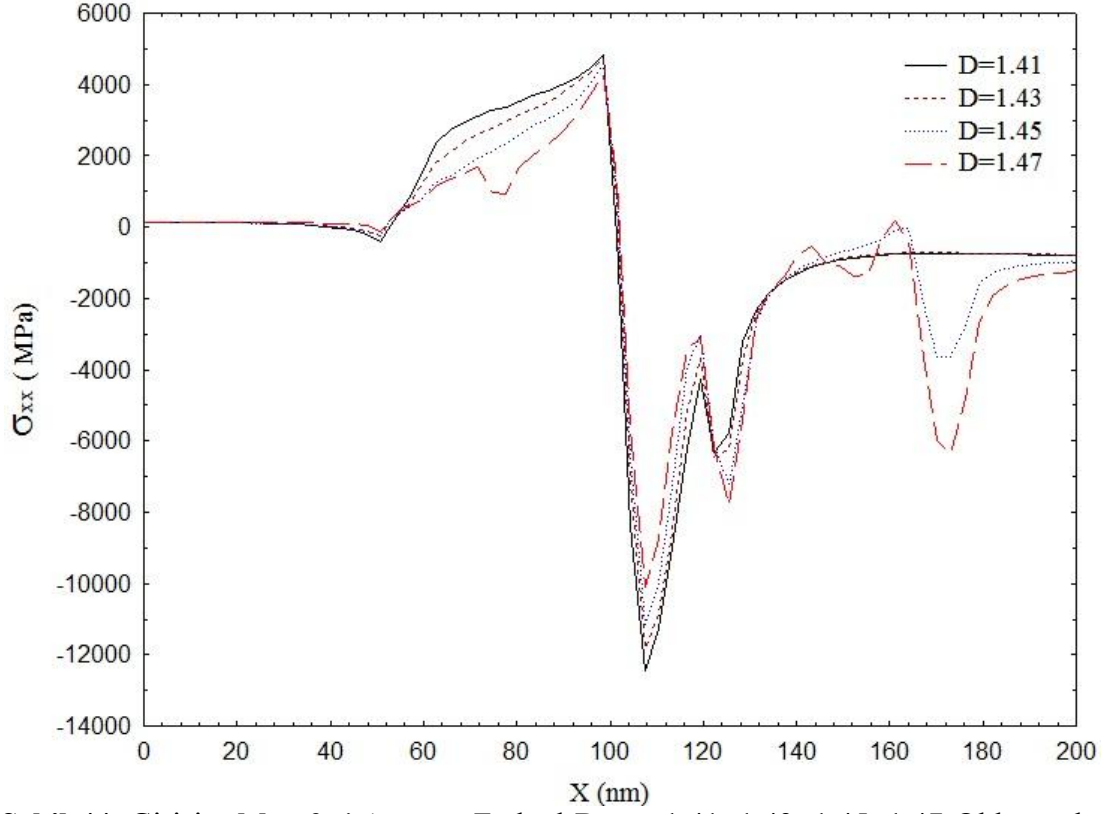
Şekil 42. Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı



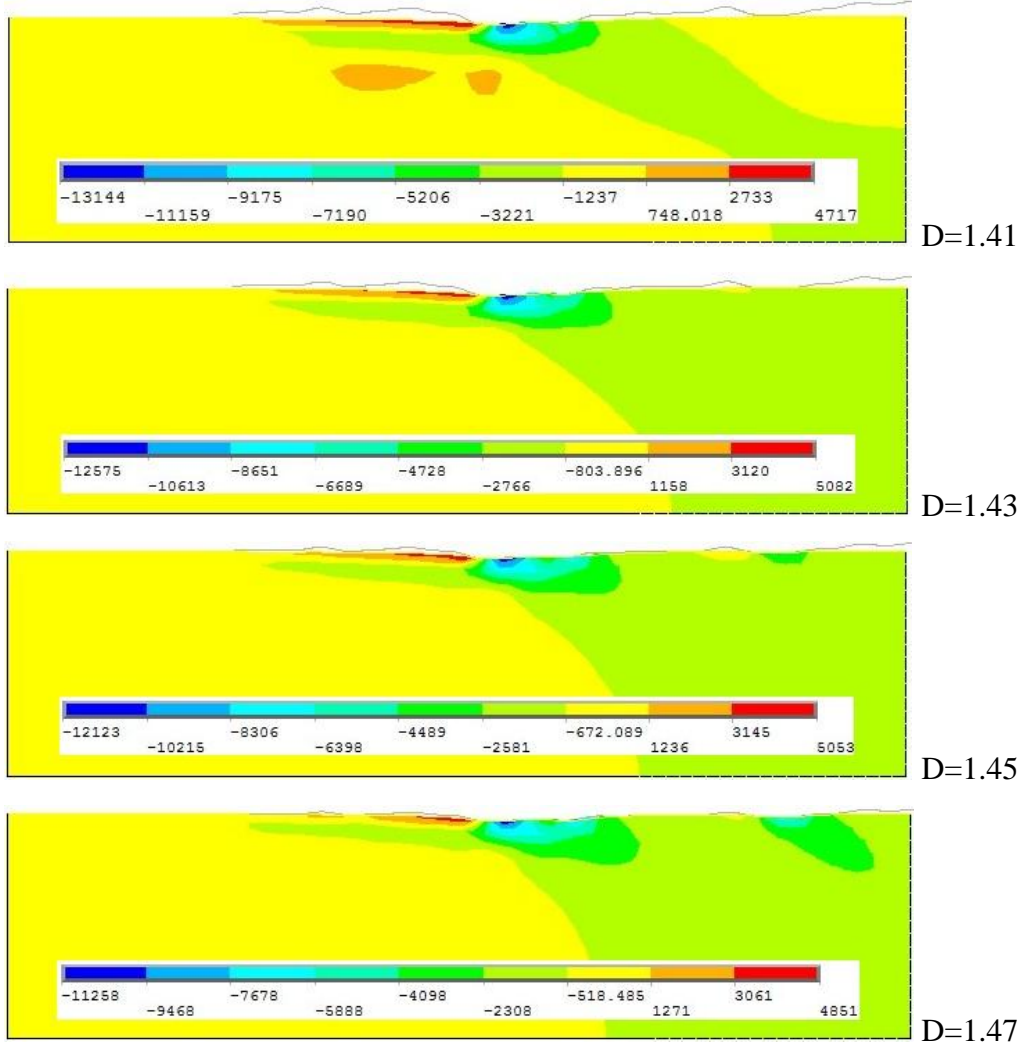
Şekil 43. Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 43'de girişim mesafesi 1.6 nm ve kayma hızı 5 nm/s iken fraktal boyut değerleri değiştirilerek (1.41, 1.43, 1.45, 1.47) elde edilen normal gerilme dağılımları verilmiştir. Fraktal boyut 1.41 iken elde edilen maksimum bası gerilmesi fraktal boyut arttırıldıkça sırası ile %5, %5.6 ve %9.6 azalmıştır. Fraktal boyutun artması temas eden pürüz sayısını da arttırmıştır. Temas eden pürüz sayısı arttıkça gerilmenin etkidiği alanda artmıştır. Maksimum gerilmenin düşmesinde bu faktörde etkili olmuştur. Fraktal boyut arttıkça maksimum çeki gerilmesi de düşmüştür. Pürüzlerin biraz daha oval hale gelmesi ve keskin köşelerin biraz daha yumuşatılması maksimum çeki gerilmesinde bir miktar düşüşe neden olmuştur. Şekil 44'den de

görüldüğü üzere fraktal boyut arttıkça yeni temas bölgelerinde oluşan normal gerilme değerleri artmaktadır.



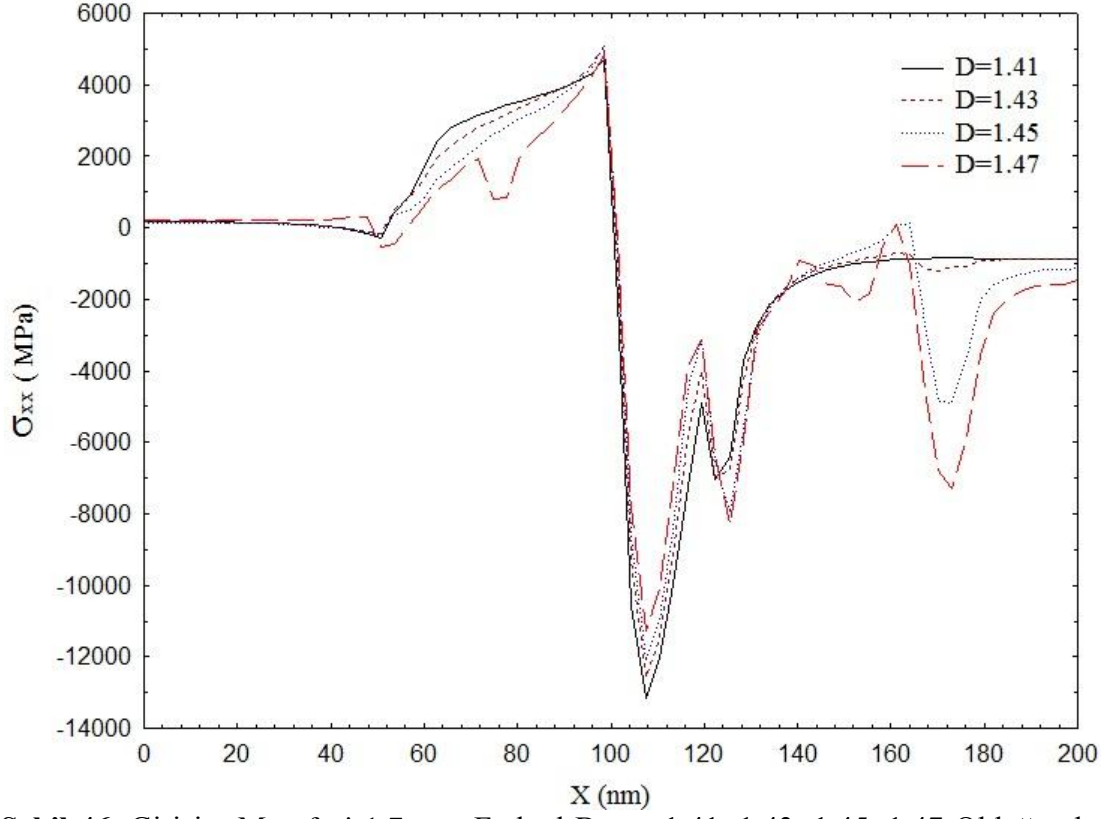
Şekil 44. Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı



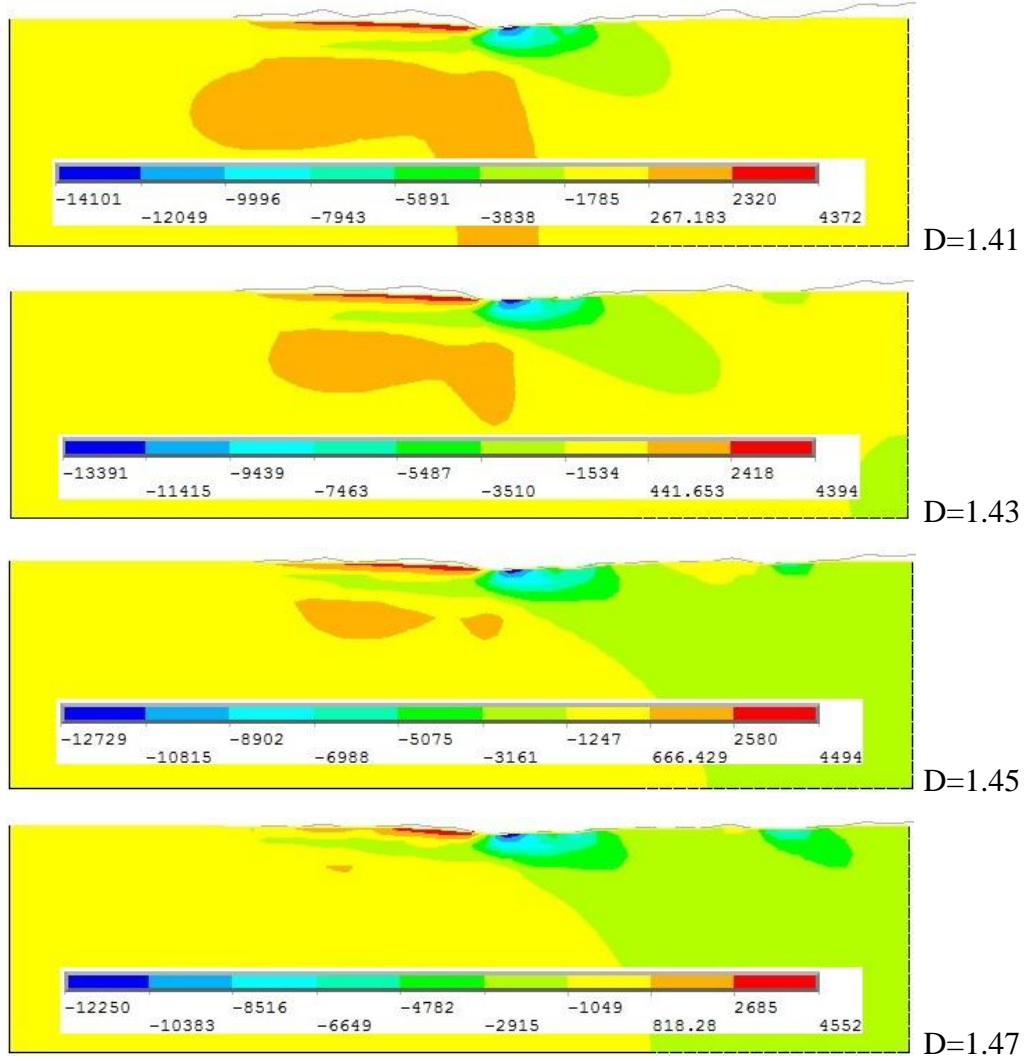
Şekil 45. Girişim Mesafesi 1.7 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 45'de girişim mesafesi 1.7 nm ve kayma hızı 5 nm/s iken dört farklı fraktal boyut değeri için (1.41, 1.43, 1.45, 1.47) elde edilen normal gerilmelerdeki değişim görülmektedir. Burada da daha önceki sabit girişim mesafesi için fraktal boyutun değiştiği analizlerde belirtildiği gibi, aynı sebeplerden dolayı fraktal boyut arttıkça bası gerilmesini arttırdığı görülmektedir. Şekil 46'da fraktal boyut arttıkça temas ara yüzündeki maksimum bası gerilmesi düşerken, yeni temas eden pürüzlerde fraktal boyut arttıkça gerilme artmaktadır. Bu durumun sebebi fraktal boyut arttıkça pürüzlerin ovalleşmesidir. Bununla birlikte yarı-sonsuz ortama yakınlaşan pürüzler ise temas etmeye başlamıştır. Fraktal boyut 1.41 iken yarı-sonsuz ortama temas etmeyen bir pürüz gerilme oluşturamazken fraktal boyutun artması ile temas etmeye

başlayan pürüz doğal olarak bası gerilmesi oluşturacak ve faraktal boyut arttıkça artacaktır.



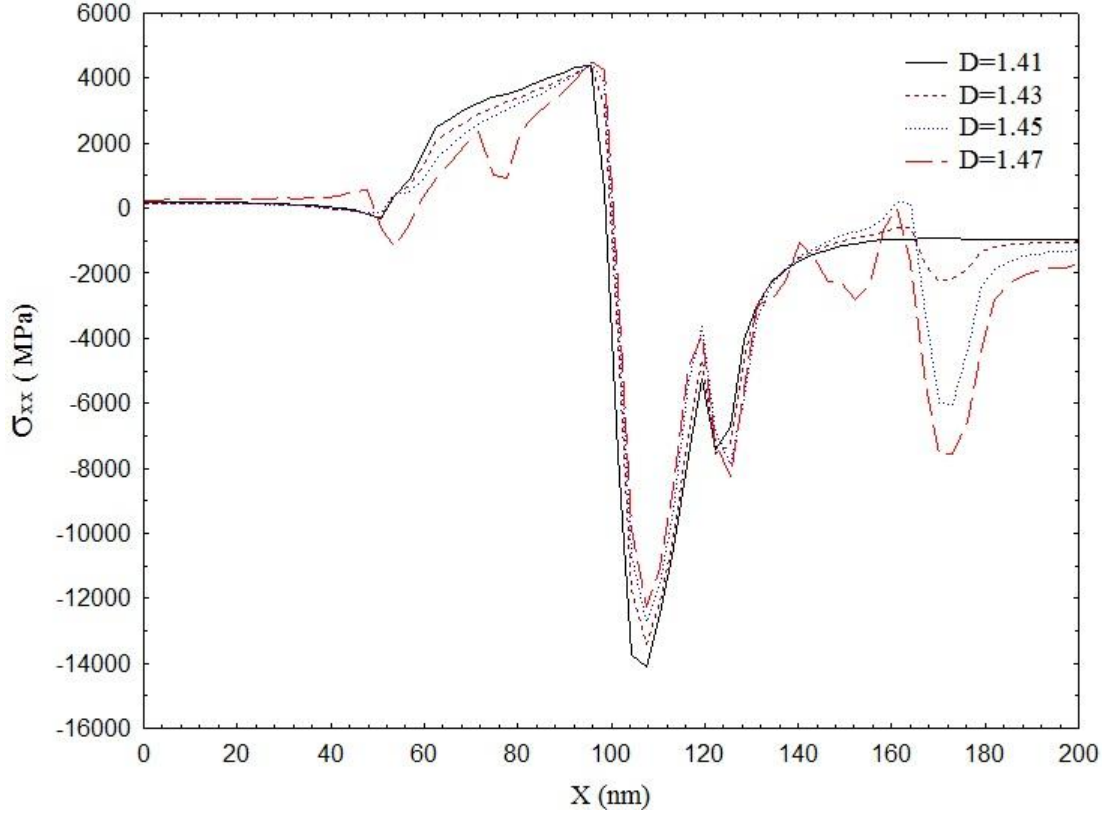
Şekil 46. Girişim Mesafesi 1.7 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı



Şekil 47. Girişim Mesafesi 1.8 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı

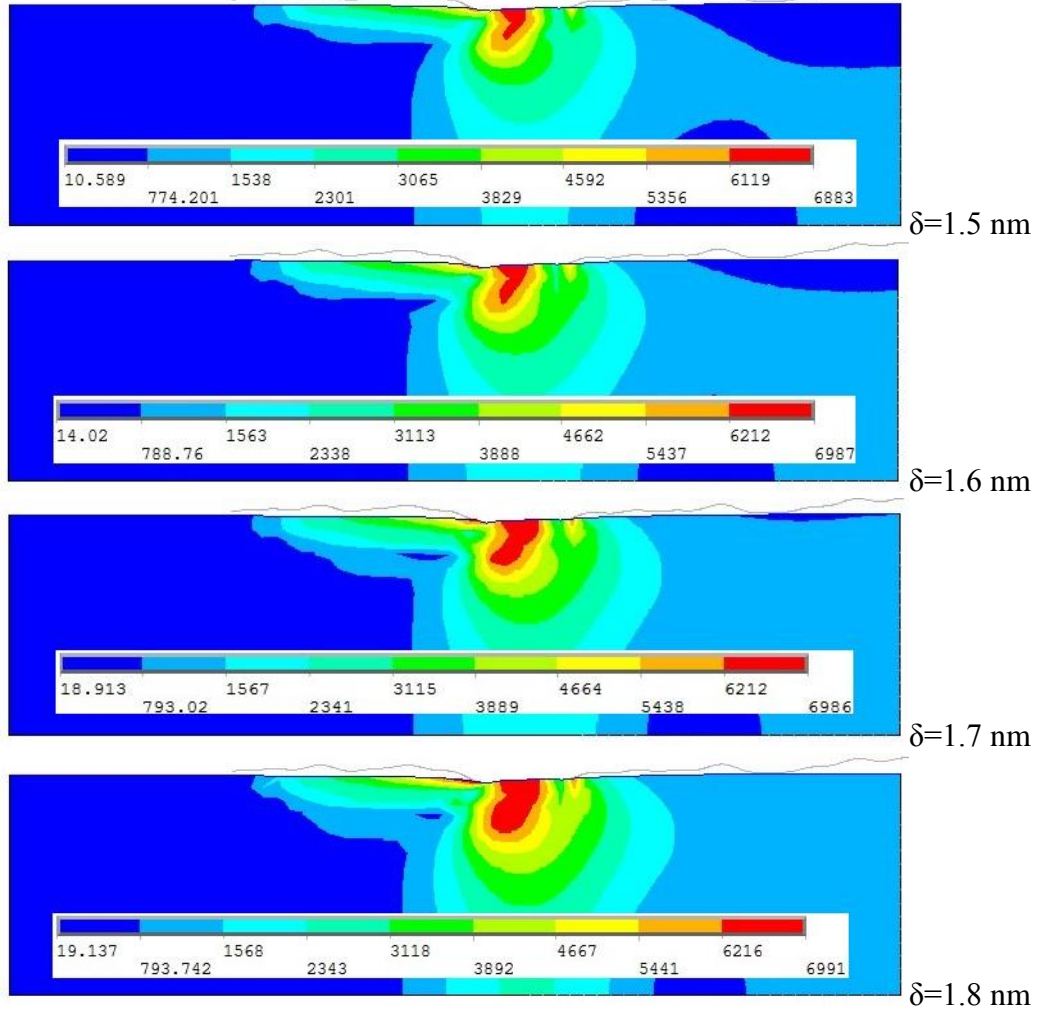
Şekil 47'de girişim mesafesi 1.8 nm ve kayma hızı 5 nm/s iken dört farklı fraktal boyut değerleri için (1.41, 1.43, 1.45, 1.47) elde edilen normal gerilmelerdeki değişim gösterilmektedir. Girişimin 1.8 nm ve fraktal boyutun 1.41 olması çeki gerilmesinin etkisinin analizlerde kullanılan yarı-sonsuz ortamın alt noktalarına kadar ilerlemiştir. Fakat fraktal boyut artarak 1.47 değerine ulaştığında gerilme konturlarının yüzeye doğru toplanmakta ve yüzeye yakın noktalarda yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca Şekil 48'den de görüldüğü gibi hem girişim miktarının ve hem de fraktal boyutun artması ile kayma yönüne göre önde yer alan pürüzün analizler içersindeki etkinliği artmıştır. Bu sefer D=1.43'den itibaren yük taşımaya

başlamıştır. Buna bağlı olarak girişim değeri 1.7 için elde edilen arayüzeydeki normal gerilme dağılımındaki değişim 1.43'den başlayarak elde edilmiştir.



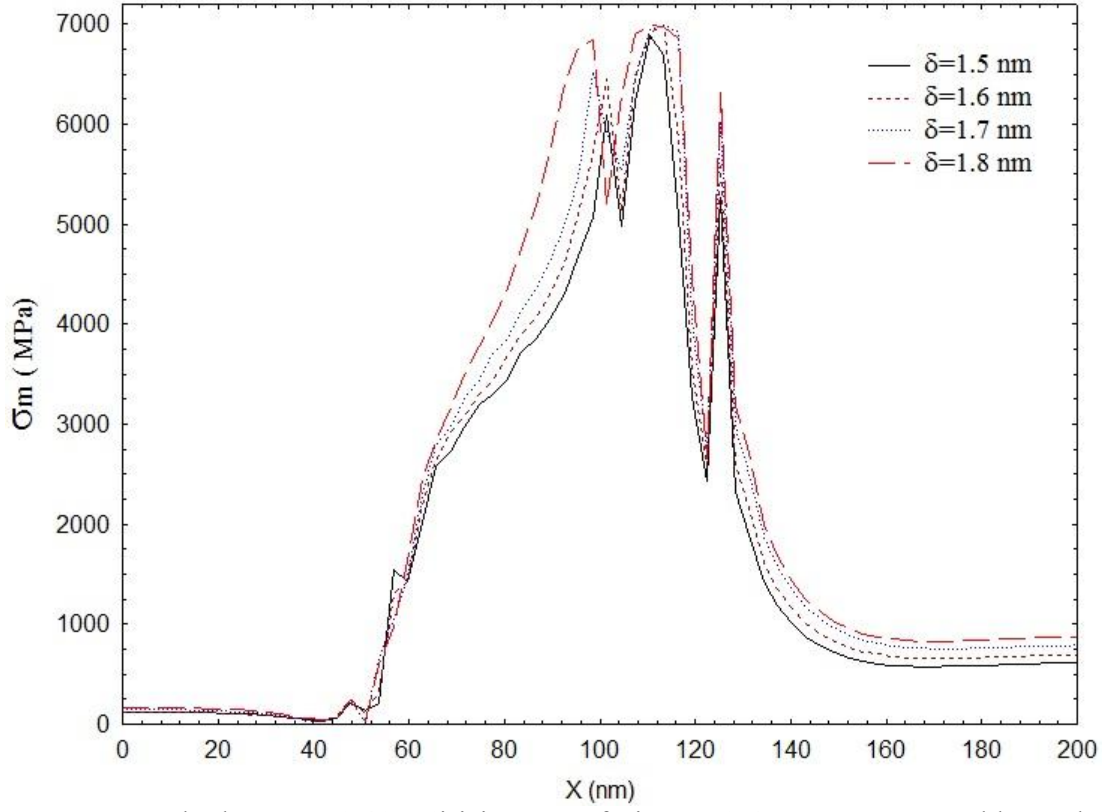
Şekil 48. Girişim Mesafesi 1.8 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 49 ile 64 arasında farklı fraktal boyutlarda (1.41, 1.43, 1.45, 1.47) ve farklı girişim mesafelerinde (1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm) analizler yapılarak elde edilen von-Mises eşdeğer gerilmelerindeki ve temas ara yüzeyinde meydana gelen von-Mises eşdeğer gerilmedeki değişimler gösterilmiştir. Şekil 49'dan 56'ya kadar fraktal boyut sabit tutularak her birinde girişim mesafeleri değiştirilmiş ve von-Mises eşdeğer gerilmelerindeki değişimler incelenirken, Şekil 57'den 64'e kadar ise girişim mesafeleri sabit tutularak her birinde fraktal boyut değiştirilmiş ve von-Mises eşdeğer gerilmelerindeki değişimler incelenmiştir.

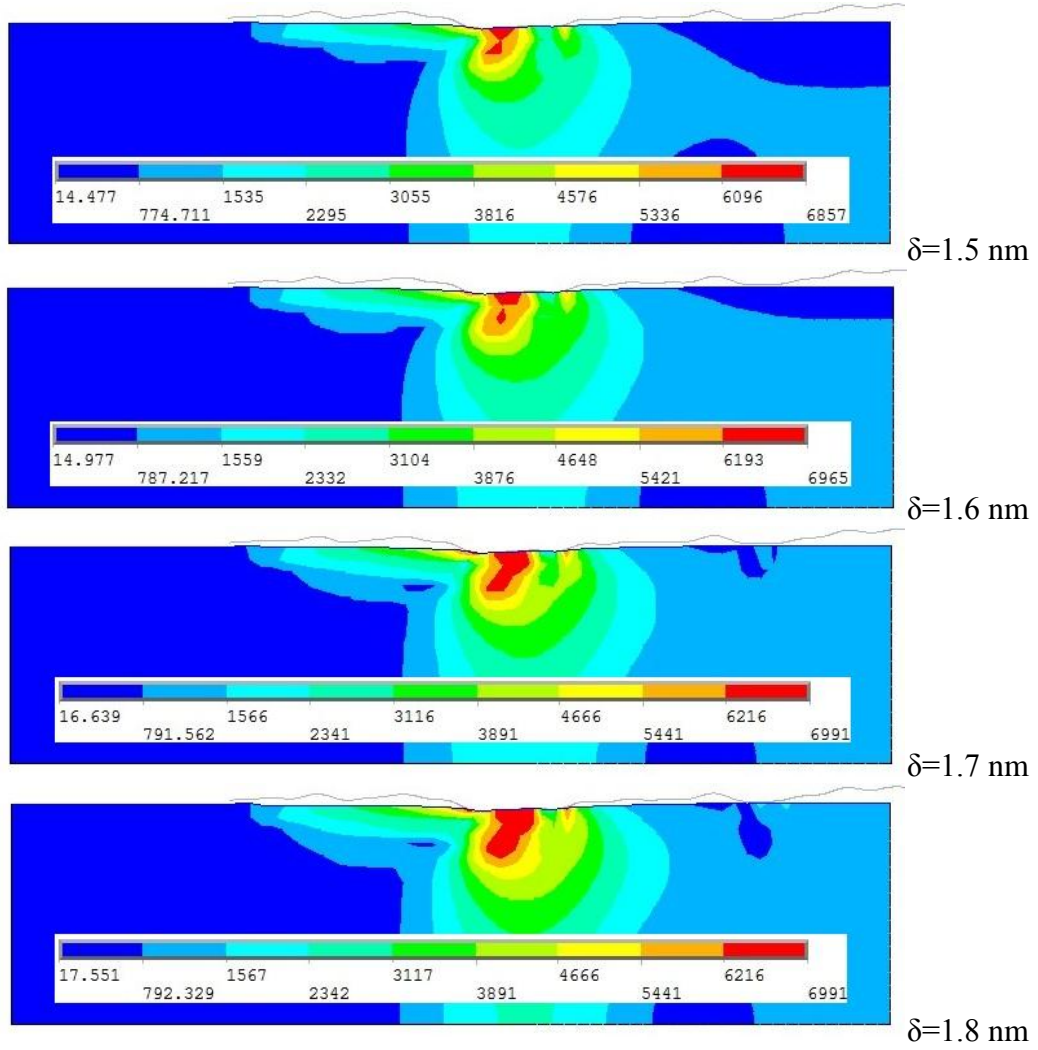


Şekil 49. Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO’da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 49’da fraktal boyut 1.41 ve kayma hızı 5 nm/s iken farklı girişim mesafelerinde (1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm) analizler yapılarak elde edilen von-mises eşdeğer gerilmelerindeki değişimler gösterilmektedir. Girişim mesafesi 1.5 nm olarak alındığında elde edilen gerilme değeri, girişim mesafesi arttırılarak 1.6 nm’ye, ve hatta 1.8 nm’ye çıkarıldığında sırası ile %1.5 ve %1 arttığı görülmektedir. Bu durum Şekil 50’de verilen ara yüzeydeki gerilme dağılımından da görülebilmektedir. Yarı-sonsuz ortamdaki gerilmenin etkisi girişim arttıkça daha geniş alanlara yayılmıştır. Ayrıca maksimum von-Mises gerilmesinin girişim arttıkça daha içlere doğru genişlediği ve alanının arttığı görülmüştür.

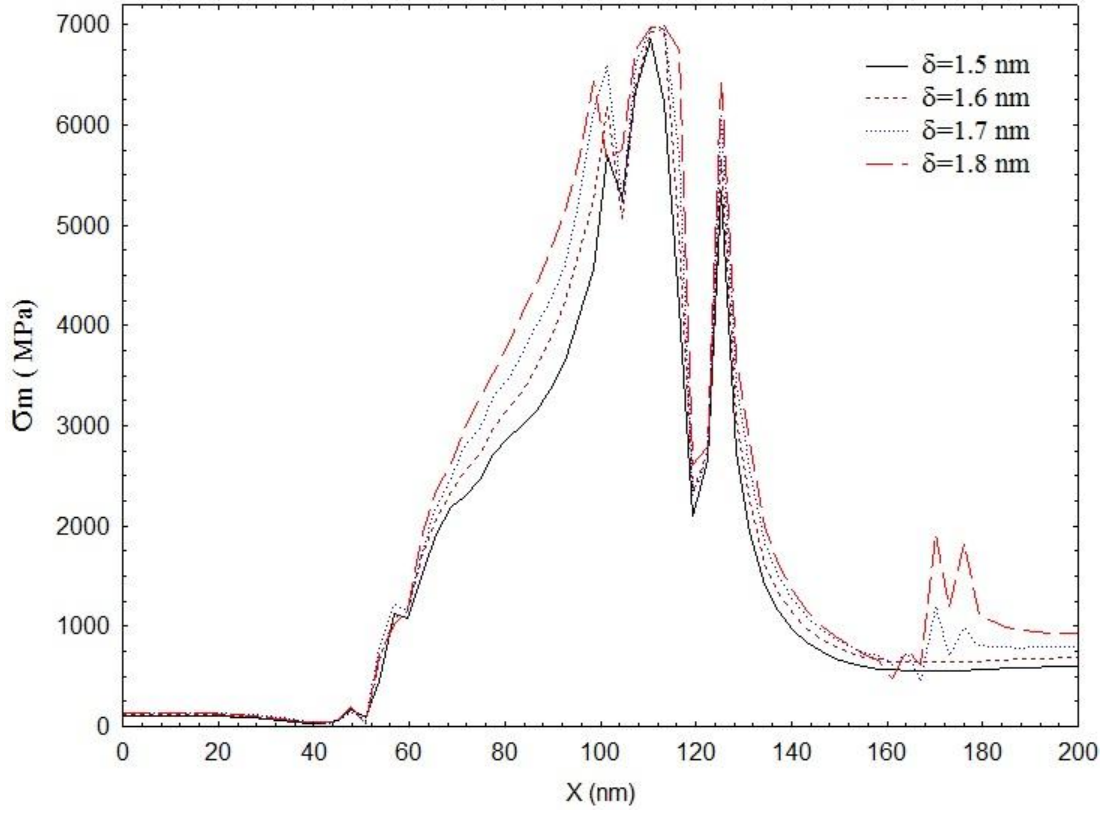


Şekil 50. Fraktal Boyut 1.41, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

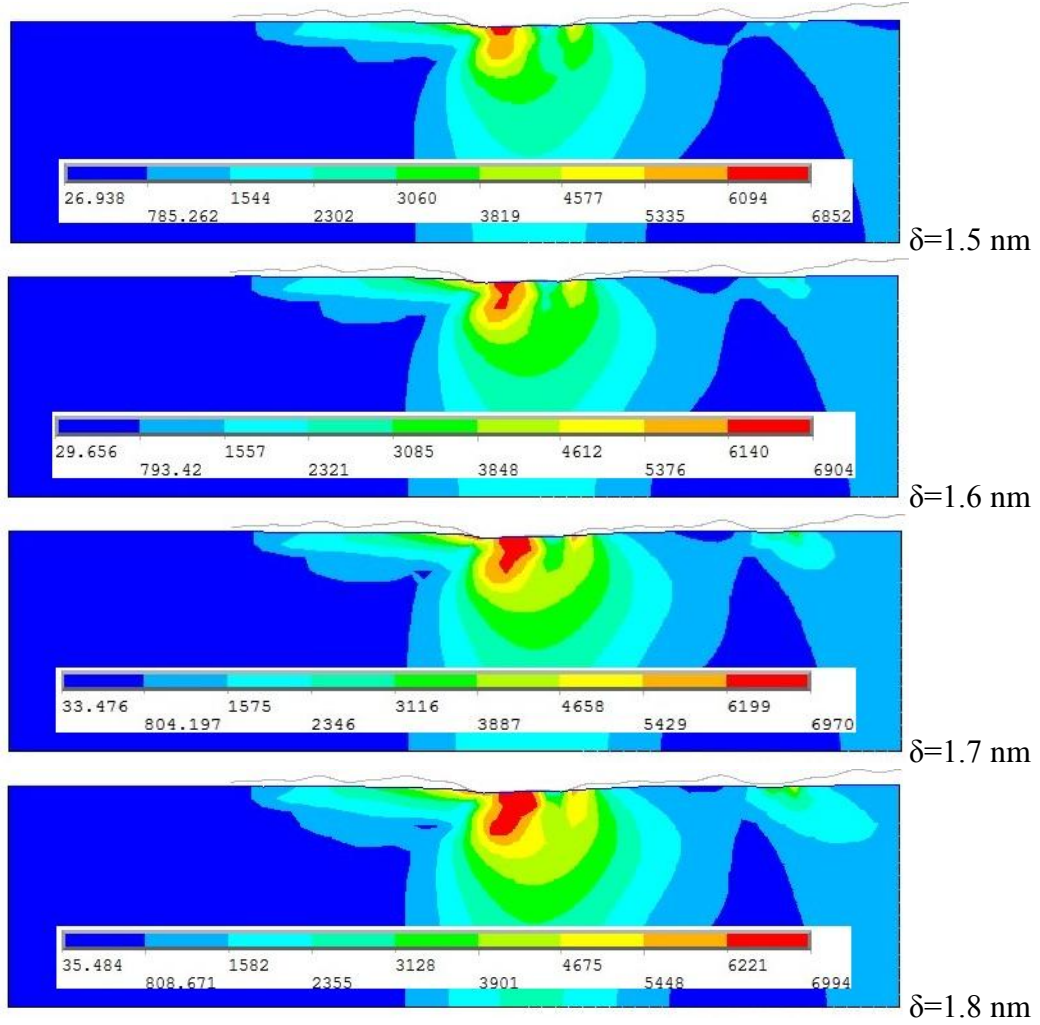


Şekil 51. Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 51'de fraktal boyut 1.43 ve kayma hızı 5 nm/s iken farklı girişim mesafelerinde (1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm) elde edilen von-Mises gerilmelerindeki değişimler gösterilmiştir. Girişim mesafesi 1.5 nm iken elde edilen von-Mises eşdeğer gerilmesi girişim mesafesi 1.6, 1.7 nm olduğunda sırası ile %1.6 ve %0.4 atmış ve maksimum eşdeğer gerilmenin etki alanı genişlemiştir. Burada girişimin artırılması temas ara yüzeyine uygulanan basıncıda arttırmıştır (Şekil 19). Bu çalışmada modellenen yüzey elastik-tam plastik olduğu için von-Mises eşdeğer gerilmesi müsaade edilen maksimum eşdeğer gerilme değerinin (7 GPa) üzerine çıkamamaktadır. Şekil 52'den de girişim arttıkça eşdeğer gerilmenin arttığı ve yeni temas eden pürüzlerin girişimin artması ile yarı-sonsuz ortama temas etmeye başladığı görülmektedir.

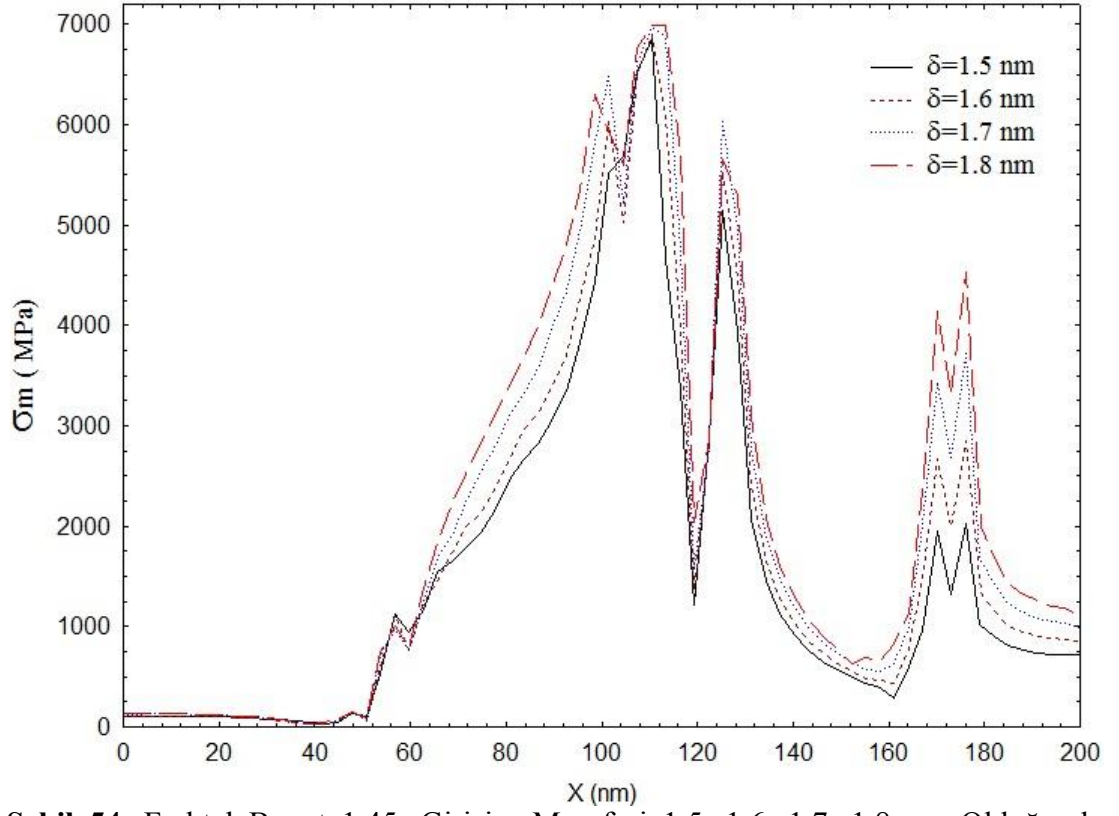


Şekil 52. Fraktal Boyut 1.43, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

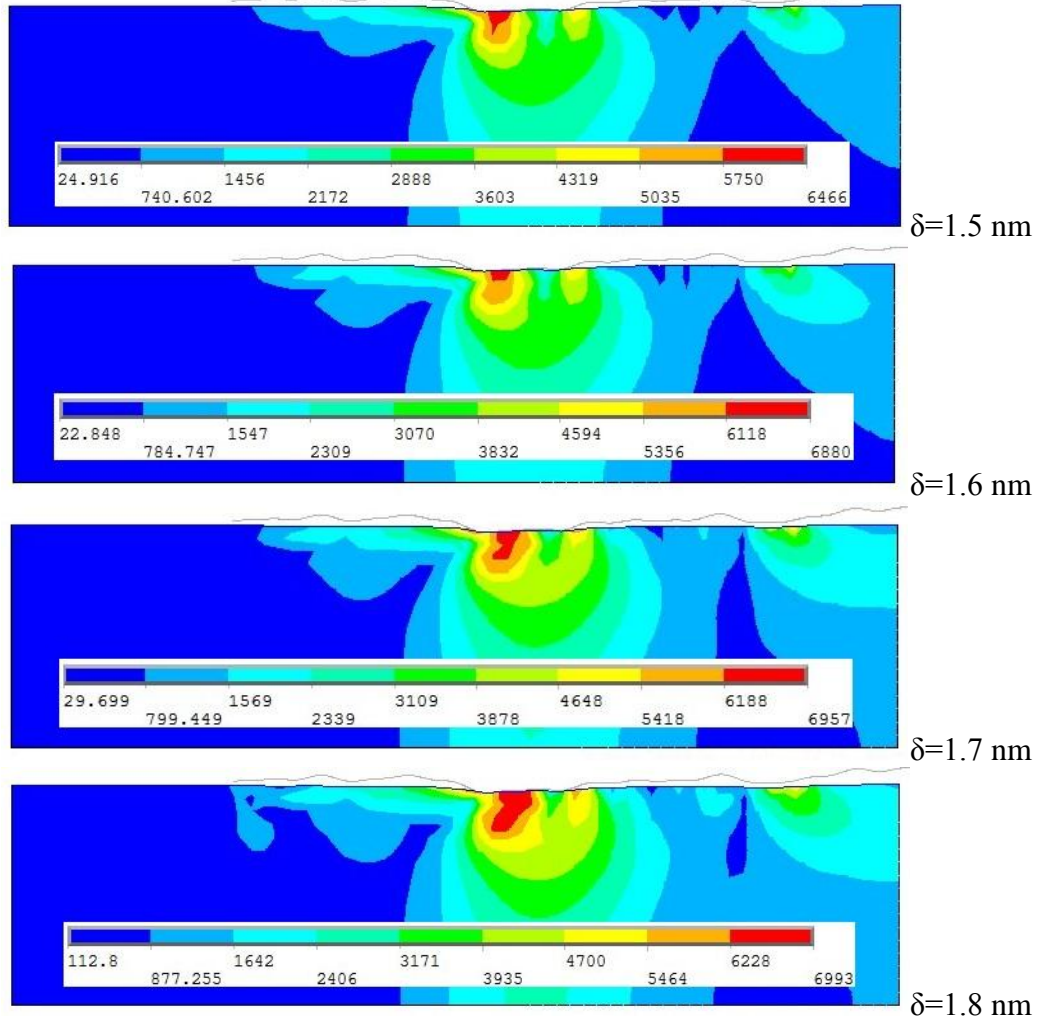


Şekil 53. Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 53'de fraktal boyut 1.45 ve kayma hızı 5 nm/s iken dört farklı girişim mesafesi için (1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm) elde edilen von-Mises eşdeğer gerilmelerinde oluşan değişimler gösterilmektedir. Girişim mesafesi 1.5 nm iken elde edilen maksimum von-Mises eşdeğer gerilmesi girişim arttıkça sırası ile %0.8, %1 ve %1.1 arttığı görülmüştür. Yine burada da maksimum eşdeğer gerilmenin yarı-sonsuz ortamda etki ettiği alan girişimin artırılması ile artmıştır. Ayrıca girişimin artması yeni pürüz temas bölgelerinde meydana gelen gerilmelerde girişimin artması ile hem yarı-sonsuz ortamda hem de temas ara yüzeyinde artmıştır (Şekil 54).

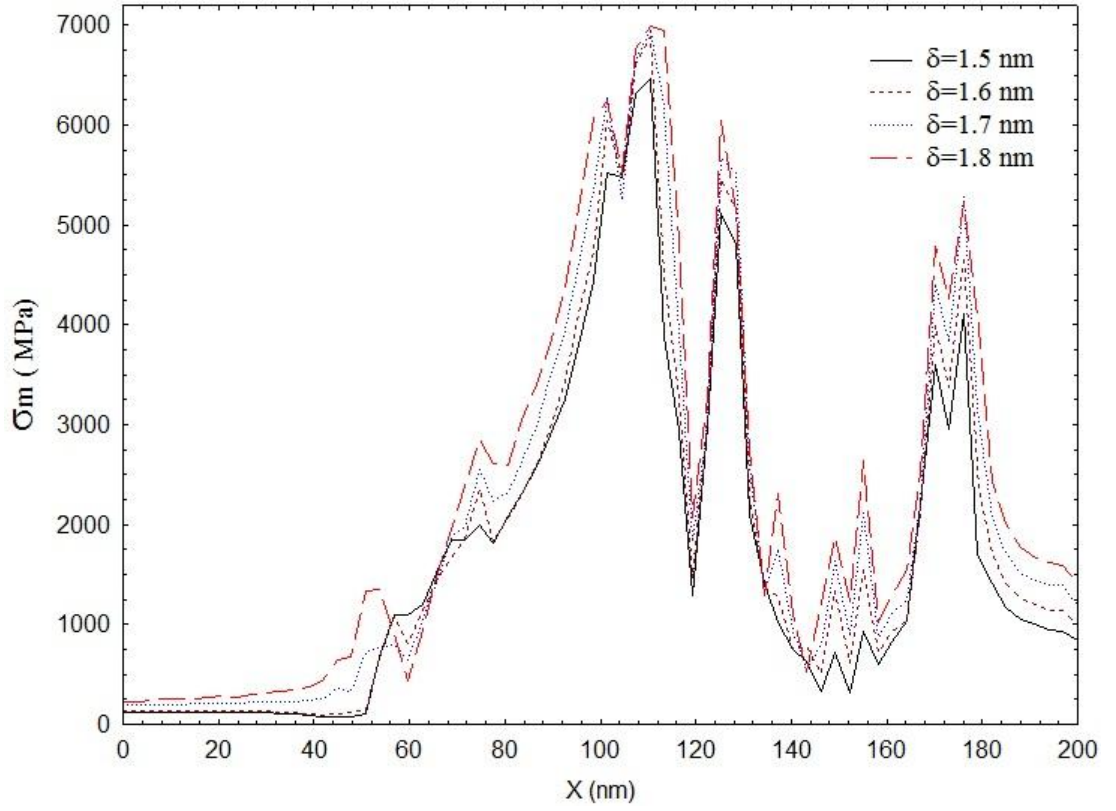


Şekil 54. Fraktal Boyut 1.45, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

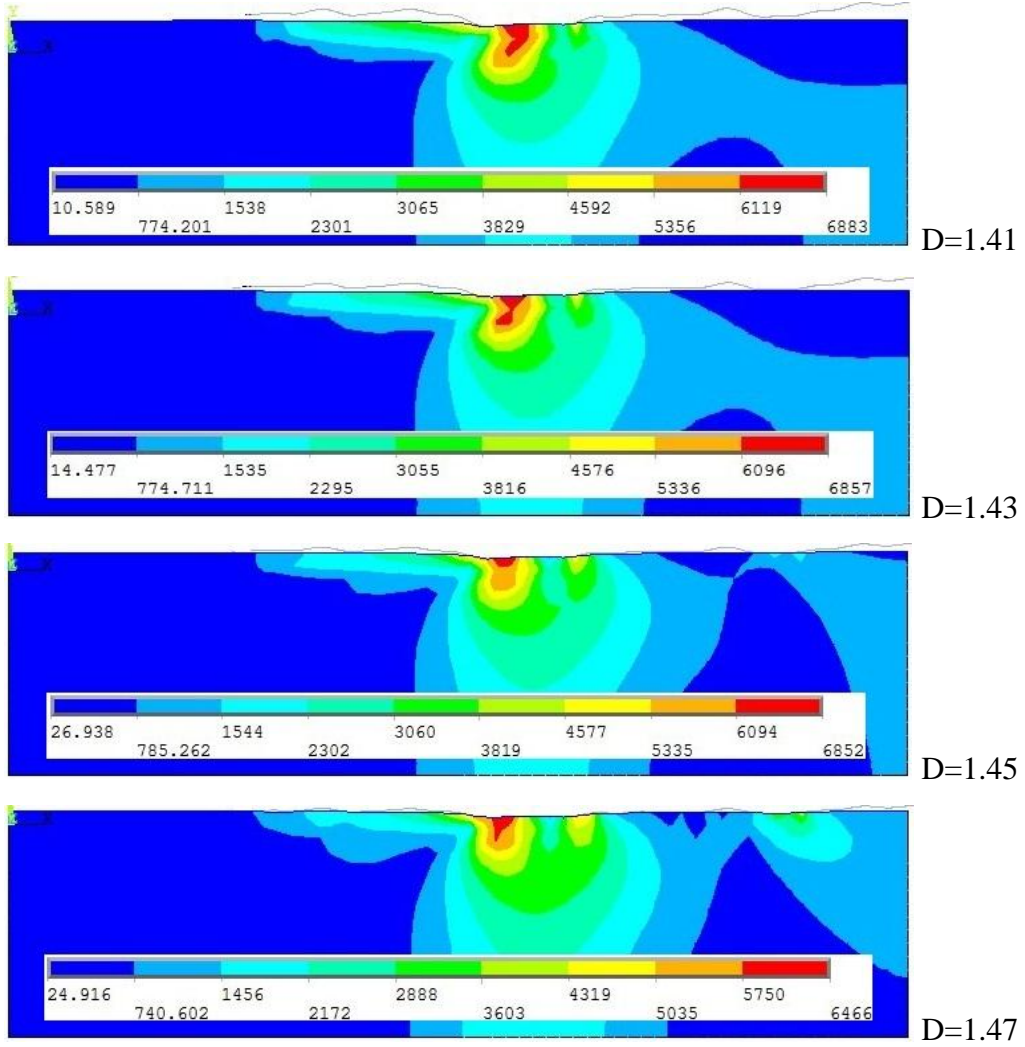


Şekil 55. Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 55'de fraktal boyut 1.47 ve kayma hızı 5 nm/s iken dört farklı girişim girilerek (1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm) elde edilen von-Mises gerilmelerindeki değişimler görülmektedir. Girişim 1.5 nm iken yarı-sonsuz ortamda elde edilen maksimum von-Mises eşdeğer gerilmesi, girişim arttırıldıkça sırası ile %6.4, %1.1 ve %0.5 artmıştır. Bununla birlikte girişim arttıkça yarı-sonsuz ortamda oluşan maksimum gerilmenin etkilediği alanında arttığı ve yarı-sonsuz ortamın içine doğru ilerlediği görülmektedir. Girişimin artması hem temas ara yüzündeki basıncı (Şekil 25) hem de temas eden diğer pürüzlerin temas ara yüzündeki eşdeğer gerilmeyi arttırmıştır (Şekil 56).

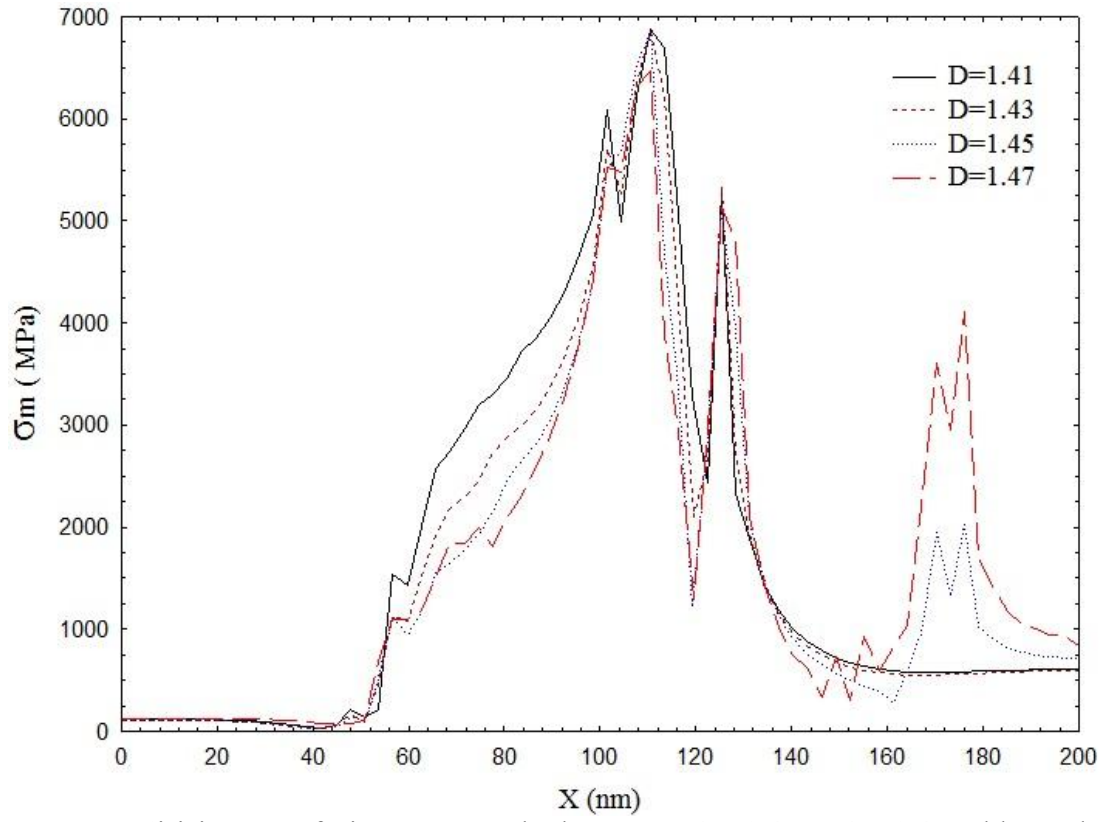


Şekil 56. Fraktal Boyut 1.47, Girişim Mesafesi 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 nm Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

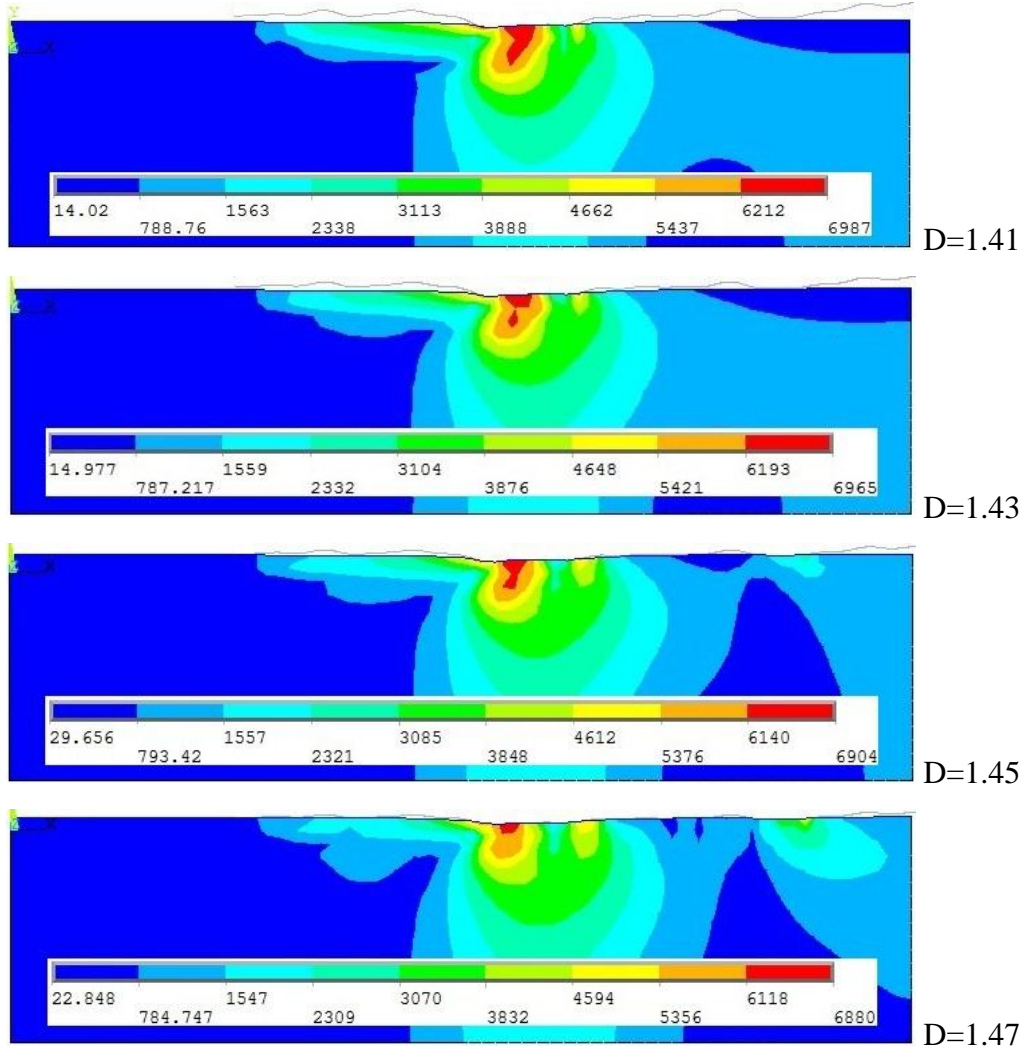


Şekil 57. Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 57'de girişim mesafesi 1.5 nm ve kayma hızı 5 nm/s iken dört farklı fraktal boyut girilmiş (1.41, 1.43, 1.45, 1.47) ve von-Mises eşdeğer gerilmesindeki değişimler görülmektedir. Fraktal boyut 1.41 iken yarı-sonsuz ortamda elde edilen maksimum von-Mises eşdeğer gerilmesinin fraktal boyut arttıkça sırası ile % 0.4, %0.07 ve %5.6 azaldığı görülmüştür. Aynı şekilde temas ara yüzeyinde meydana gelen basınç'da düşmüştür (Şekil 28). Fraktal boyutun artması ile temas alanı artmış ve oluşan gerilme yarı-sonsuz ortamda daha geniş alana yayıldığı için eşdeğer gerilme azda olsa düşmüştür. Ayrıca fraktal boyutun artması ile yeni temas bölgelerinin meydana geldiği Şekil 58'de görülmektedir.

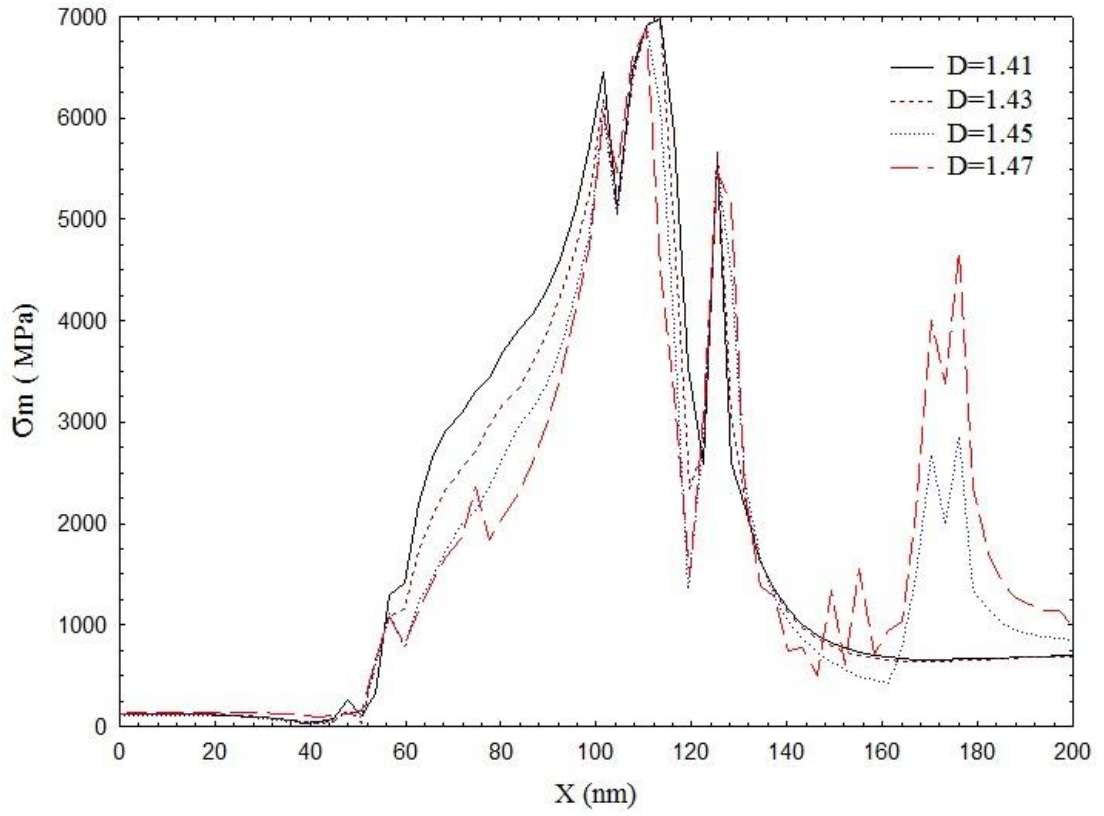


Şekil 58. Girişim Mesafesi 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

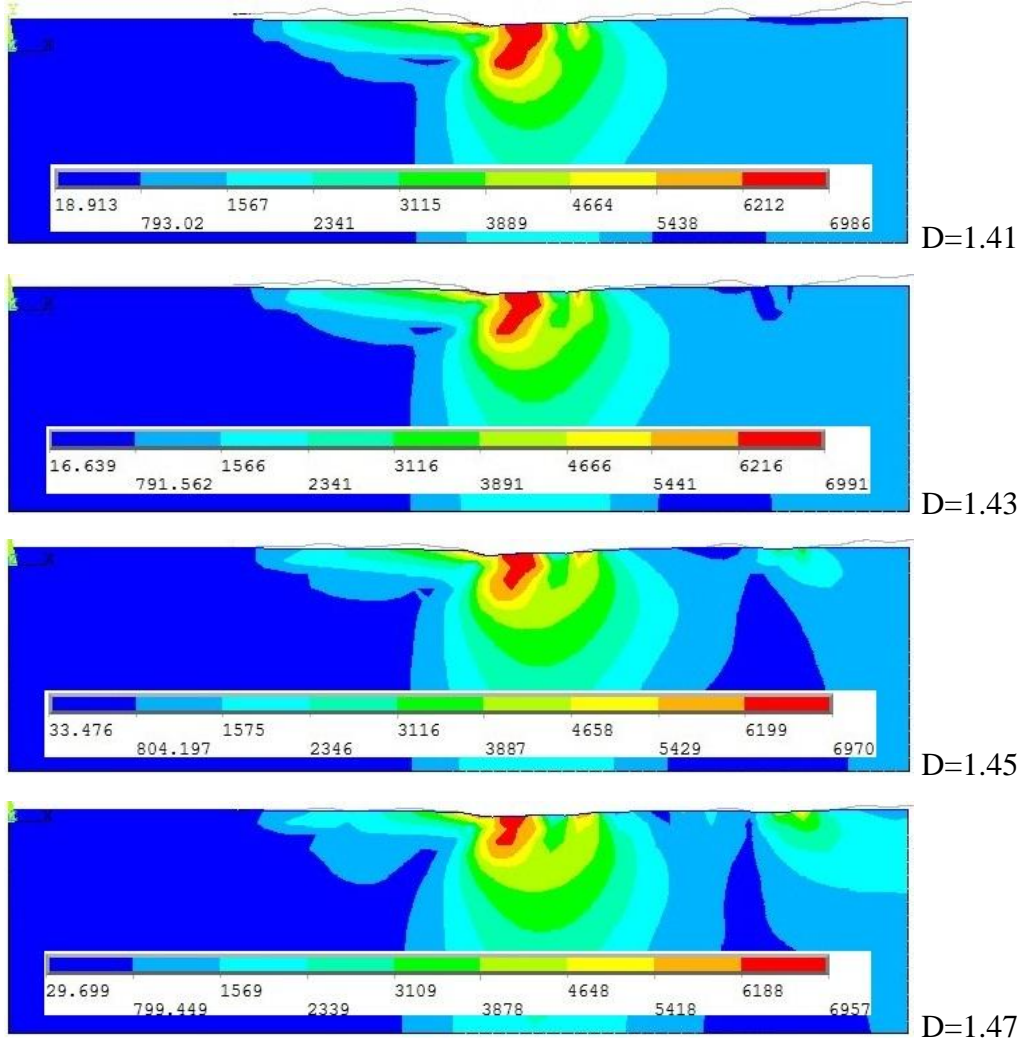


Şekil 59. Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 59'da girişim mesafesi 1.6 nm ve kayma hızı 5 nm/s iken dört farklı fraktal boyut için (1.41, 1.43, 1.45, 1.47) elde edilen von-Mises eşdeğer gerilmelerdeki değişimleri göstermektedir. Fraktal boyut 1.41 iken yarı-sonsuz ortamda elde edilen maksimum eşdeğer gerilme, fraktal boyut arttırıldıkça Şekil 57'ye benzer bir etki göstererek sırası ile %0.3, %1 ve %0.3 azalmıştır. Bu durumun sebebi fraktal boyut arttıkça pürüzler daha oval bir hal alarak temas alanını arttırmasıdır. Bu da beklendiği gibi gerilmeyi daha geniş alanlara dağıtır ve gerilme azalır. Fakat fraktal 1.41 iken yarı-sonsuz ortama temas etmeyen pürüzler için fraktal boyut arttıkça temas başlayacak ve o bölgede eşdeğer gerilme artacaktır (Şekil 60).

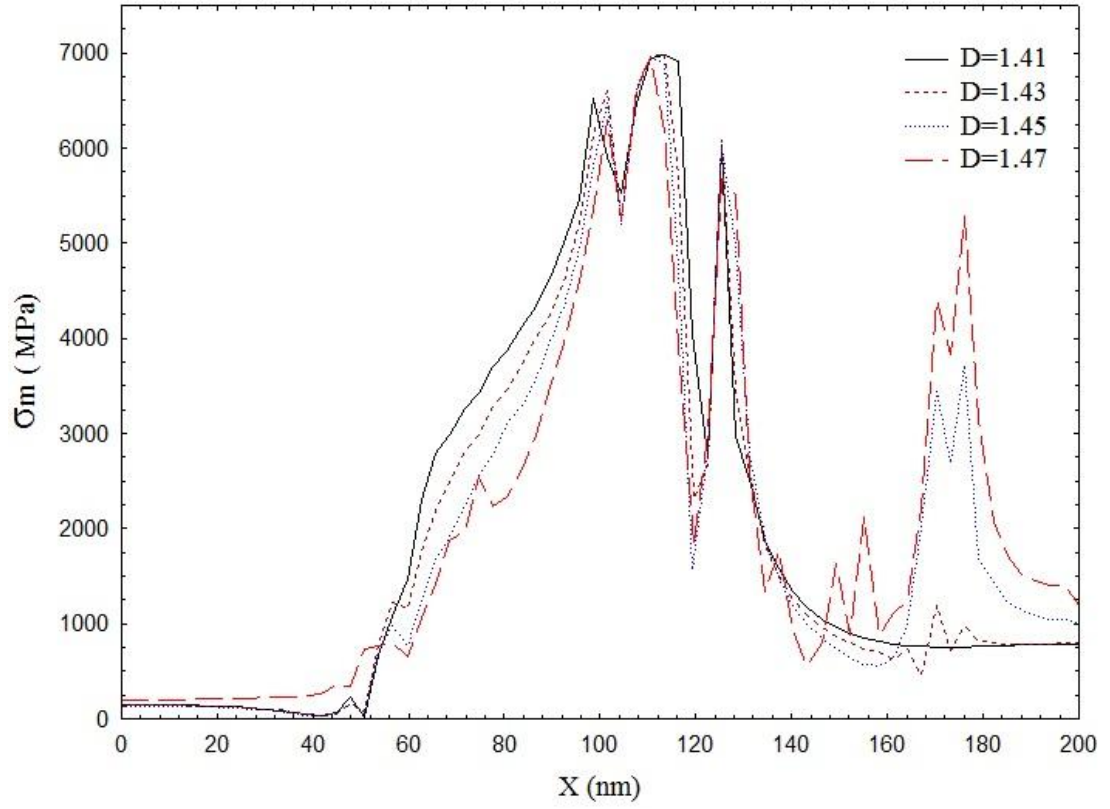


Şekil 60. Girişim Mesafesi 1.6 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

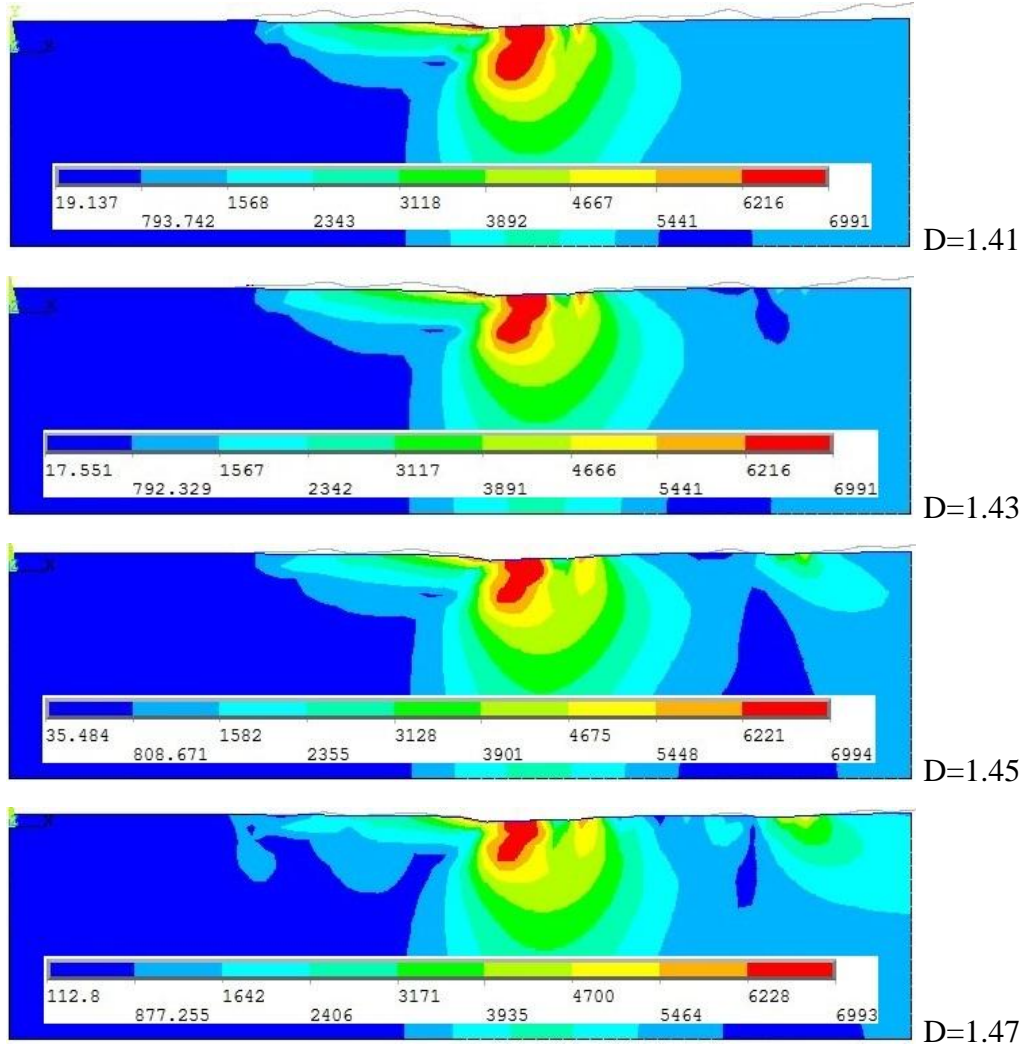


Şekil 61. Girişim Mesafesi 1.7 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 61'de girişim mesafesi 1.7 nm ve kayma hızı 5 nm/s iken dört farklı fraktal boyut için (1.41, 1.43, 1.45, 1.47) elde edilen von-Mises eşdeğer gerilmelerindeki değişimleri gösterilmiştir. Fraktal boyut 1.41 iken yarı-sonsuz ortamda elde edilen maksimum von-Mises eşdeğer gerilmeleri, fraktal boyut 1.43 olduğunda %0.07 artmış fakat fraktal boyut 1.45 ve 1.47 olarak alındığında sırası ile %0.3 ve %0.2 düşmüştür. Fraktal boyut 1.43 olduğunda görülen artış ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Fraktal boyutun artması ile birlikte yarı-sonsuz ortama yeni temas eden pürüzler gerilmenin etkidiği alanı genişleterek gerilmenin düşmesine sebep olmuştur. Şekil 62'de temas ara yüzeyinde oluşan eşdeğer gerilmenin fraktal boyut arttıkça yeni temas eden pürüzlerde gerilmenin arttığı görülmektedir.

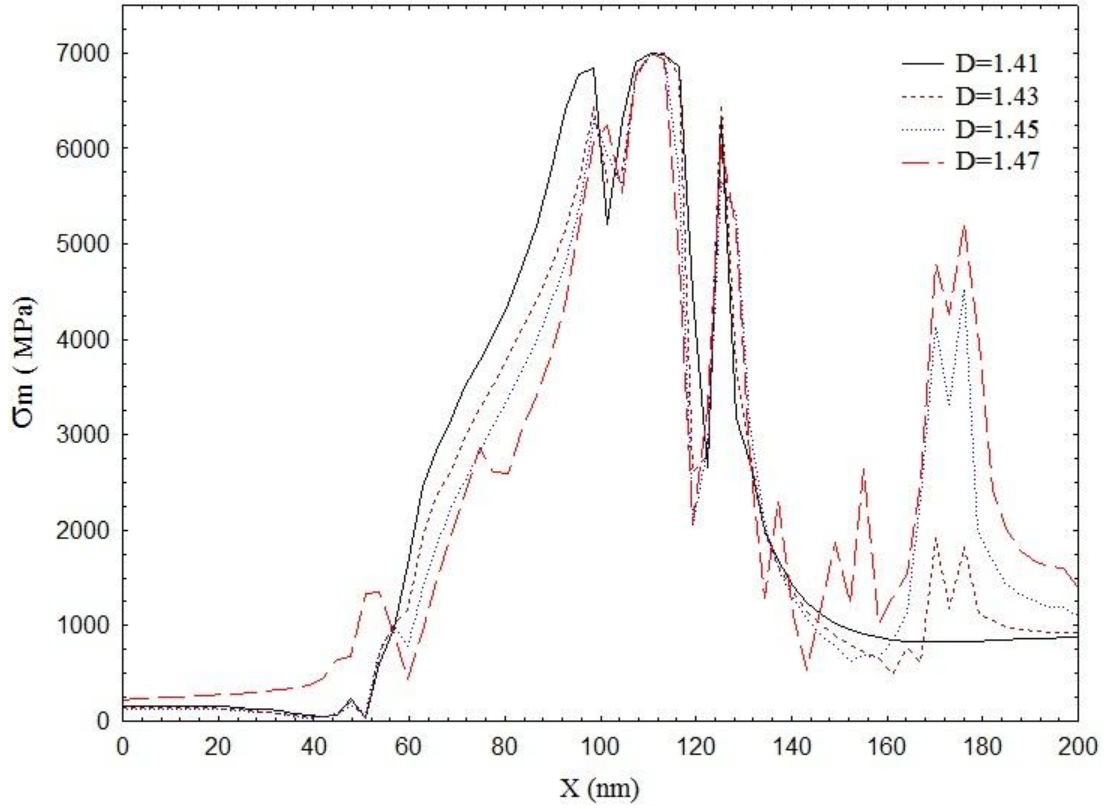


Şekil 62. Girişim Mesafesi 1.7 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı



Şekil 63. Girişim Mesafesi 1.8 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda YSO'da Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 63'de girişim mesafesi 1.8 nm ve kayma hızı 5 nm/s iken dört farklı fraktal boyut için (1.41, 1.43, 1.45, 1.47) von-Mises eşdeğer gerilmesinin değişimlerini göstermektedir. Fraktal boyut 1.41 iken yarı-sonsuz ortamda elde edilen maksimum von-Mises eşdeğer gerilmesi, fraktal boyut arttıkça çok fazla bir değişiklik görülmemiştir. Modellemenin elastik-tam plastik olmasından dolayı maksimum von-Mises eşdeğer gerilmesi müsaade edilen en yüksek gerilme değerinin (7 GPa) çok yakınılarında değerler almıştır. Şekil 64'de de görülen fraktal boyutun artması ile yeni temas eden pürüzlerden kaynaklanan eşdeğer gerilme artışını devam ettirmektedir.



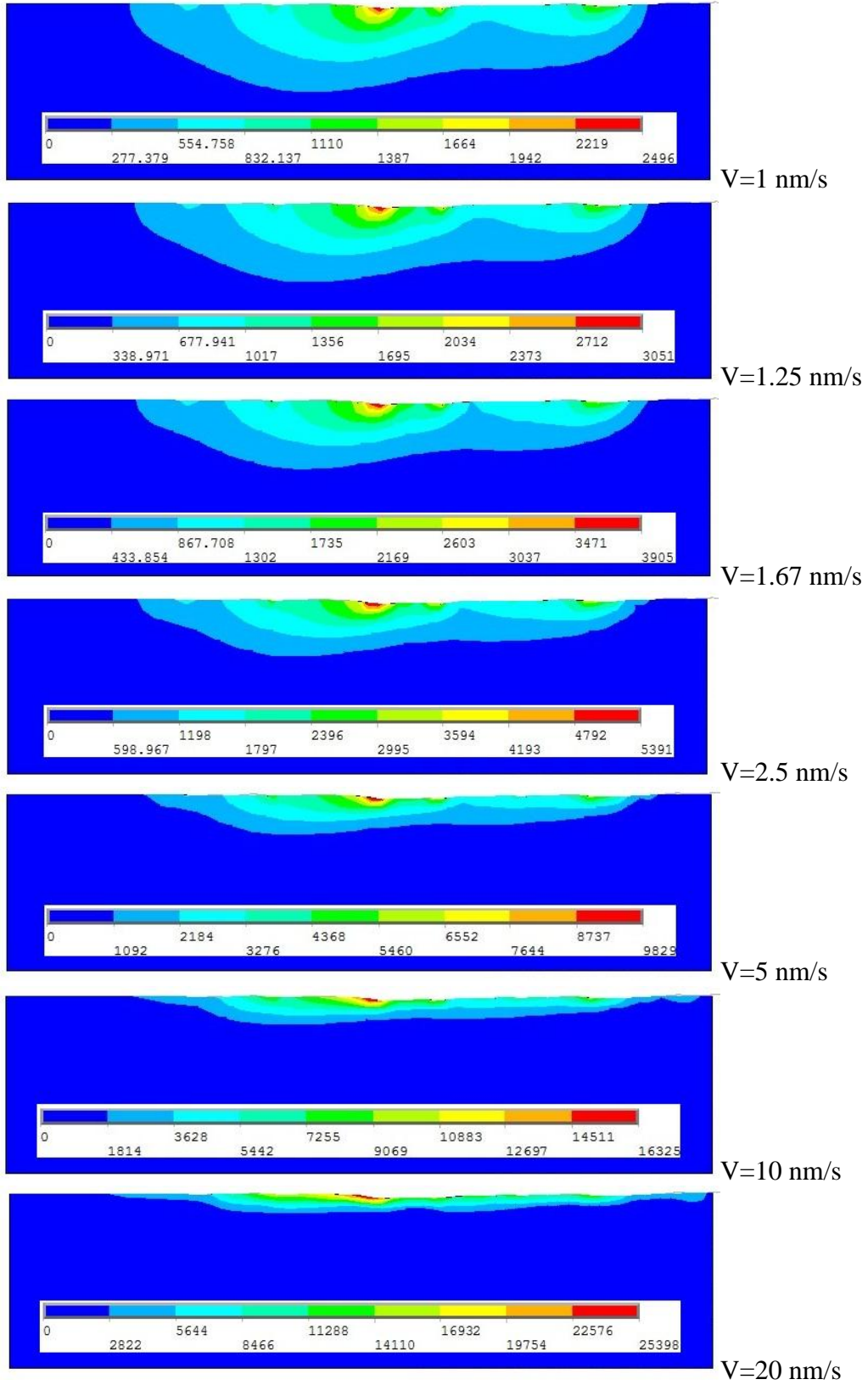
Şekil 64. Girişim Mesafesi 1.8 nm, Fraktal Boyut 1.41, 1.43, 1.45, 1.47 Olduğunda Temas Ara Yüzeyinde Meydana Gelen von-Mises Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

4.3. Sabit Fraktal Boyut ve Girişim Mesafesi Altında Değişken Kayma Hızının Sıcaklık ve Gerilmelere Etkisi

Bu kısımda, sabit fraktal boyut 1.5 ve girişim 1.5 nm için, sabit kayma mesafesi 50 nm altında farklı zaman değerleri (50, 40, 30, 20, 10, 5, 2.5 s) kullanılarak elde edilen hızların (1, 1.25, 1.67, 2.5 5, 10, 20 nm/s) yarı-sonsuz ortamdaki sıcaklık artışı ve deformasyonlar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

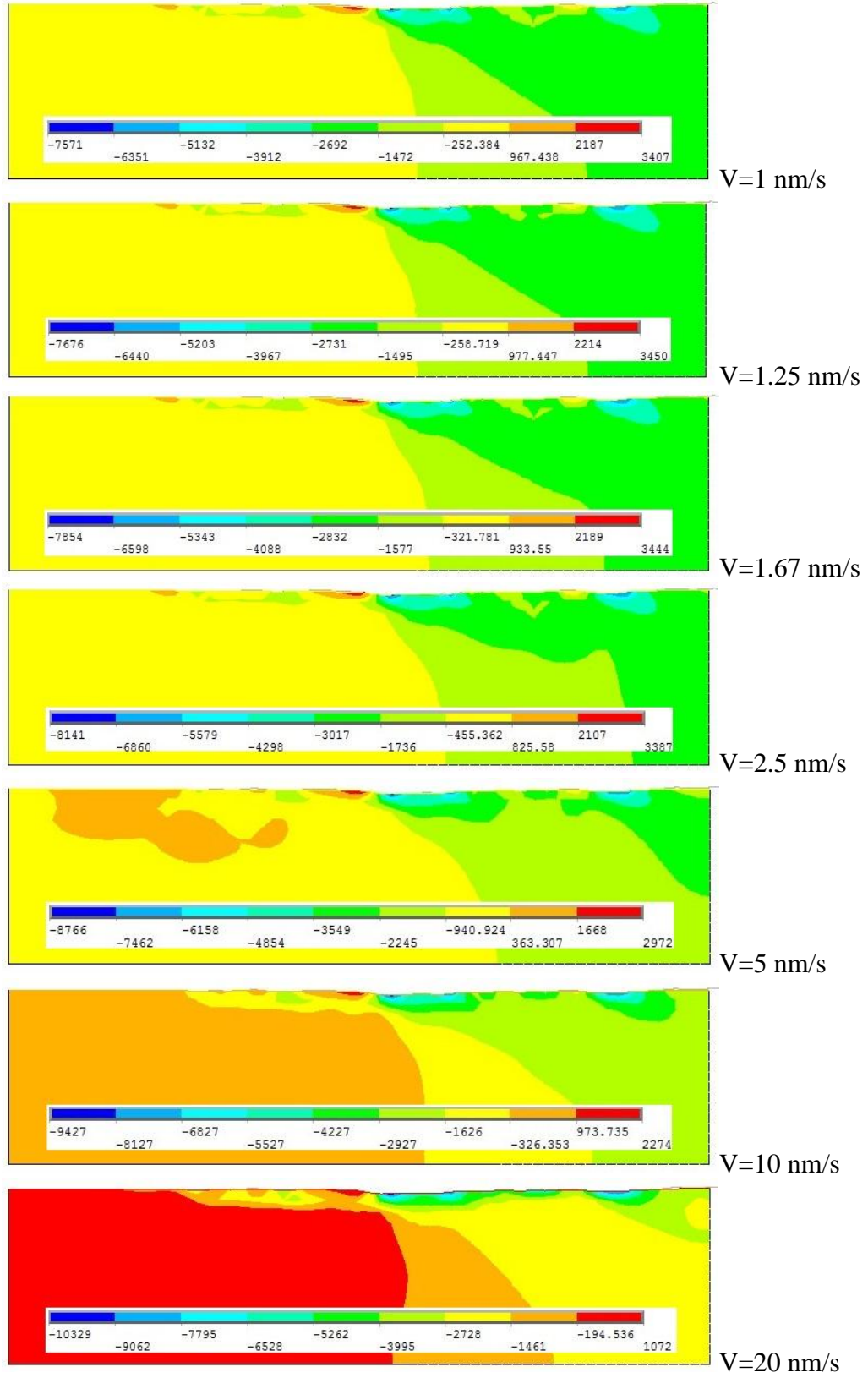
Şekil 65’de fraktal boyut 1.5 ve girişim 1.5 nm’de sabit tutularak hızdaki değişimin yarı-sonsuz ortamın sıcaklık davranışı üzerindeki etkileri verilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi hız arttıkça sıcaklıkta artmaktadır. Ayrıca hız arttıkça yarı-sonsuz ortam içersindeki sıcaklık eşyükselti eğrilerinin de daraldıkları ve sıcaklık etkisinin derinliğinin azaldığı görülmektedir. Başka bir deyişle sıcaklığın yarı-sonsuz ortam içersindeki etki mesafesi azalmaktadır.

Hız arttıkça sıcaklığın artmasının sebebi sürtünme ile oluşan ısının yarı-sonsuz ortama yayılması için yeterince zaman bulamaması nedeniyle ara yüzeyde kümülatif etki oluşturması ve pürüzlü yüzey hareket ettikçe bu etkinin artmasıdır. Dolayısıyla hız ve kayma mesafesi arttıkça bu etkide artacaktır. Ayrıca zaman arttıkça yarı-sonsuz ortamda oluşan sıcaklık daha derin bölgelere doğru kaymakta ve daha iç bölgelerde etkisini göstermeye başlamaktadır.



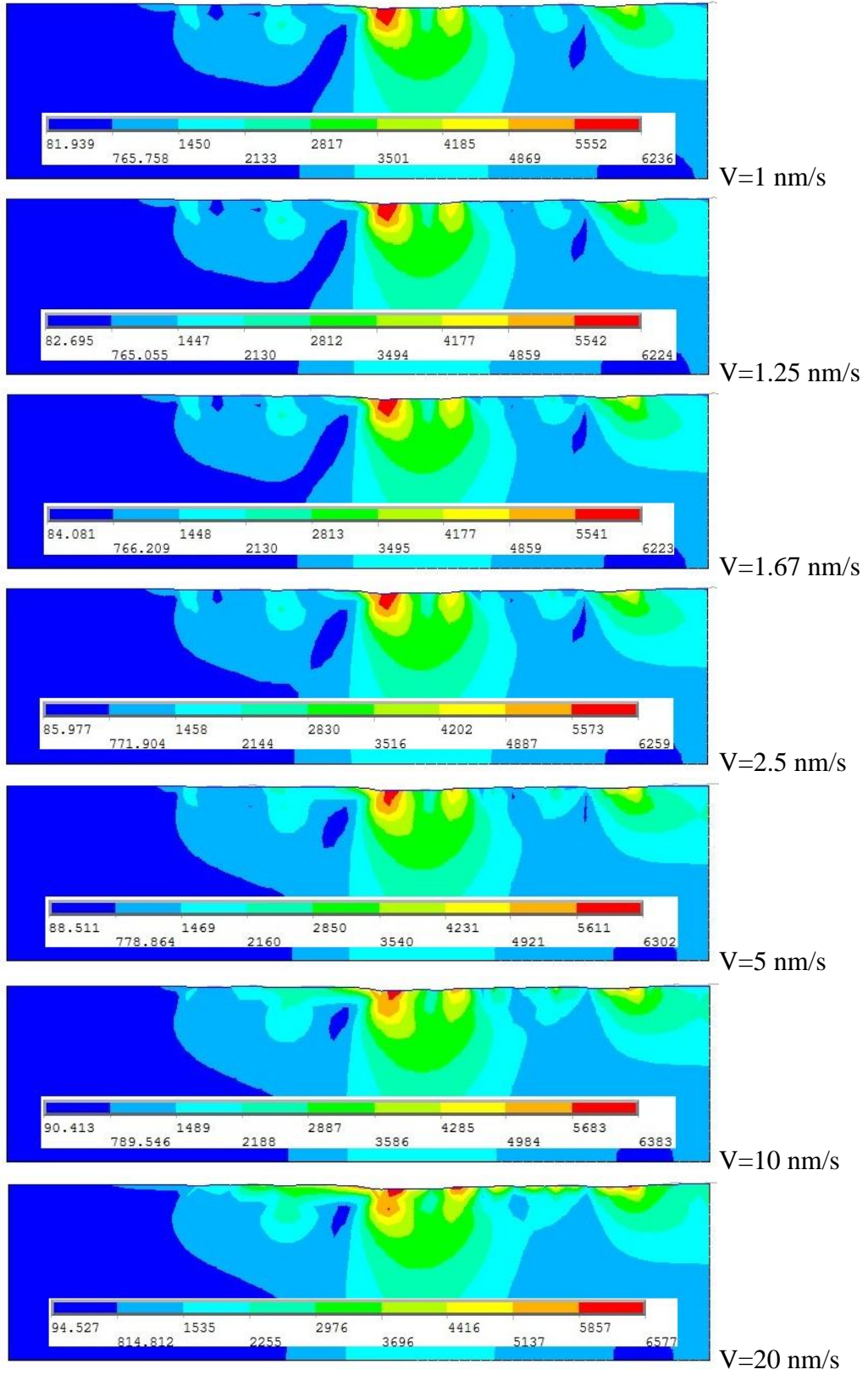
Şekil 65. Girişim 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.5 ve Kayma Hızı 1, 1.25, 1.67, 2.5, 5, 10, 20 nm/s Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Sıcaklık (°C) Artış Dağılımı

Şekil 66'da fraktal boyut 1.5 ve girişim 1.5 nm'de sabit tutularak 1, 1.25, 1.67, 2.5 5, 10, 20 nm/s'de kayma işlemini gerçekleştirilerek normal gerilmeye etkileri incelenmiştir. Kayma hızının 1 nm/s olduğu durumda kayma sonrası oluşan bası gerilmesi, hızı arttırarak 1, 1.25, 1.67, 2.5 5, 10, 20 nm/s olarak alındığında düzenli olarak artmaktadır. Hızın yüksek değerlere çıkartılması yüzeye yakın noktalarda gerilme yığılması oluşmasına neden olmuş ve eş yükselti eğrileri yüzeye giderek yakınlaşmıştır. Bu durum yüzeye yakın noktalarda gerilme yığılmasına ve doğal olarak da yarı-sonsuz ortamda oluşan maksimum bası gerilmesinin artmasına neden olmuştur.



Şekil 66. Girişim 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.5 ve Kayma Hızı 1, 1.25, 1.67, 2.5, 5, 10, 20 nm/s Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Normal Gerilme (MPa) Dağılımı

Şekil 67’de fraktal boyut 1.5 ve girişim 1.5 nm’de sabit tutularak 1, 1.25, 1.67, 2.5 5, 10, 20 nm/s’de kayma işlemini gerçekleştirilerek von-Mise eşdeğer gerilmesine etkileri incelenmiştir. Kayma hızı 1 nm/s olarak alındığında yarı-sonsuz ortamda elde edilen maksimum von-Mises eşdeğer gerilmesi, hız arttırıldıkça artmıştır. Bu durumun sebebi kayma hızının artması ile birlikte yarı-sonsuz ortamda oluşan eşdeğer gerilmenin yüzeye yaklaşarak gerilme yığılması oluşturmasıdır. Hız 1 nm/s olduğunda yarı-sonsuz ortamda oluşan eş yükselti eğrileri hız arttıkça küçülerek yüzeye daha da yaklaşmıştır. Buda yine gerilme yığılmasının yarı-sonsuz ortam üzerindeki etkisinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 67. Girişim 1.5 nm, Fraktal Boyut 1.5 ve Kayma Hızı 1, 1.25, 1.67, 2.5, 5, 10, 20 nm/s Olduğunda YSO'da Meydana Gelen Eşdeğer Gerilme (MPa) Dağılımı

SONUÇ

Bu çalışmada Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak fraktal geometriyle modellenmiş rijit pürüzlü bir yüzeyin düzgün pürüzsüz yüzeyle elastik-plastik yarı-sonsuz ortam üzerinde kaydığı termo-mekanik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde yüzey pürüzlülüğündeki değişim fraktal boyut değişimi şeklinde düşünülmüş ve bu değişimin yarı-sonsuz ortamın deformasyon davranışı ve sıcaklık değişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca rijit fraktal pürüzlü yüzeyin kayma hızları ve girişim derinliği değiştirilerek bu değişimlerin yarı-sonsuz ortamın yine deformasyon davranışı ve sıcaklık değişimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu incelemeler ışığında aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir.

1. Artan fraktal boyut yüzey pürüzlülüğünü azalmış, yüzey üzerindeki pürüzlerin uçlarını yuvarlaklaştırmış ve böylece daha fazla pürüzün temas etmesine neden olmuştur.
2. Girişim sabit tutularak fraktal boyutun artırılması hem sıcaklığı hem de normal ve eşdeğer gerilmeleri düşmüştür.
3. Girişim mesafesi ve fraktal boyut sabit tutularak kayma hızının artırılması hem sıcaklıkları hem de normal ve eşdeğer gerilmeleri arttırmıştır.
4. Kayma hızının artması maksimum von Mises gerilme konturunun genişlemesine sebep olmuştur.
5. Fraktal boyut sabit tutularak girişimin artırılması hem sıcaklık hem de normal ve eşdeğer gerilmeleri arttırmıştır.
7. Fraktal boyutun ya da girişim mesafesinin değiştirilmesi sonucu eş yükselti eğrileri yarı-sonsuz ortamda genişlediğinde sıcaklık ve gerilmeler daha geniş alanlara yayıldığı için hem sıcaklık hem de gerilmeler düşmüştür.

KAYNAKLAR

1. Mandelbrot, B. B., 1983. The Fractal Geometry of Nature, Freeman, New York, NY.
2. Blok H. Theoretical study of temperature rise at surfaces of actual contact under oiliness lubricating conditions. In: Proceedings of general discussion on lubrication and lubricants, Institution of Mechanical Engineers, London, 1937, vol. 2. p. 222–35.
3. Jaeger JC. Moving sources of heat and the temperature at sliding contacts. Proc R Soc NSW 1942;76:203–24.
4. Kopac, J. and Bahor, M., 1999, “Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product”, Journal of Materials Processing Technology, 92-93.
5. Yuan, Z.J., Zhou, M. and Dong, S., 1996, “Effect of diamond tool sharpness on minimum cutting thickness and cutting surface integrity in ultraprecision machining”, Journal of Material Processing Technology 62, 327-330.
6. Eriksen, E., 1998, “Influence from production parameters on the surface roughness of a machined short fibre reinforced thermoplastic”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 39, 1611-1618.
7. Özses, B., 2002, “Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgahlarında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara.
8. Paul, S., and Dhar, N.R., 2001, Beneficial Effects of Cryogenic Cooling Over Dry and Wet Machining On Tool Wear and Surface Finish in Turning AISI 1060 Steel, Journal of Material Processing Technology, 116: 44-48.
9. Dhar N.R., and Poul, S., 2001, “Machining of AISI 4140 steel under cryogenic cooling – tool wear surface roughness and dimensional deviation”, Journal of Material Processing Technology, 123: 483-489.
10. Lee K, Barber JR. Frictionally excited thermoelastic instability in automotive disk brakes. ASME J Tribol 1993;115:607–14.
11. Azarkhin A, Barber JR. Thermoelastic instability for the transient contact problem of two sliding half-planes. ASME J Appl Mech 1986;53:565–72.
12. Lin, W.S., and Lee, B.Y., 2001, “Modeling the surface roughness and cutting forces during turning”, Journal of Material Processing Technology, 108: 286-293.

13. Risbood, K.A., and Dixit, U. S., 2003, "Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibration in turning process", *Journal of Material Processing Technology*, 132: 203-214.
14. Ghani, A.K., and Choudhury, I.A., 2002, "Study of tool life surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool", *Journal Of Material Processing Technology*, 127: 17-22.
15. Petropoulos, G.A., Torrance, A., and Pandazaras, C.N., 2003, "Abbott Curves Characteristics of Turned Surfaces", *International Journal of Machine Tool & Manufacture*, 43: 237-243.
16. Feng, C., Wang, X., 2002, "Development of empirical models for surface roughness prediction in finish turning", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 20: 1-8.
17. Sekulić, S., 2002, "Correlation between the maximal roughness height and mean arithmetic deviation of the profile from the mean line of machined surface in finish turning", *International Conference on Tribology*, pp 29-34.
18. Gadelmavla, E.S., Koura, M.M., 2002, "Roughness Parameter", *Journal of Material Processing Technology*, 123: 133-145.
19. B. Vick, L.P. Golan, M.J. Furey, Thermal effects due to surface films in sliding contact, *ASME J. Tribol.* 116 (1994) 238–246.
20. A.J. Day, T.P. Newcomb, The dissipation of frictional energy from the interface of an annular disk brake, *Proc. Inst. Mech. Eng.* 198D (1984) 201–209.
21. K. Komvopoulos, Head–disk interface contact mechanics for ultrahigh density magnetic recording, *Wear* 238 (2000) 1–11.
22. A. Özer, H. Sofuoğlu, "Fraktal Geometriyle Modellenmiş Rijit Pürüzlü Yüzey ile Kayma Teması Yapan Yarı-sonsuz Ortamdaki Çatlak İlerlemesinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi" 8. Uluslar Arası Kırılma Konferans Bildiriler Kitabı 7 – 9 Kasım 2007
23. Majumdar, A. ve Tien, C.L., 1990. Fractal Characterization and Simulation of Rough Surfaces, *Wear*, 136,313-327.
24. Gong Z-Q, Komvopoulos K. Thermo mechanical analysis of semiinfinite solid in sliding contact with a fractal surface. *ASME J Tribol* 2005;127:331–42.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Kırıkkale’de doğan Mulla Ahmet PEKOK, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Milli Eğitim Vakfı İlköğretim Okulu ve Kırıkkale Lisesinde tamamlamıştır. 2006 yılında kazandığı Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü 2010 yılında başarıyla bitirmiştir.

2011 yılında yüksek lisans eğitimine Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır.

İletişim Bilgileri

Adres: Fabrikalar mah. 11. Sk. 15/1 Merkez

71100 KIRIKKALE

Telefon:(0543) 7124201

E-posta: ahmetpekok@hotmail.com