TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZİRKONYUM OKSİT ESASLI SERAMİK SİSTEMLERİNDE LAZERLE YAPILAN PÜRÜZLENDİRMENİN BAĞLANTI GÜCÜNE ETKİSİ

Eda DÖRTERLER

PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Betül KALIPÇILAR

2007- ANKARA

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZİRKONYUM OKSİT ESASLI SERAMİK SİSTEMLERİNDE LAZERLE YAPILAN PÜRÜZLENDİRMENİN BAĞLANTI GÜCÜNE ETKİSİ

Eda DÖRTERLER

PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Betül KALIPÇILAR

Bu tez Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Destek Fonu tarafından 2 no'lu proje ile desteklenmiştir.

2007- ANKARA

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Protetik Diş Tedavisi Doktora Programı
çerçevesinde yürütülmüş olan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından
Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.
Tez Savunma Tarihi: 28/12/2007

Jüri Başkanı

Prof. Dr. Betül Kalıpçılar

Üye

Prof. Dr. Semih Berksun

Üye

Prof. Dr. Sema Şahmalı

Üye

Prof. Dr. M. Kemal Ünsal

Üye

Doç. Dr. Akif Esendemir

İÇİNDEKİLER

Kabul ve Onay ii

İçindekiler iii

Önsöz vi

Simgeler ve Kısaltmalar vii

Şekiller viii

Çizelgeler xiv

1. GİRİŞ

1.1. Dental seramikler....1
1.2. Tam Seramiklerin Geliştirilmesi....2
1.3. Dental Seramiklerin Sınıflandırılması....2
1.3.1. Silikat Seramikler....4
1.3.1.1. Feldspatlar....4
1.3.1.1.1. Konvensiyonel Feldspat Porselenler....4
1.3.1.1.2. Yüksek Dirençli Feldspat Porselenler....5
1.3.1.2. Alümina Porselenler....6
1.3.2. Oksit Seramikler....6
1.3.2.1. Alüminyum Oksit Seramikler....6
1.3.2.2. Zirkonyum Oksit Seramikler....7
1.4. Tam Seramik Restorasyonlarda Simantaston....10
1.4.1. Diş Yüzeyine Uygulanan İşlemler....10
1.4.2. Seramik İç Yüzeyine Uygulanan İşlemler....11

1.5. Lazer 13
1.5.1. Neodmiyum Lazeri.....14
1.5.2. Q anahtarı ve Flaş lambası……..15
1.5.3. Lazer Enerjisinin Malzeme Yüzeyine Etki Mekanizması……...15
1.5.3.1. Lazer Dalga Boyuna Bağlı Etkiler……..15
1.5.3.2. Birim Alana Düşen Güç Yoğunluğu……..16
1.5.3.3. Madde Yüzeyine Aktarılan Toplam Enerji……16
1.6. Atomik Kuvvet Mikroskobu……..17

2. GEREÇ VE YÖNTEM 20

2.1. Örneklerin Hazırlanması.....20
2.1.1. Seramik Örneklerin Hazırlanması.....20
2.1.2. Metal Plakanın Hazırlanması.....22
2.1.3. Kompozit Örneklerin Hazırlanması.....23
2.2. Metal Mikroskobu İncelemeleri ve Grupların Seçimi……25
2.3. Lazer Enerjisinin Uygulanması……..26
2.4. Simantasyon……...29
2.5. Bağlantı Gücü Deneyi……31
2.6. Yüzey Analizleri……32
2.6.1. Atomik Kuvvet Mikroskobu……..33
2.6.2. Tarama Elektron Mikroskobu İncelemesi……..34

3. BULGULAR 35

3.1. Metal Mikroskobu Bulguları ……35
3. 2. Bağlantı Testi Sonuçları……....38
3.2.1. İstatistiksel İnceleme……38
3.3. Kopma Yüzeyi Analizi.....49
3.4. SEM ve AFM Bulguları…….....49
3.4.1. P Grubu…….....49

3.4.2. SB Grubu…….....54
3.4.3. Nd-YAG (532) 80 mj (PL1)Grubu…….....59
3.4.4. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) Grubu…….....66
3.4.5. Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3) Grubu……71
3.4.6. Nd-YAG (1064) 120 mj (PL4) Grubu……...76
3.4.7. SB+Nd-YAG (532) 80 mj (SBL1) Grubu……..81
3.4.8. SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) Grubu…….....86
3.4.9. SB+Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3) Grubu…….....92
3.4.10. SB+ Nd-YAG (1064) 120 mj (SBL4) Grubu…….....96

4. TARTIŞMA 101
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 115

ÖZET 116
SUMMARY 117
KAYNAKLAR 118
ÖZGEÇMİŞ 123

ÖNSÖZ

Lazerler son yıllarda dental alanda pek çok yeni kullanım alanı bulmaktadır. Lazer sistemleriyle dental dokuların rezin siman bağlantısının artırılması için pürüzlendirilmesiyle ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmasına karşın porselen yüzeylerin bağlantıya hazırlanmasında gerekli pürüzlülük elde edilmesi ile az sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu araştırmada Neodmiyum YAG lazerinin farklı dalga boylarının zirkonyum oksit esaslı seramik yüzeye uygulanmasıyla geleneksel kumlama yöntemi arasındaki pürüzlülük farklılıkları atomik kuvvet mikroskobu ile incelenmiş yüzeyler elektron tarama mikroskobu ile değerlendilmiş ve rezin siman bağlantısına etkilerini görmek amacıyla shear bond testi uygulanmıştır.

Doktora tezimi hazırlamam sırasında ve tüm yaşamım boyunca sevgi ve ilgilerini, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, tez çalışmalarım süresince her durumda, yaşadığım tüm zorluklarda beni özveri ile destekleyen, bilgi ve tecrübesini paylaşan danışmanım Prof. Dr. Betül Kalıpçılar'a, her aşamada fikrini danıştığım, birlikte çalışma yürütmekten onur duyduğum hocam Prof. Dr. Semih Berksun'a, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Optoelektronik Laboratuarı'nın imkanlarını kullanmama olanak sağlayan, teknik ve manevi anlamda beni her zaman destekleyen sevgili arkadaşım Salur Kurucu'ya, atomik kuvvet mikroskobu ve elektron tarama mikroskobu incelemelerinde çok büyük yardımlarını gördüğüm Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Mehmet Çakmak'a, istatistiksel incelemede bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Murat Atan'a, doktora eğitimim boyunca omuz omuza çalıştığım arkadaşlarıma ve sevgi ve güler yüzünü hiç esirgemeyen, her koşulda beni destekleyen sevgili nişanlım Recep Akün'e teşekkür ederim.

Bu tez Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Araştırma Destek Fonu tarafından 2 no' lu proje ile desteklenmiştir.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Nd-YAG.....Neodmiyum YAG lazeri

mm……..Uzunluk ölçü birimi (Milimetre)

μm…….. Uzunluk ölçü birimi (Mikrometre)

nm ……. Uzunluk ölçü birimi (Nanometre)

mJ……Enerji birimi (Milijul)

Mpa.....Basınç birimi (Megapaskal)

W……. Güç birimi (Watt)

ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Tam seramik sınıflaması
Şekil 1.2. Dönüşüm sertleşmesinin şematik anlatımı
Şekil 1.3. Zirkonya sınıflaması
Şekil 1.4. İğne sensörü (needle sensor)
Şekil 1.5. AFM üniteleri ve temel çalışma prensibi
Şekil 2.1. DC-Zirkon şekillendirme ünitesi ve kesim işlemi
Şekil 2.2. 5 mm çapında zirkonyum çubuk
Şekil 2.3. Hazırlanan seramik diskler
Şekil 2.4. Hazırlanan metal plakalar
Şekil 2.5. Plakaya sabitlenen seramikler ve elmas pasta.
Şekil 2.6. Kompozit örneklerin hazırlanmasında kullanılan kalıp
Şekil 2.7. Kullanılan kompozit materyali, ışık kaynaklı polimerizasyon cihazı ve kalıp
Şekil 2.8. Hazırlanan kompozit silindirler
Şekil 2.9. Enerjimetre ile uygulanacak lazer gücünün tespiti
Şekil 2.10. Grafit tozu ile boyanmış seramik yüzeyler
Şekil 2.11. Lazer uygulanacak plakanın yerleştirilmesi
Şekil 2.12. Seramik örneklerin arka yüzlerine soğuk akrilik uygulanması
Şekil 2.13. Sabit kuvvet altında simantasyon işlemi
Şekil 2.14. Simante edilen kompozit örnekler
Şekil 2.15. Bağlantı testi için plakanın cihaza yerleştirilmesi
Şekil 2.16. Atomik kuvvet mikroskobu
Şekil 2.17. Örneklerin AFM'ye aktarılması
Şekil 2.18. Örneklerin AFM'ye aktarılması
Şekil 3.1. P (solda) ve SB yüzey (sağda), 500X metal mikroskobu
Şekil 3.2. Nd-YAG (532) 80 ve 120 mj lazer uygulanmış yüzeyler, 500X metal mikroskobu

Şekil 3.3. Nd-YAG (1064) 80 ve 120 mj lazer uygulanmış yüzeyler, 500X metal mikroskobu

Şekil 3.4. 120 mj üstünde ışınlama yapılan bir örnekte meydana gelen renk koyulaşmasının mikroskopik görüntüsü,200X metal mikroskobu

Şekil 3.5. 30 sn üzerinde ışınlama uygulanması sonucu renk koyulaşmasının mikroskopik görüntüsü, 200X metal mikroskobu

Şekil 3.6. Grup Ortalamaları

Şekil 3.7. P, SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X

Şekil 3.8. P, SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X

Şekil 3.9. P, SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

Şekil 3.10. P, 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Şekil 3.11. P, 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.12. P, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Şekil 3.13. P, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.14. P, 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

Şekil 3.15. SB, SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X

Şekil 3.16. SB, SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X

Şekil 3.17. SB, SEM görüntüsü, orjinal büyütme ,5000X

Şekil 3.18. SB, 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Şekil 3.19. SB, 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.20. SB, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Şekil 3.21. SB, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük

Şekil 3.22. SB, 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

Şekil 3.23. SB, 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

Şekil 3.24. Nd-YAG (532) 80 (PL1) mj, SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X

Şekil 3.25. Nd-YAG (532) 80 mj,(PL1) SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X

Şekil 3.26. Nd-YAG (532) 80 mj (PL1), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

Şekil 3.27. Nd-YAG (532) 80 mj (PL1), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

Şekil 3.28. Nd-YAG (532) 80 mj (PL1), 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Şekil 3.29. Nd-YAG (532) 80 mj (PL1), 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.30. Nd-YAG (532) 80 mj (PL1) yüzey, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Şekil 3.31. Nd-YAG (532) 80 mj (PL1) yüzey, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.32. Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (PL1), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.33. Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (PL1), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.34. Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (PL1), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.35. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X
Şekil 3.36. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X
Şekil 3.37. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X
Şekil 3.38 Nd-YAG (532) 120 mj (PL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X
Şekil 3.39. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası
Şekil 3.40. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri
Şekil 3.41. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası
Şekil 3.42. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri
Şekil 3.43. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 5000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.44. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 5000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.45. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 5000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.46. Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X
Şekil 3.47. Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X
Şekil 3.48. Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X
Şekil 3.49. Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3) yüzey, 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası
Şekil 3.50. Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3) yüzey, 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri
Şekil 3.51. Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3) yüzey, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası
Şekil 3.52. Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3) yüzey, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.53. Nd-YAG (1064) 80 mj yüzey (PL3), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.54. Nd-YAG (1064) 80 mj yüzey (PL3), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.55. Nd-YAG (1064) 120 mj (PL4), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X
Şekil 3.56. Nd-YAG (1064) 120 mj (PL4), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X
Şekil 3.57. Nd-YAG (1064) 120 mj (PL4), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X
Şekil 3.58. Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (PL4), 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası
Şekil 3.59. Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (PL4), 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri
Şekil 3.60. Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (PL4), 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası
Şekil 3.61. Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (PL4), 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri
Şekil 3.62. Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (PL4), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.63. Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (PL4), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.64. SB+ Nd-YAG (532) 80 mj (SBL1), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X
Şekil 3.65. SB+ Nd-YAG (532) 80 mj (SBL1), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X
Şekil 3.66. SB+ Nd-YAG (532) 80 mj (SBL1), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X
Şekil 3.67. SB+Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (SBL1), 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası
Şekil 3.68. SB+Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (SBL1), 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri
Şekil 3.69. SB+Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (SBL1), 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası
Şekil 3.70. SB+Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (SBL1), 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri
Şekil 3.71. SB+Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (SBL1), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.72. SB+Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (SBL1), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.73. SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X

Şekil 3.74. SB+ Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X
Şekil 3.75. SB+ Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X
Şekil 3.76. SB+ Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X
Şekil 3.77. SB+ Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 10000X
Şekil 3.78. SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) yüzey, 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası
Şekil 3.79. SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) yüzey, 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri
Şekil 3.80. SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) yüzey, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası
Şekil 3.81. SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) yüzey, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri
Şekil 3.82. SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) yüzey, 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.83. SB+ Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X
Şekil 3.84. SB+ Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X
Şekil 3.85. SB+ Nd-YAG (1064) 80 mj, (SBL3) SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X
Şekil 3.86. SB+Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3) yüzey, 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası
Şekil 3.87. SB+Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3) yüzey, 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri
Şekil 3.88. SB+Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3) yüzey, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası
Şekil 3.89. SB+Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3) yüzey, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri
Şekil 3.90. SB+Nd-YAG (1064) 80 mj yüzey (SBL3), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi
Şekil 3.91. SB+ Nd-YAG (1064) 120 mj (SBL4), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X

Şekil 3.92 SB+ Nd-YAG (1064) 120 mj (SBL4), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X

Şekil 3.93. SB+ Nd-YAG (1064) 120 mj (SBL4), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

Şekil 3.94. SB+Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (SBL4), 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Şekil 3.95. SB+Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (SBL4) 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.96. SB+Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (SBL4), 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Şekil 3.97. SB+Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (SBL4), 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.98. SB+Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (SBL4), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

TABLOLAR

Tablo 2.1. Çalışılmasına karar verilen gruplar
Tablo 2.2. Panavia F simanının içeriği
Tablo 3.1. Temel İstatistik Değerleri
Tablo 3.2 Tek Yönlü Varyans Analizi Sonuçları
Tablo 3.3. Varyansların Homojenliği Test Sonuçları
Tablo 3.4. Tukey HSD Testi İle Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları
Tablo 3.5. Dunnett Testi İle Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları
Tablo 3.6. Sadece 532 nm dalga boyunda (80 ve 120 mj) Nd-YAG lazer uygulanan gruplar için ANOVA Testi sonuçları
Tablo 3.7. Sadece 1064 nm dalga boyunda (80 ve 120 mj) Nd-YAG lazer uygulanan gruplar için ANOVA Testi sonuçları
Tablo 3.8. Sadece 80 mj gücünde (532 ve 1064 nm dalgaboyu) Nd-YAG lazer uygulanan gruplar için ANOVA Testi sonuçları
Tablo 3.9. Varyansların Homojenliği Test Sonuçları
Tablo 3.10. Tukey HSD Testi İle Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları
Tablo 3.11 Sadece 120 mj gücünde (532 ve 1064 nm dalgaboyu) Nd-YAG lazer uygulanan gruplar için ANOVA Testi sonuçları
Tablo 3.12. Varyansların Homojenliği Test Sonuçları
Tablo 3.13. Tukey HSD Testi İle Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları
Tablo 3.14. Sadece PL gruplarının (PL1, PL2, PL3, PL4) kendi aralarında karşılaştırılması için ANOVA Testi sonuçları
Tablo 3.15. Varyansların Homojenliği Test Sonuçları
Tablo 3.16. Tukey HSD Testi İle Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları
Tablo 3.17. Sadece SBL gruplarının (SBL1, SBL2, SBL3, SBL4) kendi aralarında karşılaştırılması için ANOVA Testi sonuçları
Tablo 3.18. Kopma yüzeyi analizi

1. GİRİŞ

1.1. Dental Seramikler

Dental seramikler üstün estetik özellikleri ile doğal dentisyonu taklit edebilen restoratif materyallerdir (Brecker, 1956; Dunworth, 1958).

Geleneksel seramiğin yapısı temel olarak, camsı fazı sağlayan feldspar (% 70-80 oranında), doldurucu görevi yapan silika (SiO_2) yapısındaki kuartz (% 10-30 oranında) ve porselen hamuruna elastikiyet veren kaolinden (% 0-3 oranında) oluşmaktadır. Bunlara ek olarak üretim sırasında bazı özellikler vermek için şekillendirici olarak rol oynayan bileşimler ve renk oluşturan metal oksitler katılır (Magne ve Belser, 2003).

Materyalin ışık geçirgenliği özelliği, kimyasal stabilitesi, biyouyumluluğu, yüksek baskı direnci ve termal genleşme katsayısının diş dokusuna yakın olması olumlu özellikleridir. Bu avantajlarının yanısıra gerilim kuvvetleri karşısında kırılgan yapı göstermektedirler. Bu neden ile seramiklerin estetik ve metal alt yapının dayanıklılığından faydalanılmak üzere geliştirilen metal-seramik restorasyonlar seramiklerin klinik başarılarını geliştirmişlerdir (Brecker, 1956; Dunworth, 1958). Geniş bir klinik kullanım alanı bulan metal-seramik restorasyonlarda metal alt yapının restorasyonun ışık geçirgenliğini azaltması önemli bir dezavantaj olmuştur (Borges ve ark., 2003).

Metal-seramik sistemlerde karşılaşılaşılan bu dezavantajların ortadan kaldırılması için restorasyona direnç sağlayacak sistemlerin arayışına geçilmiştir.

1.2. Tam Seramiklerin Geliştirilmesi

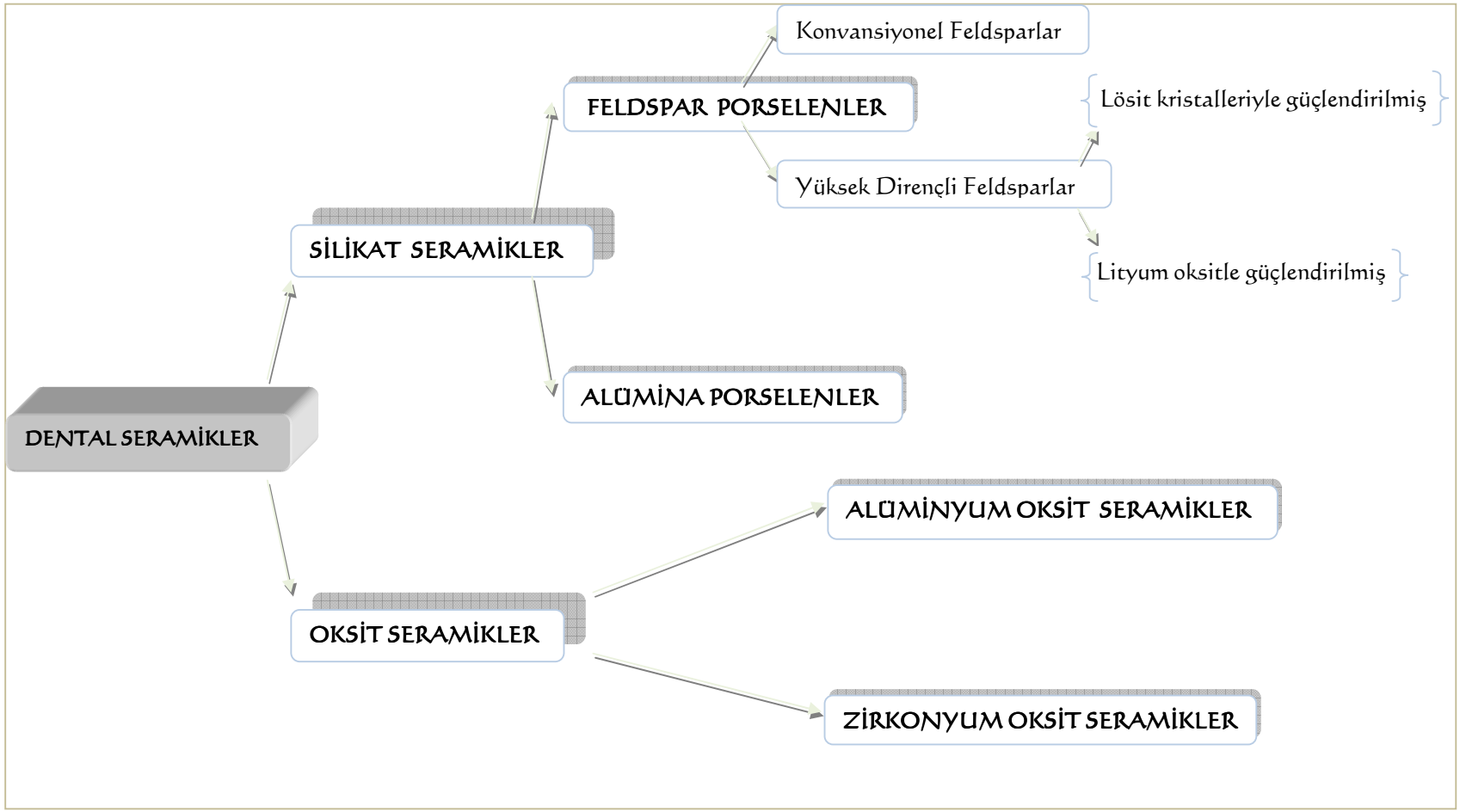
Mc Lean ve Hughes 1965 yılında seramiğin kristalin fazında alüminyum kristalleri ekleyerek kompozisyon değişikliği meydana getirmişler ve ilk dirençli seramiği elde etmişlerdir (Mc Lean ve Hughes). Farklı kompozisyonlardaki seramikler ve yeni laboratuar tekniklerinin geliştirilmesi ile mekanik özellikler ve estetikte olumlu sonuçlar alınmaya başlanmıştır (Hondrum, 1992). Bu güçlendirilmiş tam seramikler inlay, onlay restorasyonları, kron ve köprüler için kullanım alanı bulmuştur (Anusavice,1993).

Tam seramik inley, onlay ve kronlar günümüzde en estetik restorasyonların üretilmesine imkan tanımıştır. Renk, yüzey yapısı ve özellikle tranlusensi özellikleri ile doğal diş dokusuna oldukça iyi uyum gösterirler. Uygun yapılmış tam seramik bir restorasyon doğal dişten ayırt edilmesi güç bir yapıdır (Rosenstiel ve ark., 2001, Bölüm 25).

Tam seramik sistemlerde materyal özelliklerinin geliştirilmesi ile yüksek kırılma direnci, sertlik gibi avantajlar elde edilmiş ve bu sistemlerin posterior restorasyonlarda da kullanılması mümkün olmuştur (Fischer ve ark., 2003).

1.3. Dental Seramiklerin Sınıflandırılması

Dental seramikler inorganik, metal olmayan materyallerin büyük bir miktarını kapsarlar ve genellikle silikat ve oksit seramik olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar (Şekil 1.1, Tam seramik sınıflandırması, Font ve ark., 2006).



Şekil 1.1. Tam seramik sınıflaması (Font ve ark., 2006)

1.3.1. Silikat Seramikler

Silikat seramiklerin genel yapısı silika dioksitin temel yapısı olan, kuartz, feldspar ve kaolinden meydana gelmektedir. Bu heterojen materyaller camsı faz tarafından çevrelenmiş kristal yapıdan oluşmaktadırlar (Tinschert ve ark., 2001). Farklı komponentlerin farklı oranlarda kullanımı ve partikül büyüklüğü değişiklikleri ile geniş bir seramik ürün yelpazesi elde edilebilmektedir.

Kompozisyonlarına bağlı olarak silikat porselenler feldpatlar ve alümina porselenler olarak sınıflandırılabilir (Font ve ark., 2006).

1.3.1.1. Feldspar Porselenler

Bu gruptaki temel elemanlar % 11-17 oranındaki alümina ile birlikte % 46-66 oranında silika oksit veya kuartzdır. Feldspar porselenler iki alt gruba ayrılabilir:

1.3.1.1.3. **Konvansiyonel Feldspar Porselenler:**

Oldukça iyi estetik sağlamalarının yanında ana sorun kırılgan olmalarıdır (Kırılma direnci 56,6 Mpa). D-SING, Vintage, Luxor, Duceram, Flexoceram, Vivodent PE, IPS Classic ve Empress Esthetic konvansiyonel feldspar porselenlere örnek ürünlerdir (Font ve ark., 2006).

1.3.1.1.4. **Yüksek Dirençli Feldspar Porselenler:**

a) Lösit Kristalleriyle Güçlendirilmiş Feldspar Porselenler:

Bu gruptaki porselenler kimyasal yapılarında % 68 kuartz ve % 18 oranında alüminyum oksit içerirler. Basınç ile şekillendirme işlemlerinin sonucu bu porselenlerde porozite azaltılmış, hassas ve tekrar edilebilen uyum sağlanmıştır. Lösit kristallerinin cam matriks içindeki basınçtan sonra soğuma esnasında gözlemlenebilen mükemmel dağılımı, translusensinin belirgin miktarda azaltmasına neden olmaksızın direncin artmasını sağlamaktadır. Bu bükülme direnci 160-300 MPa olarak bildirilmektedir. Bu tip porselenlere örnek olarak IPS-Empress I, Optec HSP, Mirage, Finesse, Cergogold verilebilir (Font ve ark., 2006).

b) Lityum Oksitle Güçlendirilmiş Feldspar Porselenler:

% 57-80 kuartz, % 11-19 lityum oksit ve % 0-5 oranında alüminyum oksitten oluşan porselenlerdir. Materyalin % 60' ını oluşturan kristal partiküllerinin yoğun ve homojen bir şekilde birbirine bağlanmış yapıları sayesinde bükülme direnci 320-450 MPa' a kadar yükselmiştir. Restorasyonların iç yüzeyleri bu porselenlerle şekilllendirilirken üst yapılarında fluor apatit seramikleri kullanılmaktadır. IPS Empress II ve Style-Press bu özellikleri taşıyan ürünlerdir (Font ve ark., 2006).

1.3.1.2. Alümina Porselenler:

Bu grup konvansiyonel alümina porselenleri ile aynı yapıdadır. Silika oksit konsantrasyonları % 60' tan % 15' e düşmüştür ve yüksek oranda (% 40-85) alümina içerirler. Tam kron yapımında, alüminyum oksit ve metallerin porselenle kaplanması durumlarında endikedir. Vitadur N, Alpha Vitadur, NBK 1000, Vita Omega 900 alümina porselen grubundandır. (Font ve ark., 2006).

1.3.2. Oksit Seramikler

Oksit seramikler yapılarında hem alüminyum oksit, zirkonyum oksit, titanyum oksit gibi basit oksitleri hem de spinel, ferrit gibi kompleks oksitleri bulundururlar. Aynı terim oksit komponentlerle karıştırılmış seramikleri tanımlarken de kullanılmaktadır. Ancak gerçekte oksit seramikler sadece oksidant bileşenlere sahip seramiklerdir. Bunlar porselendeki zayıf yapının sorumlusu olan camsı fazı çok az bulunduran veya hiç bulundurmayan polikristal yapıda materyallerdir. Çok opak oldukları için seramik restorasyonların sadece koping yapılarında kullanılmaktadırlar (Font ve ark., 2006).

1.3.2.1. Alüminyum Oksit Seramikler:

Bu seramiklerden In-Ceram Alümina'da % 85 oranında alüminyum oksit partikülü mevcuttur. Yüksek alümina içeriği sayesinde bükülme direnci 400-600 MPa' a kadar yükselmiştir. In-Ceram Spinel'de alümina içeriğinin alümina ve magnezyum karışımı ile yer değiştirmesi sayesinde porselen kopingin ışık geçirgenliğinin artması sağlanmıştır. Translusensi özelliği, spinel'in izotropik optik özelliklerini sağlayan

kristalin yapısı ve kristallerin düşük kırılma indeksi ile açıklanabilir. In- Ceram Zirconia'da ise % 67 oranında alüminyum oksit ve % 33 oranında zirkonyum oksit bulunmaktadır. Bükülme direnci 600-800 MPa arasındadır. Andersson ve Odén tarafından 1993 yılında geliştirilen Procera All Ceram' da ise % 99.9 oranında alüminyum oksit bulunmaktadır. Bükülme direnci 680 MPa'dır. (Font ve ark., 2006).

1.3.2.2. Zirkonyum Oksit Seramikler

Zirkon, antik çağlardan beri değerli taş olarak bilinen bir materyaldir. Metal olarak zirkonyum ise Arapça 'Zargon-renkli altın' kelimesinden temel alır. Zargon farsça kökenli bir kelimedir. Zar=Altın, Gun= Renk kelimelerinden oluşmuştur. Metal oksit olan zirkonya (zirkonyum oksit, ZrO_2) ise ilk defa 1789 yılında alman kimyager Martin Heinrich Klaproth tarafından tanımlanmıştır (Piconi ve Maccauro, 1999).

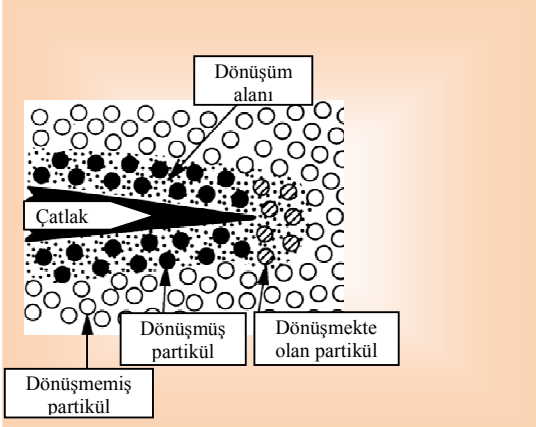
Aşınma ve termal şok direnci yüksek olan zirkonya bu özellikleri ile sanayide pek çok kullanım alanı bulmuştur. Kimyasal ve boyutsal stabilite, mekanik güç ve sertliğinin de oldukça iyi olmasının yanı sıra biyouyumluluğu, elastikiyet modülünün paslanmaz çelikle benzer olması zirkonyanın seramik biyomateryal olarak kullanılmasına imkan vermektedir (Piconi ve Maccauro, 1999).

Zirkonya, monoklinik (M), kübik (C) ve tetragonal (T) olmak üzere 3 formda bulunabilen polimorfik bir maddedir. Saf zirkonya oda sıcaklığında monoklinik fazdadır ve 1170^0 C'ye kadar bu fazda stabil kalır. Bu sıcaklığın üstünde 2370^0 C'ye kadar tetragonal fazda, 2370^0 C'den sonra ise kübik fazda bulunur. Soğuma esnasında 100^0 C – 1070^0 C arasında bir noktada T-M (tetragonal-monoklinik) transformasyonu oluşur ve bu esnada hacimde % 3-4 oranında artış meydana gelir. Bu hacimsel artış saf zirkonyada stres oluşumuna ve bunun sonucunda çatlaklara sebep olduğundan oda

sıcaklığında zirkonyanın tetragonal fazda stabil kalmasını sağlamak için içeriğine çeşitli maddeler (CaO, MgO ve CeO_2 ve Y_2O_3) ilave edilerek stabilize edilmeye çalışılmıştır. CaO, MgO ve CeO_2 ilaveleri ile karma fazlar elde edilirken Y_2O_3 ile stabilize edilen zirkonyanın oda sıcaklığında sadece tetragonal fazda kalması sağlanmıştır (Piconi ve Maccauro, 1999).

Tetragonal yapıdaki materyalin yüksek direncinin esas olarak, stres tarafından indüklenen faz değişikliği ile tetragonal kristal yapısından monoklinik yapıya geçişine bağlı olduğu bilinmektedir (Teixeira ve ark., 2007). ‘‘Dönüşüm Sertleşmesi’’ de denilen bu durum stres artışına bağlı olarak oluşan çatlağın etrafındaki moleküllerin hacim artışı ile birlikte T-M dönüşümüne uğraması ve materyalin çatlağın ilerlemesine karşı direncini artırmasıdır (Piconi ve Maccauro, 1999).

Stres tarafından indüklenen dönüşüm sertleşmesi şekil 1.2’ de izlenmektedir (Butler, 1985).



Şekil 1.2 Dönüşüm sertleşmesinin şematik anlatımı (Butler, 1985)

Dönüşüm sertleşmesi zirkonya esaslı seramiklerde direnci sağlayan tek mekanizma değildir. Bundan başka mikroçatlak sertleşmesi, kontak koruyuculuğu ve çatlak

yönünün değişmesi gibi faktörler de seramiğin sertliğine farklı derecelerde katkıda bulunurlar (Guazzato ve ark., 2004).

Şekil 1.3'te zirkonyanın dönüşüm sertleşmesi şekillerine göre sınıflandırılmıştır. İlk iki grupta en az iki faz mevcutken son grupta sadece t faz vardır (Kelly ve Denry, 2007).

Şekil 1.3. Zirkonya sınıflaması (Kelly ve Denry, 2007).

Zirkonyum oksit, kısmen yitriyum oksitle stabilize edilmiş, tetragonal yapıda, polikristal bir materyaldir (Yttria-Stabilized Zirconia- YSZ) İç kopingler, laboratuarda uygulanan CAD-CAM teknikleri sayesinde porozitenin meydana gelmediği yoğun ve kaynaşmış olan kristal yığınlarından oluşmaktadır. Zirkonyum çok yüksek kırılma modülü (900 MPa) ve sertliği (1200 Vickers Units) sayesinde porselene yüksek oranda direnç sağlamaktadır (Font ve ark., 2006). Opak özelliklerinden dolayı kor yapı olarak kullanılmakta ve genellikle feldspatik seramikler olmak üzere estetik karakteristikleri doğal dişe benzeyen veneer seramikler ile kaplanmaktadırlar (Oilo ve ark., 2007)

Bu yüksek güçlü seramikler klinikte postlar, sabit bölümlü protezler, implant destekleri ve rezin bağlantılı sabit protezler gibi pek çok alanda kullanım alanı bulmaktadır (Wolfart ve ark., 2007).

1.4. Tam Seramik Restorasyonlarda Simantasyon

Tam seramik restorasyonlarda simantasyon klinik başarı için çok önemlidir. Tam seramik restorasyonlar çinko fosfat, cam iyonomer veya adeziv rezin simanlarla simante edilebilirler. Simantasyonun başarısı seramik materyalin kompozisyonuna bağlıdır. Başlıca sürtünmesel kuvvetle simantasyonu gerçekleştiren çinko fosfat veya cam iyonomer siman kullanılacak ise uygun mekanik retansiyon varlığı aranmalıdır. Mekanik retansiyonun yetersiz olduğu durumlarda adeziv simantasyon sistemleri tavsiye edilmektedir (Nakabayashi ve ark., 1982).

Tam seramik restorasyonların adeziv simantasyonu diş-siman bağlantısı ve siman-seramik bağlantısı olmak üzere iki farklı yüzeyde gerçekleşmektedir (Qualtrough ve Piddock, 1999).

1.4.1. Diş Yüzeyine Uygulanan İşlemler

Rezin yapıştırıcı simanın dişe olan bağlantısı mine veya dentinin asitle pürüzlendirilmesi ve dentin adezivlerinin kullanımı ile elde edilmektedir. Monomerlerin demineralize dentin matriksine penetrasyonu ve bunu takiben meydana gelen polimerizasyon hibrit tabakası oluşumu ile mikromekanik bağlantıyı sağlar (Nakabayashi ve ark., 1982).

1.4.2. Seramik İç Yüzeyine Uygulanan İşlemler

Seramik ve rezin arasındaki mikromekanik tutuculuğun en iyi şekilde sağlanabilmesi için tam seramik restorasyonun iç yüzü bazı işlemlerle hazırlanmalıdır. Rezin siman ve porselen arasında tutuculuk sağlamak üzere yapılan bu uygulamalar ayrıca porselen laminate, porselen inley, onley restorasyonların simantasyonunda ve porselen tamirinde de uygulanması gereken yüzey işlemleridir (Addison ve ark., 2006).

Seramik yüzeyi için tavsiye edilen diğer bir işlem alüminyum oksit partikülleriyle kumlamadır. Teknik aşamada konvansiyonel olarak uygulanmakta olan bu yüzey işlemi ile mikromekanik retansiyon sağlanması pek çok farklı seramik tipi için geniş kullanıma sahiptirdir (Kato ve ark., 2000).

Feldspatik seramiklerin yüzey işlemleri için hidroflorik asit (HF) tavsiye edilmektedir. Asit uygulaması ile birlikte feldspatik seramiğin cam fazlarından biri çözünmekte ve mikroyapısında değişiklik meydana gelmektedir. Böylece bağlantı için uygun mikroyapı elde edilmiş olur (Thurmond ve ark., 1994).

Hidroflorik asitle seramik yüzeyinde retantif alan elde etmek camsı içeriği zayıf, yüksek kristalin yapıdaki seramiklerde ve saf non kristalin seramiklerde mümkün olamamaktadır. Bu seramiklerde uygun mekanik kilitlenmeyi sağlayabilmek için ilave yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Magne ve Belser, 2003).

Mikromekanik tutuculuğun yanı sıra silan ajanların kullanımı ile seramik camı ve rezin simanlar arasında kimyasal bağlantı sağlanabilmektedir. Silan ajanı çift fonksiyonlu bir moleküldür ve hem seramiğin (SiO_2) hem de rezin simanın inorganik komponentlerine (metakrilat grubu) bağlanabilmektedir (Silveria ve ark., 2005).

SiO_2 içeriği azalmış ya da hiç olmayan In-Ceram Alumina (%85 Alümina), Procera All Ceram (%99 Alümina), DC-Zirkon gibi seramiklerde silanın etkinliği çok azdır veya hiç yoktur. Bu seramikler ayrıca yüksek Al_2O_3 içeriği sebebi ile asitlere karşı dirençlidirler. Bu nedenle feldspatik seramiklerde başarılı etch yapabilen HF asit alüminoz seramikler üzerinde etkisizdir. Seramiğin SiO_2 içerip içermemesi silanın etkinliğini belirlediği için bazı çalışmalarda alüminöz seramiklerin yüzeylerinin Silicoater MD veya PyrosilPen Technology gibi yöntemlerle silika ile kaplanması önerilmiştir. Rocatec sistemi de aynı şekilde seramik yüzeyinde 0,1 µm silika tabakası elde etmek için alumina silika ile kumlama esasına dayanır. Bu sistemde kumlanmış yüzeydeki silika konsantrasyonu % 19.7 artırılabilmektedir (Silveria ve ark., 2005).

Son yıllarda zirkonyum oksit esaslı seramiklerin simantasyonu için kullanılan bir başka yöntem de fosfat monomeri (MPD-metakriloksidekil dihidrojen fosfat) içeren ajanların (siman veya silan) uygulanmasıdır. Zirkonyum oksite Al_2O_3 ile kumlamanın ardından uygulanan MPD içerikli bonding veya simanların bağlantı gücünü arttırdığı gösterilmiştir (Atsu ve ark. (2006), Blatz ve ark.,(2004), Wolfart ve ark., 2007)).

İyon, elektron, atom ve nötral parçacıklar ihtiva eden, kısmen iyonize edilmiş gaz olan plazma spreyi yöntemi ile de mekanizması henüz tam olarak açıklanamayan yüksek bağlantı güçleri elde edilebilmektedir. Gazın istenilen şekilde iyonize olabilmesi için vakum koşullarında hazırlanması gerekmektedir. Bu teknik pek çok materyal ve koşulda geniş bir çalışma alanı bulmuştur (Derand ve ark., 2005).

Yüzeye düşük ısı porseleni uygulama olarak anılan yöntemde ise zirkonya seramiklerin rezin simanla olan bağlantı gücünü artırmak için camsı porselen taneciklerinin zirkonya yüzeyle kaynaştırılması yoluna gidilmiştir. Kron alt yapısının prepare edilen diş ile uyumunu tehlikeye sokabilecek bir yöntemdir. (Derand ve ark., 2005).

Mikromekanik kilitlenmeyi artırmak amacı ile seramik iç yüzeyin lazerle pürüzlendirilmesi ise oldukça yeni bir uygulamadır. Bu yöntemle alınan ilk sonuçlar oldukça olumlu görülmektedir.

1.5. Lazer

İlk defa Maiman tarafından 1960 yılında geliştirilen lazer, o zamanki adıyla maser, (Microwave amplification by the stimulated emission of radiation) 'Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation', (Stimüle edilmiş radyasyon yayılımı ile ışık güçlendirilmesi', 'Tek renkli, düzenli, yoğun, aynı fazlı paralel dalgalar halinde genliği yüksek ve güçlü ışık demeti) kelimelerinin baş harflerinden adını almaktadır. Maiman'ın geliştirdiği lazer 0.694 μm dalga boyunda ışık yayan ruby lazeri olmuştur. Bir yıl sonra 1961 yılında ise Snitzer neodmiyum lazeri geliştirmiştir (Miserendino ve Pick, 1995).

Lazerler dar bir frekans aralığında ışık üretmektedirler. Pek çok pratik uygulama için monokromatik lazerler kullanılmaktadır. Lazerler ışığı oluşturan aktif elemente göre isim almaktadırlar. Lazerin ürettiği ışığın dalga boyu veya tersiyle ifade edilirse frekansı, belirli aktif elementin karakteristiğini göstermektedir. (Dederich ve Bushick, 2004)

Diş hekimliğindeki ilk lazer çalışmalarının büyük bölümü ruby lazer kullanılarak yapılmış ve bu da diş hekimliğinde lazer uygulamalarının gelişmesini geciktiren bir faktör olmuştur (Miserendino ve Pick, 1995). Son yıllarda pek çok dalga boyundaki lazer diş hekimliğinde kullanılmaktadır (Dederich ve Bushick, 2004).

1.5.1. Neodmiyum Lazeri

Günümüzde, etkili lazer özellikleri gösteren, dalga boyları medikal uygulamalar için uygun malzemelerinin başında, nadir yer elementlerinin uygun ısıl özellikleri olan kristallere katkılanması yöntemi ile hazırlanan malzemeler gelmektedir. Bu malzemelerden, 1064 nm temel lazer üretme dalga boyu ile Nd:YAG (Neodmiyum atomu katkılandırılmış ytrium aluminyum garnet kristali), en önemli ve en çok kullanılanıdır (Miserendino ve Pick, 1995).

Neodymium lazerinin ilk dental uygulaması Yamamoto ve Sato tarafından 1980 yılında gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar yaptıkları bir dizi in vivo ve in vitro deney sonucunda Nd:YAG lazerinin yeni başlayan çürüklerin önlenmesinde etkili bir araç olduğunu keşfetmişlerdir (Yamamoto ve Sato, 1980). Aynı dönemlerde ABD Ordusu Walter Reed Tıp Merkezi Dental Araştırma Enstitüsü' de yapılan bir araştırmada neodmium lazeri diş sert dokuları üzerinde ve dental alaşımların eritilmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak Nd:YAG lazerinin dental sert dokular üzerindeki uygulamalarının kanıtlanması ve diş hekimliği alanında yaygın kullanımının başlaması süre almıştır (Miserendino ve Pick, 1995).

Nd:YAG lazer sistemi diş hekimliğinde hem sert hem de yumuşak dokularda kullanılmak üzere üretilmektedir (Türkmen ve ark., 2006, Stabholz ve ark., 2003).

Nd:YAG kristali ile elde edilen lazer çıkışı 1064nm dalga boyundadır. Işın kalitesi, yarı iletken lazerlere göre çok iyi, gaz lazerlere göre daha kötüdür. Ancak Nd:YAG lazerleri, kullanımı kolay, dayanaklı ve az bakım gerektiren ürünlerdir. Gaz lazerlerine göre düşük maliyetlidirler. Nd:YAG lazerlerinin kullanımı, lazer güvenliği bilgisi dışında özel bilgi ve beceri gerektirmez (Dederich ve Bushick, 2004).

1.5.2 Q Anahtarı ve Flaş lambası

Q anahtarlama lazer oluşturulabilmesi için kullanılacak enerjinin, lazer kristali içerisinde depolanarak belirli bir düzeye ulaşınca aniden salınmasını sağlayan bir sistemdir. Enerji 280 mikro saniye süresince depolanır. Biriken enerji toplamda 4 nanosaniyede serbest bırakılır. Flaş lambası ise elektrik enerjisini dönüştürülebilir optik enerjiye çevirmek amacı ile kullanılır ve q anahtarlaması ile kullanılan 280 mikro saniye süresince lazer kristaline optik enerji sağlar (Siegman, 1986).

1.5.3. Lazer Enerjisinin Malzeme Yüzeyine Etki Mekanizması

Lazer ışınları,

1- Lazer ışınının dalga boyu,
2- Birim alana düşen güç yoğunluğu,
3- Madde yüzeyine aktarılan toplam enerji

faktörlerine bağlı olarak etki eder (Siegman, 1986).

1.5.3.1. Lazer Dalga Boyuna Bağlı Etkiler

Lazer dalga boyu, hedef alınan malzemenin lazer ışınlarını ne oranda geri yansıtacağı, ne oranda içine tesir edeceği ve tesir kalınlığı için belirleyicidir. Örneğin 3 mikron dalga boyu su tarafından derhal emilerek ısıya dönüştürülürken, 0.5 mikron dalga boyu çevresindeki bantta lazer ışınları su içerisinde ilerleyebilmektedirler. 10 mikron dalga boyundaki lazer için cam tümüyle opak iken bakır çok yansıtıcıdır. Lazer ışınlarının

dalga boyu küçüldükçe birim foton enerjisi doğru orantılı olarak artmaktadır (Siegman, 1986).

1.5.3.2. Birim Alana Düşen Güç Yoğunluğu

Birim alana düşen güç yoğunluğu W/cm^2 cinsinden ölçülen anlık güçtür. Normal kipte çalışan lazer tiplerinden farklı olarak Q-anahtarlamalı sistemlerde anlık güç çok yüksektir.

Birim alana düşen güç yoğunluğu malzemeye molekül düzeyinde etki ederek, molekül bağlarının geçici ya da kalıcı olarak bozulmasına, bu etkiye bağlı olarak malzemede parçalanmaya ve mikro kırıklar oluşmasına yol açar (Siegman, 1986).

1.5.3.3. Madde Yüzeyine Aktarılan Toplam Enerji:

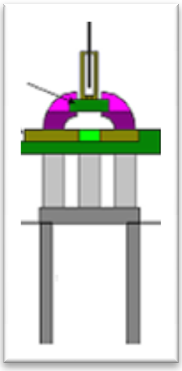
Madde yüzeyine aktarılan toplam enerji Joule cinsinden ölçülür. Bu değer, lazer ışınına maruz kalan malzeme alanı, birim alana düşen anlık güç ile lazer darbe süresinin çarpımına eşittir. Q-anahtarlamalı sistemlerde bu değer genellikle çok düşüktür. Bu değer malzemeye aktarılan toplam ısı miktarını belirler.

Madde yüzeyine aktarılan toplam enerji, malzeme üzerinde erime ve buharlaşma etkilerine yol açar (Siegman, 1986).

1.6. Atomik Kuvvet Mikroskopu

Atomik Kuvvet Mikroskopu (Atomic Force Microscopy-AFM) yüzey analizi için kullanılan bir cihazdır. Bu amaçla kullanılan diğer mikroskopik tekniklerin aksine en önemli özelliği araştırılan örneğin iletken olmasını gerektirmemesidir. Bunun yanısıra örnek hazırlığında vakum gibi şartlara ihtiyaç duyulmaz. AFM, iğne ile örnek yüzeyi arasındaki etkileşmeleri temel alır. Atomlar arası kuvvetler nanonewton hassasiyeti ile ölçülür. Bu sayede AFM nano ölçekte yüzey morfolojisini, kusurlarını ve pürüzlülüğünü belirlemeye imkan tanır (Gadelmawla ve ark., 2002, Oura ve ark., 2003).

(X), (y) ve (z) düzlemlerinde ölçüm yapabilen AFM temel olarak kontrol ünitesi, piezoelektrik tüp, bilgisayar ünitesi ve needle sensorden oluşmaktadır. Piezoelektrik tüp needle sensörün 3 boyutta hareketini sağlar. Needle sensor tepesinde Si uç bulunan quartzdan oluşur (Şekil 1.4). Quartz yaklaşık 1 MHz'lik frekansla salınım yapması için uyarılır. Needle sensorle 0.05 nm'den daha iyi bir (z) çözünürlüğü elde edilebilir. Kontrol ünitesi ise bilgisayara gönderdiği verilerle AFM yüzey görüntüsünü oluşturur.

a) b) c) 

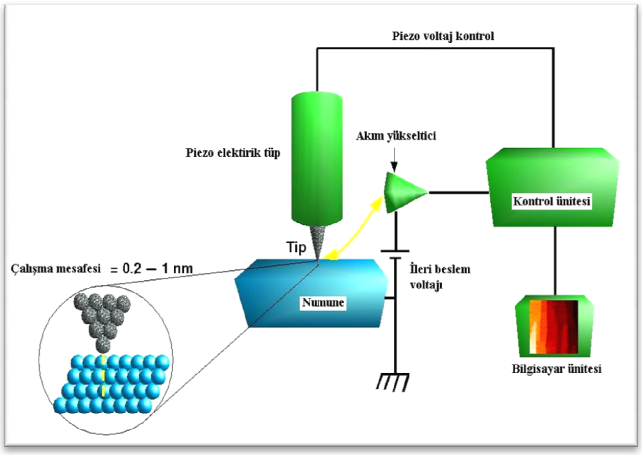
Şekil 1.4 İğne sensörü (needle sensor) a) Çıplak gözle b) Mikroskop altındaki görüntüsü c) Şematik gösterimi

AFM'in çalışma prensibi ise oldukça basittir. Quartz civarında frekans ile ± Z yönünde salınmak için kullanılır. Yaklaşık 1 MHZ frekansında temas etmeyen halde iğne ucu yukarı veya aşağı hareket eder.

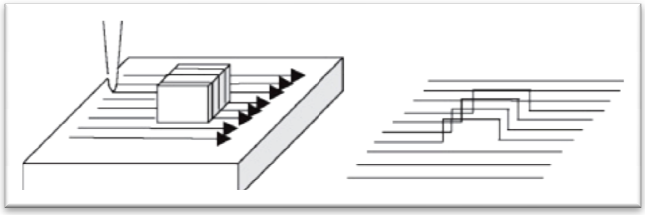
AFM'de çok hassas bir iğnenin (tip) yüzeyi taraması sonucunda atomlar arası kuvvetler nanonewton hassasiyeti ile ölçülür. Ölçülen yüzeyin özelliklerini büyük bir doğrulukla tespit edebilmek için, ucun uzaysal pozisyonunu ayarlamaya yarayan piezoelektrik güç vericileri kullanılır. Bu hareketten faydalanılarak bilgisayar ortamına aktarılan veriler, yazılım aracılığıyla derlenerek ya numunenin görüntüsü elde edilir ya da iğne ve numune arası etkileşimler ölçülür (Piezoelektriklik, bir kristalin üzerine uygulanan voltaj ile hareket etme özelliğidir).

AFM üniteleri ve temel çalışma prensibi Şekil 1.5' te gösterilmektedir.

a)



b)



Şekil 1.5 a) AFM üniteleri b) Temel çalışma prensibi (Cheal ve Yong, 2003)

AFM görüntüleme metodları arasında en yaygın uygulama alanına sahiptir ve hızla gelişmekte olan nanoteknolojiler için vazgeçilmezdir. Elektronik, telekomünikasyon, biyoloji, kimya, otomotiv, uzay–havacılık ve enerji gibi endüstrilerde kullanılmaktadır.

AFM'ler düşük sıcaklıklarda ya da boşlukta çalıştırılabilirler. DNA ve proteinler gibi biyolojik yapıların görüntülenmesinde kullanılmış ve hatta bazı kimyasal süreçleri, oluşum sırasında görüntülenmiştir (Fishbane ve ark., 2003).

AFM taranan alanın büyüklüğüne bağlı olan RMS pürüzlülüğünü belirler ve ağırlıklı ortalamasını verir. Ölçülen yapının minimum büyüklüğü ve dolayısıyla RMS pürüzlülüğü AFM iğnesinin (tip) büyüklüğüne ve geometrisine de bağlıdır (Schmidtling ve ark., 2005).

Örnekteki yükseklik değişiklikleri 'Yükseklik İmajı'nı (Height image - Z İmage) oluşturmaktadır ve yüzey topografisini göstermektedir. Faz sinyali ise iğnenin ucunun gerçek hareketi ile piezo arasındaki zaman farkını ölçmektedir. İğne ucunun faz gecikmesindeki değişimler 'Faz İmajı' nı (Phase image- Phi İmage) oluşturmaktadır (Argaman ve ark, 1997).

Bu çalışmada zirkonyum esaslı seramiklerde, seçilen farklı dalga boyu ve güçlerdeki Nd-YAG lazerinin, geleneksel kumlama yöntemi ile birlikte ve tek başına uygulanmasıyla yüzeyde meydana gelecek morfolojik değişiklerin AFM ve SEM kullanılarak gözlenmesi ve bunun seramik yüzey ve rezin siman arasındaki shear bağlantı gücüne etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

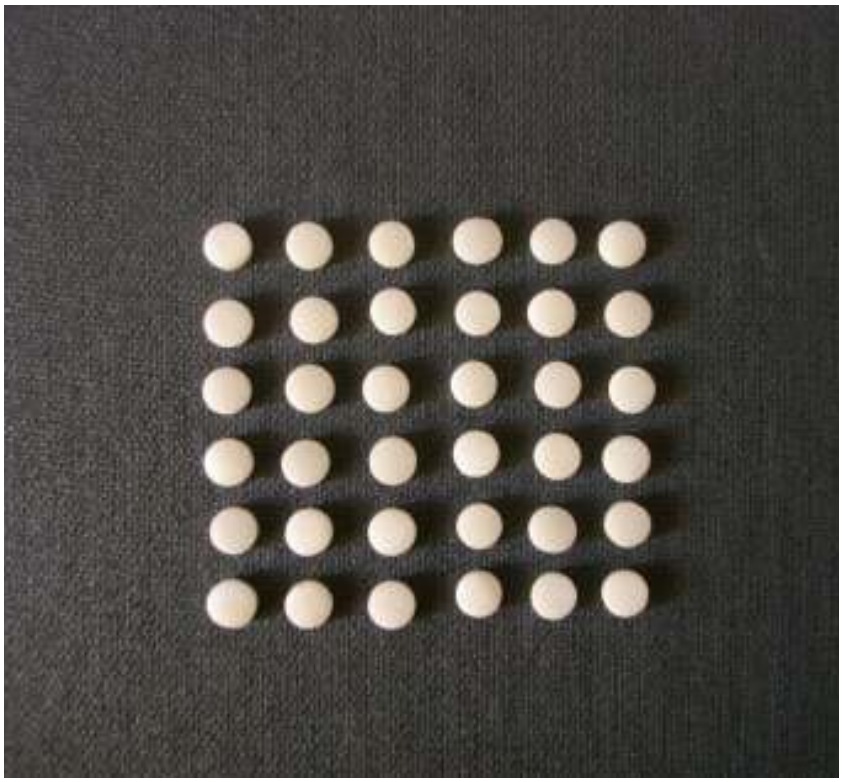
2.1. Örneklerin Hazırlanması

2.1.1. Seramik Örneklerin Hazırlaması

Araştırmamızda CDS-Precident sisteme ait 90 adet tam sinterlenmiş DC-Zircon seramik örnek kullanılmıştır (DCS Dental, Germany). % 95 zirkonyum oksit ve %5 yitriyum oksitten oluşan örnekler üretici firmanın önerileri doğrultusunda hazırlanan 5mm çapında silindirik zirkonyum çubuktan 1,5 mm yüksekliğinde diskler şeklinde porselen frezleri yardımıyla kesilerek elde edildi (Şekil 2.1, 2.2,2.3).

Şekil 2.1. DC-Zirkon şekillendirme ünitesi ve kesim işlemi

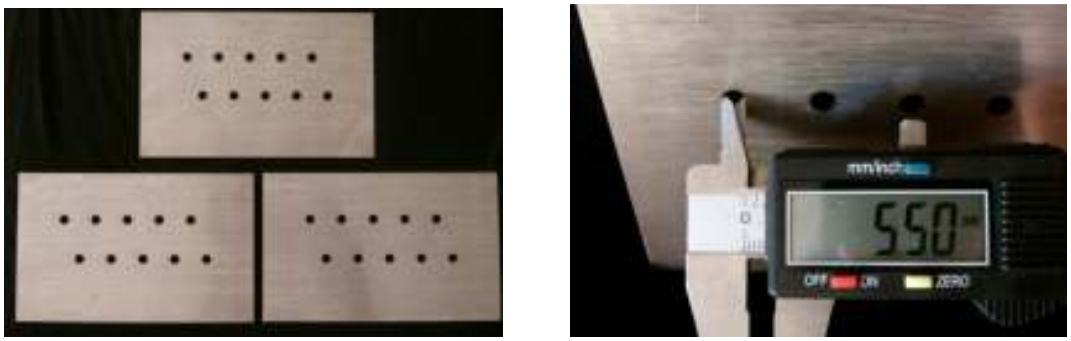
Şekil 2.2. 5 mm çapında zirkonyum çubuk



Şekil 2.3. Hazırlanan seramik diskler

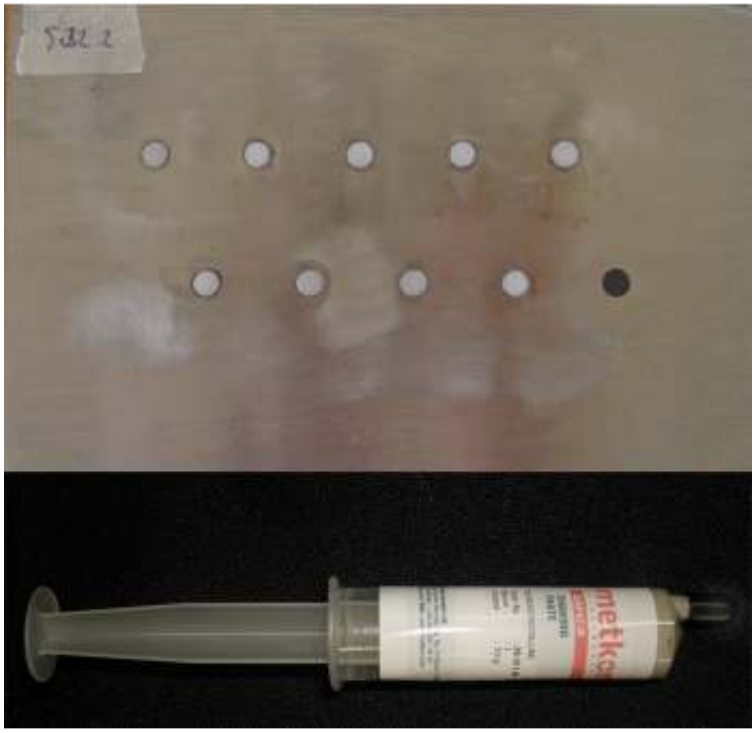
2.1.2. Metal Plakanın Hazırlanması

Lazerle pürüzlendirme işleminde örneklerin yerleştirileceği metal plakanın hazırlanması için önce 3 boyutlu grafik çizim yapıldı. Hazırlanan çizimler lazer kesim cihazına aktarıldı. Grafiğe uygun olarak paslanmaz çelikten 10 adet, 1.5x14,5x25 mm boyutlarında metal plaka elde edildi. Yine aynı yöntemle her plakanın üzerine 10 adet 5,5 mm çapında delikler açıldı. Metal plakalarında kenarlarında bulunacak boşluklar ve deliklerin yerleşimi bağlantı gücü deneyi uygulayacağımız cihazın tutucu ucuna göre belirlenerek şekillendirildi (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Hazırlanan metal plakalar

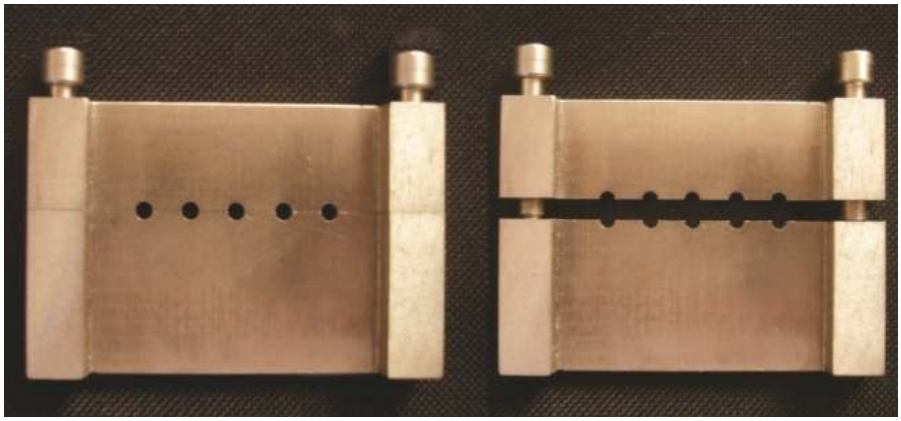
Seramikler, hazırlanan metal plakalara, ön ve arka yüzlerine cam konularak, soğuk akrilikle sabitlendi. Akriliğin polimerizasyonu tamamlandıktan sonra seramik yüzeylerin düzgünleştirilmesi işlemine geçildi. Bunun için önce sırayla 180 ve 320'lik zımparalar ile düzeltilen yüzeylere 1 μm' luk monokristal elmas pasta (Diapat M, Metkon Metallography, Metkon Instruments Ltd., Bursa, Türkiye) mikromotorla çalıştırılan porselen polisaj lastiği ile uygulandı (Şekil 2.5.).



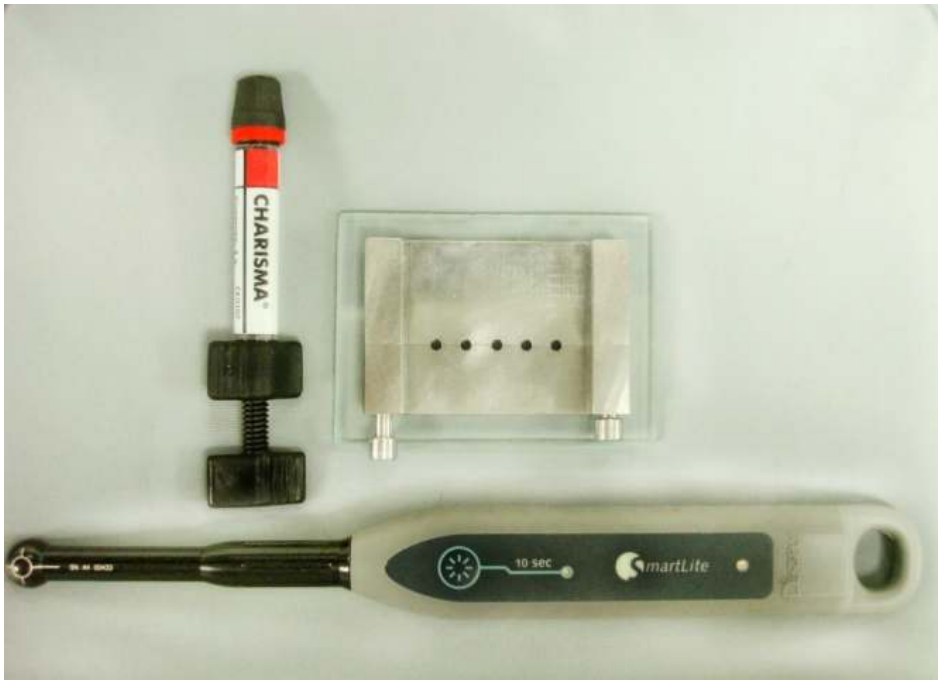
Şekil 2.5. Plakaya sabitlenen seramikler ve elmas pasta.

2.1.3. Kompozit Örneklerin Hazırlanması

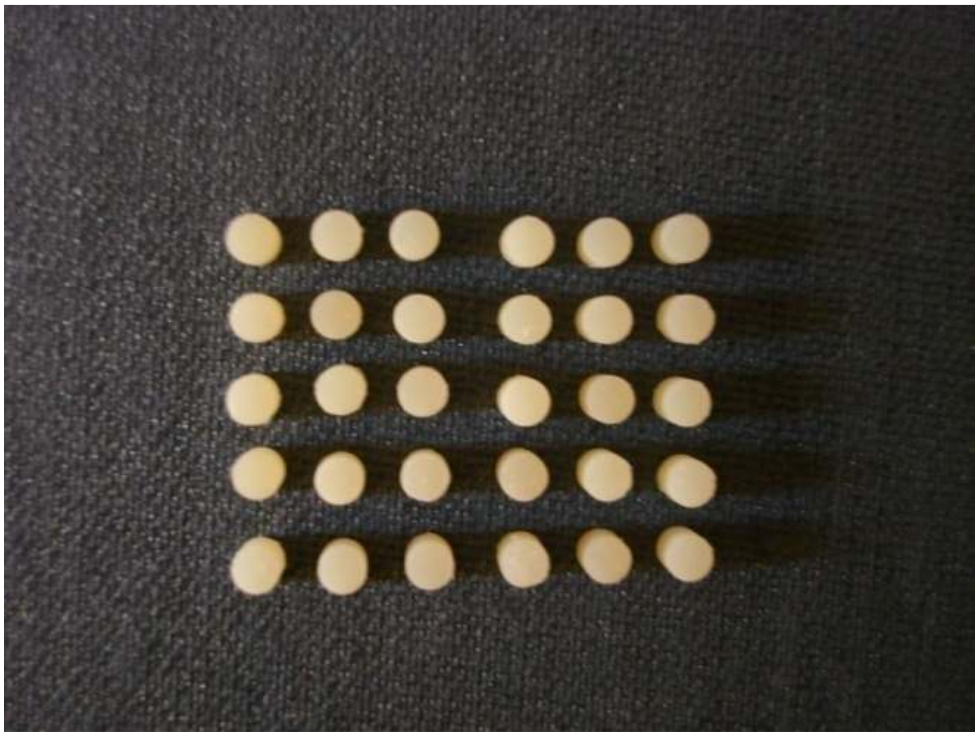
Seramik yüzeylere simante edilecek kompozit örneklerin elde edilebilmesi için vidalı kilit sistemi ile ayrılan iki parçadan oluşan ve 3x3mm boyutlarında silindirik boşluklar ihtiva eden paslanmaz çelik kalıp hazırlandı (Şekil 2.6). Kompozit materyali (Charisma/Gluma ® Comfort Bond®, Heraeus Kulzer, Hanau, Germany) kalıbın içine iki seferde uygulandı. Işık kaynaklı polimerizasyon cihazıyla (Smartlite™ PS, Dentsply, Germany) 10'ar sn'lik ışınlamalar ile polimerizasyon tamamlandı. Materyalin taşmasının engellenmesi için ışınlamalar çelik kalıbın ön ve arka yüzlerine siman camları konularak gerçekleştirildi (Şekil 2.7). Böylelikle 90 adet kompozit silindirik örnek hazırlandı (Şekil 2.8).



Şekil 2.6. Kompozit örneklerin hazırlanmasında kullanılan kalıp



Şekil 2.7. Kullanılan kompozit materyali, ışık kaynaklı polimerizasyon cihazı ve kalıp



Şekil 2.8. Hazırlanan kompozit silindirler

2.2 Metal Mikroskobu İncelemeleri ve Grupların Seçimi

Çalışmamızda uygulanacak lazer protokolünün tespiti için bir seri pilot çalışma yapıldı. Farklı güçlerde lazerlerin etkilerini görmek amacı ile ışınlamalar yapılan örnekler metal mikroskobunda yüzey değişiklikleri açısından incelendi. Bu işlem için metal mikroskobu (Leica DM6000 M Metalographic Microscope, Leica Microsystems, Almanya) kullanıldı.

Seramik örnekler bu ön araştırma sonucunda uygulanan yüzey işlemlerine göre şu gruplara ayrıldı:

Grup P, kontrol grubu, yüzey işlemi uygulanmadı (P=Polisaj),

Grup SB, 125 μm' luk Al_2O_3 ile kumlama (SB=Sandblasting, kumlama),

Grup PL1 (lazer1-532 nm, 80 mJ),

Grup PL2 (lazer2-532 nm,120mJ),

Grup PL3 (lazer3-1064 nm,80mJ),

Grup PL4 (lazer4-1064 nm, 120mJ),

Grup SBL1 (kumlama+lazer1),

Grup SBL2 (kumlama+lazer2),

Grup SBL3 (kumlama+lazer3),

Grup SBL4 (kumlama+lazer4) (Tablo.2.1).

Tablo 2.1. Çalışılmasına karar verilen gruplar

P » Polisaj-kontrol	SB » Kumlama
PL1 » 532nm-80mj	SBL1 » Kumlama+532nm-80mj
PL2 » 532nm-120mj	SBL2 » Kumlama+532nm-120mj
PL3 » 1064nm-80mj	SBL3 » Kumlama+1064nm-80mj
PL4 » 1064nm-120mj	SBL4 » Kumlama+1064nm-120mj

2.3 Lazer Enerjisinin Uygulanması

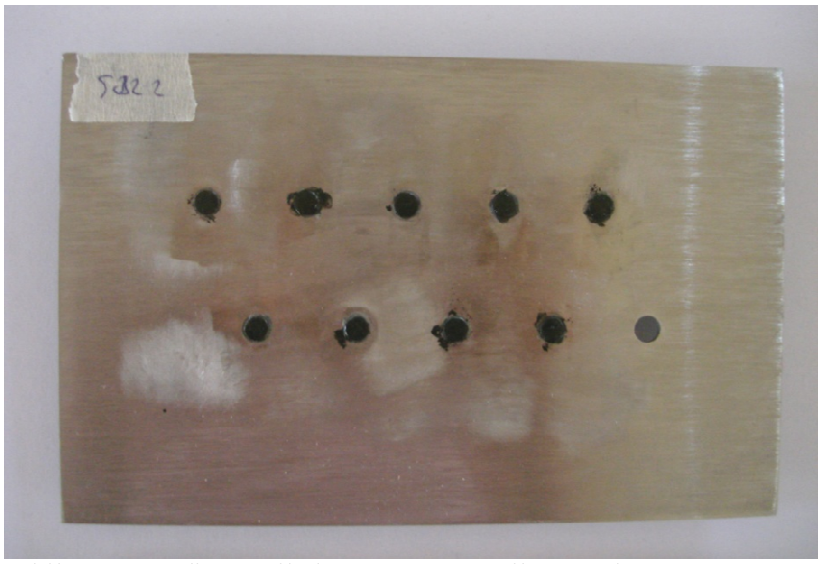
Çalışmamızda, 1064nm dalga boylu lazer çıkışı için yüksek darbe güçlü bir lazer sistemi kullanılmıştır (Ekspala, Litvanya). Flaş lambalı ve Q-anahtarlamalı olan sistem darbe başına 500mJ enerji seviyesine kadar ulaşabilmektedir.

532 dalga boylu lazer çıkışı için ise, Big Sky CRF-200 sistemi kullanılmıştır. Sistem 1064nm çıkışını doğrudan 532nm dalga boyuna çevirmekte ve 230 mJ enerji düzeyine ulaşabilmektedir. Benzer şekilde Q anahtarlamalı ve flaş lambalıdır.

Lazer enerjisinin ölçülebilmesi için enerji metre (Gentec Electro-Optics, Inc., Kanada), kalibresi yüksek darbe enerjisi probu ile birlikte kullanılmıştır. Seramik örnekler üzerine lazer enerjisi uygulamadan önce, uygulanan enerji mJ cinsinden ölçülmüştür (Şekil 2.9).

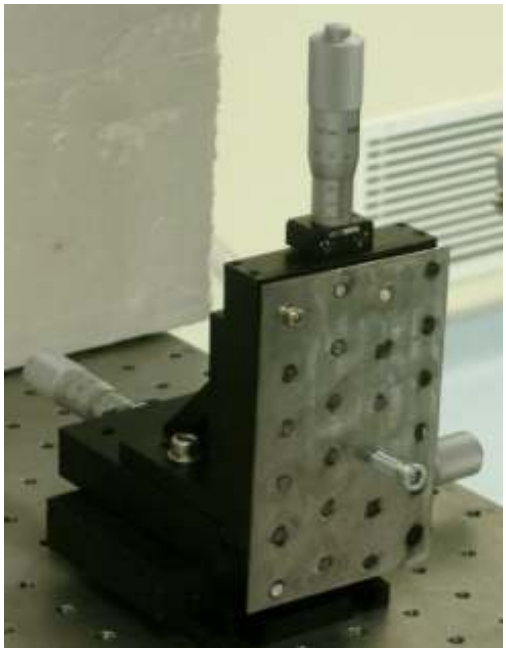
Şekil 2.9. Enerjimetre ile uygulanacak lazer gücünün tespiti

Seramik örneklerin yansıtıcılığı çok düşük olduğu için yüzeyler ışınlamadan önce distile su ile karıştırılmış polimer katkılı toz karbon (grafit tozu) ile boyanmıştır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Grafit tozu ile boyanmış seramik yüzeyler

Lazer uygulanacak seramikleri bulunduran metal plakalar ışınlama bölgesine uygun şekilde sabitlenmiştir (Şekil 2.11). İstenilen enerji düzeyinde toplam her örnek için toplam 30 sn sürecek şekilde yüzey taranarak ışınlamalar gerçekleştirildi.



Şekil 2.11. Lazer uygulanacak plakanın yerleştirilmesi

Lazer uygulamasından sonra bağlantı gücü deneyi esnasında oluşabilecek retansiyon problemini ortadan kaldırabilmek amacı ile plakaların arka yüzlerine zirkonya disklerin tamamını örtecek şekilde soğuk akrilik uygulandı (Şekil 2.12).

Şekil 2.12. Seramik örneklerin arka yüzlerine soğuk akrilik uygulanması

2.4 Simantasyon

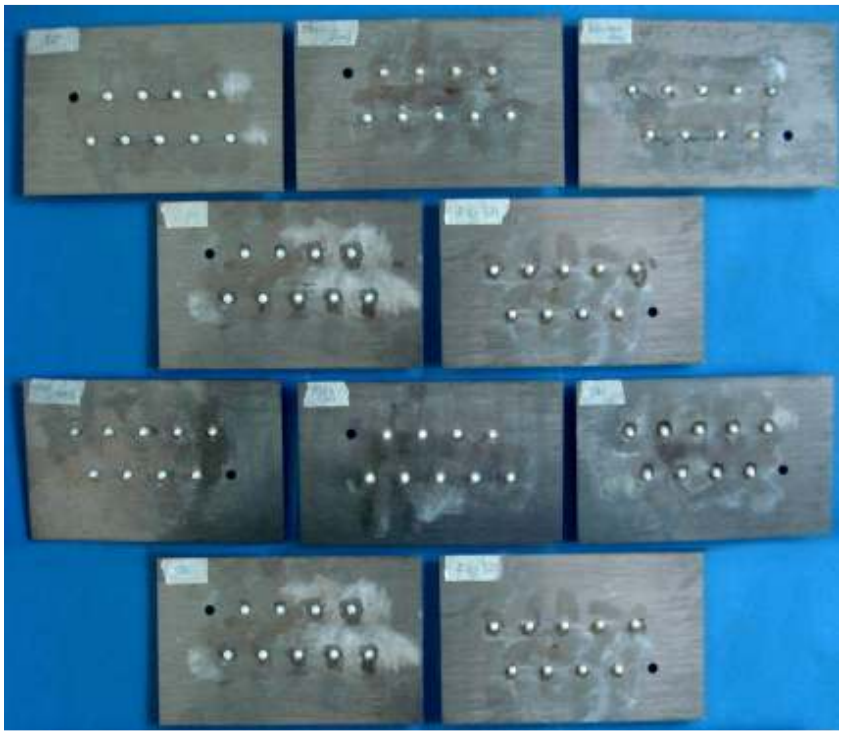
Yüzey işlemleri tamamlanan seramik örnekler izopropil alkol kullanılarak ultrasonik temizleyicide (Whaledent Biosonic, İsviçre) temizlendi ve simantasyon işlemine geçildi. Seramiklerin merkezinde 3 mm lik bölüme yeterli miktarda Panavia F (Kuraray Co., Ltd., Osaka, Japonya) (Tablo 2.2 Panavia F simanının içeriği) simanı yerleştirilerek üzerlerine hazırlanan kompozit silindirler uygulandı. 750 gr'lık sabit kuvvet altında taşan siman artıkları minik fırça yardımıyla temizlendikten sonra her yönden 40 sn ışık alacak şekilde polimerize edildi (Şekil 2.13). Ardından simantasyon bölgesine yine aynı kuvvet altında 10 dk boyunca oksijen bloke edici jel (Oxyguard, Kuraray, Osaka, Japonya) uygulandı.

Tablo 2.2. Panavia F simanının içeriği (Pace ve ark., 2007)

A pastası	•Silanlanmış silika, kolloidal silika, hidrofobik aromatik dimetakrilat, 10-metakriloksidekil dihidrojen fosfat, hidrofobik alifatik dimetakrilat, hidrofilik dimetakrilat, benzol peroksit
B Pastası	•Silanlanmış baryum camı, silanlanmış titanyum oksit, sodyum florid, kolloidal silika, hidrofobik aromatik dimetakrilat, hidrofilik dimetacrilat, hidrofobik alifatik dimetakrilat, n,n'-dietanol-p-toluidin, sodyum aromatik sülfinat
Oksi-guard	•Polietilen glikol/gliserin/sodyum benzen sülfinat kont. jel

Şekil 2.13. Sabit kuvvet altında simantasyon işlemi

Her biri farklı yüzey işlemleri uygulanmış ve kompozit silindirlere simante edilmiş 9'ar adet seramik örnek barındıran 10 adet metal plaka elde edildi (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Simante edilen kompozit örnekler

2.5 Bağlantı Gücü Deneyi

Simantasyon işlemi tamamlandıktan sonra örnekler 37^{o} C'lik distile suda 24 saat bekletildi. Universal Testing Machine (Lloyd-LRX; Lloyd Instruments, Fareham, UK)' de crosshead hızı 0.5 mm/min (Nexygen version 2.0; Lloyd Instruments) olacak şekilde shear bond testi uygulandı (Şekil 2.15).

Şekil 2.15. Bağlantı testi için plakanın cihaza yerleştirilmesi

SPSS programı kullanılarak istatistiksel inceleme yapıldı.

Desimante olan örnekler kopma noktasının belirlenebilmesi için mikroskop altında (Leica DM6000 M Metalographic Microscope, Leica Microsystems, Almanya) incelendi. Örnekler kopma noktalarına göre 3 gruba ayrıldı:

Tip 1 (Adeziv Kopma): Seramik-rezin siman sınırında veya rezin siman-kompozit sınırında kopma,
Tip 2 (Koheziv Kopma): Seramik yapı içinde, rezin siman içinde veya kompozit içinde kopma,
Tip 3 (Karışık Kopma): Adeziv ve koheziv kopmanın bir arada olduğu kopma.

2.6 Yüzey Analizleri

AFM ve SEM incelemeleri için her bir yüzey işlemine ait ikişer adet olmak üzere toplam 20 adet örnek aynı protokollere uygun olarak hazırlandı.

2.6.1 Atomik Kuvvet Mikroskobu

Gazi Üniversitesi Fizik Bölümü laboratuarlarında bulunan 'Needle Sensor' atomik kuvvet mikroskobu (*Omicron NanoTechnology GmbH, Taunusstein, Germany)* (Şekil 2.16) kullanıldı.

Şekil 2.16. Atomik kuvvet mikroskobu

Seramik örnekler AFM'ye uygun yöntemle aktarıldı (Şekil 2.17, Şekil 2.18). Ölçümler nanometre skalasında, 5µx5µm ve 2µmx2µm boyutlarında kare alanlarda elde edildi. Bu alanlara ait pürüzlülük değerleri Scala Pro yazılımı ile elde edildi.

Şekil 2.17. Örneklerin AFM'ye aktarılması

Şekil 2.18. Örneklerin AFM'ye aktarılması

2.6.2 Tarama Elektron Mikroskobu İncelemesi

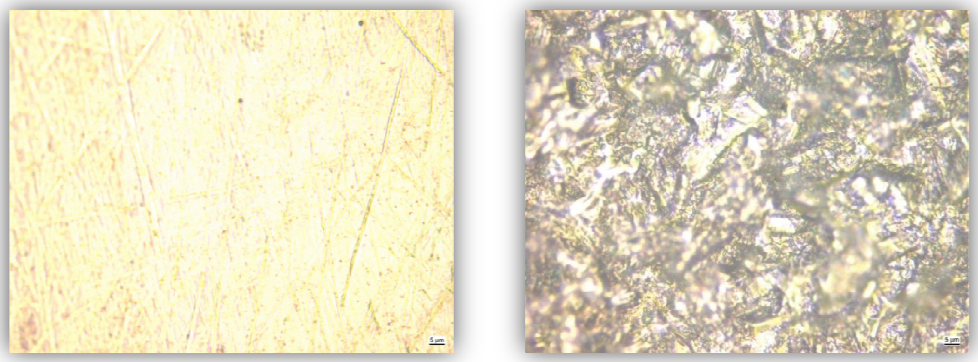
Gazi Üniversitesi Biyoloji laboratuarlarındaki Tarama Elektron Mikroskobu **(**JSM, 6060 LV, Jeol, Tokyo, Japan) kullanıldı.

3. BULGULAR

3.1 Metal Mikroskobu Bulguları

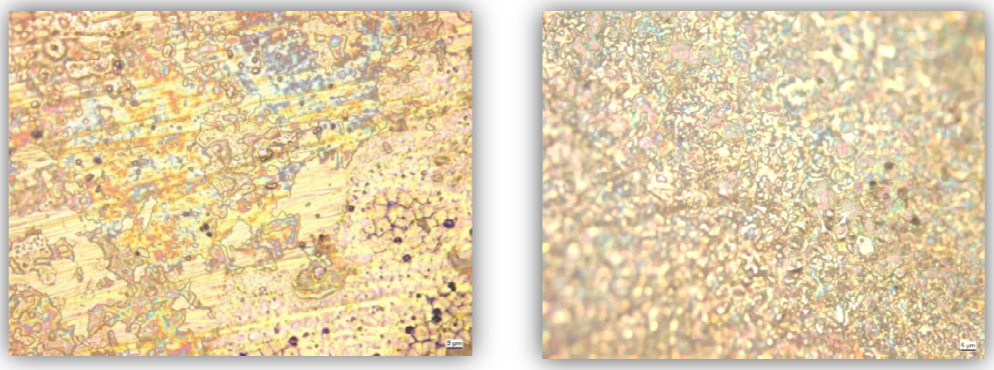
Metal mikroskobu ile yapılan incelemelerde P, SB ve farklı lazer gruplarında yüzeyde değişiklikler gözlendi. Alt grupların seçimine bu sayede karar verildi.

P yüzeyinde uygulanan polisaja bağlı çizik şeklinde görüntüler mevcutken, SB yüzeyinde ise tepeler şeklinde görüntüler izlendi (Şekil 3.1).

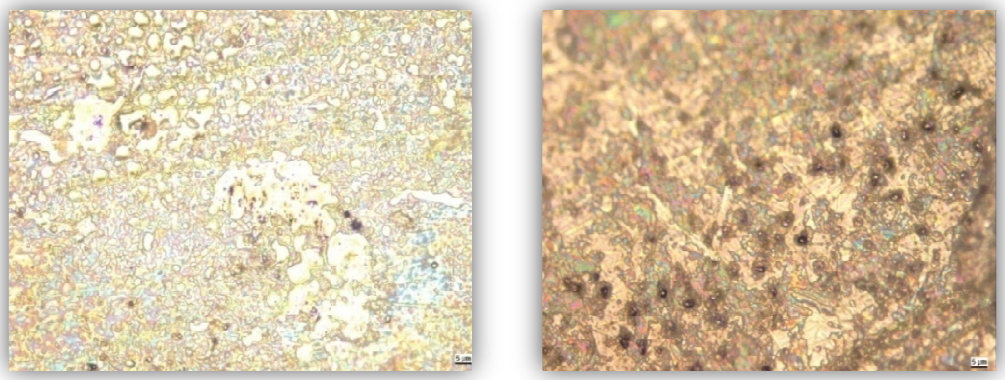


Şekil 3.1. P (solda) ve SB yüzey (sağda), 500X metal mikroskobu

Farklı dalgaboyları ve enerjilerde lazer uygulanan gruplarda ise lazerlerin yüzeyde , P ve SB yüzeylerden oldukça farklı olarak, yer yer çatlakların izlendiği ancak genel olarak ufak dalgalar şeklinde tanımlanabilecek, irili ufaklı damlacık görüntüsü oluşturduğu görüldü (Şekil 3.2, 3.3).



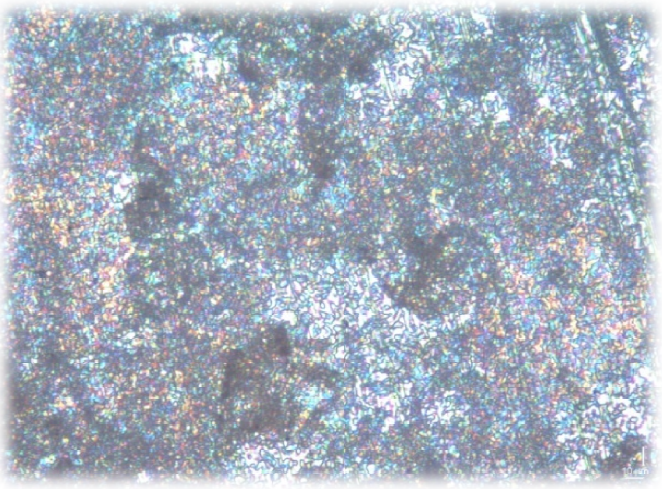
Şekil 3.2 Nd-YAG (532) 80 ve 120 mj lazer uygulanmış yüzeyler, 500X metal mikroskobu



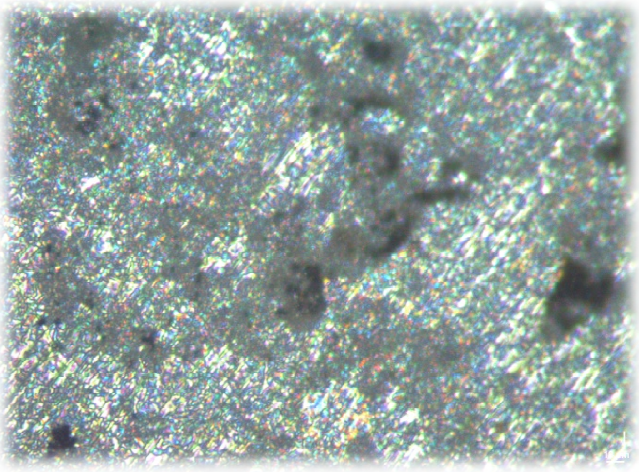
Şekil 3.3 Nd-YAG (1064) 80 ve 120 mj lazer uygulanmış yüzeyler, 500X metal mikroskobu

Ön çalışmada 40 mj olarak uygulanan lazer sonucu seramik yüzeylerin P grubuna benzer şekilde olduğu görülmüştür. Bu görüntü düşük enerjilerin yüzeyde arzu edilen değişikliği yaratmayacağı ön bilgisini oluşturmuştur.

120 mj üstünde yapılan ışınlamalarda ise örneklerde makroskopik olarak da görülebilen kararmalar oluştuğu izlenmiştir. Aynı şekilde çalışmamızda seçtiğimiz 30 sn'lik ışınlama sürelerinin üzerine çıkıldığında yine benzer renk değişikliklerinin oluşabildiği görülmüştür (Şekil 3.4, 3.5).



Şekil 3.4. 120 mj üstünde ışınlama yapılan bir örnekte meydana gelen renk koyulaşmasının mikroskopik görüntüsü, 200X metal mikroskobu



Şekil 3.5. 30 sn üzerinde ışınlama uygulanması sonucu renk koyulaşmasının mikroskopik görüntüsü, 200X metal mikroskobu

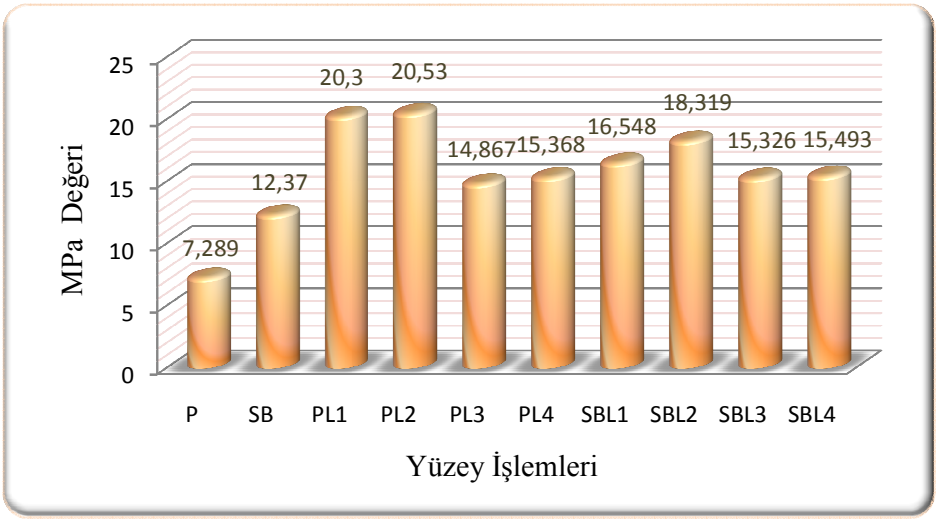
3. 2. Bağlantı Testi Sonuçları

3.2.1. İstatistiksel İnceleme

Shear testinden elde edilen sonuçların öncelikle grup ortalamalarına bakıldı. Buna göre elde edilen temel istatistik değerleri tablo 3.1' de ve şekil 3.6' de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Temel İstatistik Değerleri

Yüzey İşlemi	n	Ortalama bağlantı gücü (MPa) ve standart hata
P	9	7,289 ± 2, 922
SB	9	12,370 ± 2,590
PL1	9	20,300 ± 4,901
PL2	9	20,538 ± 2,846
PL3	9	14,867 ± 3,089
PL4	9	15,368 ± 3,439
SBL1	9	16,548 ± 2,924
SBL2	9	18,319 ± 4,589
SBL3	9	15,326 ± 2,631
SBL4	9	15,493 ± 3,430



Şekil 3.6. Grup Ortalamaları

Elde edilen grup ortalamalarının istatistiksel olarak birbirlerinden farklı olup olmadığı incelendi. Bunun için tek yönlü varyans analizi testi (ANOVA) kullanıldı. Sonuçlar tablo 3.2' de verilmiştir. Buna göre hipotez şu şekilde kuruldu:

Hipotez:	Karar için:
H_0: $\mu_1=\mu_2=\mu_3\ldots\ldots=\mu_9$	Anlamlılık (P) > α » H_0 kabul
H_1: $\mu_1\neq\mu_2\neq\mu_3\ldots\ldots\neq\mu_9$	Anlamlılık (P) < α » H_1 kabul

Tablo 3.2. Tek Yönlü Varyans Analizi Sonuçları

		Toplam Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Anlamlılık (P)	Karar
MPa	Gruplar arasında	1.214,321	9	134,925	11,5	0,0000000000219	H_1 Kabul
	Gruplar içinde	936,502	80	11,706			
	Toplam	2.150,823	89				
Anlamlık (P) < α (0,0000000000219 < 0,05) » H_1							

Bu test sonucunda grup ortalamalarının birbirlerinden farklı olduğu görüldü. Hangi grup veya grupların ortalamalarının diğerlerinden farklı olduğunu tespit edebilmek için 'Çoklu Karşılaştırma' testi uygulanmasına karar verildi. Bunun için de öncelikle varyansların homojenliğine bakıldı (Tablo 3.3).

Hipotez	Karar için
H_0: $\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3\ldots\ldots=\sigma_9$ (Homojen)	Anlamlılık (P) > α » H_0 kabul
H_1: $\sigma_1\neq\sigma_2\neq\sigma_3\ldots\ldots\neq\sigma_9$ (Heterojen)	Anlamlılık (P) < α » H_1 kabul

Tablo 3.3. Varyansların Homojenliği Test Sonuçları

	Levene istatistiği	Serbestlik Derecesi1	Serbestlik Derecesi2	Anlamlılık (P)	Karar
Mpa	1,079	9	80	0,387	H_0 Kabul
Anlamlılık (P) > α (0,387 > 0,05) » H_0					

Bu test ile varyansların homojen olduğu görüldü ve gruplardaki örnek sayıları da eşit olduğu için Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi seçildi. Bu test sonuçları Tablo 3.4' te görülmektedir. Ortalama fark α = 0,05 seviyesinde anlamlı kabul edildiğinde (*) işareti ile belirtilen gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ortalama fark 0,10 seviyesinde anlamlı kabul edildiğinde ise (Ω) ile gösterilen gruplar arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.

Tablo 3.4. Tukey HSD Testi İle Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

	P	SB	PL1	PL2	PL3	PL4	SBL1	SBL2	SBL3	SBL4
P		Ω	Ω *	Ω *	Ω *	Ω *	Ω *	Ω *	Ω*	Ω *
SB	Ω		Ω *	Ω *				Ω *		
PL1	Ω *	Ω *			Ω *	Ω			Ω	
PL2	Ω *	Ω *			Ω *	Ω			Ω	Ω
PL3	Ω *		Ω *	Ω *						
PL4	Ω *		Ω	Ω						
SBL1	Ω *									
SBL2	Ω *	Ω *								
SBL3	Ω *		Ω	Ω						
SBL4	Ω *			Ω						

[α < 0,05 » *] [α < 0,10 » Ω]

Tabloya göre α < 0,05 için, şu değerlendirmeler yapılabilir:

- P grubunun SB grubu dışındaki tüm gruplardan istatistiksel olarak farklı olduğu, SB grubu ile arasında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.
- SB grubu ile PL1, PL2 ve SBL2 grupları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.
- PL1 grubu ile P, SB, PL3 grupları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.
- PL2 grubu ile P, SB ve PL3 grupları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.
- PL3 grubu ile P, PL1 ve PL2 grupları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.
- PL4 grubu ile sadece P grubu arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.
- SBL1, SBL2, SBL3, SBL4 grupları ile sadece P grubu arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.

α < 0,10 için ise:

- P grubunun SB grubu dâhil tüm gruplardan istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür.
- SB grubu ile P, PL1, PL2 ve SBL2 grupları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.
- PL1 grubu ile P, SB, PL3, PL4 ve SBL3 grupları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.

- PL2 grubu ile P, SB, PL3 ve PL4 grupları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.
- PL3 grubu ile P, PL1 ve PL2 grupları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.
- PL4 grubu ile sadece P grubu arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.
- SBL1 grubu ile sadece P grubu arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.
- SBL2 grubu ile P ve SB grupları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.
- SBL3 grubu ile P, PL1ve PL2 grupları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.
- SBL4 grubu ile P ve PL2 grupları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.

Bundan başka P grubunu kontrol grubu kabul ederek yaptığımız çoklu karşılaştırma değerlendirmesinde ise Dunnett Testi (çift yönlü) kullanılmıştır (Tablo 3.5). Buna göre diğer tüm grupların istatistiksel olarak P grubundan farklı olduğu görülmüştür.

Tablo 3.5. Dunnett Testi İle Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

Gruplar (I)	Gruplar (J)	Ortalama Fark (I-J)	Anlamlılık (P)
SB	P	5.0814722 (*)	0,017
PL1	P	13.0106235 (*)	0,000
PL2	P	13.2492565 (*)	0,000
PL3	P	7.5782436 (*)	0,000
PL4	P	8.0788337 (*)	0,000
SBL1	P	9.2587746 (*)	0,000
SBL2	P	11.0296480 (*)	0,000
SBL3	P	8.0372100 (*)	0,000
SBL4	P	8.2037047 (*)	0,000

Seçilmiş grupların grup istatistikleri için ise ANOVA Testi kullanılmıştır. Buna göre;

1- Sadece 532 nm dalga boyunda (80 ve 120 mj) Nd-YAG lazer uygulanan gruplar,
2- Sadece 1064 nm dalga boyunda (80 ve 120 mj) Nd-YAG lazer uygulanan gruplar,
3- Sadece 80 mj gücünde (532 ve 1064 nm dalgaboyu) Nd-YAG lazer uygulanan gruplar,
4- Sadece 120 mj gücünde (532 ve 1064 nm dalgaboyu) Nd-YAG lazer uygulanan gruplar,

5- Lazerin tek başına uygulandığı gruplar (PL grupları, P hariç),
6- Kumlama uygulamasını takiben lazer uygulanan gruplar (SBL grupları, SB grubu hariç), kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

Sadece 532 nm dalga boyunda Nd-YAG lazer uygulanan gruplar (PL1, PL2, SBL1, SBL2) kendi aralarında karşılaştırıldı ve bu grupların aralarındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görüldü. Sonuçlar aşağıda Tablo 3.6' da verilmiştir.

Tablo 3.6. Sadece 532 nm dalga boyunda (80 ve 120 mj) Nd-YAG lazer uygulanan gruplar için ANOVA Testi sonuçları

	Toplam Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Anlamlılık (P)	Karar
Gruplar arası	94,599	3	31,533	2,043	0,128	H_0 Kabul
Gruplar içi	493,953	32	15,436			
Toplam	588,552	35				
Anlamlık (P) > α (0,128 > 0,05) » H_0						

Sadece 1064 nm dalga boyunda Nd-YAG lazer uygulanan gruplar (PL3, PL4, SBL3, SBL4) kendi aralarında karşılaştırıldı ve bu grupların aralarındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görüldü. Sonuçlar aşağıda Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Sadece 1064 nm dalga boyunda (80 ve 120 mj) Nd-YAG lazer uygulanan gruplar için ANOVA Testi sonuçları

	Toplam Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Anlamlılık (P)	Karar
Gruplar arası	2,019	3	0,673	0,067	0,977	H_0 Kabul
Gruplar içi	320,554	32	10,017			
Toplam	322,573	35				
Anlamlık (P) > α (0,977 > 0,05) » H_0						

Sadece 80 mj gücünde Nd-YAG lazer uygulanan gruplar (PL1, PL3, SBL1, SBL3) kendi aralarında karşılaştırıldı ve Anlamlılık (P) < 0,05 olduğu için grup ortalamalarının birbirlerinden istatistiksel olarak farklı olduğu görüldü. Sonuçlar aşağıda Tablo 3.8' de verilmiştir.

Tablo 3.8. Sadece 80 mj gücünde (532 ve 1064 nm dalgaboyu) Nd-YAG lazer uygulanan gruplar için ANOVA Testi sonuçları

	Toplam Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Anlamlılık (P)	Karar
Gruplar arası	163,910	3	54,637	4,456	0,010	H_1 Kabul
Gruplar içi	392,401	32	12,263			
Toplam	556,311	35				
Anlamlık (P) < α (0,010 < 0,05) » H_1						

Daha sonra varyansların homojenlik testi yapıldı varyansların homojen olduğu görüldü. Varyansların homojenliği sonuçları aşağıda Tablo 3.9' da verilmiştir. (Anlamlılık (P) > 0,05).

Tablo 3.9. Varyansların Homojenliği Test Sonuçları

	Levene istatistiği	Serbestlik Derecesi1	Serbestlik Derecesi2	Anlamlılık (P)
Mpa	2,500	3	32	0,077

Bu test ile varyansların homojen olduğu görüldü ve hangi grubun diğerlerinden farklı olduğunu belirlemek için deney gruplarındaki örnek sayılarının da eşit olduğu göz önüne alınarak Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi seçildi. Bu test sonuçları Tablo 3.10' da görülmektedir.

Tablo 3.10 Tukey HSD Testi İle Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

Gruplar (I)	Gruplar (J)	Ortalama Fark (I-J)	Anlamlılık (P)
PL1	PL3	5.4323799 (*)	0,012
	SBL1	3.7518489	0,126
	SBL3	4.9734135 (*)	0,025
PL3	PL1	-5.4323799 (*)	0,012
	SBL1	-1.6805309	0,740
	SBL3	-0.4589664	0,992
SBL1	PL1	-3.7518489	0,126
	PL3	1.6805309	0,740
	SBL3	1.2215646	0,880
SBL3	PL1	-4.9734135 (*)	0,025
	PL3	0,4589664	0,992
	SBL1	-1,2215646	0,880

Tabloya göre PL1 ile PL3 ve SBL3, PL3 ile PL1 ve SBL3, SBL3 ile PL1 grupları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir.

Sadece 120 mj gücünde Nd-YAG lazer uygulanan gruplar (PL2, PL4, SBL2, SBL4) kendi aralarında karşılaştırıldı ve Anlamlılık (P) < 0,05 olduğu için grup ortalamalarının birbirlerinden istatistiksel olarak farklı olduğu görüldü Sonuçlar aşağıda Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11. Sadece 120 mj gücünde (532 ve 1064 nm dalgaboyu) Nd-YAG lazer uygulanan gruplar için ANOVA Testi sonuçları

	Toplam Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Anlamlılık (P)	Karar
Gruplar arası	166,109	3	55,370	4,198	0,013	H_1 Kabul
Gruplar içi	422,105	32	13,191			
Toplam	588,215	35				
Anlamlık (P) < α (0,013 < 0,05) » H_1						

Daha sonra varyansların homojenlik testi yapıldı varyansların homojen olduğu görüldü. Varyansların homojenliği sonuçları aşağıda Tablo 3.12' de verilmiştir. (Anlamlılık (P) > 0,05).

Tablo 3.12. Varyansların Homojenliği Test Sonuçları

	Levene istatistiği	Serbestlik Derecesi1	Serbestlik Derecesi2	Anlamlılık (P)
Mpa	0,509	3	32	0,679

Bu test ile varyansların homojen olduğu görüldü ve hangi grubun diğerlerinden farklı olduğunu belirlemek için deney gruplarındaki örnek sayılarının da eşit olduğu göz önüne alınarak Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi seçildi. Bu test sonuçları Tablo 3.13'te görülmektedir.

Tablo 3.13. Tukey HSD Testi İle Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

Gruplar (I)	Gruplar (J)	Ortalama Fark (I-J)	Anlamlılık (P)
PL2	PL4	5.1704228 (*)	0,024
	SBL2	2.2196085	0,572
	SBL4	5.0455518 (*)	0,029
PL4	PL2	-5.1704228 (*)	0,024
	SBL2	-2.9508143	0,329
	SBL4	-0.1248710	1,000
SBL2	PL2	-2.2196085	0,572
	PL4	2.9508143	0,329
	SBL4	2.8259433	0,366
SBL4	PL2	-5.0455518 (*)	0,029
	PL4	0.1248710	1,000
	SBL2	-2.8259433	0,366

Bu testin ardından PL2 ile PL4 ve SBL4 grupları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu görüldü.

Sadece PL gruplarının (PL1, PL2, PL3, PL4) kendi aralarında karşılaştırılması sonucunda anlamlılık (P) < 0,05 olduğu için grup ortalamalarının birbirlerinden istatistiksel olarak farklı olduğu görüldü. Sonuçlar aşağıda Tablo 3.14'te verilmiştir.

Tablo 3.14. Sadece PL gruplarının (PL1, PL2, PL3, PL4) kendi aralarında karşılaştırılması için ANOVA Testi sonuçları

	Toplam Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Anlamlılık (P)	Karar
Gruplar arası	254,328	3	84,776	6,339	0,002	H_1 Kabul
Gruplar içi	427,989	32	13,375			
Toplam	682,316	35				
Anlamlık (P) < α (0,002 < 0,05) » H_1						

Daha sonra varyansların homojenlik testi yapıldı varyansların homojen olduğu görüldü. Varyansların homojenliği sonuçları aşağıda Tablo 3.15'da verilmiştir. (Anlamlılık (P) > 0,05).

Tablo 3.15. Varyansların Homojenliği Test Sonuçları

	Levene istatistiği	Serbestlik Derecesi1	Serbestlik Derecesi2	Anlamlılık (P)
Mpa	1,772	3	32	0,172

Bu test ile varyansların homojen olduğu görüldü ve hangi grubun diğerlerinden farklı olduğunu belirlemek için deney gruplarındaki örnek sayılarının da eşit olduğu göz önüne alınarak Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi seçildi. Bu test sonuçları Tablo 3.16'da görülmektedir.

Tablo 3.16. Tukey HSD Testi İle Çoklu Karşılaştırma Test Sonuçları

Gruplar (I)	Gruplar (J)	Ortalama Fark (I-J)	Anlamlılık (P)
PL1	PL2	-0.2386330	0,999
	PL3	5.4323799 (*)	0,018
	PL4	4.9317898 (*)	0,035
PL2	PL1	0.2386330	0,999
	PL3	5.6710129 (*)	0,012
	PL4	5.1704228 (*)	0,025
PL3	PL1	-5.4323799 (*)	0,018
	PL2	-5.6710129 (*)	0,012
	PL4	-0.5005901	0,991
PL4	PL1	-4.9317898 (*)	0,035
	PL2	-5.1704228 (*)	0,025
	PL3	0.5005901	0,991

Bu inceleme sonucunda da PL1 ile PL3 ve PL4, PL2 ile PL3, PL3 ile PL1 ve PL2, PL4 ile de PL1 ve PL2 grupları arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.

Sadece SBL gruplarının (SBL1, SBL2, SBL3, SBL4) kendi aralarında karşılaştırılması sonucunda Anlamlılık (P) > 0,05 olduğu için grup ortalamalarının birbirlerinden istatistiksel olarak farklı olmadığı görülmüştür. Sonuçlar aşağıda Tablo 3.17'de verilmiştir.

Tablo 3.17. Sadece SBL gruplarının (SBL1, SBL2, SBL3, SBL4) kendi aralarında karşılaştırılması için ANOVA Testi sonuçları

	Toplam Kareler	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Anlamlılık (P)	Karar
Gruplar arası	51,097	3	17,032	1,410	0,258	H_0 Kabul
Gruplar içi	386,518	32	12,079			
Toplam	437,615	35				
Anlamlık (P) > α (0,258 > 0,05) » H_0						

3.3 Kopma Yüzeyi Analizi

Shear bağlantı testi sonucunda 10 ayrı yüzeydeki kopma tipleri incelendiğinde sonuç tablo 3.18'deki gibi elde edilmiştir.

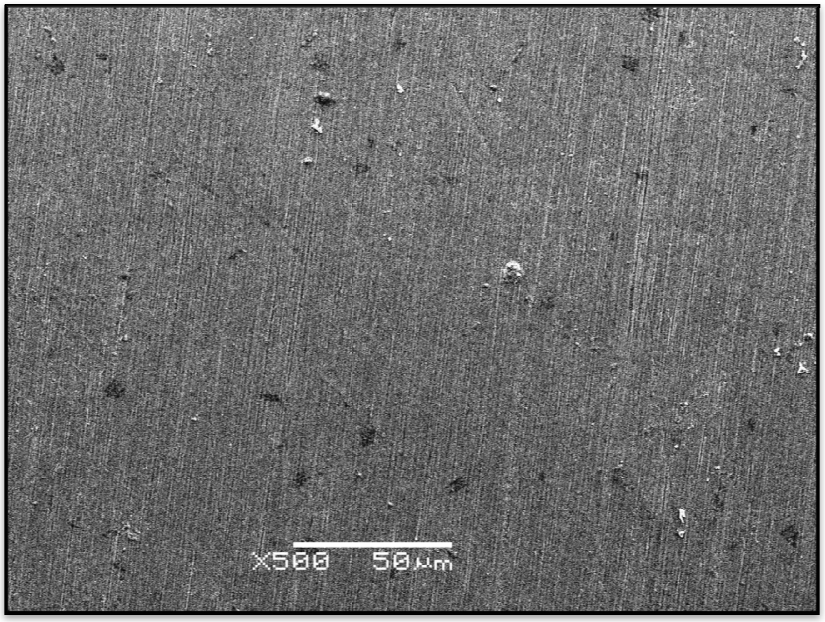
Tablo 3.18 Kopma yüzeyi analizi

Yüzey İşlemi	**Kopma Tipi**					
	Adeziv (Tip 1)		Koheziv (Tip 2)			Karışık (Tip 3)
	seramik-siman	siman- kompozit	seramik	siman	kompozit	(Tip 1 + Tip 2)
P	% 88,8	%0	%0	%0	%0	% 11,1
SB	%22,2	%0	%0	%0	%0	%77,7
PL1	%0	%0	%0	%33,3	%0	%66,6
PL2	%0	%0	%0	%22,2	%0	%77,7
PL3	%33,3	%0	%0	%0	%0	%66,6
PL4	%33,3	%0	%0	%0	%0	%66,6
SBL1	%0	%11,1	%0	%11,1	%0	%77,7
SBL2	%	%11,1	%0	%0	%0	%77,7
SBL3	%22,2	%0	%0	%0	%0	%77,7
SBL4	%33,3	%0	%0	%0	%0	%66,6

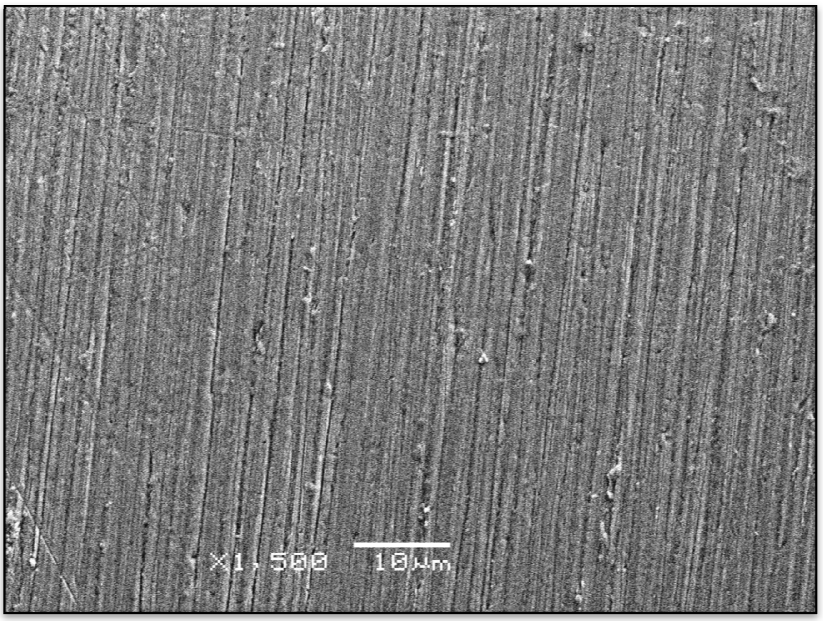
3.4. SEM ve AFM Bulguları

3.4.1. P Grubu

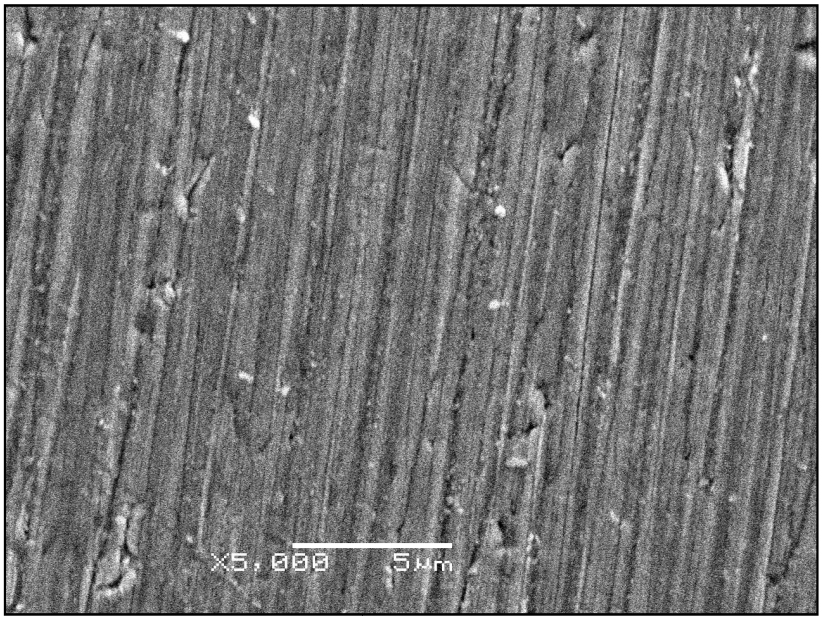
P grubu SEM incelemesinde yüzeyde elmas pastayla tek yönde yapılan polisaj işleminden kaynaklanan tek yönlü çizgilere rastlanmıştır (Şekil 3.7, 3.8, 3.9).



Şekil 3.7. P, SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X

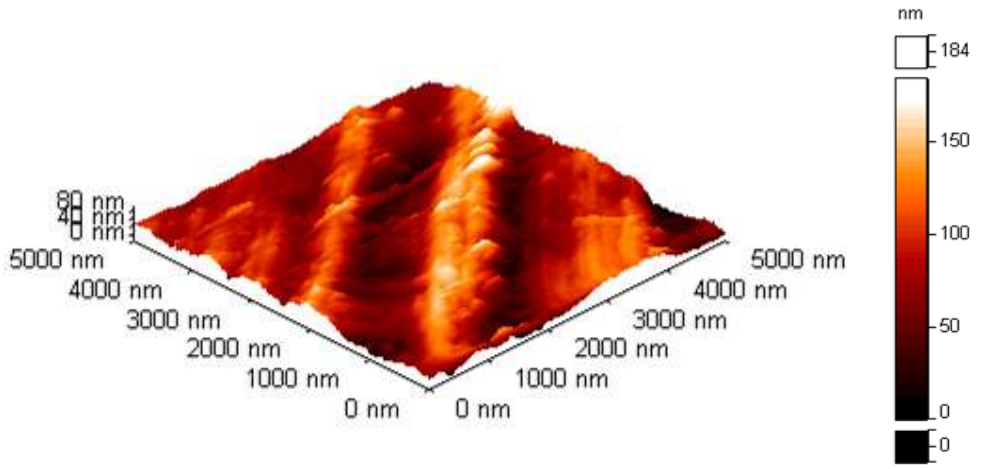


Şekil 3.8 P, SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X



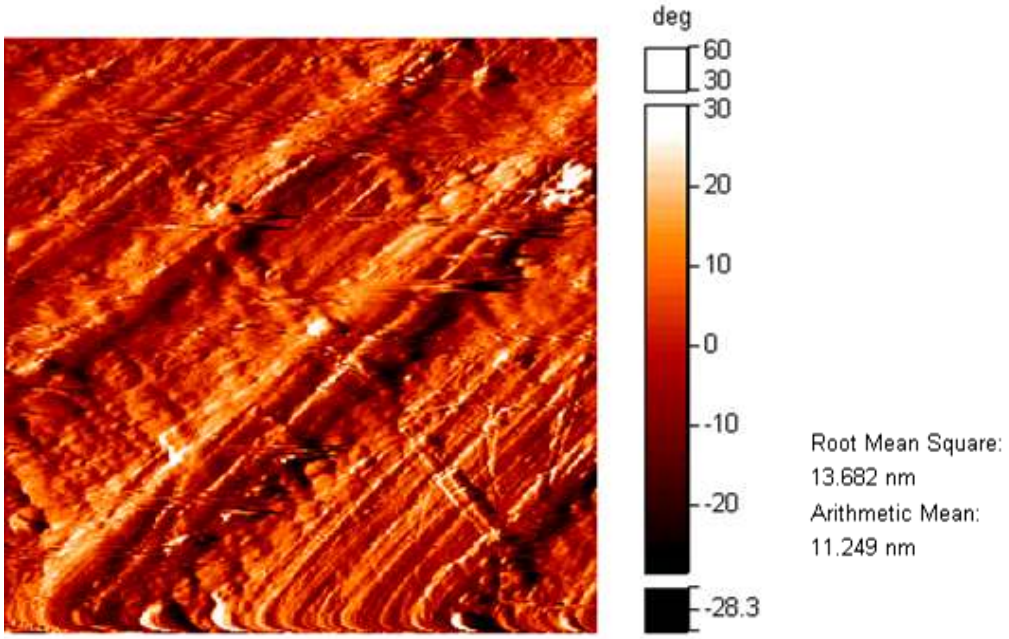
Şekil 3.9 P, SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

AFM görüntülerinde ise SEM' de izlenen çizgi şeklindeki oluşumlar 5000 nm'lik alanda detaylı olarak görülmüştür. Şekil 3.10' da P yüzeyin 3 boyutlu (Z image) izlenmektedir. Yandaki skala ise en koyu renkten en açık renge gidildikçe yükseklikte meydana gelen değişimi göstermektedir. İki tepenin yüksek bölgeleri arasındaki mesafenin ortalama 1000 nm olduğu, tepelerin yüksekliğinin ise bölgeye göre değişmekle beraber en fazla 184 nm olduğu gözlenmiştir.



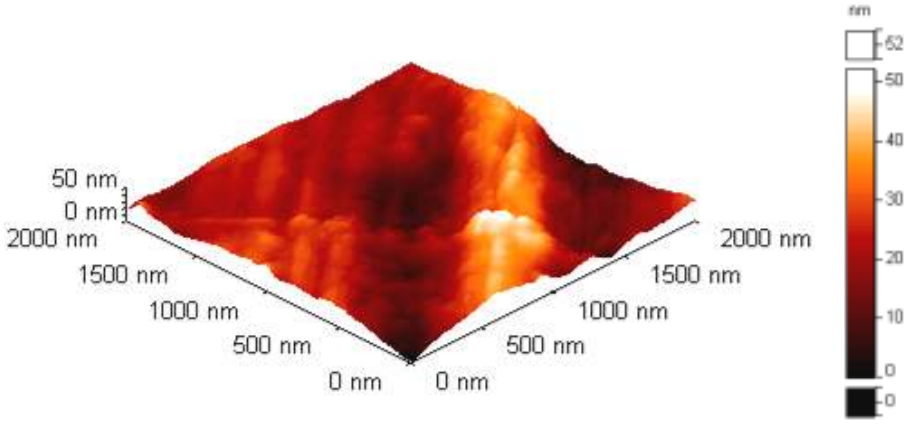
Şekil 3.10 P yüzey, 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Aynı bölgeden alınan 2 boyutlu görüntüde (Phi image- Faz görüntüsü) ise yine çizgiler rahatlıkla seçilebilmektedir. Faz görüntüsü için kullanılan skala ise derece cinsinden değer vermektedir. Bu bölge için AFM mikroskopisinden elde edilen pürüzlülük değeri de (Root mean square) aşağıda görülmektedir (Şekil 3.11).



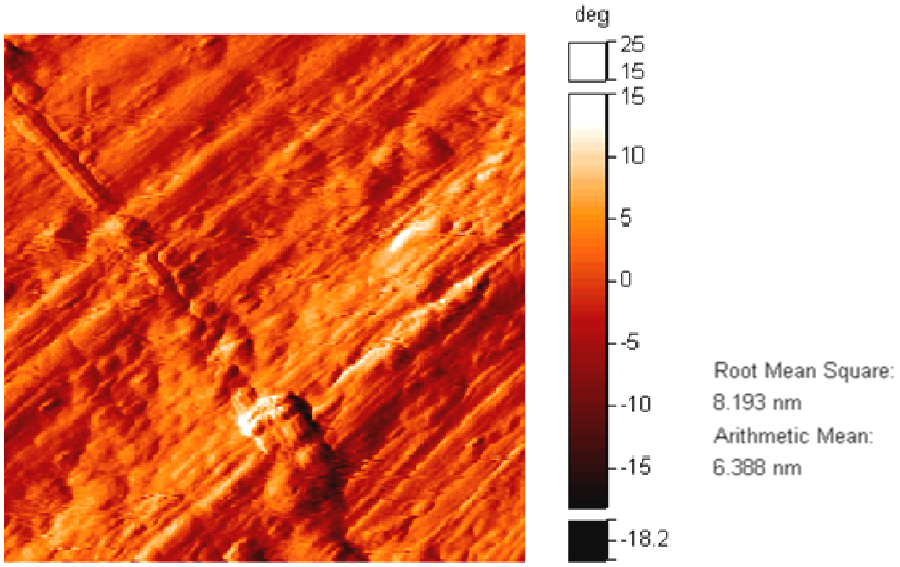
Şekil 3.11. P yüzey, 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Yine P yüzeyden elde edilen 2000 nm'lik Z görüntüsünde çizgilerin oluşturduğu tepelerden sağdakinin yaklaşık 50 nm olan yüksekliği net olarak izlenirken soldaki tepenin daha sığ ve geniş şekillendiği gözlenmektedir (Şekil 3.12).



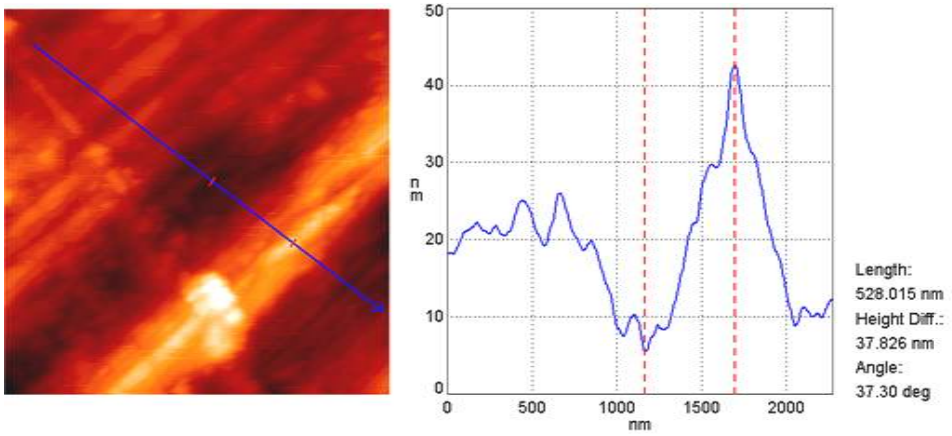
Şekil 3.12 P yüzey, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Şekil 3.13'te aynı bölgenin daha detaylı yüzey topoğrafisinin izlenebildiği faz görüntüsünve incelenen 2000 nm'lik bölgeye ait pürüzlülük değeri görülmektedir.



Şekil 3.13 P yüzey, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri
Aşağıda 2000 nm'lik bu alana ait çizgisel profil analizi görülmektedir.

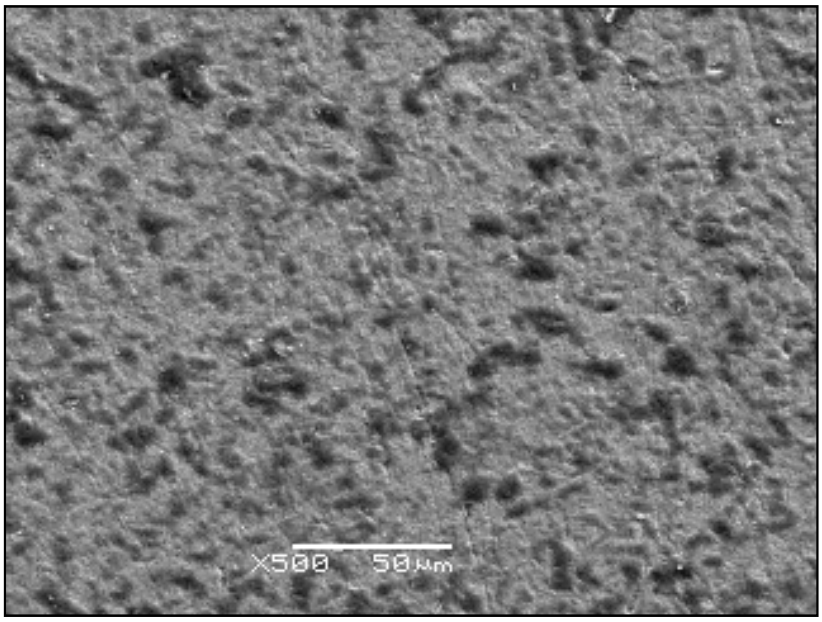
Şekil 3.14'te şeklin sağ alt bölgesinde gözlenen tepe ile şeklin merkezinde görülen çukurun ortalama merkezleri arasındaki genişlik 528 nm, aralarındaki yükseklik farkı ise 37 nm olarak ölçülmektedir.



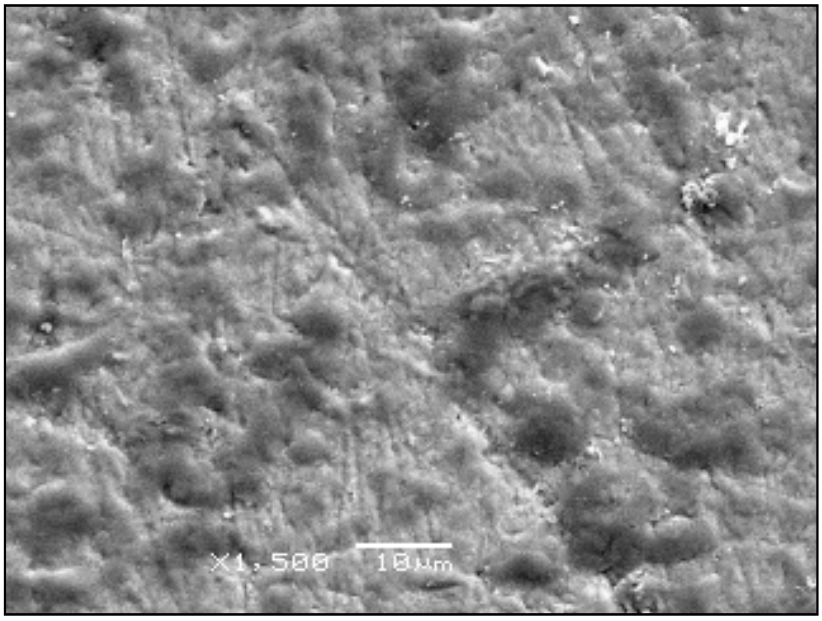
Şekil 3.14 P yüzey, 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

3.4.2 SB Grubu

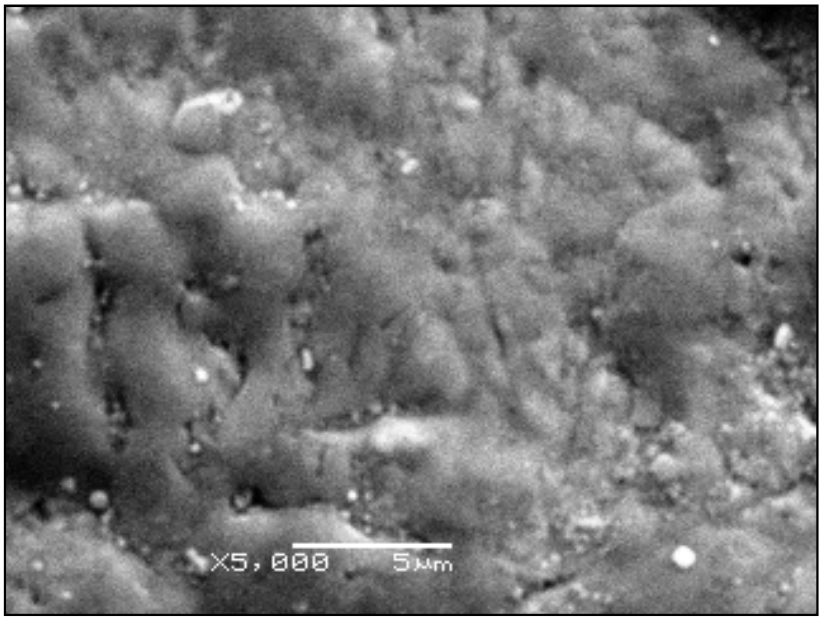
Sadece kumlama uygulanan bu grupta SEM incelemesinde, P yüzeyinde rastlanan çizgilerin tamamen yok olmadığı ancak yüzeyde tepeler, çukurlar ve ufak yarıkların izlendiği engebeli bir yapı oluştuğu gözlemlenmektedir (Şekil 3.15, 3.16, 3.17).



Şekil 3.15 SB, SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X

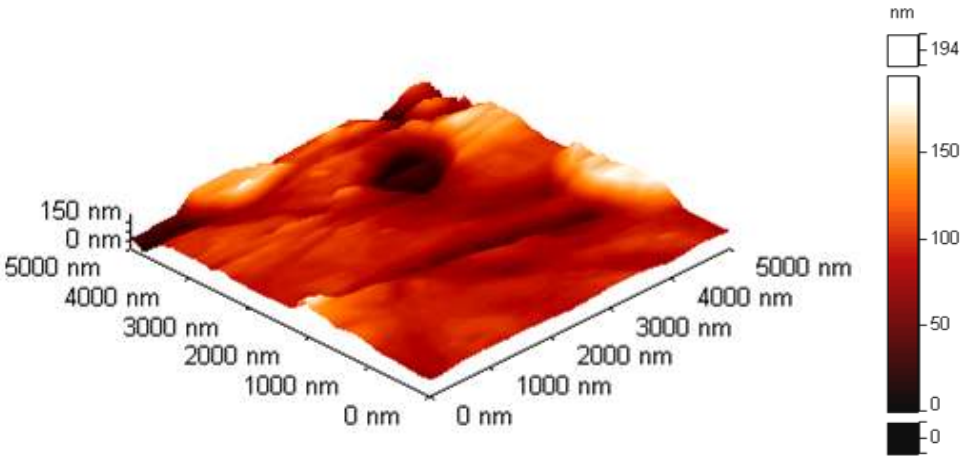


Şekil 3.16 SB, SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X



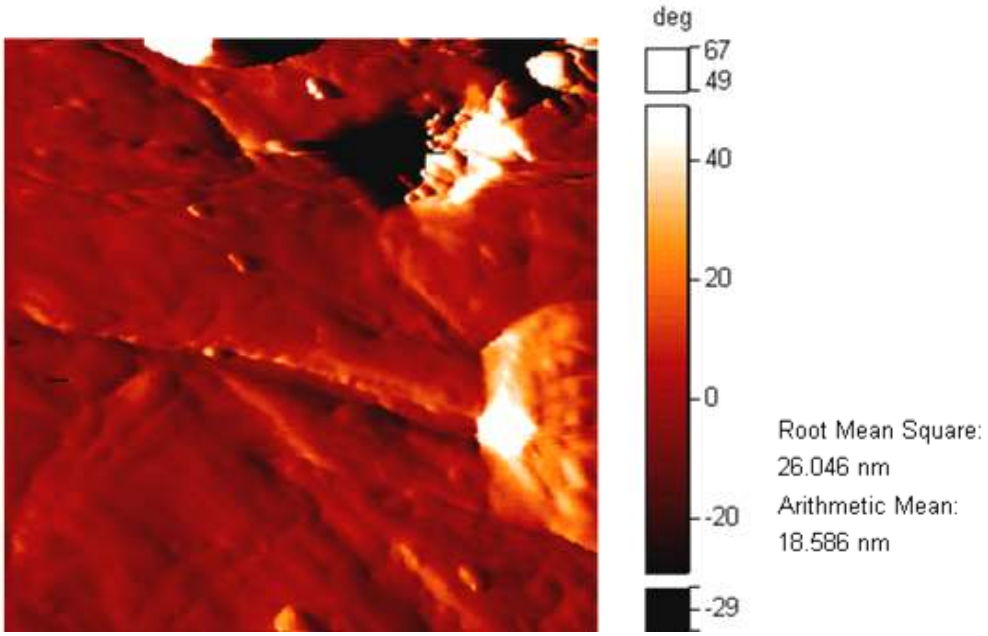
Şekil 3.17 SB, SEM görüntüsü, orjinal büyütme ,5000X

SB yüzeyin 3 boyutlu AFM görüntüsünde ise yüzeyde oluşan alçaltı ve yükseltiler 5000 nm'lik alanda seçilebilmektedir. Renk skalasına göre bölgedeki en alçak ve en yüksek bölgeler arasındaki yükseklik farkı 194 nm olarak izlenmektedir (Şekil 3.18).



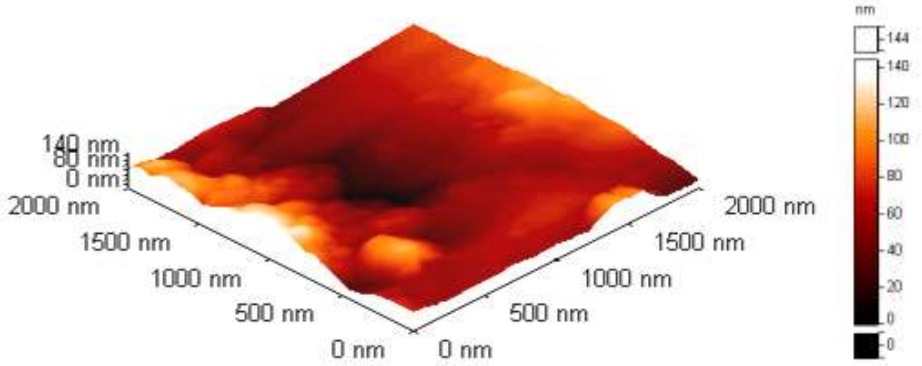
Şekil 3.18. SB yüzey, 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

SB yüzeyde aynı bölgeye ait faz görüntü ve o bölgedeki pürüzlülük değeri Şekil 3.19' da gösterilmektedir.



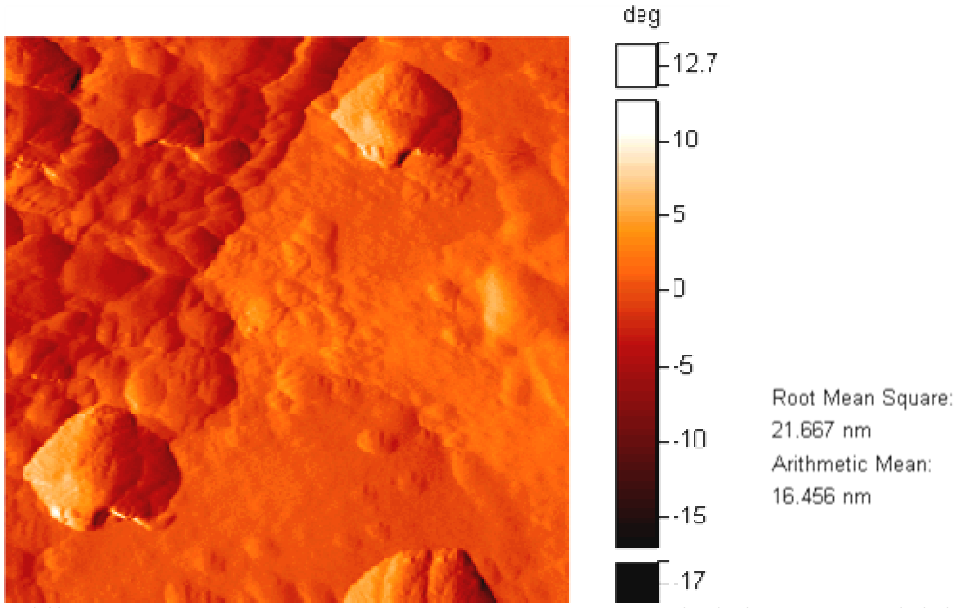
Şekil 3.19 SB yüzey, 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

SB yüzeyden elde edilen 2000 nm'lik AFM Z görüntüsünde ortalam 144 nm derinlikte bir yarık ve yine düzensiz yüzeyler izlenmektedir (Şekil 3.20).



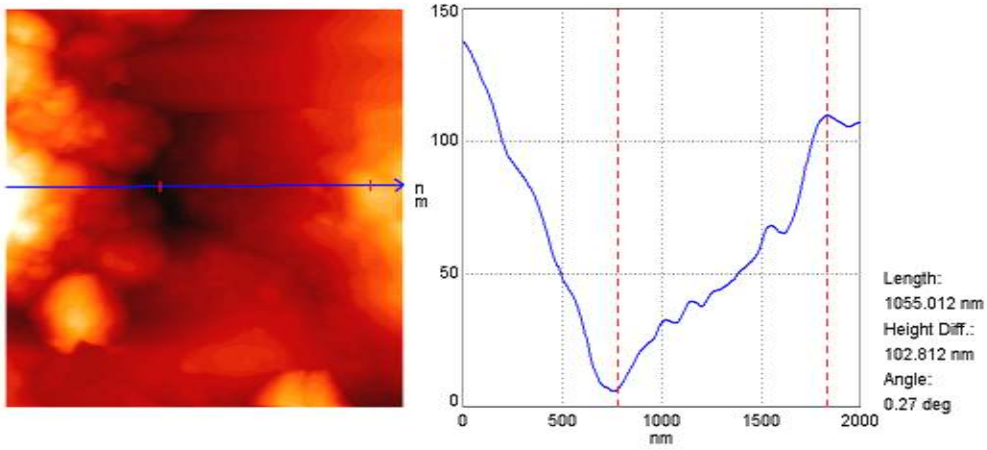
Şekil 3.20.SB yüzey, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Aynı ölçümün faz görüntüsünde ise Z görüntüsünde net izlenemeyen detaylar görülmektedir. Bu bölgeye ait pürüzlülük değeri de yanında belirtilmiştir (Şekil 3.21).



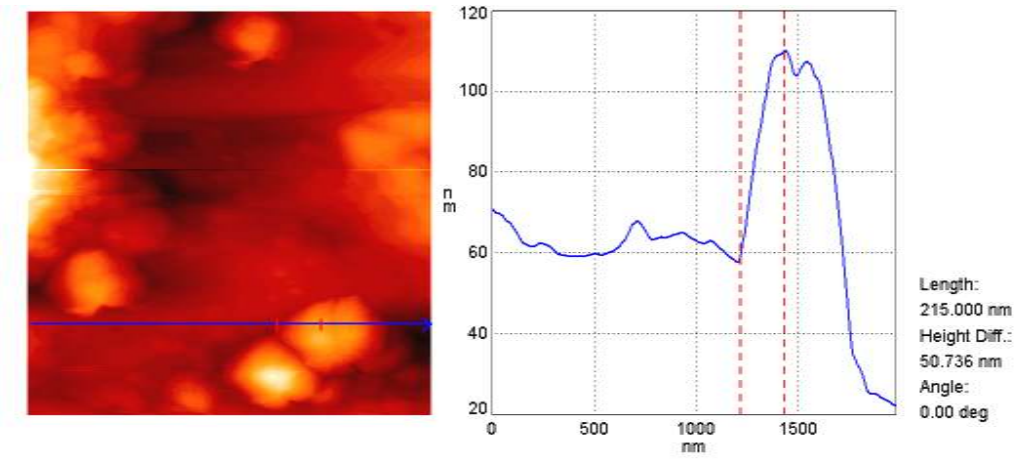
Şekil 3.21. SB yüzey, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Aşağıda bu alanda gözlenen yapılara ait çizgisel profil analizleri görülmektedir. Şekil 3.22' de merkezdeki çukur ile sağdaki yükseklik arası mesafe 1055 nm, yükseklik farkı ise 102 nm olarak ölçülmektedir.



Şekil 3.22. SB yüzey, 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

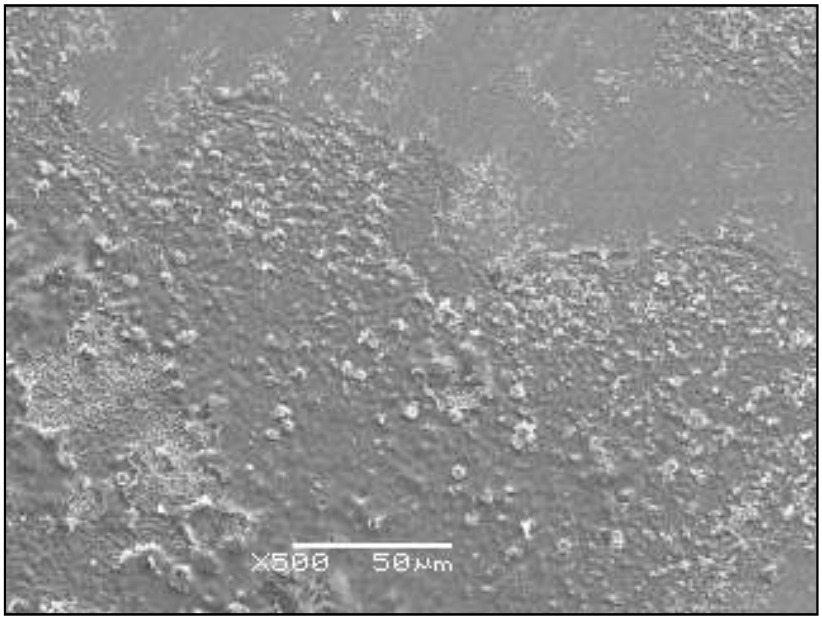
Şekil 3.23’ te ise sağ alt bölümde oluşan yapının yüksekliğinin 50 nm olduğu görülmektedir.



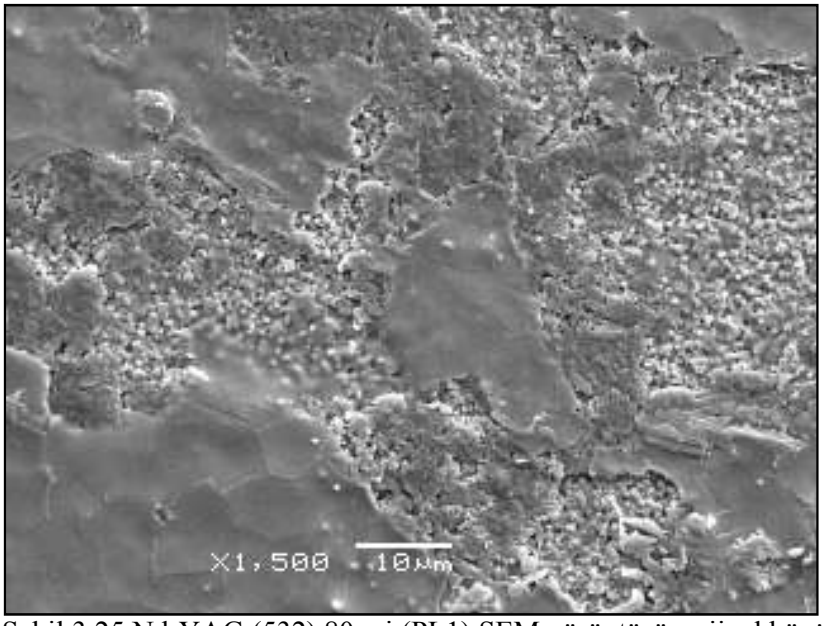
Şekil 3.23 SB yüzey, 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

3.4.3 Nd-YAG (532) 80 mj (PL1)Grubu

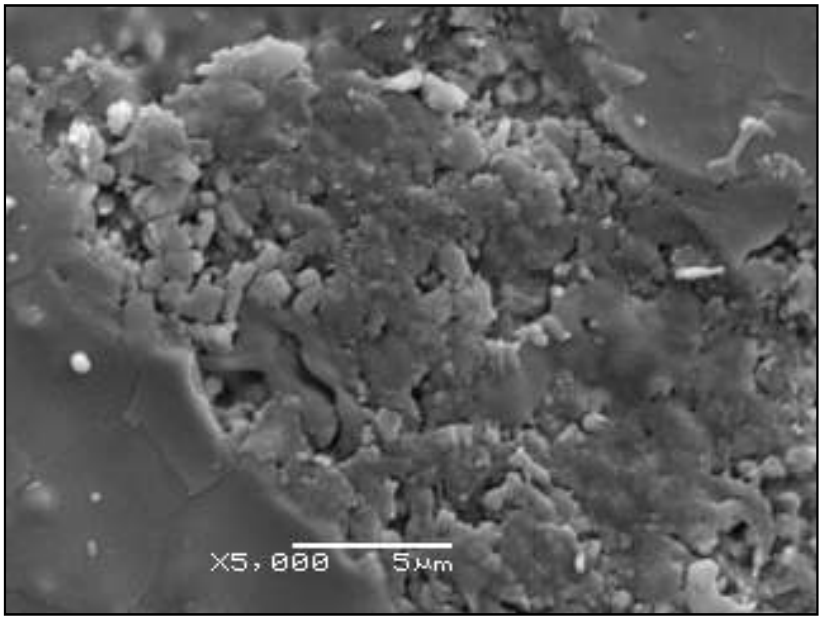
532 dalga boyunda, 80 mj Nd-YAG uygulanan yüzeyin SEM incelemelerinde homojen yayılım göstermeyen yoğun krater ve gözenek öbekleri ve damlacık çakıltaşı benzeri oluşumlar arasında eriyip tekrar kaynaşmış gibi gözüken, çatlak benzeri çizgiler ve delikler içeren, P grubundaki çizgilerin neredeyse tamamen kaybolduğu yapılar izlenmektedir (Şekil 24, 25, 26, 27).



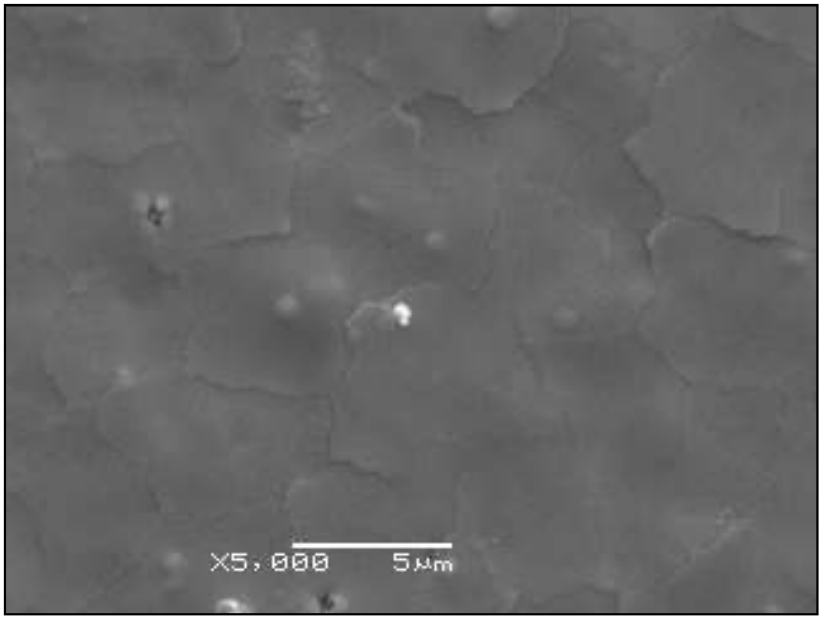
Şekil 3.24. Nd-YAG (532) 80 (PL1) mj, SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X



Şekil 3.25 Nd-YAG (532) 80 mj,(PL1) SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X

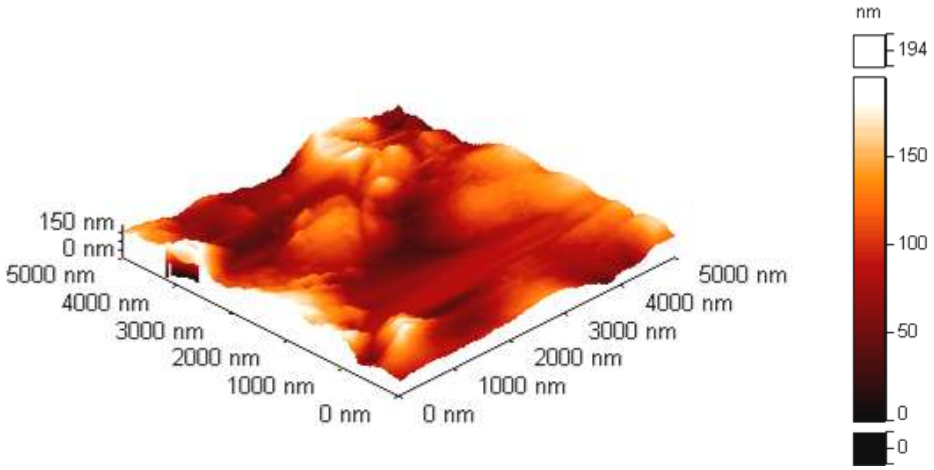


Şekil 3.26 Nd-YAG (532) 80 mj (PL1), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X



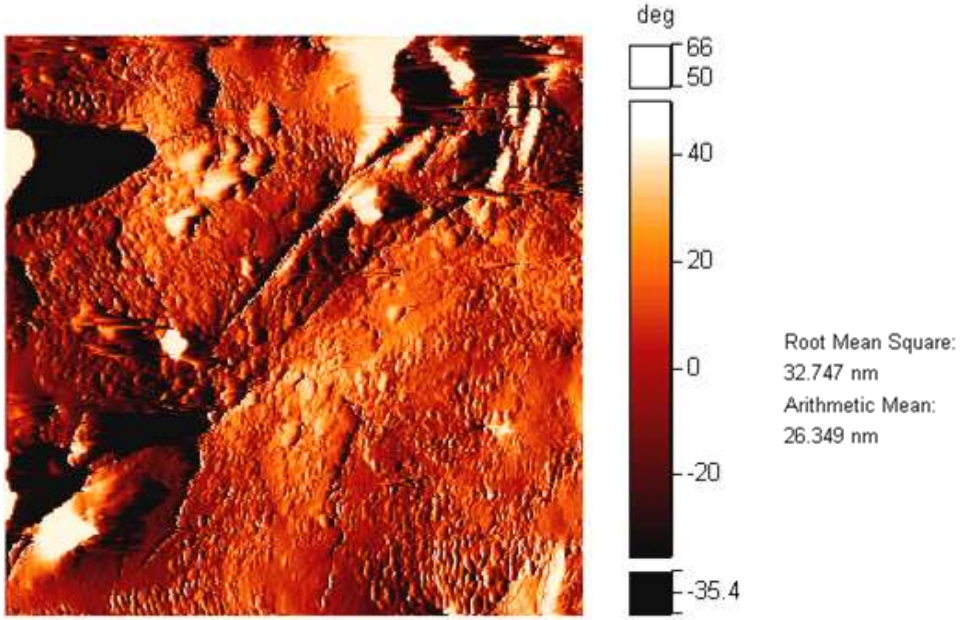
Şekil 3.27 Nd-YAG (532) 80 mj (PL1), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

Bu grubun AFM incelemelerinde yüzeyin homojen olmamasına bağlı olarak farklı bölgelerden farklı özellikteki yüzeylere ait ölçümler yapıldı. Şekil 3.28' de görülen Z görüntüsünde 5000 nm'lik alan içerisinde hem düzlük hem de düzensiz krater ve gözeneklere sahip yapının izlendiği görülmektedir.



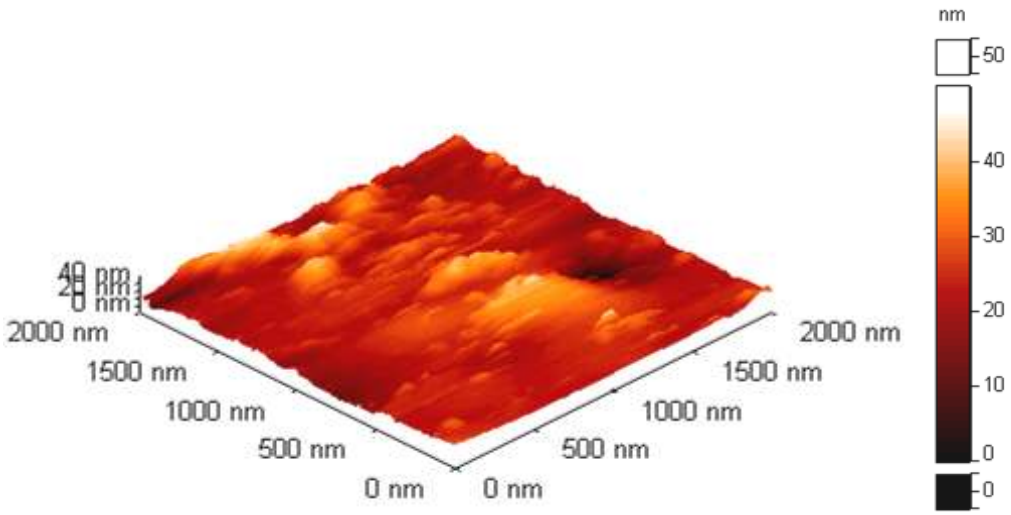
Şekil 3.28. Nd-YAG (532) 80 mj (PL1) yüzey, 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Aynı ölçümün faz görüntüsünde ise Z görüntüsünde düzlük şeklinde görünen yüzeyler detaylı olarak incelenebilmektedir. Ölçüm yapılan alanın pürüzlülük değeri görüntünün yanındadır (Şekil 3.29).



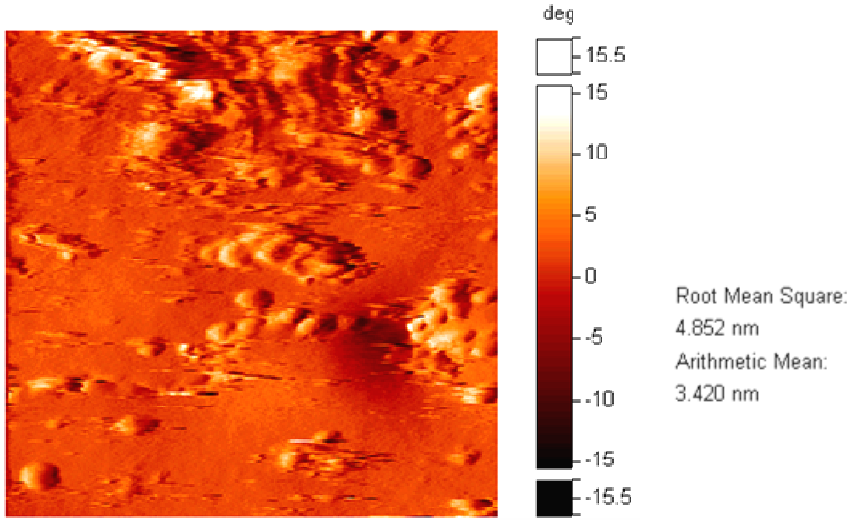
Şekil 3.29. Nd-YAG (532) 80 mj (PL1) yüzey, 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Ergime görüntüsündeki düzlük bölgesine denk geldiği düşünülen 2000 nm'lik ölçümde ise Z görüntüsünde en fazla 50 nm'lik yükseklik farklarıyla genelde düz seyreden bir yüzey izlenmektedir (Şekil 3.30).



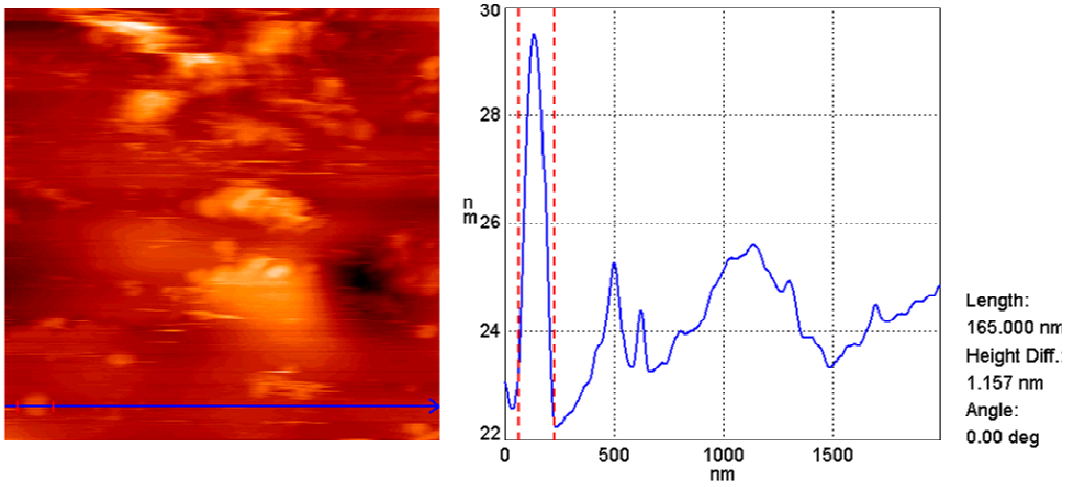
Şekil 3.30. Nd-YAG (532) 80 mj (PL1) yüzey, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Faz görüntüsünde ise topoğrafi daha net izlenmektedir. Hemen yanında ise bu bölgeye ait, oldukça düşük olduğu görülen pürüzlülük değeri bulunmaktadır (Şekil 3.31).



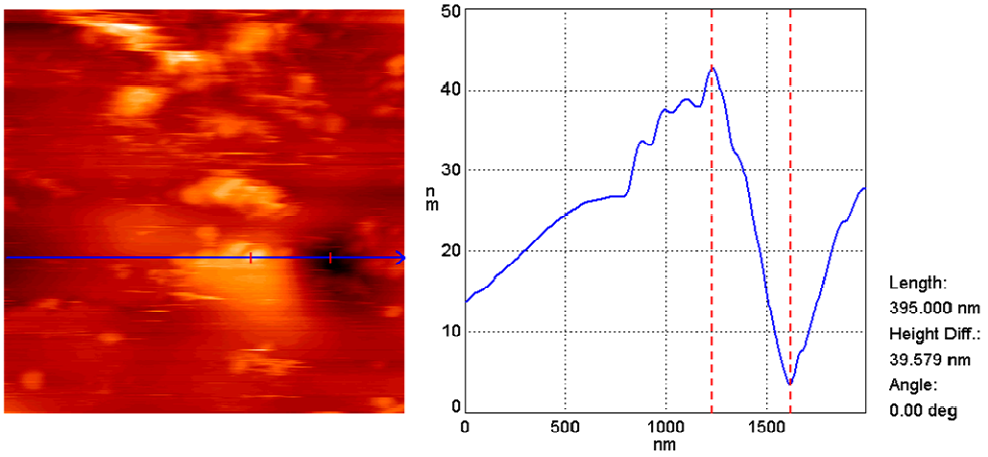
Şekil 3.31 Nd-YAG (532) 80 mj (PL1) yüzey, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Aşağıda bu alanda gözlenen yapılara ait çizgisel profil analizleri görülmektedir. Şekil 3.32'de sağ alt köşedeki yapının genişliği 165 nm ve yüksekliği yaklaşık 30 nm olarak ölçülmektedir.



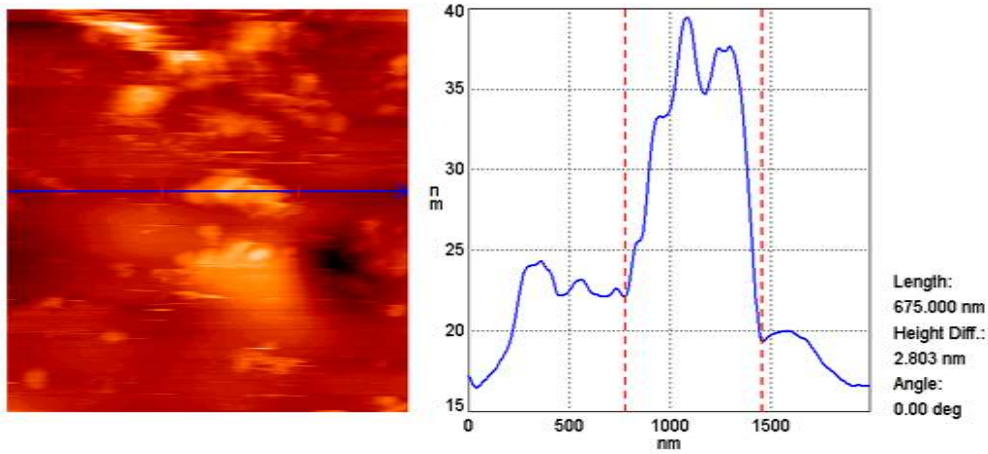
Şekil 3.32. Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (PL1), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

Şekil 3.33'de bu alanda gözlemlenen en yüksek ve en çukur bölgeler arası yükseklik farkının 39 nm olduğu görülmektedir.



Şekil 3.33. Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (PL1), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

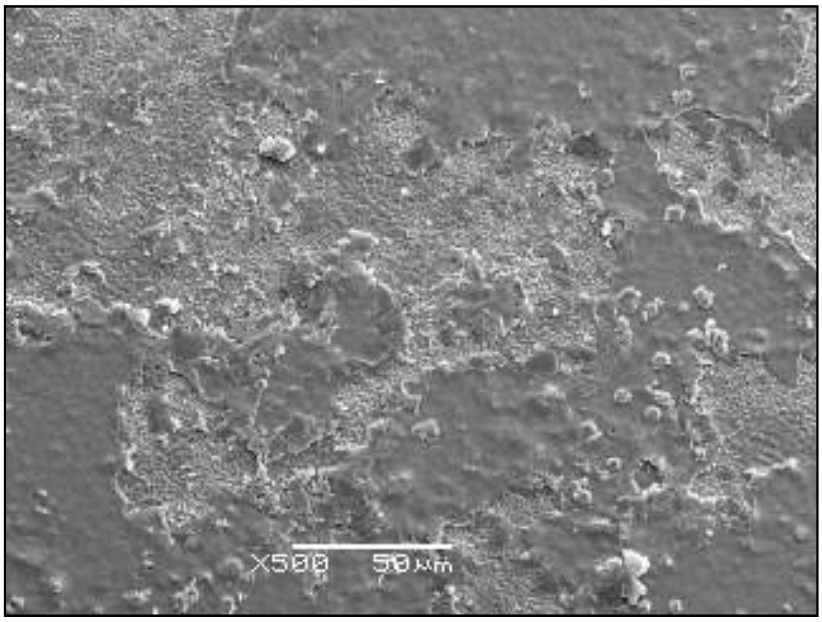
Şekil 3.34'de 2 boyutlu çizimde opak görüntü veren bir yapının 675 nm genişlikte olduğu görülmektedir.



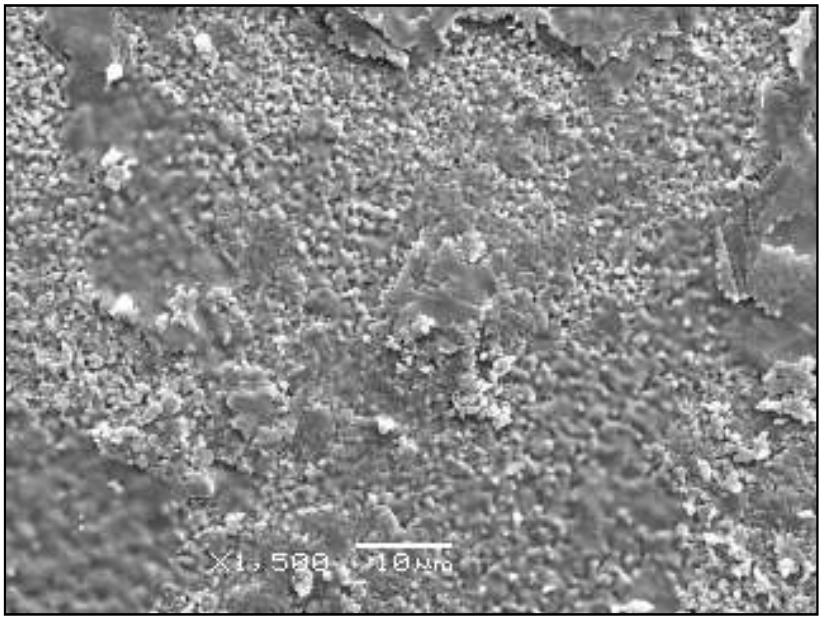
Şekil 3.34. Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (PL1), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

3.4.4 Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) Grubu

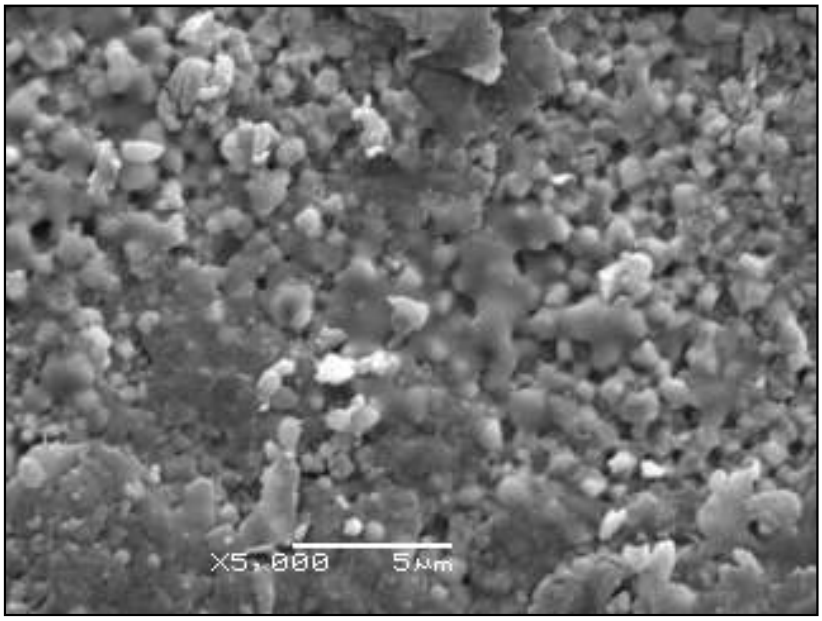
532 dalga boyu 120 mj enerjisiyle lazer uygulanan örnekte yapılan SEM incelemelerinde görüntünün 80 mj uygulanan gruba çok benzediği ancak öbeklerin biraz daha yoğun ve çok sayıda olduğu, krater ve deliklerin ve damlacık çakıltaşı benzeri oluşumların biraz daha belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 3.35, 36, 37).



Şekil 3.35. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X

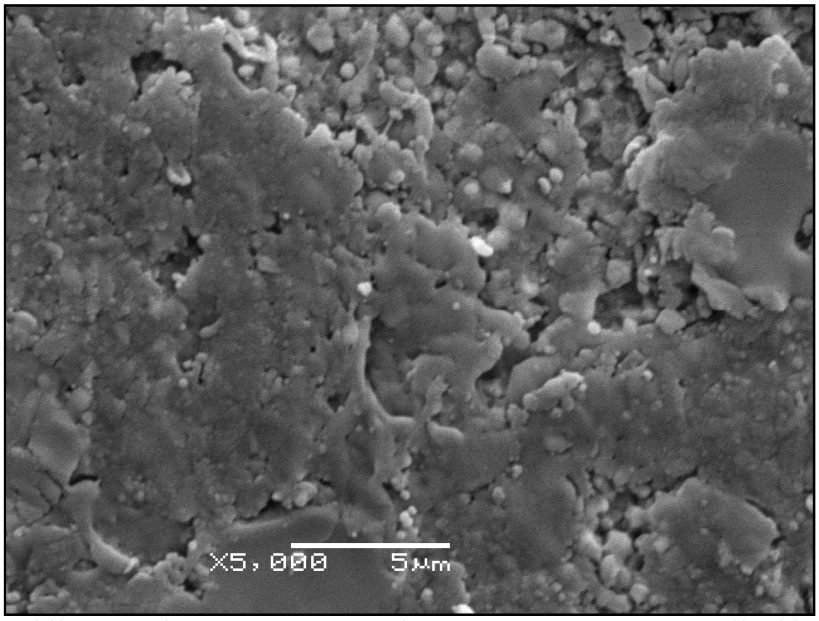


Şekil 3.36. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X



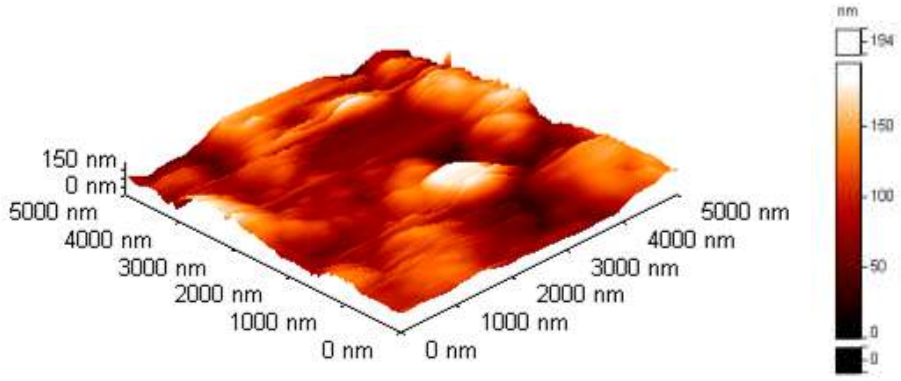
Şekil 3.37. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

Yüzeyde bazı bölgelerde tabakalanma şeklinde ifade edilebilecek yapıların oluştuğu gözlemlenmektedir (Şekil 3.38).



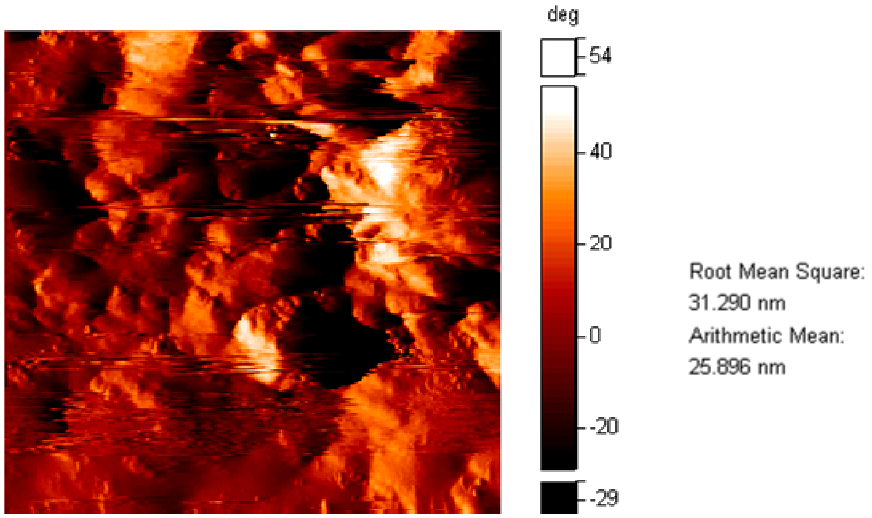
Şekil 3.38 Nd-YAG (532) 120 mj (PL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

Bu grubun AFM incelemelerinde ise SEM'de görülen yüzeyle uyumlu olarak yüzeyde artmış çukur ve tepe oluşumları izlenmektedir. Yüzeydeki yükseklik farkının da diğer örneklere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Şekil 3.39'da 5000 nm'lik alanda Z görüntüsü izlenmektedir.



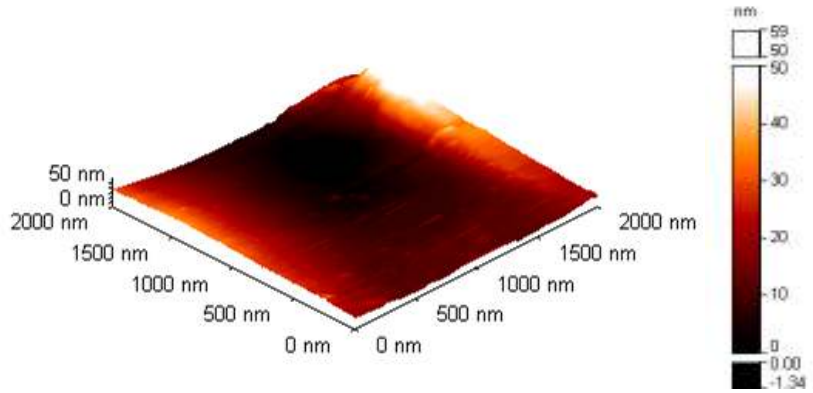
Şekil 3.39. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Aynı bölgenin faz görüntüsü, renk skalası ve bölgeye ait, P ve SB gruplarına göre artmış olduğu gözlenen pürüzlülük değeri Şekil 3.40' ta görülmektedir.



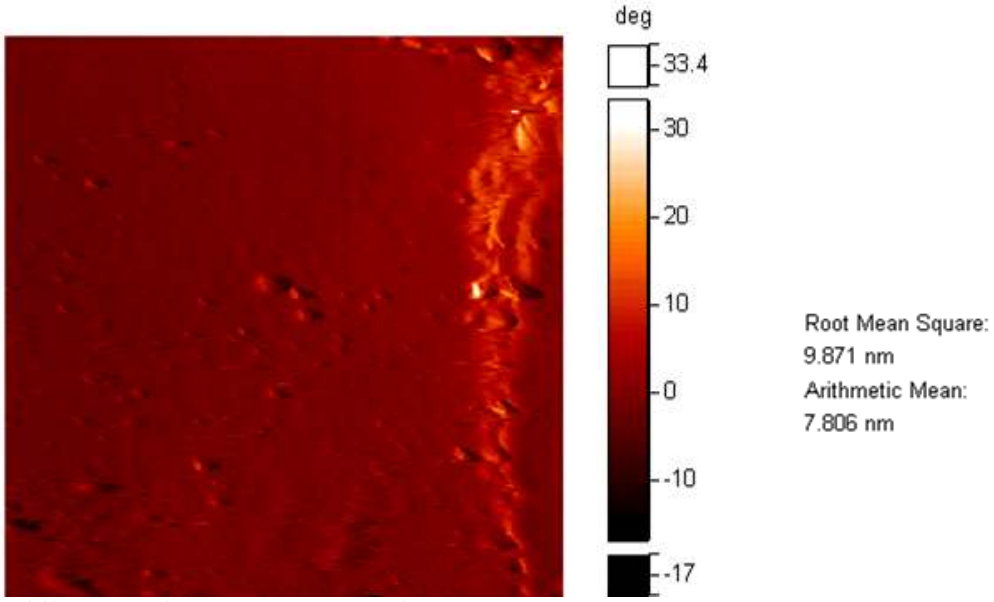
Şekil 3.40 Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Örnekte bir başka bölgede yapılan 2000 nm'lik ölçümde ortalama 1000 nm genişliğinde vadi şeklinde bir yapıya rastlanmıştır (Şekil 3.41).



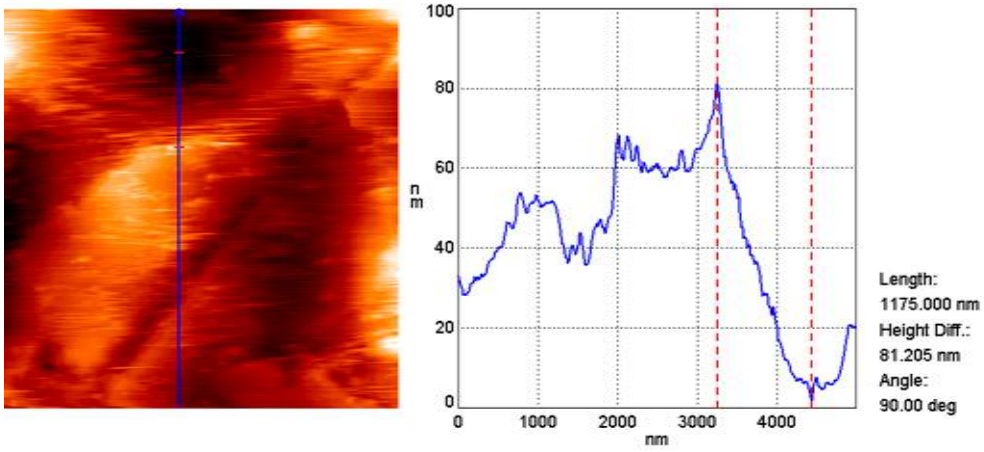
Şekil 3.41 Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

Aynı ölçümün faz görüntüsünde Z'de izlenemeyen çok küçük girinti çıkıntılar izlenmektedir. Bölgeye ait pürüzlülük değeri de hemen yanında görülmektedir (Şekil 3.42).

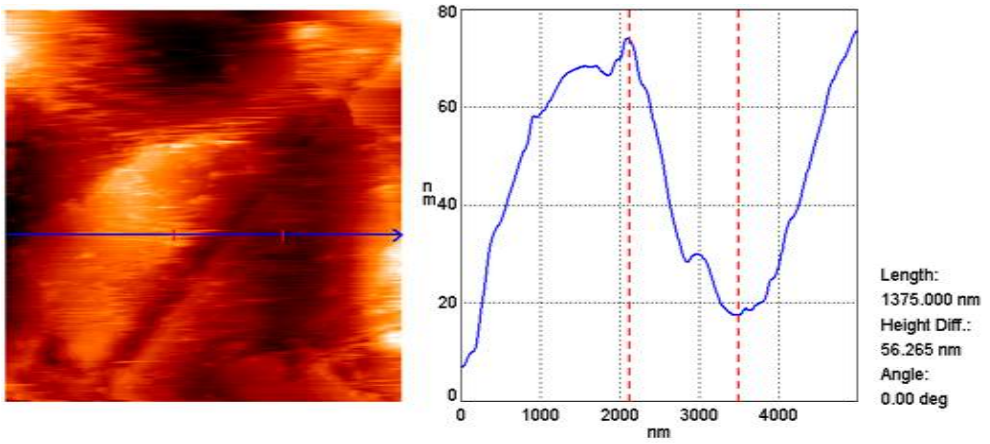


Şekil 3.42. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

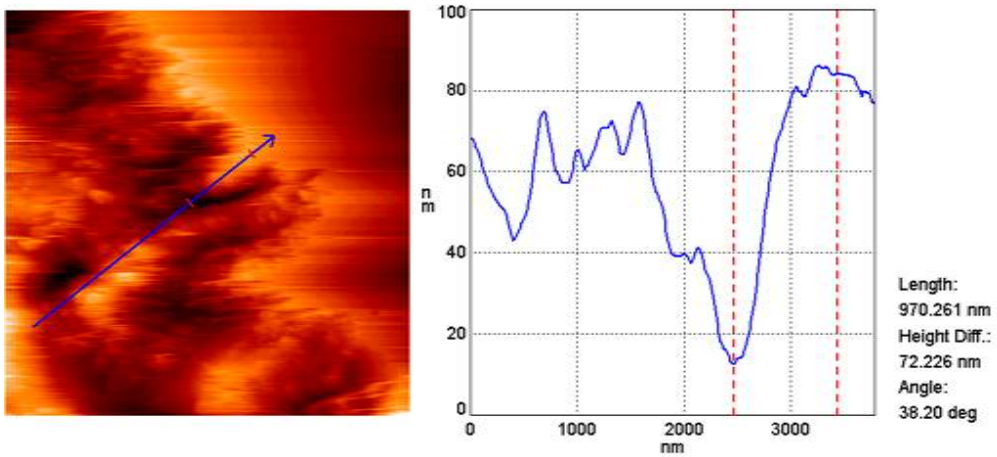
Aşağıda bu alanda yapılan 5000 nm'lik iki farklı ölçümde karşılaşılan yapılara ait çizgisel profil analizleri görülmektedir (Şekil 3.43, 3.44, 3.45).



Şekil 3.43. Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 5000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi



Şekil 3.44 Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 5000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

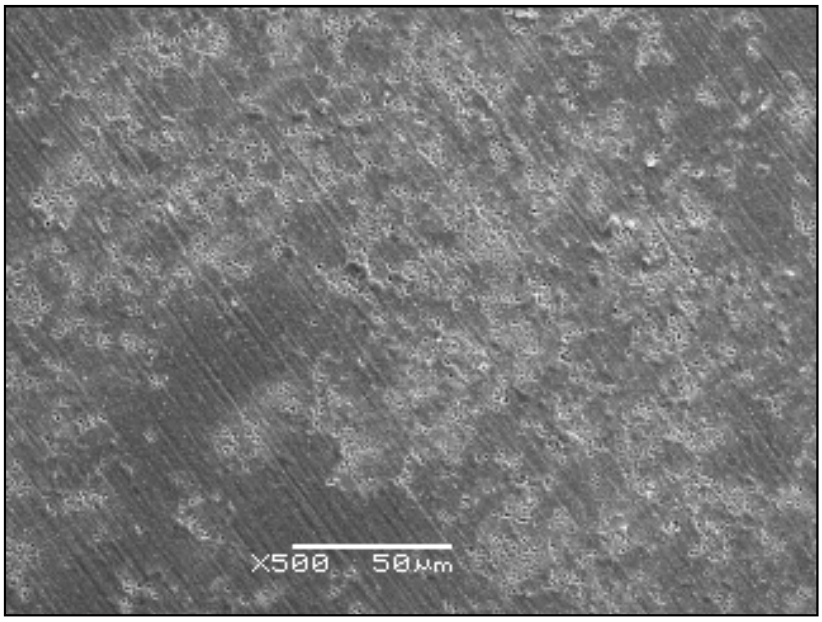


Şekil 3.45 Nd-YAG (532) 120 mj (PL2) yüzey, 5000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

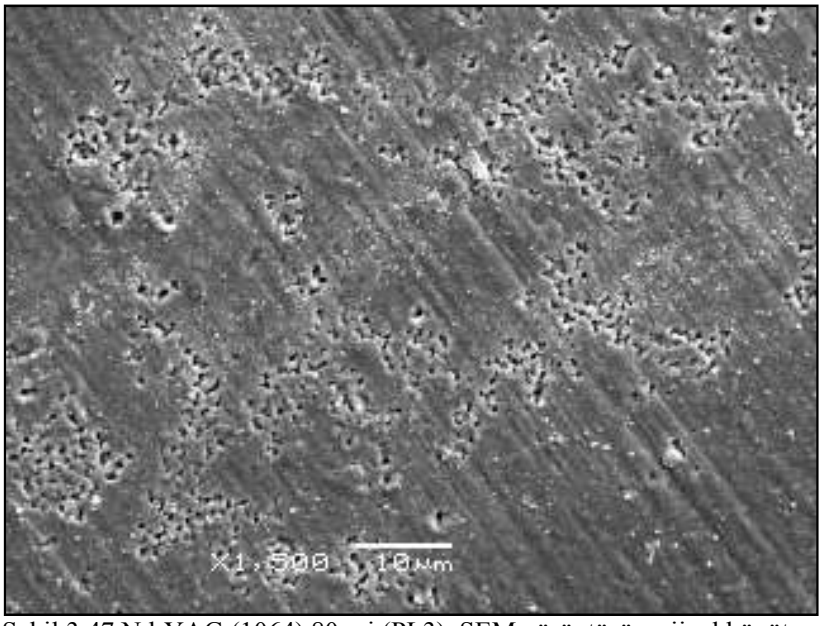
3.4.5 Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3) Grubu

1064 dalga boyunda, 80 mj Nd-YAG uygulanan yüzeyin SEM incelemelerinde 532 dalga boyunda gözlenen yapıdan oldukça farklı olarak, genişlikleri ortalama 400-900 nm arasında değişen gözeneklerden oluşan ve homojen yayılım göstermeyen öbekler

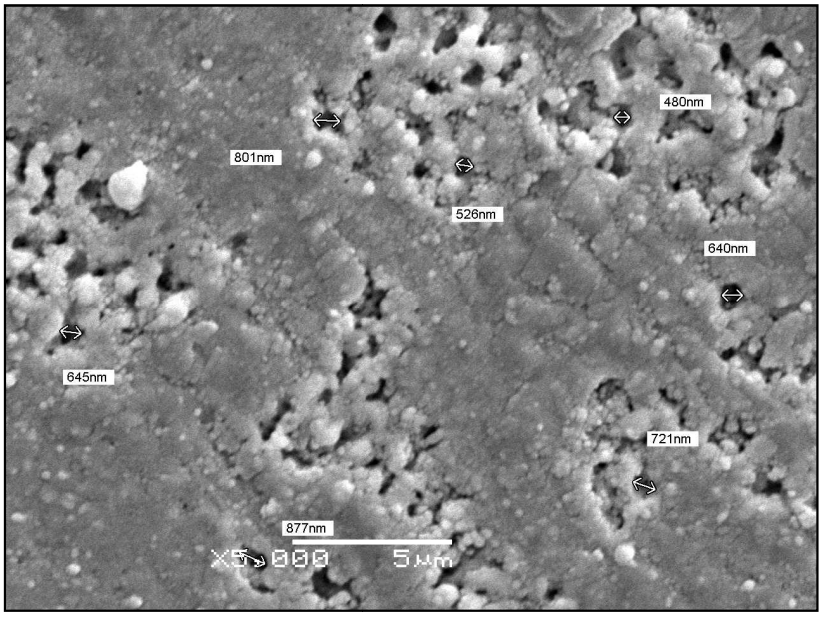
izlenmektedir. P grubundaki çizgilerin yoğun olarak korunduğu görülmektedir (Şekil 3. 46, 3.47, 3.48)



Şekil 3.46. Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X

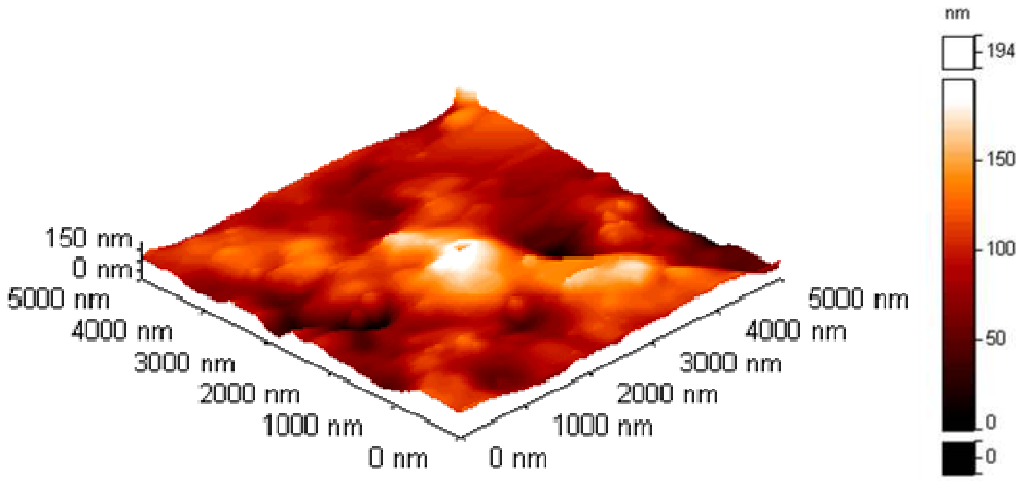


Şekil 3.47 Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X

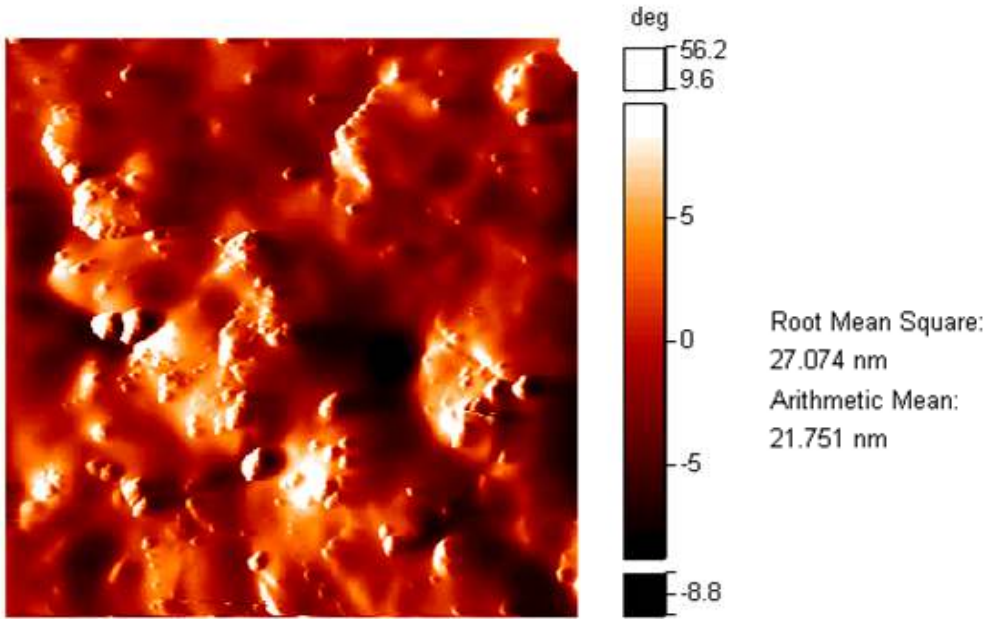


Şekil 3.48 Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

Bu örneğin AFM incelemelerinde SEM'de görülen delikli yapı izlenmektedir. Şekil 3.49 ve Şekil 3.50'de 5000 nm'lik alandaki ölçümün Z ve faz görüntüleri ve pürüzlülük değeri görülmektedir.

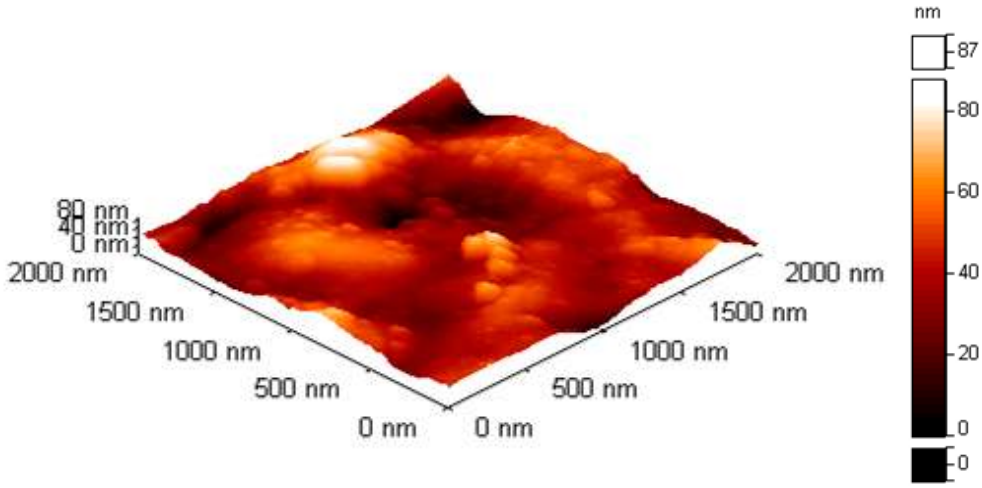


Şekil 3.49 Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3) yüzey, 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

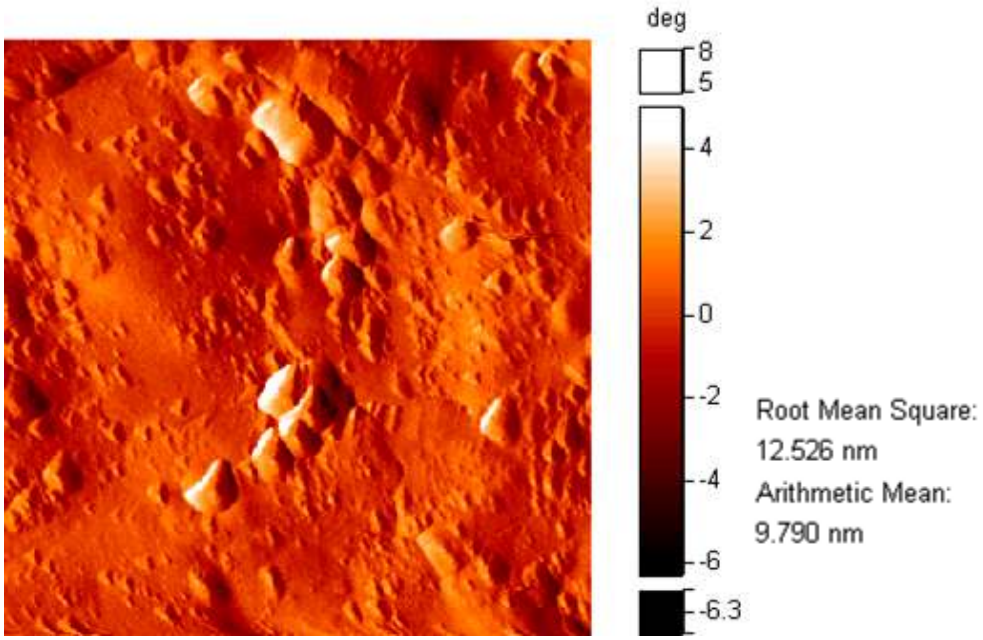


Şekil 3.50 Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3) yüzey, 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.51 ve 3.52' de ise 2000 nm'lik alanda yine çukurların izlendiği yapının Z ve faz görüntülerini ve pürüzlülük değerini görmekteyiz.

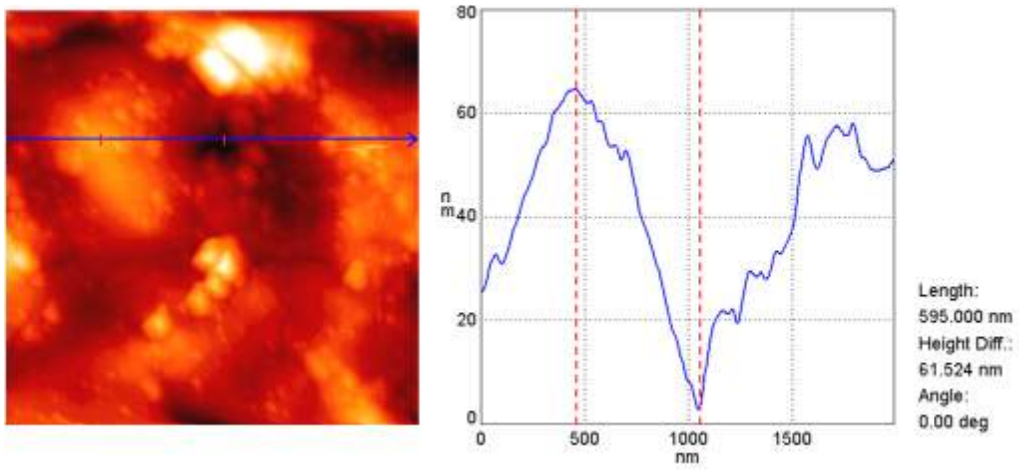


Şekil 3.51. Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3) yüzey, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası



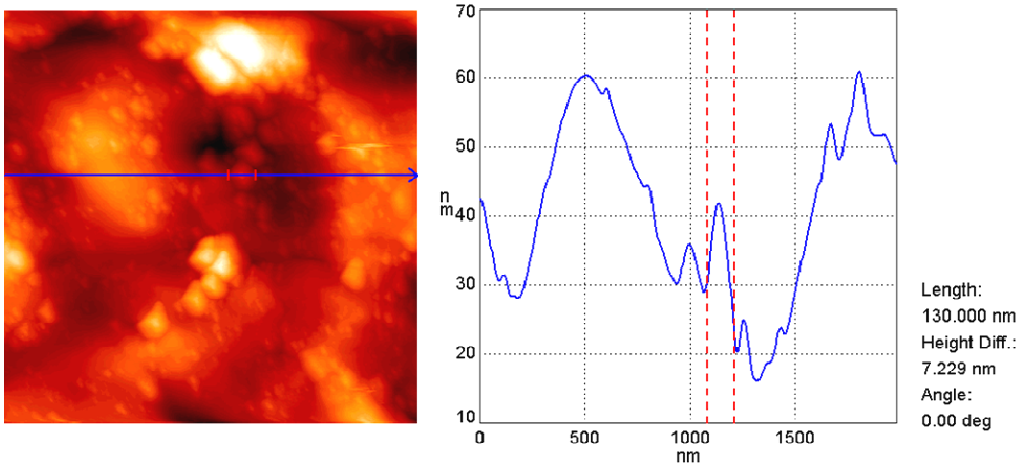
Şekil 3.52.Nd-YAG (1064) 80 mj (PL3) yüzey, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Aşağıda bu alanda gözlenen yapılara ait çizgisel profil analizleri görülmektedir. Şekil 3.53'teki çizgi üzerinde kırmızı işaretlenen noktalar arası yatay mesafe 595 nm iken yükseklik farkı 61 nm ölçülmektedir.



Şekil 3.53. Nd-YAG (1064) 80 mj yüzey (PL3), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

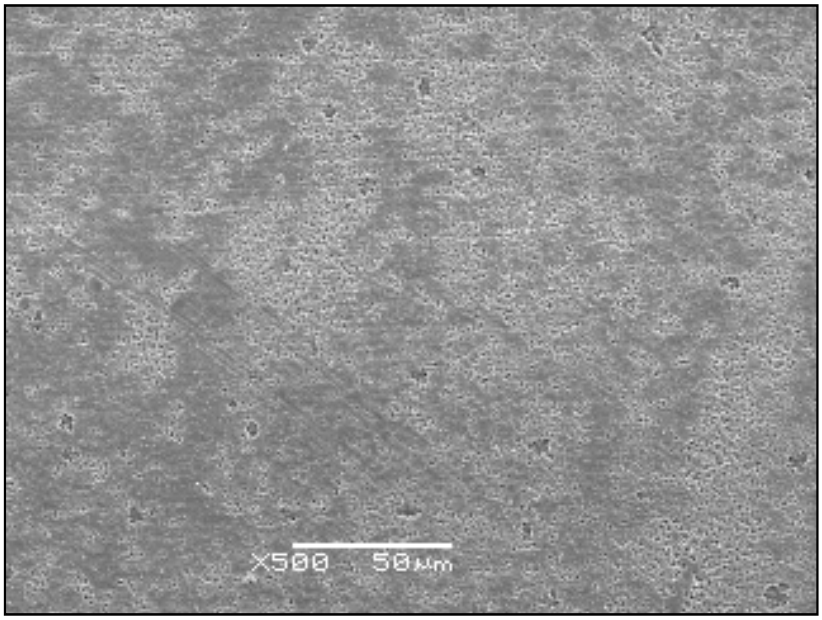
Şekil 3 54’ te ise kırmızı noktalarla gösterilen oluşumun genişliğinin 130 nm, olduğu görülmektedir.



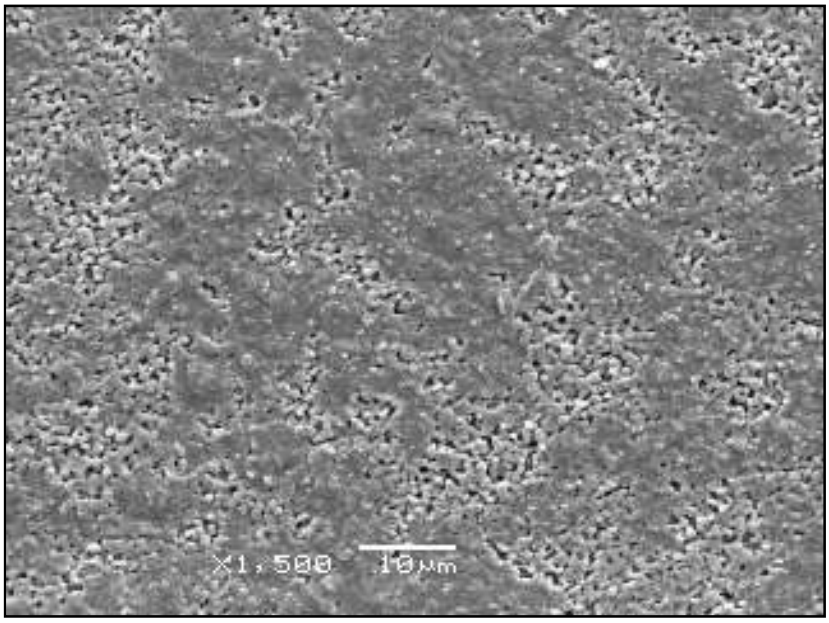
Şekil 3.54 Nd-YAG (1064) 80 mj yüzey (PL3), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

3.4.6 Nd-YAG (1064) 120 mj (PL4) Grubu

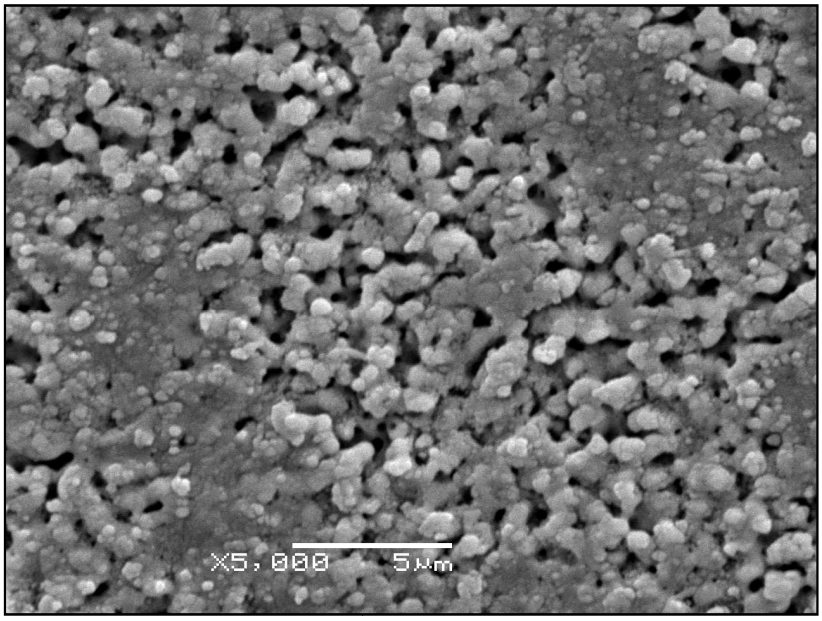
SEM incelemelerinde 1064 nm dalgaboyu 80 mj uygulanan gruptan belirgin olarak tek farklılığının gözenekli yapının biraz daha yoğun ve daha homojen seyredilmesi olduğu görülmektedir (Şekil 3.55, 3.56, 3.57).



Şekil 3.55 Nd-YAG (1064) 120 mj (PL4), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X

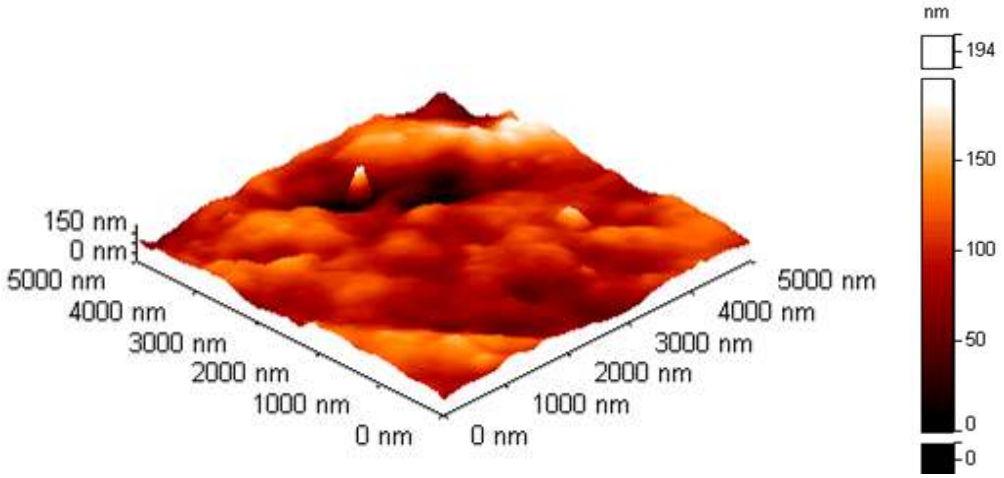


Şekil 3.56 Nd-YAG (1064) 120 mj (PL4), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X

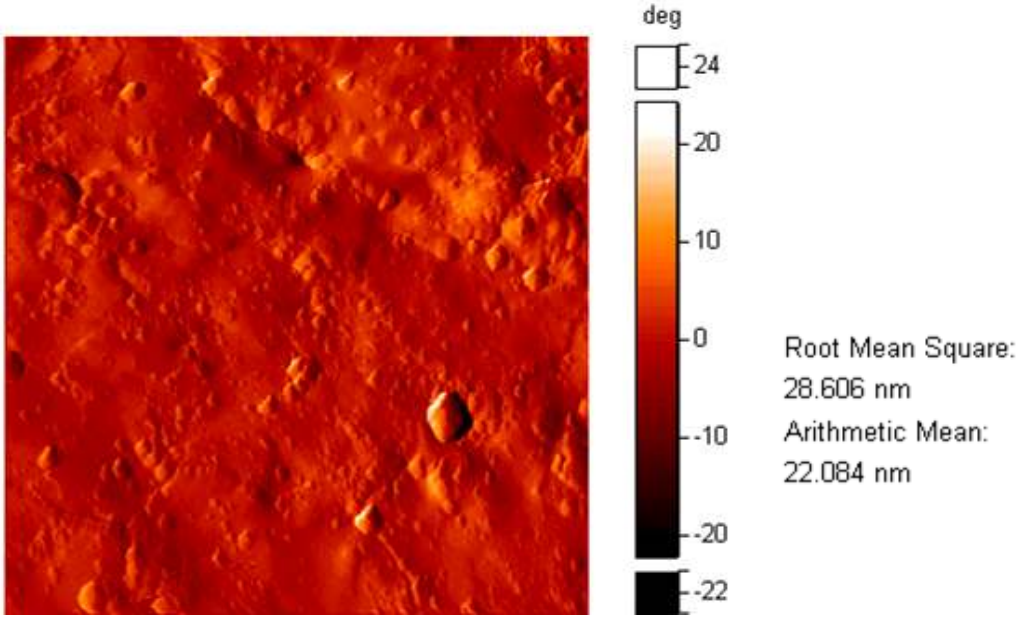


Şekil 3.57 Nd-YAG (1064) 120 mj (PL4), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

AFM incelemelerinde ise SEM'de görülen delikli yapı izlenmektedir. Şekil 3.58 ve Şekil 3.59' da 5000 nm'lik alandaki ölçümün Z ve faz görüntüleri ile pürüzlülük değeri görülmektedir.

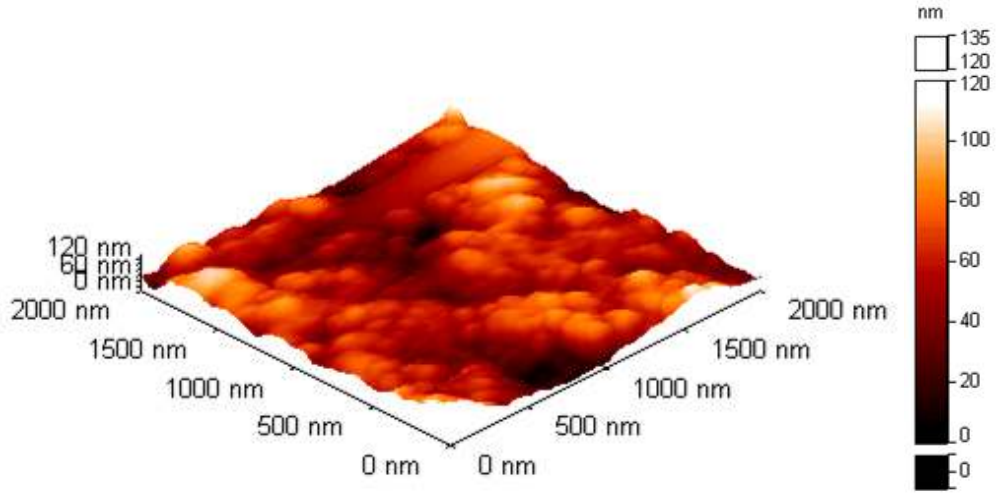


Şekil 3.58 Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (PL4), 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

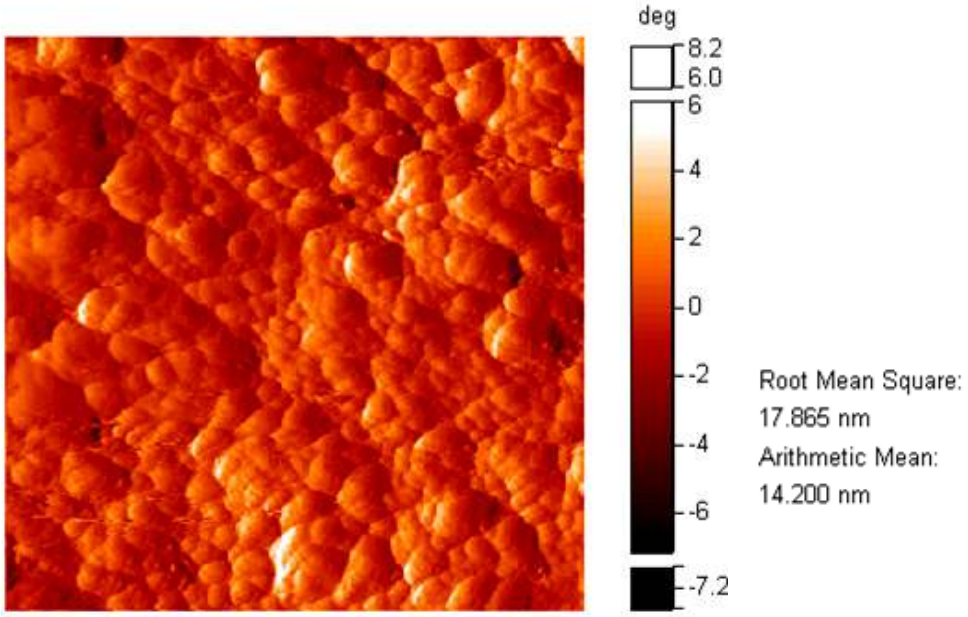


Şekil 3.59 Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (PL4), 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.60 ve 3.61'de ise 2000 nm'lik alanda yine çukurların izlendiği yapının Z ve faz görüntüleri ve bu alana ait pürüzlülük değeri görülmektedir.

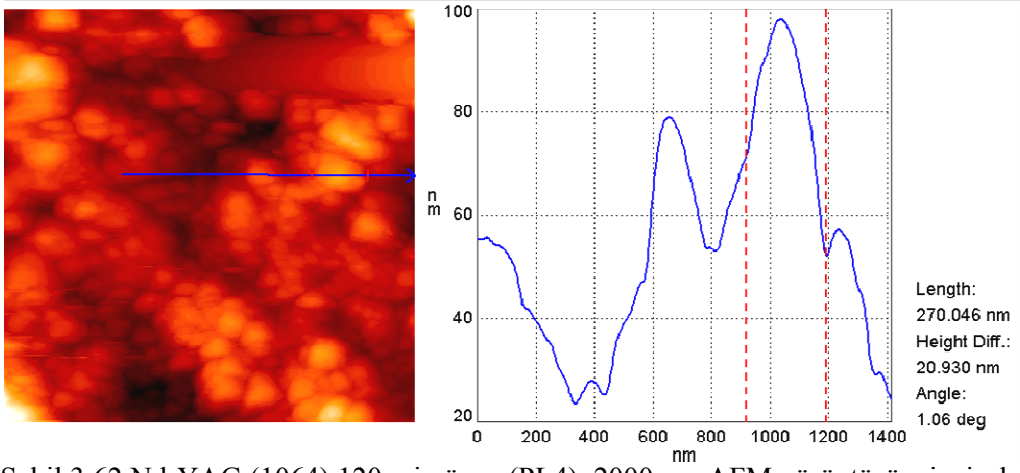


Şekil 3.60 Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (PL4), 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası



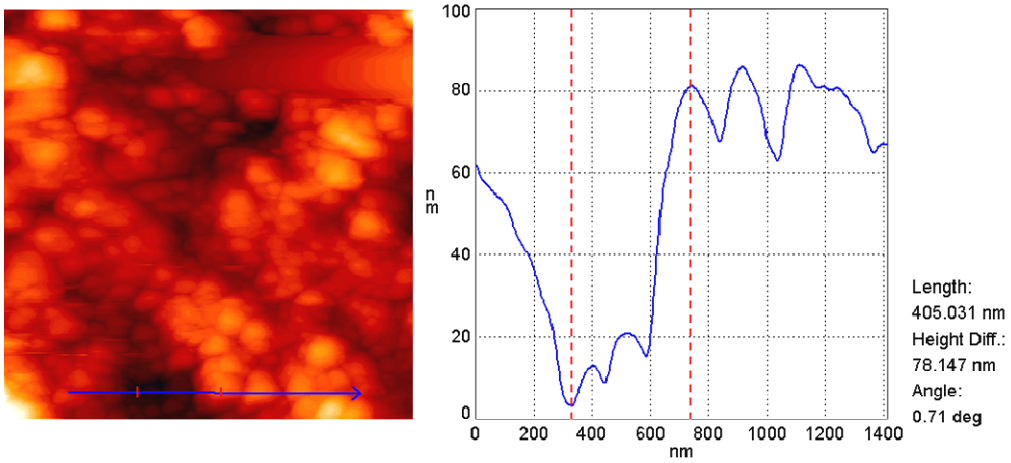
Şekil 3.61 Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (PL4), 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Aşağıda bu alanda gözlenen yapılara ait çizgisel profil analizleri görülmektedir. Şekil 3.62' de kırmızı noktalarla gösterilen yapının genişliği 270 nm ve noktalar arası yükseklik farkı 20 nm olarak ölçülmektedir.



Şekil 3.62 Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (PL4), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

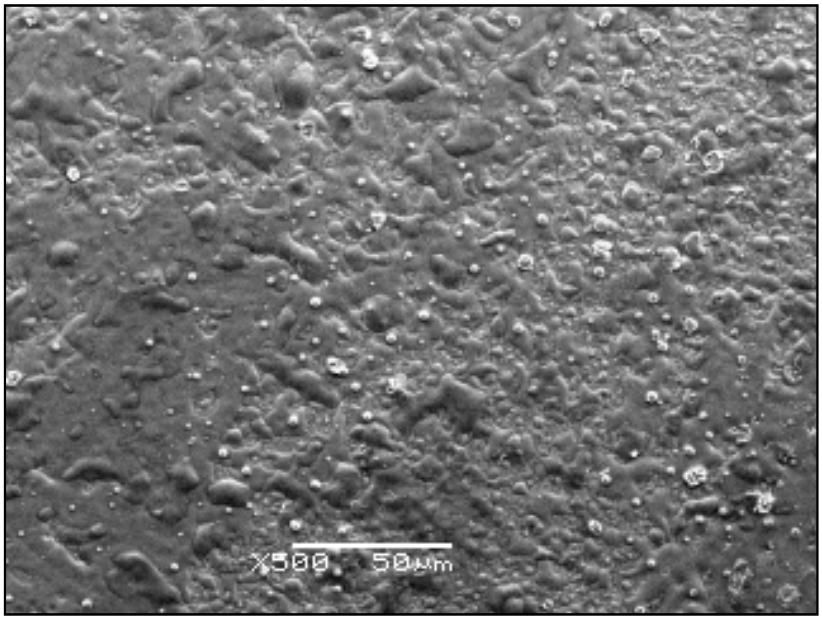
Şekil 3 63’ te ise görüntüde izlenen en çukur ve yüksek noktalar arası yükseklik farkının 78 nm olduğu görülmektedir.



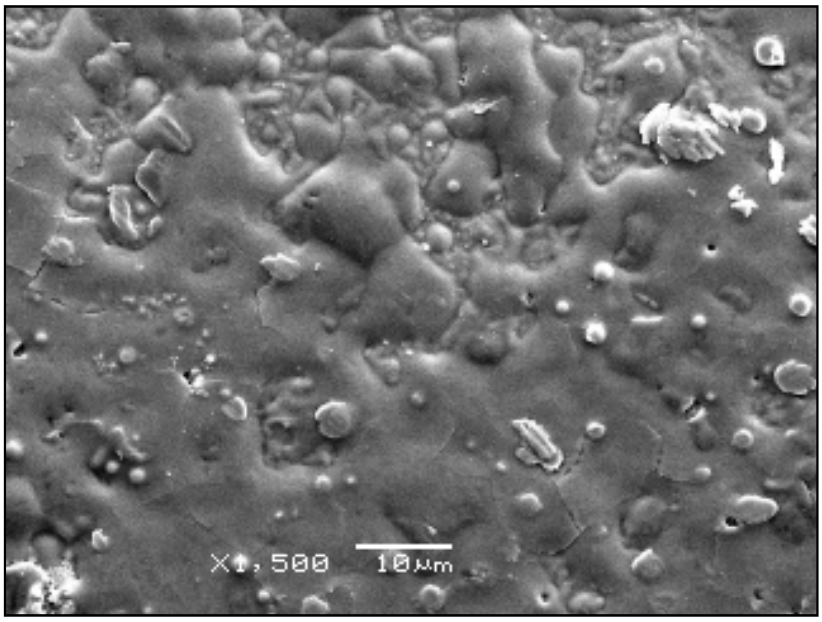
Şekil 3.63 Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (PL4), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

3.4.7 SB+Nd-YAG (532) 80 mj (SBL1) Grubu

Kumlama uygulamasını takiben 532 dalga boyunda 80 mj lazer uygulanan bu grupta SEM incelemelerinde kumlanmamış aynı güçteki lazer grubuna göre daha büyük damlacık görüntüleri ve damlacıkların birleşmesinden oluşmuş gibi görünen su birikintileri şeklinde amorf, düzgün yüzeyli yapılar izlenmektedir (Şekil 3.64, 3.65).

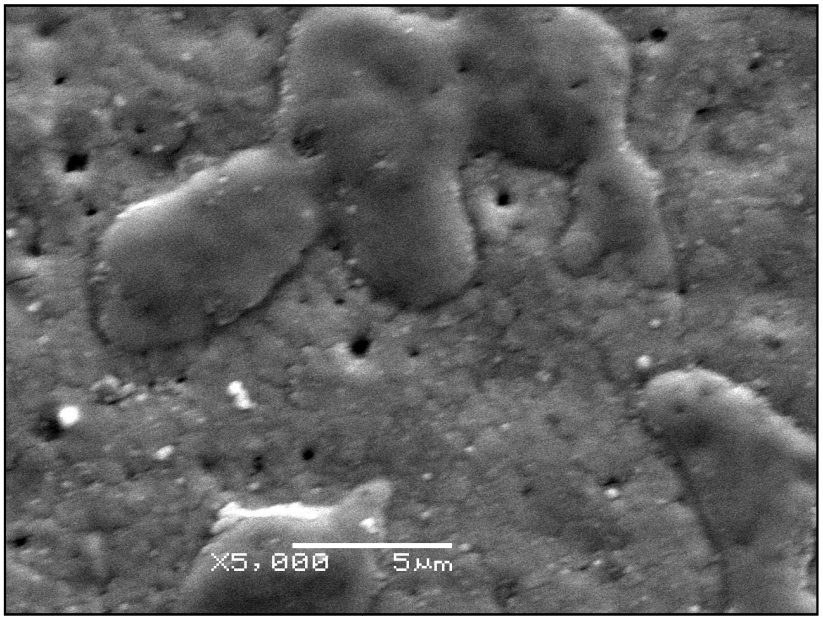


Şekil 3.64 SB+ Nd-YAG (532) 80 mj (SBL1), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X



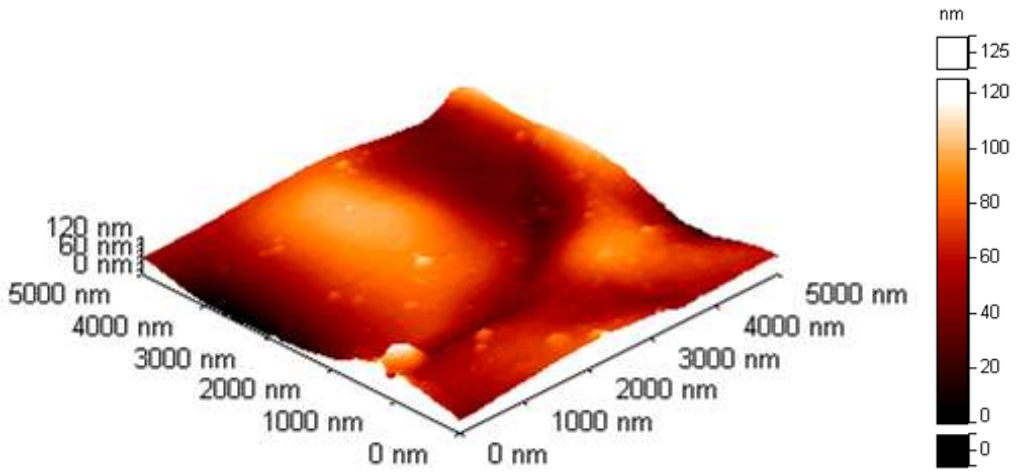
Şekil 3.65 SB+ Nd-YAG (532) 80 mj (SBL1), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X

Su birikintisi şeklinde yapılardan başka yer yer delikler gözlenmektedir (Şekil 3.66).

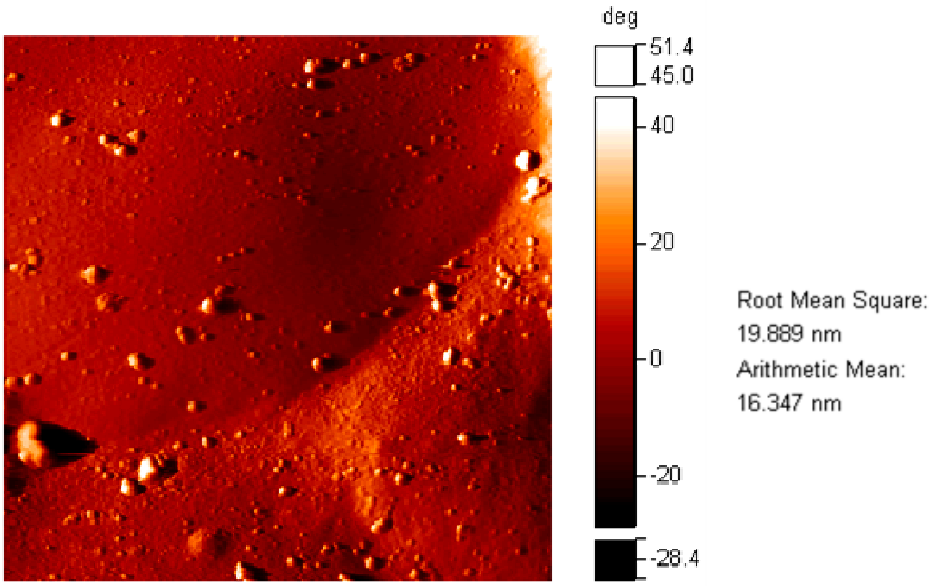


Şekil 3.66. SB+ Nd-YAG (532) 80 mj (SBL1), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

Bu örneğin AFM incelemelerinde SEM'de görüldüğü gibi daha düzgün yüzeyli, daha yumuşak geçişlerin olduğu yükseltiler ve alçaltılar izlenmektedir. Şekil 3.67 ve Şekil 3.68'de 5000 nm'lik alandaki ölçümün Z ve faz görüntüleri ve pürüzlülük değeri görülmektedir.

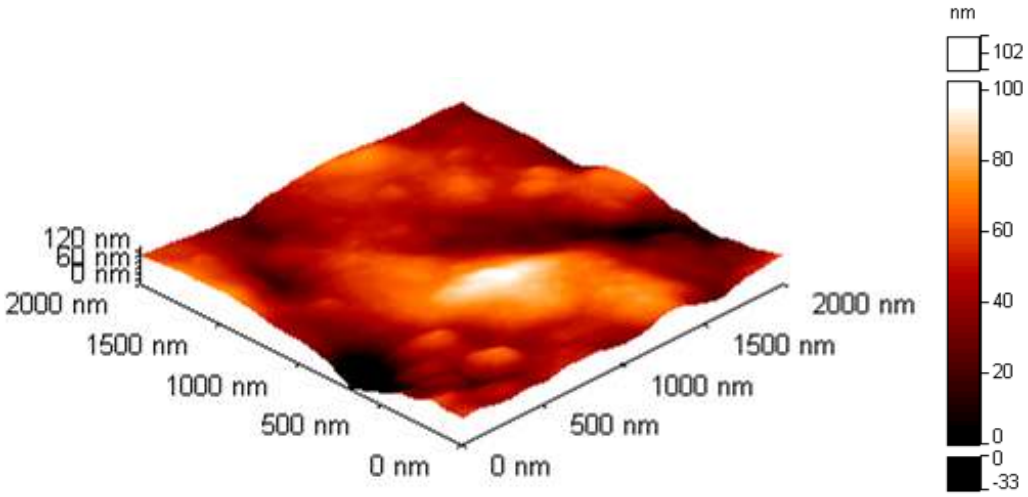


Şekil 3.67 SB+Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (SBL1), 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

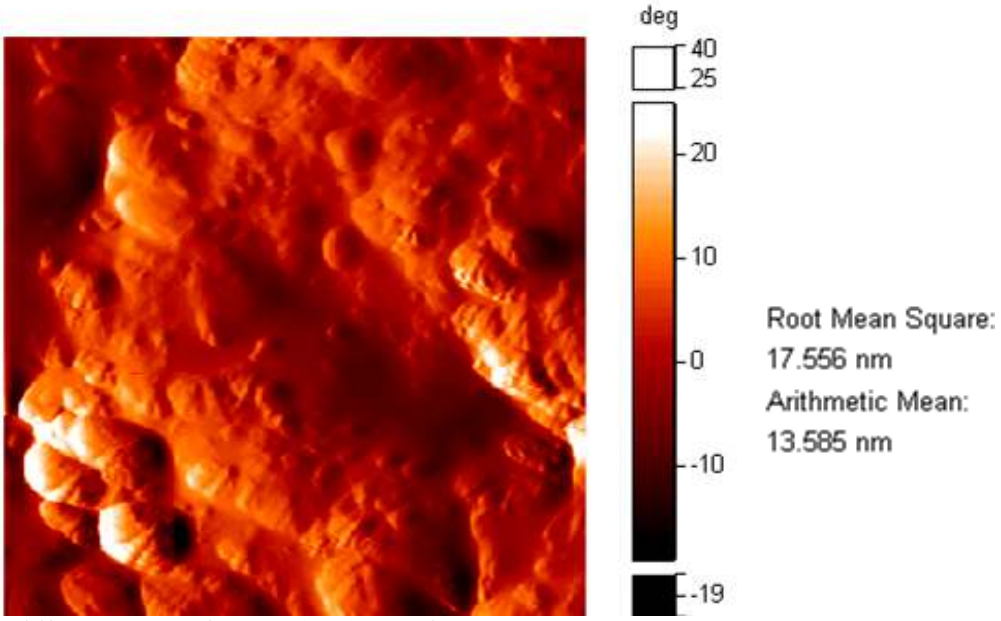


Şekil 3.68 SB+Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (SBL1), 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.69 ve 3.70' te ise girintili çıkıntılı yapısına rağmen yüzeyel olarak düzgün olduğu görülen örneğin 2000 nm'lik alandaki Z ve faz görüntülerini ve pürüzlülük değerini görmekteyiz.

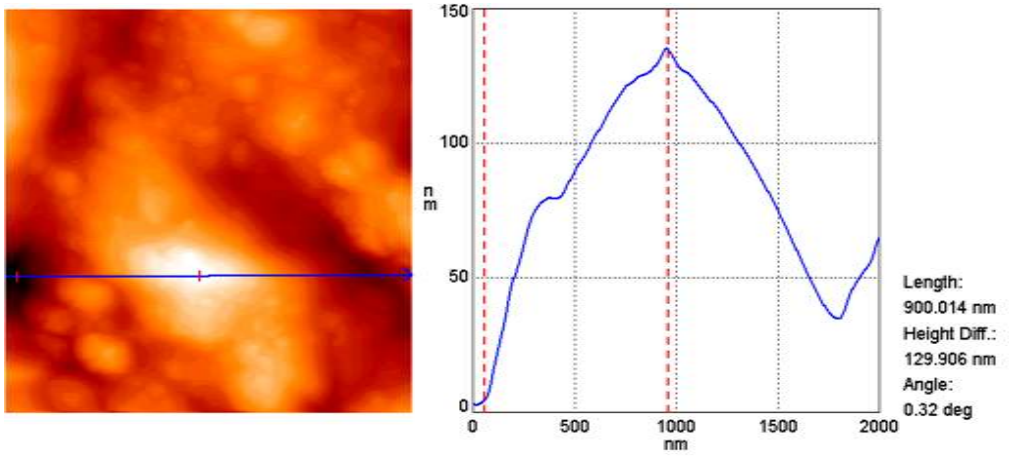


Şekil 3.69 SB+Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (SBL1), 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

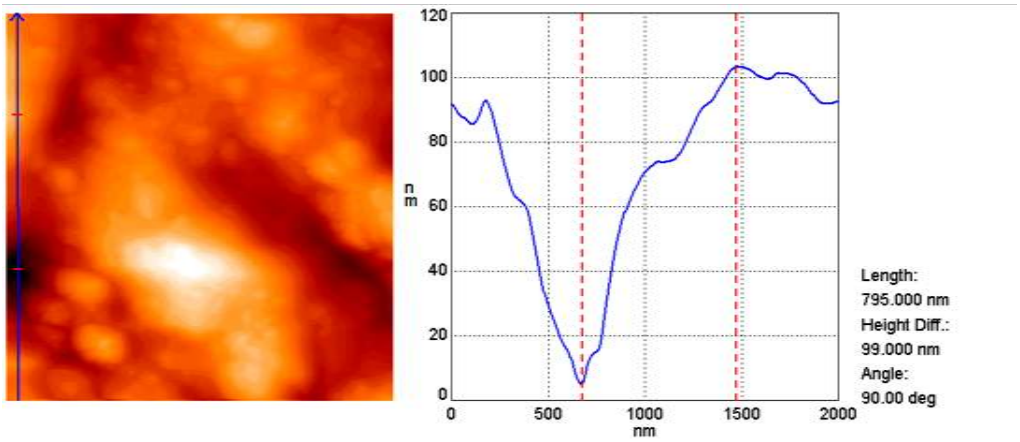


Şekil 3.70 SB+Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (SBL1), 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Aşağıda Şekil 3.70'de incelenen ölçüme ait çizgisel profil analizleri görülmektedir. Örnekte gözlenen çukur yapının derinliği Şekil 3.71 ve Şekil 3.72'de izlenmektedir.



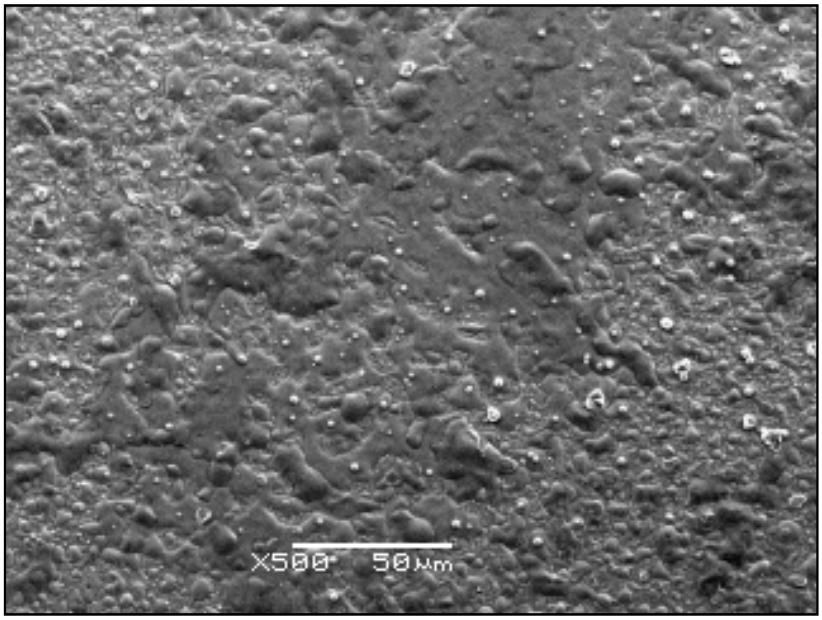
Şekil 3.71 SB+Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (SBL1), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi



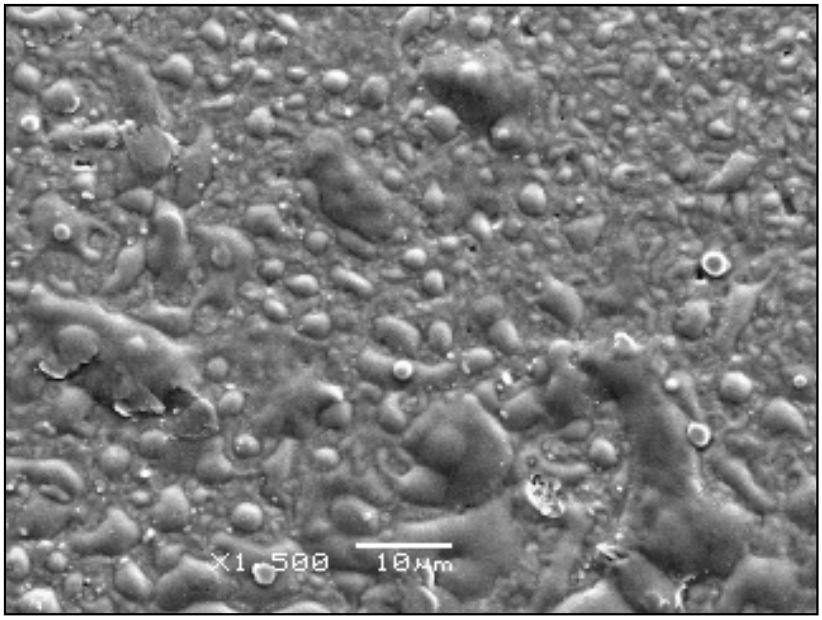
Şekil 3.72 SB+Nd-YAG (532) 80 mj yüzey (SBL1), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

3.4.8 SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) Grubu

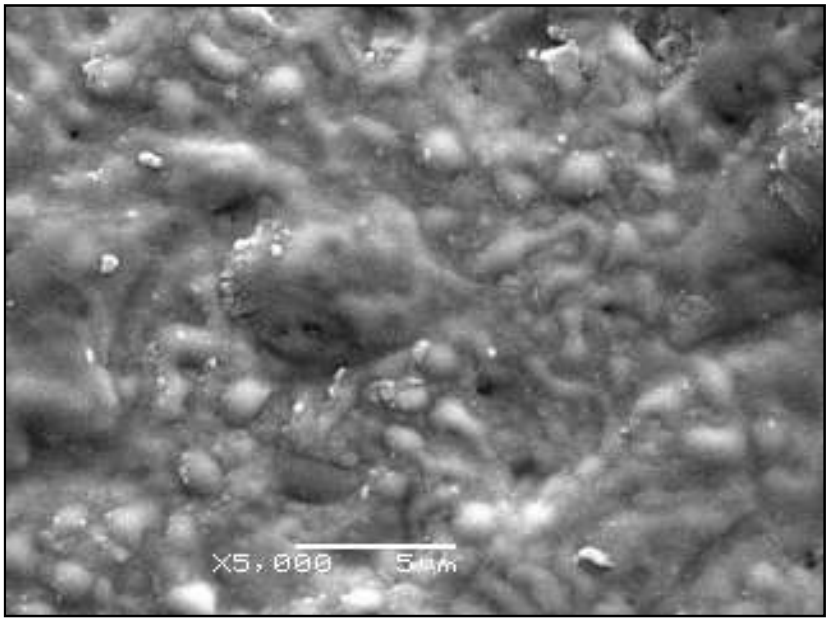
Kumlama uygulamasını takiben 532 dalga boyunda 120 mj lazer uygulanan bu örnekteki SEM görüntüsü 80 mj uygulanan örneğe benzemektedir. Daha büyük damlacık görüntüleri, daha iri su birikintileri şeklinde amorf ve yine düzgün yüzeyli yapılar izlenmektedir (Şekil 3.73, 3.74, 3.75, 3.76).



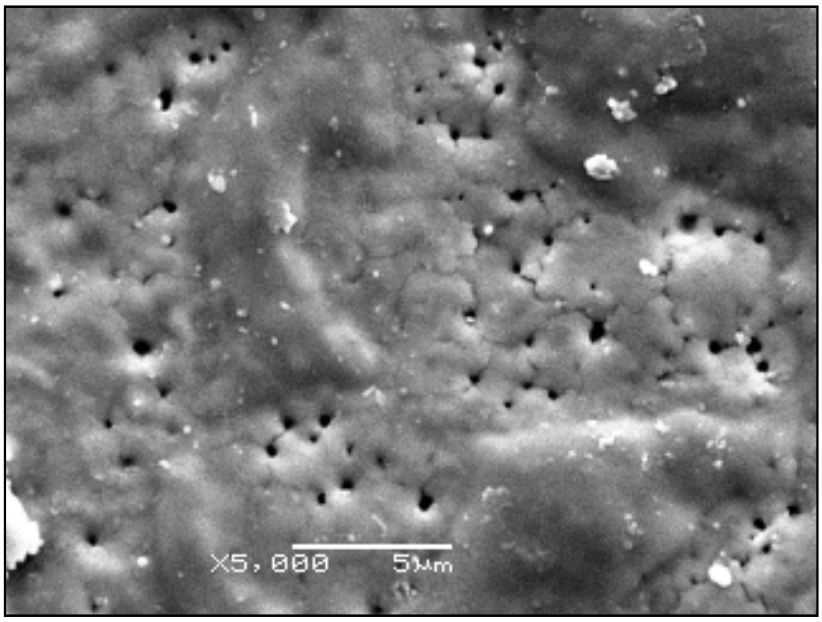
Şekil 3.73. SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X



Şekil 3.74 SB+ Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X



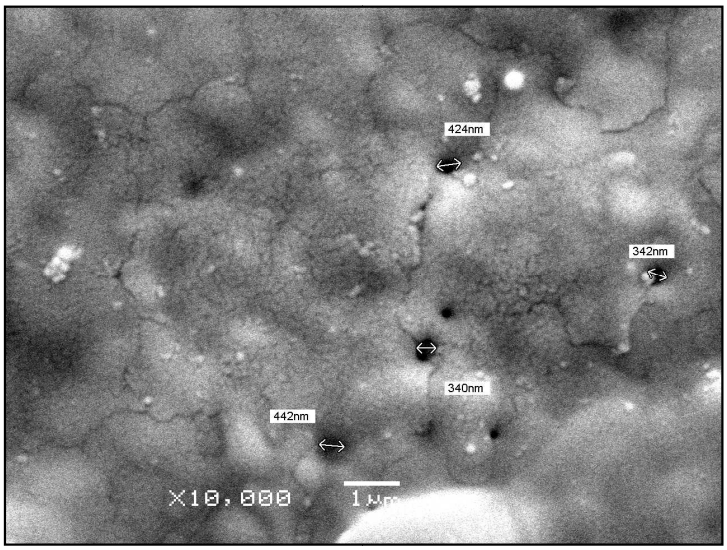
Şekil 3.75 SB+ Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X



Şekil 3.76 SB+ Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

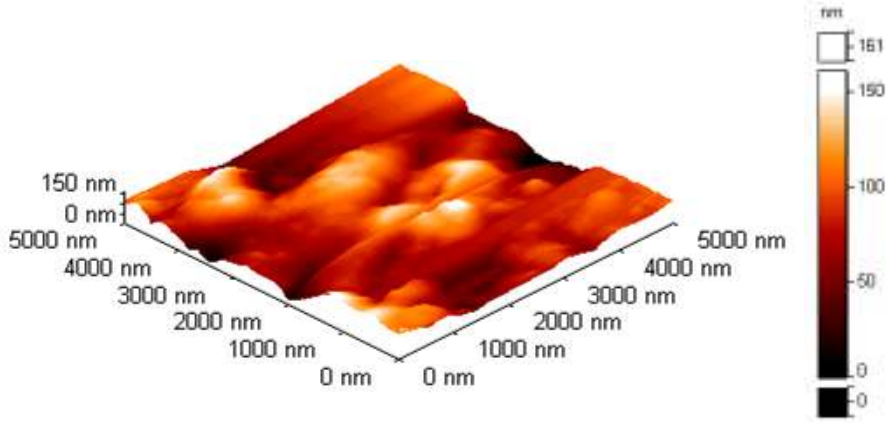
10000X büyütmeyle yapılan incelemede daha çok delik oluştuğu ve çapları ortalama 400 nm olarak ölçülen bu delikler arasında uzanan çatlak şeklinde çizgisel yapıların

olduğu gözlenmiştir. Bu alanların içinde mikroçatlak görüntüsünde homojen olarak yayılan çok sayıda ufak çizgi gözlenmektedir (Şekil 3.77).

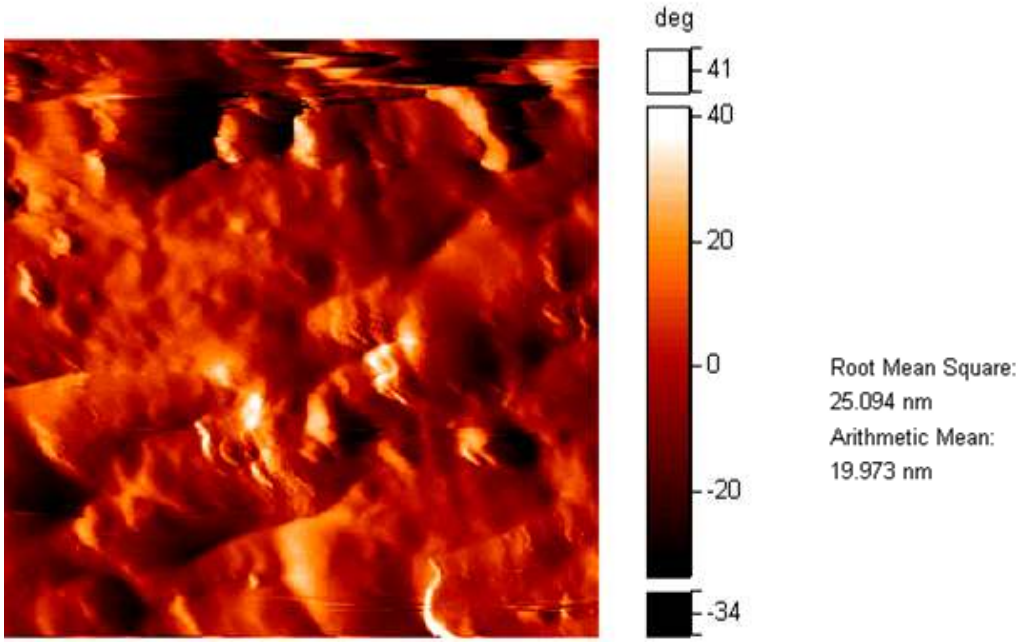


Şekil 3.77. SB+ Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 10000X

Bu örneğin AFM incelemelerinde SEM'de görülen delikli yapı izlenmektedir. Şekil 3.78 ve Şekil 3.79' da 5000 nm'lik alandaki ölçümün Z ve faz görüntüleri ve pürüzlülük değeri görülmektedir.

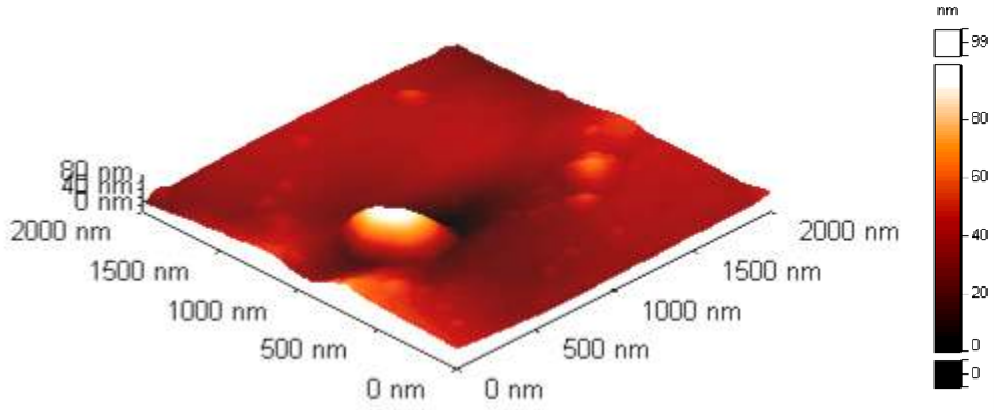


Şekil 3.78. SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) yüzey, 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

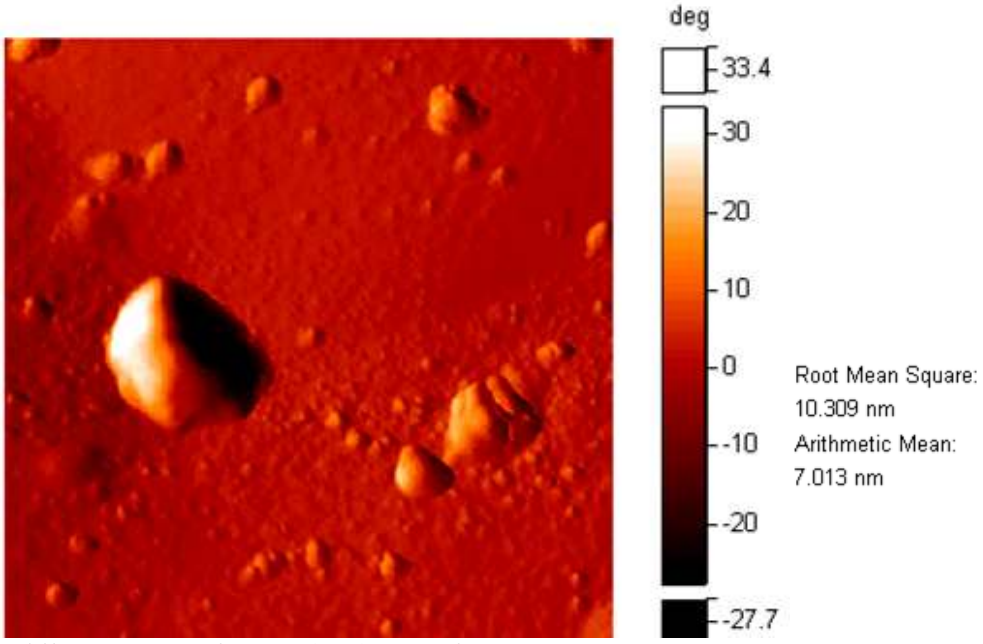


Şekil 3.79. SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) yüzey, 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.80 ve 3.81'de ise 2000 nm'lik alanda iri bir çıkıntının izlendiği yapının Z ve faz görüntülerini ve pürüzlülük değerini görmekteyiz.

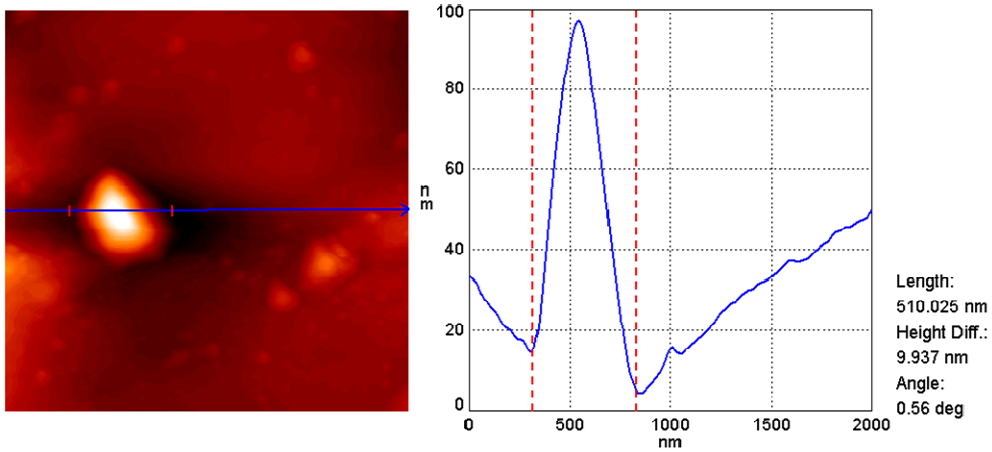


Şekil 3.80. SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) yüzey, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası



Şekil 3.81. SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) yüzey, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

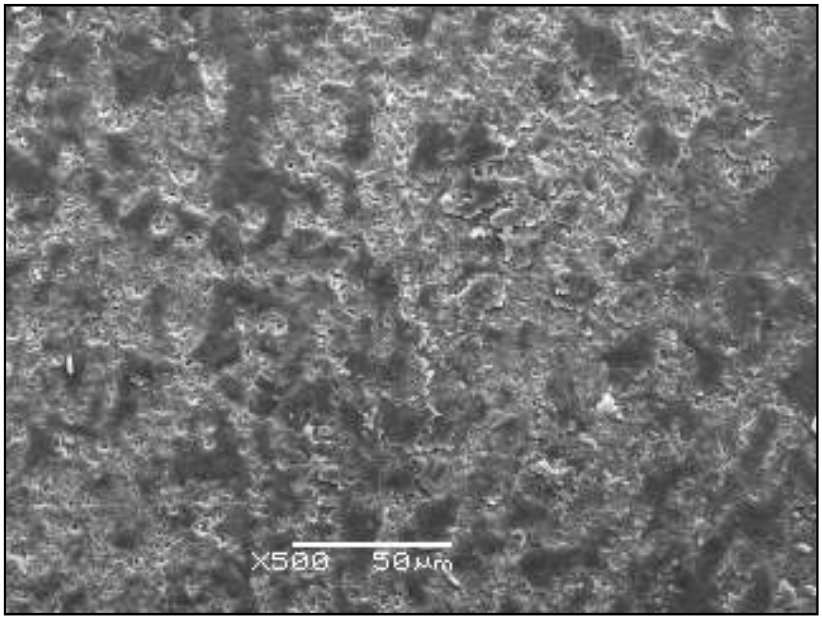
Aşağıda Şekil 3.80'de incelenen ölçüme ait çizgisel profil analizleri görülmektedir. Örnekte gözlenen çıkıntılı yapının yüksekliği Şekil 3.82'de izlenmektedir.



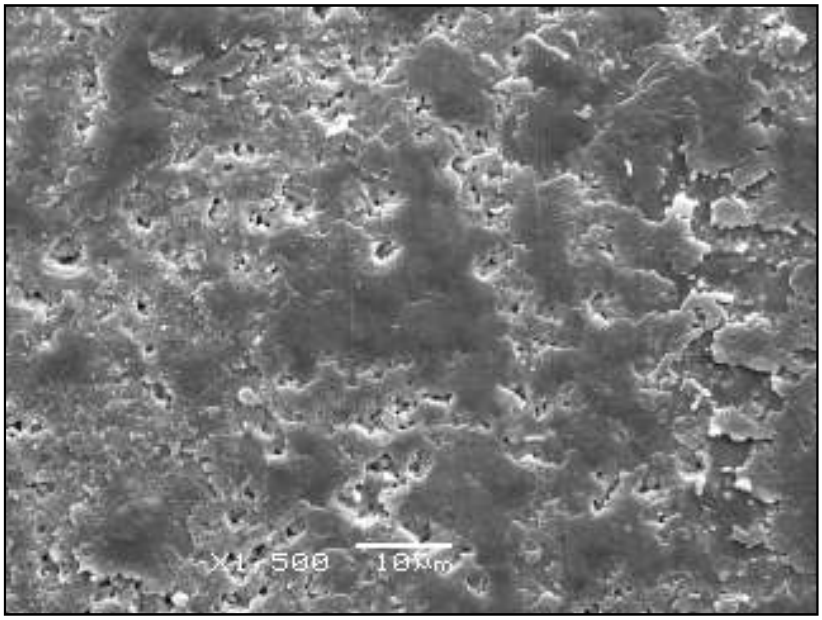
Şekil 3.82 SB+Nd-YAG (532) 120 mj (SBL2) yüzey, 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

3.4.9 SB+Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3) Grubu

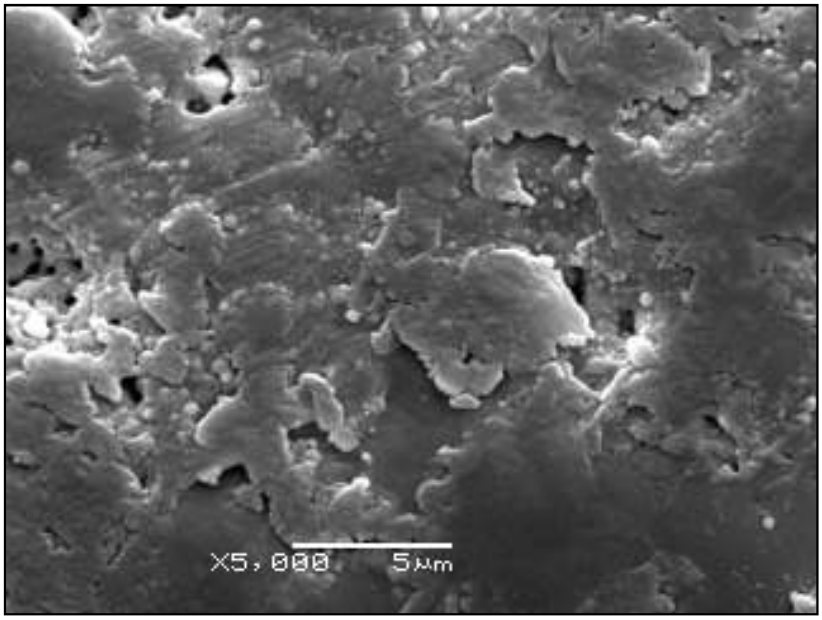
Kumlama uygulamasını takiben 1064 dalga boyunda 80 mj lazer uygulanan bu grupta SEM incelemelerinde kumlanmamış aynı güçteki lazer grubuna göre daha homojen olarak damlacık öbekleri ve tabakalanma şeklinde ifade edilebilecek yapıların oluştuğu gözlemlenmektedir. Ara ara ergimiş görüntüsüne sahip yüzeylerin homojeniteyi bozduğu görülmektedir (Şekil 3.83, 3.84, 3.85).



Şekil 3.83 SB+ Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X

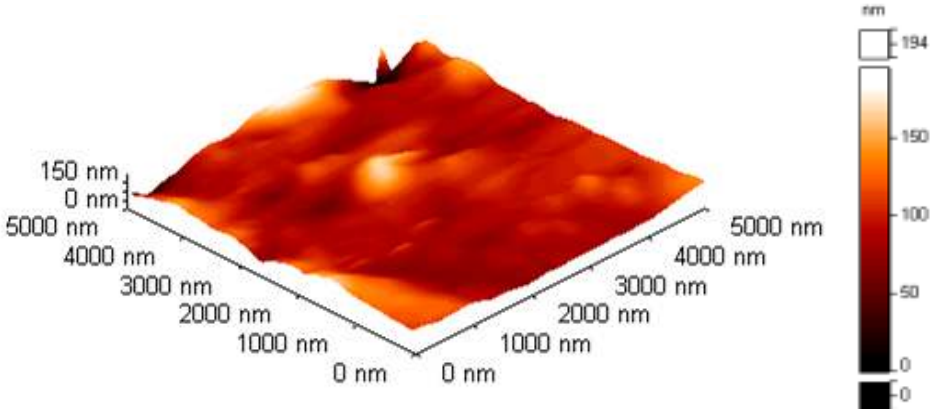


Şekil 3.84 SB+ Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X

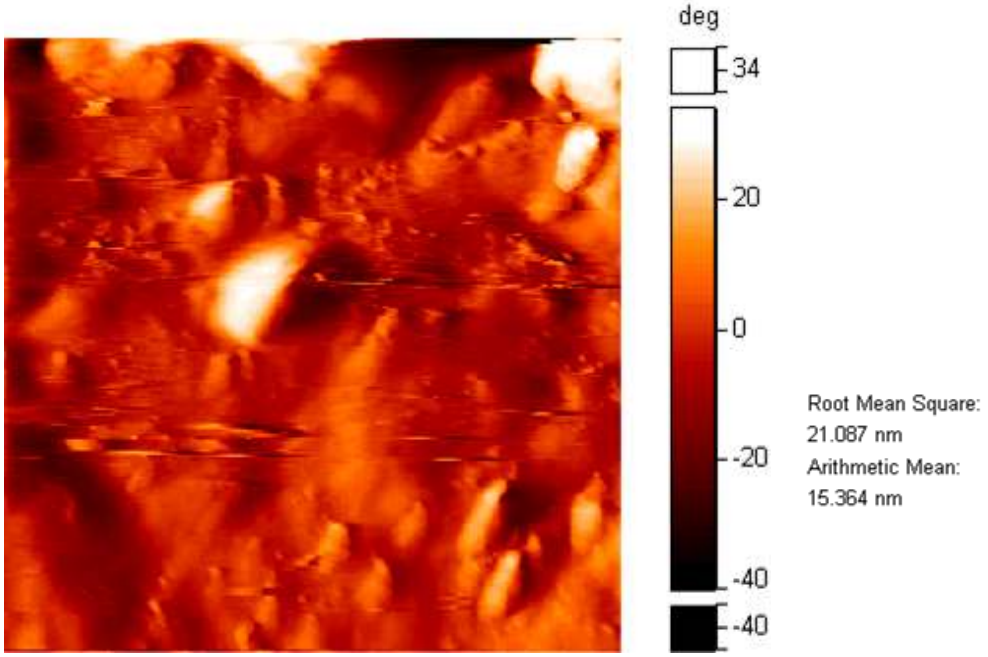


Şekil 3.85. SB+ Nd-YAG (1064) 80 mj, (SBL3) SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

Bu örneğin AFM incelemelerinde SEM'de görüldüğü gibi pürüzlü bir yüzey izlenmektedir. Şekil 3.86 ve Şekil 3.87' de 5000 nm'lik alandaki ölçümün Z ve faz görüntüleri ve pürüzlülük değeri görülmektedir.

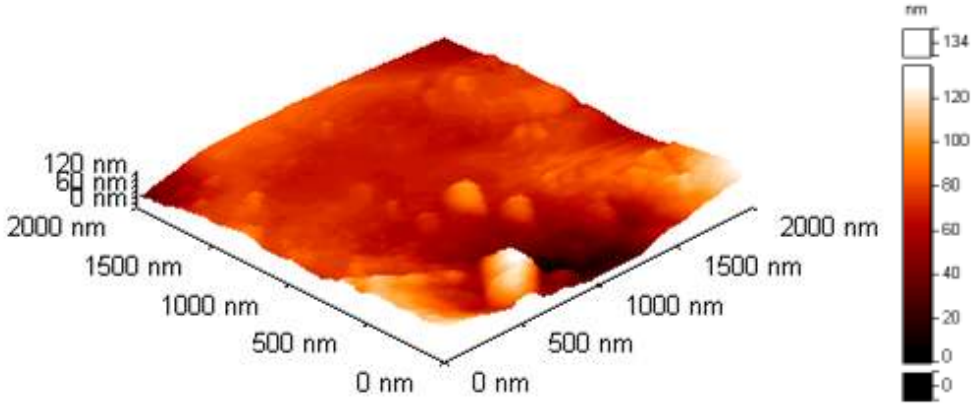


Şekil 3.86. SB+Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3) yüzey, 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

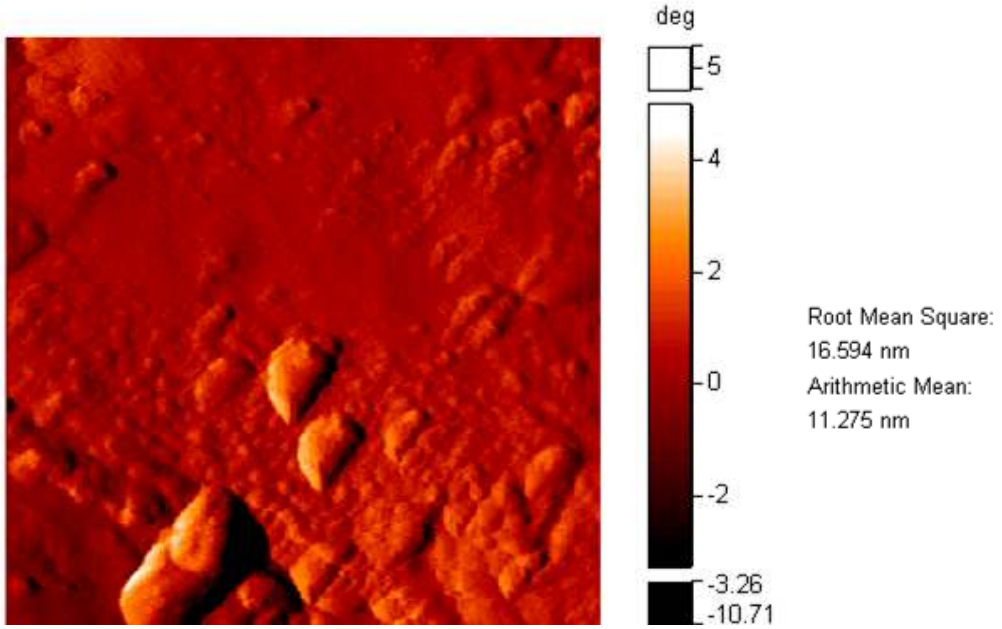


Şekil 3.87. SB+Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3) yüzey, 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.88 ve 3.89'da ise 2000 nm'lik alanda yine çukurların ve çıkıntıların izlendiği yapının Z ve faz görüntülerini ve pürüzlülük değerini görmekteyiz.

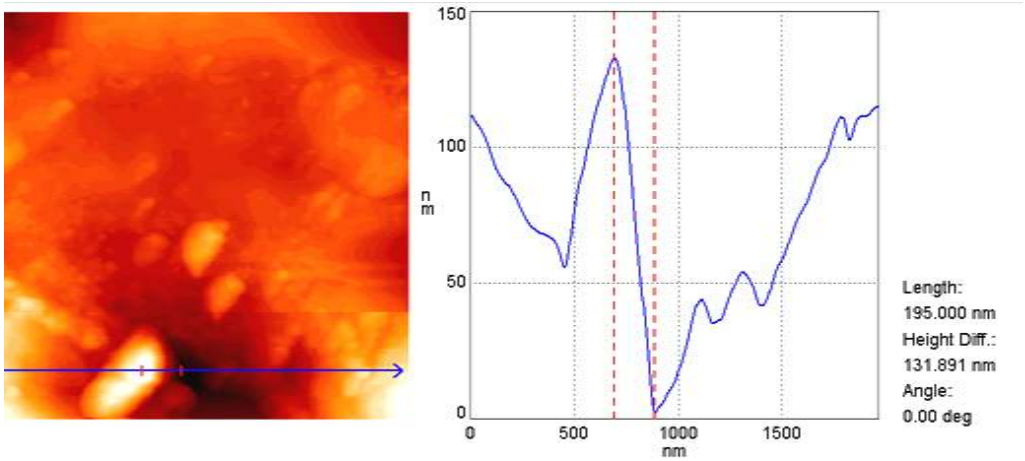


Şekil 3.88. SB+Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3) yüzey, 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası



Şekil 3.89. SB+Nd-YAG (1064) 80 mj (SBL3) yüzey, 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

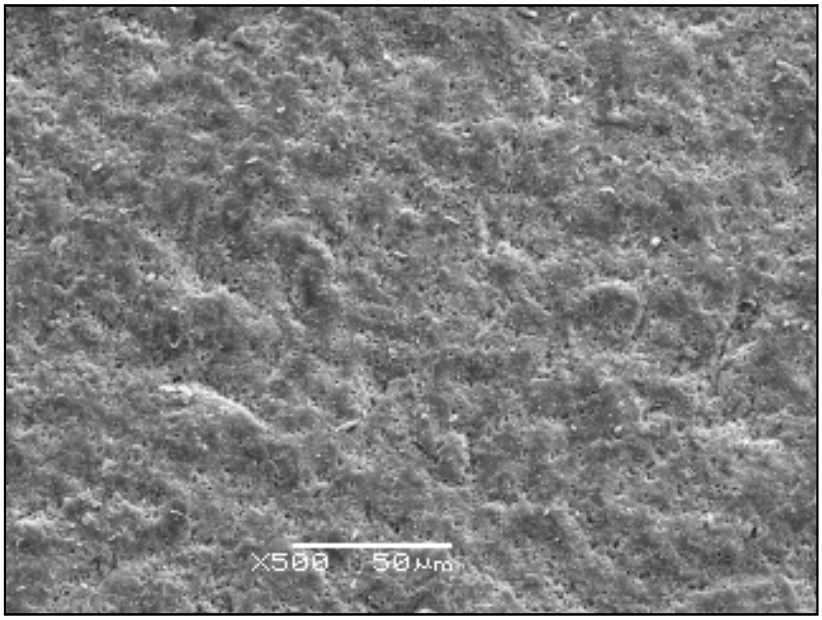
Aşağıda bu alanda gözlenen yapılara ait çizgisel profil analizii görülmektedir. Şekil 3.90'da sol alt bölgedeki yapının tepesi ile görüntüdeki en alçak nokta arasındaki yükseklik farkı 131 nm olarak ölçülmektedir.



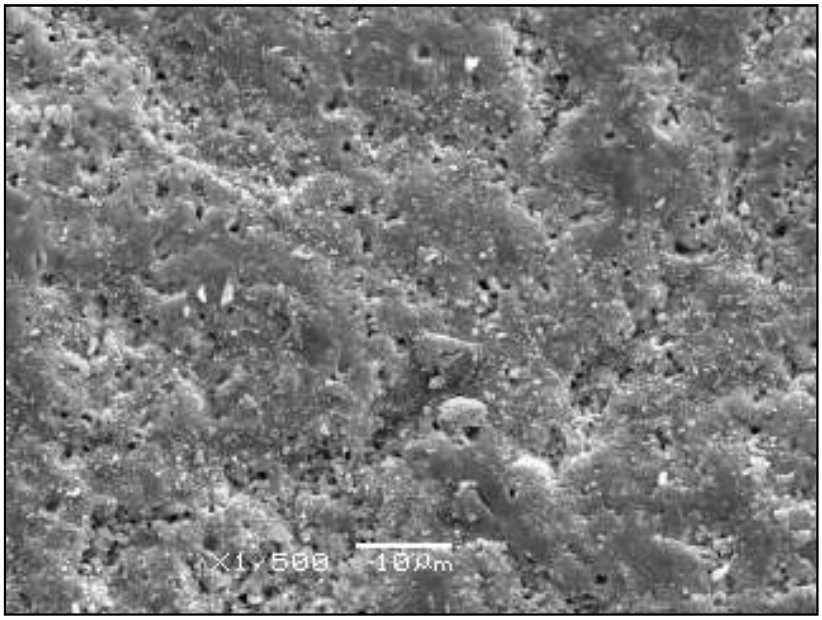
Şekil 3.90. SB+Nd-YAG (1064) 80 mj yüzey (SBL3), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

3.4.10 SB+ Nd-YAG (1064) 120 mj (SBL4) Grubu

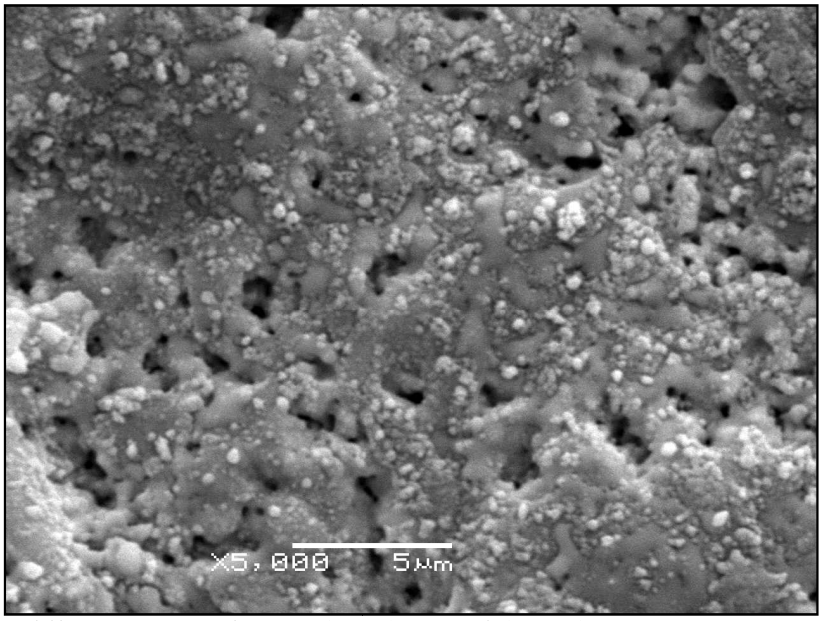
Kumlama uygulamasını takiben 1064 dalga boyunda 120 mj lazer uygulanan bu grupun SEM incelemelerinde 80 mj uygulanan örneğe benzer ancak daha yoğun yapılara rastlanmıştır. Tabakalar şeklinde krater oluşumu ve damlacık öbekleri daha yoğun izlenirken homojeniteyi bozan geniş ergimiş yüzeylere rastlanmamaktadır (Şekil 3.91, 3.92, 3.93).



Şekil 3.91. SB+ Nd-YAG (1064) 120 mj (SBL4), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 500X

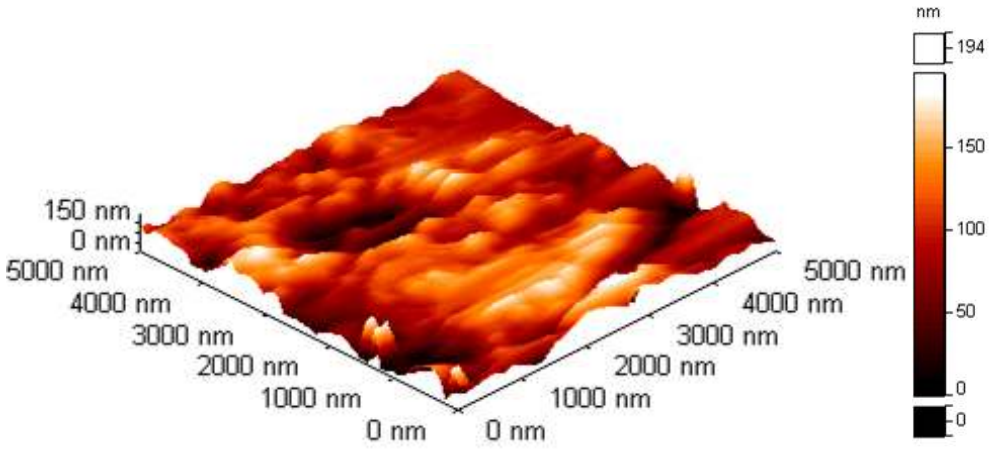


Şekil 3.92 SB+ Nd-YAG (1064) 120 mj (SBL4), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 1500X

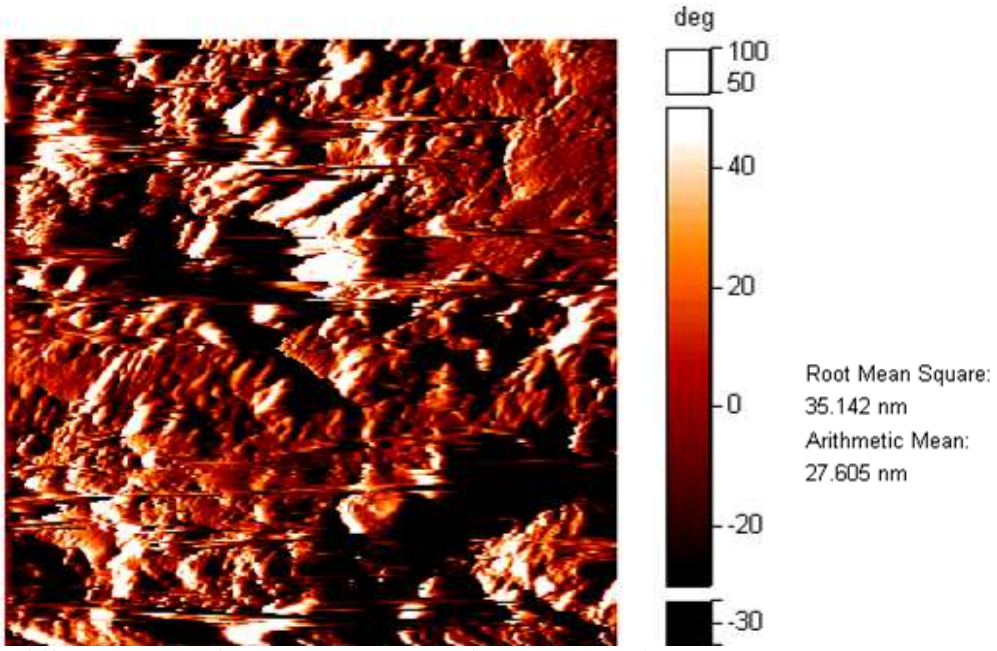


Şekil 3.93. SB+ Nd-YAG (1064) 120 mj (SBL4), SEM görüntüsü, orjinal büyütme 5000X

Bu örneğin AFM incelemelerinde SEM'de görüldüğü gibi homojen pürüzlü yapı izlenmektedir. Şekil 3.94 ve Şekil 3.95'de 5000 nm'lik alandaki ölçümün Z ve faz görüntüleri ve pürüzlülük değeri görülmektedir.

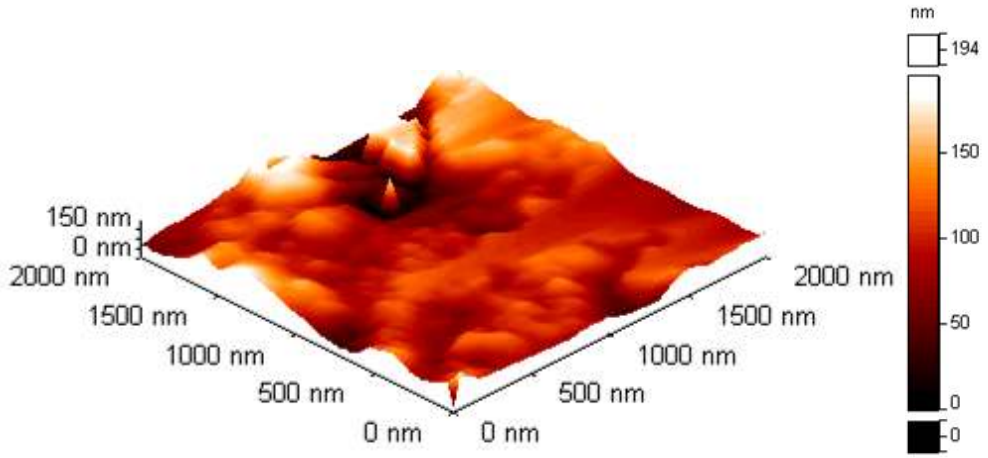


Şekil 3.94. SB+Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (SBL4), 5000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası

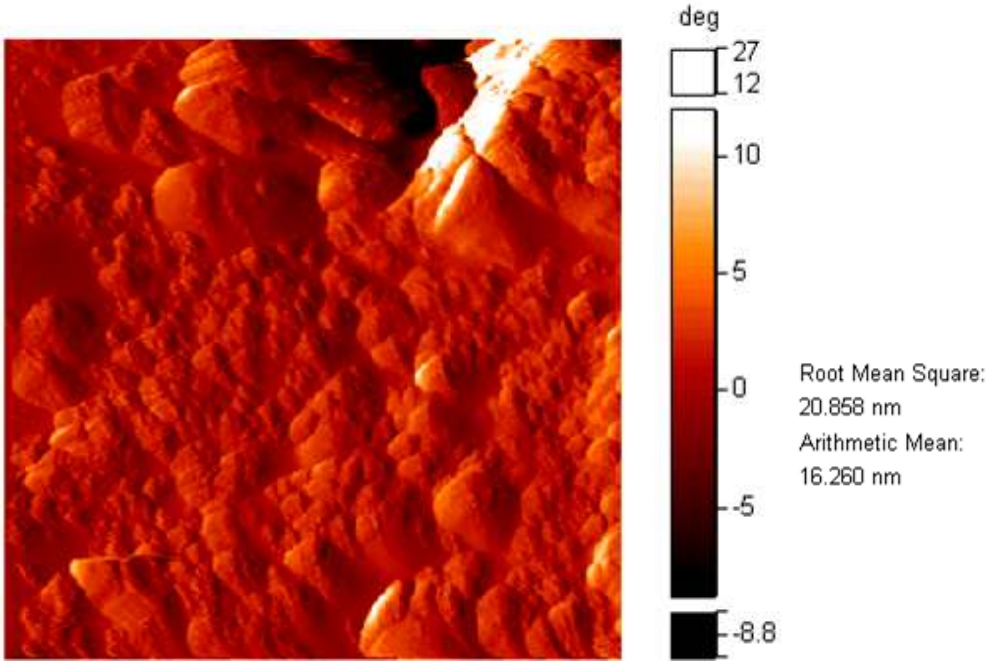


Şekil 3.95. SB+Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (SBL4) 5000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Şekil 3.96 ve 3.97' de ise 2000 nm'lik alanda pürüzlülüğün izlendiği yapının Z va faz görüntülerini ve pürüzlülük değerini görmekteyiz.

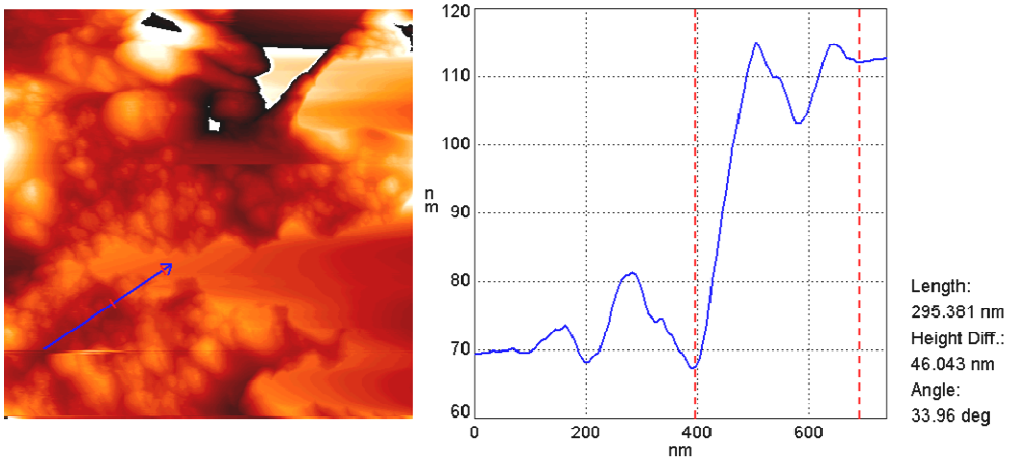


Şekil 3.96. SB+Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (SBL4), 2000 nm AFM Z görüntüsü ve renk skalası



Şekil 3.97. SB+Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (SBL4), 2000 nm AFM Faz görüntüsü, renk skalası ve pürüzlülük değeri

Aşağıda bu alana ait çizgisel profil analizi görülmektedir. Şekil 3.98'de kırmızı noktalarla belirtilen bölgenin genişliğinin 295 nm, yükseklik farkının ise 46 nm olduğu görülmektedir.



Şekil 3.98. SB+Nd-YAG (1064) 120 mj yüzey (SBL4), 2000 nm AFM görüntüsü, çizgisel profil analizi

4. TARTIŞMA

Protetik restorasyonların temel hedefi olan estetiğin uygun fonksiyonel yapı ile kazandırılmasına yönelik yapılan araştırmalar, sabit restorasyonlarda metal alt yapılar yerine dirençli kor yapıların kullanıldığı tam seramik sistemlerin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu materyallerde olması gereken direnç, estetik ve kimyasal stabilizasyon gibi özellikler günümüzde yoğun sinterlenmiş seramiklerin kullanıldığı sistemlerle üst düzeyde karşılanmaktadır (Ardlin, 2002). Yitriyumla stabilize edilmiş zirkonya, üstün özellikleri sayesinde uzun dönemde dental ve biyomedikal uygulamalarda geleceği oldukça parlak görülen bir materyaldir (Teixeira ve ark., 2007). Zirkonya yaklaşık 1000 MPa'lık bükülme direnci ile feldspatik porselenlerden 6 kat daha güçlüdür ve ortopedik materyal olarak da kullanım alanı vardır (Piconi ve Maccauro, 1999., Font ve ark, 2006). Çalışmamızda bu avantajları nedeni ile DC-Zircon firmasına ait zirkonya esaslı seramikler kullanılmıştır.

Zirkonya esaslı restorasyonların simantasyonu çinko fosfat veya modifiye cam iyonomer gibi konvansiyel simanlarla yapılabilmektedir. Bunun yanısıra rezin esaslı simanların uygun marjinal örtüm, iyi retansiyon ve restorasyonun kırılma direncini artırmaları gibi avantajları bu simanları yüksek dirençli seramiklerin simantasyonunda güncel hale getirmektedir (Rosenstiel ve ark., 1998, Blatz ve ark., 2003).

Burke non-adeziv fosfat yapıştırma ve adeziv simantasyonu kırılma direnci bakımından karşılaştırdığı çalışmasında, seramik iç yüzeyinin etch edildiği ve bonding işlemlerinin uygulandığı grupta önemli derecede yüksek kırılma direnci tespit etmiş ve tam seramiklerin simantasyonunda adeziv simantasyonu tavsiye etmiştir (1995).

Filho ve arkadaşları 2004 yılında yaptıkları çalışmalarında seramik restorasyonların dental dokulara adeziv rezin simanlarla simante edilmesinin dişin ve restorasyonun kırılma dirençlerini artırdığını belirtmişlerdir.

Rezin simanların yapısı kompozit rezin dolgu materyallerine benzemektedir. Polimerizasyon peroksit amin indükleme sistemi ile veya ışık aktivasyonu ile olmaktadır. Bazı sistemler her iki aktivasyon yöntemini birlikte kullanırlar ve 'dual cure' simanlar olarak bilinirler. Piyasada farklı mekanik ve fiziksel özellikler gösteren çok çeşitli rezin siman bulunmaktadır. Farklı sertleşme mekanizmalarının etkilerine ilave olarak adeziv rezin simanlar, dilüe monomerin tipi ve miktarı, doldurucu partiküllerin tip, büyüklük ve sayıları gibi özelliklerine göre çeşitlilik göstermektedir (Pace ve ark., 2007).

Fosfat monomeri içeriğinden dolayı Panavia F simanı ile yüksek bağlantı gücü elde edilebilmektedir (Quaas ve ark., 2007).

Zirkonya gibi yüksek dirençli seramik materyali ile rezin siman arasında uygun bağlantı gücünü elde etmenin zorluğu açıktır. Derand ve Derand bazı rezin simanların diğerlerinden kısmen daha iyi bağlantı gücü vermelerinin farklı ıslanabilirlik özellikleriyle açıklanabileceğini belirtmişlerdir (2000).

Doldurucu içeriği azaltılmış rezin simanlarda akıcılığın artmasıyla birlikte restorasyon yüzeyinde ıslanabilirliğin arttığı belirtilmiştir (Kramer ve ark., 2000).

Ancak bu durum doldurucusuz rezinlerin yüksek bağlantı gücü verdiği anlamına gelmemektedir. Kato ve arkadaşları doldurucu içeren rezin simanların doldurucu içermeyen simanlara göre daha yüksek bağlantı gücü verdiğini belirtmişlerdir (2000).

Araştırmamızda zirkonyum esaslı seramik örneklerin simantasyonunda Panavia F rezin siman sistemi kullanılmıştır.

Rezin simanların içinde kullanılan doldurucu partiküllerin büyüklüğü de oldukça önemli bir konudur. Diş dokuları açısından değerlendirildiğinde etch sonrası demineralize kollajen fibrilleri arası mesafenin ortalama olarak 20 nm olduğu düşünüldüğünde uygun doldurucu büyüklüğünün bu alana penetrasyonun engellenmemesi açısından 20 nm'den az olması gerekmektedir (Van Landuyt ve ark.,2007). Benzer şekilde bağlantının diğer tarafı değerlendirildiğinde lazer uygulaması ardından seramik yüzeyinde AFM ölçümleriyle gözlenebilen nanometre skalasındaki pürüzlülükte rezin simanın etkisini gösterebilmesi için doldurucu büyüklüğü uygun simanların seçiminin önem kazanabileceği düşünülmektedir.

Tam seramik restorasyonların simantasyonu için diş yüzeyine uygulanan işlemlerin haricinde seramik iç yüzeyinin hazırlanmasına yönelik çok çeşitli yüzey işlemleri önerilmektedir (Blatz ve ark., 2003).

Hidroflorik asit ile etch işlemi sadece cam komponent içeren yüzeyler için önerilmektedir. Yoğun kristal yapıdaki zirkonya seramikler üzerinde pürüzlendirici etkisi bulunmamaktadır (Özcan ve Vallittu, 2003, Derand ve Derand, 2000).

Cam ve porselen yüzeylerde, yüzeydeki silika ile birlikte siloksan ağı oluşturarak siman ile olan bağlantı gücünü artırması için silan kullanımı tavsiye edilmektedir. Bu kimyasal reaksiyon yüzeyde silika ihtiva etmeyen zirkonya esaslı seramikler için mümkün olamamaktadır (Wegner ve Kern, 2000). Bu materyallerde silan uygulamasıyla elde edilen bağlantı gücündeki hafif artış silanın yüzeyin ıslanabilirliğini artırmasıyla açıklanmaktadır (Madani ve ark., 2000).

Silan uygulamasının bağlantı gücünde artmaya sebep olmadığını hatta bağlantı gücünü azalttığını gösteren çalışmalar da mevcuttur. Araştırmacılar zirkonya seramik yüzeyin silanla kimyasal reaksiyona girmediği halde oluşan bu etkinin, silanlanmış yüzeylerin nem karşısındaki stabil olmayan durumuyla ilişkili olabileceğini belirtmişlerdir (Derand ve ark., 2005).

Silika bazlı seramiklerde kullanılan yöntemlerle kıyaslandığında zirkonyum oksit seramiklerin rezin simanlara olan bağlantı gücünü artırmak için literatürde çok az yöntem önerildiği görülmektedir. Bu çalışmalar ise çoğunlukla MPD gibi özel adeziv monomerler içeren ajanların kullanımıyla veya yüzeyin silan ile kimyasal reaksiyona girmesini sağlayacak silika içeriğini artırmaya yönelik işlemlerle ilgilidir (Derand ve Derand, 2000, Atsu ve ark., 2006).

Zirkonya esaslı seramiklerde yüzeyin silika içeriğini artırmak için üretici firmalar çeşitli ürünler (rocatec, cojet, pyrosilpen) önermektedirler. Kern ve Wegner zirkonya esaslı seramiklerde rocatec kullanımıyla bağlantı gücünde uzun dönemde alüminyum oksit esaslı seramiklerde elde ettikleri gibi önemli bir artış sağlayamamışlardır (1998). Janda ve arkadaşları ise pyrosilpen ile olumlu sonuçlar aldıklarını bildirmişlerdir (2003). Plazma sprey tekniği ile de bağlantı gücünün artırılabileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur (Derand ve ark., 2005).

Bu materyallerde yüzeyi pürüzlendirmek için Kern ve Wegner kumlama yöntemi tavsiye etmektedir (1998). Tam seramik restorasyonların iç yüzeyinin kumlanarak pürüzlendirilmesi rutin olarak uygulanan bir yöntemdir ve rezin simanlarla seramik iç yüzeyi arasında güçlü bir bağlantı sağlar (Saygılı ve Şahmalı, 2003, Silveria ve ark, 2005).

Teknik aşamada konvansiyonel olarak uygulanan bir yüzey işlemi olduğundan çalışmamızda lazer uygulanan yüzeylerle bağlantı gücü açısından karşılaştırılmasına karar verilmiştir. Sadece kumlama ve sadece lazer uygulanan yüzeylerle birlikte önceden kumlanmış yüzeylerdeki lazer etkisi de incelenmiştir.

Blatz ve arkadaşları 1966-2001 yılları arasında yayınlanan dental seramikler ve rezin bağlantı gücü ile ilgili 68 araştırmayı derledikleri çalışmalarında silika esaslı seramiklerin bağlantı gücü ile ilgili uzun dönem çalışmalar da dahil olmak üzere net sonuçlara ulaşıldığını ancak yüksek dirençli seramiklerin henüz yeterli olarak çalışılmadığını, yüksek dirençli seramik sistemleri konusunun hızla artan popülaritesi sebebiyle yeni çalışmalara ihtiyaç duyduğunu belirtmişlerdir (2003).

Lazer enerjisi kullanılarak seramik yüzeylerin pürüzlendirilmesi yöntemi oldukça yenidir.

Seramikler üzerinde lazer kullanımı ile ilgili dental literatürdeki ilk çalışma porselen yüzeyinin düzgünleştirilmesine yönelik olmuştur. Lazer enerjisi kullanılarak oluşturulacak ısı ile seramik yüzeyinde bir ergime meydana gelebileceğini ve bunun sonucunda düzgün parlatılmış bir yüzey elde edilebileceğini düşünen Folwaczny ve arkadaşları 1998 yılında yaptıkları çalışmalarında bu amaçla farklı enerjilerde eximer lazer kullanmışlardır. Ivoclar-Empress, in-ceram spinell, in-ceram alumina ve vita-mark II (feldspathik seramik) örneklere uygulanan bu yüzey işlemlerini takiben AFM ve SEM ölçümleri yapılmış ve profilometre ile yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir. Araştırmacılar 308 nm eximer lazer kullanımı ile oluşan ısı sonucu seramik yüzeylerdeki pürüzlülüğün azalabildiğini ancak hiçbir yüzeyin tamamen düzgünleşmediğini, mikroçatlaklar ve kabarıklıkların seyredildiği homojen olmayan bir yüzey meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu yöntemle seramik yüzeylerin düzgünleştirmek için ileri çalışmalar yapılması gerektiği ifade edilmektedir.

Neodmiyum YAG lazerleri günümüzde, kompakt olmaları, kısmen düşük maliyetleri, bakım gerektirmemeleri, ışın özellikleri ve anlık darbe güçleri gibi nedenler ile hemen hemen tüm lazer uygulamaları için tercih edilen sistemler haline gelmişlerdir. Silveria ve arkadaşları 2005 yılında yaptıkları çalışmalarında yüksek dirençli seramik olan in-ceram alümina ile Panavia Fuoro rezin siman arasındaki mikro-tensile bağlanma gücünün in-ceram'a uygulanan çeşitli yüzey işlemlerinden nasıl etkilendiğini araştırmışlardır. Kullanılan yüzey işlemleri Nd:YAG lazer ile pürüzlendirme, rocatec sistemi ve alüminyum oksitle kumlama olarak seçilmiştir. 300 µm çapındaki Nd-YAG lazeri optik fiberi yüzeye 1 mm mesafede tutularak tüm bölge taranmıştır. Lazer parametreleri olarak 100 mJ, 20 Hz, 2W ve 141,54 j/cm^2 değerleri kullanılmıştır. Micro-tensile bağlanma gücü testi sonucunda Nd:YAG lazeri ile pürüzlendirmenin rocatec sistemi ve alüminyum oksit ile kumlama yöntemlerine göre In-Ceram Alumina ile Panavia Fluoro siman arasındaki bağlantıyı artıran en etkili yöntem olduğu görülmüştür. Araştırmacılara göre bu sonuç, lazer uygulaması ile elde edilen yüzeyin diğer yöntemlerle elde edilenden tamamen farklı bir mikromekanik tutuculuk şekli oluşturmasıyla açıklanabilir. Lazer uygulaması sonucu in-ceram alumina yüzeyinde oluşan topografik değişiklikler neticesinde rezin simanla seramik arasında çok daha iyi mikromekanik tutuculuk elde edilebileceği görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan lazer protokolu (100 mJ, 20 Hz, 2 W, 141.54 J/cm2) bir dizi pilot çalışmanın ardından belirlenmiştir. Nd-YAG tarafından salınan 1064-nm dalgaboyundaki enerji seramikler tarafından etkili bir şekilde absorbe edilemediği belirten araştırmacılar enerji absorbsiyonunu artırmak için seramik yüzeylere grafit tozu uygulamışlardır. Optik fiber uçla taranan boyanmış seramik yüzeyinin her bir noktasında enerji çıkışına bağlı olarak meydana gelen mikro patlamalar ile boyanın ortadan kalktığı gözlenmiştir. Araştırmacılar farklı değerlerde lazer veya farklı seramiklerin kullanımının farklı sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir.

Seramik yüzeylerin lazer enerjisi kullanılarak etch edilmesini konu alan bir diğer çalışmada ise farklı güçlerde Nd-YAG lazeri kullanılmış, bu kez feldspatik porselenler üzerinde etkisi araştırılmış ve rezin simanlarla olan shear bağlantı gücü HF ile

karşılaştırılmıştır. Çalışmada 4 alt gruba ayrılan seramik örneklerden birinci gruba hidroflorik asit (HF) uygulanmış diğer üç gruba ise Nd-YAG sırasıyla 15 Hz, 40 mJ, 0.6 W; 15 Hz, 60 mJ, 0.9 W; 15 Hz, 80 mJ, 1.2 W güçlerinde olacak şekilde 1 dakika süreyle uygulanmıştır. Daha sonra tüm gruplara silan uygulanmış ve 3x3x2 mm boyutlarında kompozit silindirler rezin simanla simante edilmiştir. Crosshead hızı 1mm/dk olacak şekilde uygulanan shear bond testi sonucunda 0.9 W olarak uygulanan Nd-YAG grubu en yüksek bağlantı gücünü (14.7 MPa) vermiştir ve HF asitle pürüzlendirilmiş grupla arasında (13.47 MPa) önemli bir fark olmadığı belirtilmiştir. 0.6 W' lık Nd-YAG lazeri kullanılan grup ise en düşük bağlantı gücünü göstermiştir (8.61 MPa). Araştırmacılar Nd-YAG lazeri kullanılarak yapılacak pürüzlendirmenin bu değerin altındaki wattlarda asit etkinliği ile karşılaştırılamayacak seviyede olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar porselen kırıklarında, Nd-YAG lazerinin uygun enerji seviyelerinde kullanımı ile yapılacak pürüzlendirmenin, asit ile etch etme yönteminin yerini alabileceğini belirtmişlerdir (Li ve ark., 2000).

Çalışmamızda zirkonya esaslı seramiklerin iç yüzey pürüzlendirmesi için farklı porselen tiplerine lazer uygulanarak pürüzlendirmeye yönelik araştırmaların ışığında Nd-YAG lazeri kullanılmıştır.

Çalışmamızda kullandığımız lazer protokolünü seçebilmek için bir dizi pilot çalışma gerçekleştirilmiştir. Zirkonya örnekler 200 mJ ile 40 mJ arasında değişik lazer enerjilerine, farklı sürelerle maruz bırakılmış, sonuçlar makroskopik ve mikroskopik olarak incelenmiştir. Bu ön çalışmalarda, 120 mJ aşan lazer enerjileri için malzemenin kalıcı olarak renk değiştirdiği, 60 mJ altında ise malzeme üzerinde mikro kırıkların oluşmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle 120 mJ – 80 mJ aralığı hedef çalışma aralığı olarak belirlenmiştir. Yüksek enerjilerde 30 sn' den uzun süre lazer uygulanan örneklerde de makroskopik olarak seçilebilecek renk koyulaşması meydana geldiği görülmüştür. Bu sebeple süre olarak da 30 sn uygun bulunmuştur.

Lazer ışınlarının dalga boyu küçüldükçe birim foton enerjisi doğru orantılı olarak artmaktadır. 532 nm dalga boyu lazer fotonları, 1064 nm dalga boyu fotonlara göre iki kat daha yüksek enerjilidir. 532 nm dalga boyu lazerlerin malzemeyi meydana getiren molekül bağları üzerinde etkisi daha yüksektir. Bu etki daha kısa dalga boylarına doğru gidildikçe artmaktadır (Siegman, 1986). Tez çalışmamızdaki örneklerde kullandığımız 532 nm lazer çıkışı, 1064 nm Nd:YAG lazeri çıkışının, optik doğrusal olmayan kristal kullanılarak iki katına katlanması ile elde edilmektedir.

Çalışmamızda 1064 nm ile 532 nm dalga boyundaki lazer etkisinin farklı olması bu özelliğin sonucudur. 1064 nm ile 532 nm dalga boyları için lazer ışınlarının malzeme içerisine işleme kalınlıkları farklılaşmıştır. Ayrıca etkili oldukları kalınlık içerisinde bıraktıkları tahribat yine emilim miktarı ve foton enerjisindeki farklılıklar nedeni ile farklı olmuştur.

Zirkonyum yansıtıcılığı yüksek bir materyal olduğundan Nd-YAG lazerin ışını ile direkt olarak etkileşmesi mümkün olmamaktadır. Kullanılan her iki dalga boyunda da lazer ışınlarının malzeme üzerindeki etkisinin artırılabilmesi amacı ile seramik yüzeylere boyama işlemi uygulanmıştır. Bu işlem polimer katkılı toz karbon (grafit tozu) ile yapılmıştır. Grafit tozu, koyu rengi ve uygulanan işlem sonrası seramik üzerinden temizlenmesinin kolay olması sebebiyle tercih edilmiştir.

Birim alana düşen güç yoğunluğunun istenilen seviyede uygulanabilmesi için Q-anahtarlamalı lazerden yararlanılmıştır. Bu seçimdeki amaç daha ince malzeme yüzeyinde pürüzlendirme etkisinin sağlanabilmesidir.

Deneylerde kullandığımız Q-anahtarlamalı lazerler için lazer darbesi süresi 4 nano saniye' dir. Bu süre lazer emilimi ile malzeme yüzeyine aktarılan ısı enerjisinin dağılma hızının çok üstündedir. Dağılma fırsatı bulamadan malzeme yüzeyinde akümüle olan ısı mikro kırıkların oluşmasına neden olur. Malzeme yüzeyinde erime aşamasına uğramadan ani buharlaşma gözlenir. Bu durum ablasyon olarak tanımlanmaktadır (Siegman, 1986). Çalışmalarımızda, pürüzlendirilen malzemenin ısınması arzu edilmemektedir. Q-anahtarlamalı sistemlerde malzemeye aktarılan toplam ısı miktarının çok düşük olması bu sistemden yararlanılmasının diğer bir nedenidir.

Çalışmamızda lazer uygulanan seramik örnekler belirli standartlara göre hazırlanan kompozit silindirlere simante edilmiştir.

Bu işlemin ardından örneklere bağlantı gücü deneyi uygulanmıştır. Derand ve arkadaşları (2005) shear bond testinin hızlı, kolay uygulanabilir olduğunu ve klinik durumu yansıtabildiğini belirtmektedir. Çalışmamızda zirkonya esaslı seramiklerin rezin simanlarla olan bağlantı gücü testinde pek çok araştırmacı tarafından sıklıkla tercih edilen shear testi kullanılmıştır (Atsu ve ark., 2006, Derand ve Derand, 2000, Blatz ve ark., 2003).

Shear bağlantı testi sonucunda P grubu için ortalama bağlantı değerleri 7, 289 ± 2, 922 olarak elde edilirken kumlama uygulanan gruptaki değer 12,370 ± 2,590 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçların Atsu ve arkadaşlarının (2006) zirkonya esaslı seramiklerde uyguladıkları farklı yüzey işlemlerinin bağlantı gücüne etkisini araştırdıkları çalışmalarında aynı kumlama yöntemi ile elde ettikleri 15.7 ± 2.9 değeri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Airborne-particle abrasion, silanlama, tribokimyasal silan kaplama ve bonding ve silanlama yöntemlerinin kombinasyonu işlemlerinin karşılaştırıldığı bu çalışmada en yüksek bağlantı gücü silika kaplama ve MPD içerikli silan ve bondingin birlikte uygulanması sonucu elde etmişlerdir. Bu yöntemle elde

edilen ortalama bağlantı değeri olan 22.9 ± 3.1 bizim araştırmamızda PL1 ve PL2 gruplarında elde ettiğimiz 20,300 ± 4,901 ve 20,538 ± 2,846 değerleri ile benzer aralıktadır.

İstatistiksel inceleme sonucunda P grubu kontrol grubu olarak kabul edildiğinde uygulanan Dunnett testi sonucunda bu grubun diğer tüm gruplardan farklı olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan tüm işlemler istatistiksel olarak fark yaratmıştır.

$\alpha<0,05$ kabul edildiğinde en yüksek bağlantı gücünü PL2 grubunun verdiği görülmüştür. Ardından PL1 ve SBL2 ve SBL1 grupları gelmektedir. Bu gruplar 532 nm dalga boyundaki Nd-YAG lazer uygulanan gruplardır. Grup ortalamaları birbirlerinden farklı olsa da bu dalga boyundaki lazerin 80 ya da 120 mj olarak veya tek başına ya da kumlanma sonrasında uygulanması arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir.

1064 nm dalgaboyunda lazer uygulanan gruplar değerlendirildiğinde yine istastistiksel olarak anlamlı bir sonuca ulaşılamamıştır. Bu dalgaboyundaki lazerin de kullandığımız enerjilerde ve kumlanma uygulanıp uygulanmamasına göre bağlantı değerinde anlamlı bir fark tespit edilememiştir.

Sadece 80 mj ve sadece 120 mj olarak uygulanan lazer grupları incelendiğinde ise 532 ve 1064 nm dalgaboyunda uygulanan gruplar arasındaki fark anlamlı bulunmuştur.

Kumlanma uygulanmayan grupların karşılaştırılmasında 532 ve 1064 nm dalgaboyundaki lazer uygulanan gruplar arasındaki farkın anlamlı olduğu görümüştür. Buna göre 532 nm uygulanan grupların 1064 uygulanan gruplara göre belirgin olarak daha yüksek bağlantı gücü değeri verdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kumlama uygulanan gruplar arasında ise fark görülmemiştir. Kumlama uygulanmayan gruplarda 532 ve 1064 nm lazerler arasında fark varken bu gruplar arasında fark olmayışı kumlama uygulamasının 532 nm lazerin seramik üzerinde oluşturduğu pozitif mekanik retansiyon etkisinde azalmaya neden olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Bağlantı testinin ardından kırılma yüzeyleri incelenmiştir.

Silveria ve arkadaşlarının yaptığı yüksek dirençli seramiğin Nd-YAG ile pürüzlendirilmesini konu alan çalışmada araştırmacılar bağlanma gücü değerleri ile seramik yüzeyde kalan rezin siman miktarı arasındaki ilişkiyi de göstermişlerdir. Mekanik test sonucunda tüm kırılmaların karışık tipte olduğu ve bağlantı gücünün seramik yüzeyde kalan siman miktarı ile güçlü bir korelasyon içinde olduğu belirtilmiştir (2005).

Zirkonyum oksite farklı yüzey işlemleri uygulayarak rezin simanlarla olan shear bağlantı gücünü değerlendiren Atsu ve arkadaşları da yüzeyleri kopma tipine göre değerlendirmişlerdir. Düşük bağlantı gücü veren yüzeylerdeki kopmanın daha çok zirkonyum ve rezin siman arasında meydana gelen adeziv tipte olduğunu, daha yüksek bağlantı gücü veren gruplarda ise koheziv ve karışık tipte kopmaların çoğunluk gösterdiğini belirtmişlerdir (2006).

Çalışmamızda shear bağlantı testinin ardından elde ettiğimiz kopma yüzeyleri incelediğinde literatürle uyumlu olarak düşük bağlantı gücü veren gruplarda daha çok adeziv kopmalara (seramik ve siman arasında) rastlandığı, bağlantı gücü arttıkça kopmanın karışık ve daha seyrek olarak da koheziv tipte olduğu görülmüştür.

Thurmond ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında, porselen ve kompozit rezin arasındaki bağlantı gücü 13 MPa' dan fazla ise kırılma tipinin genellikle koheziv olduğunu gözlemlemişlerdir (1994). Bizim çalışmamızda da P,SB, PL3, PL4 gibi düşük bağlantı gücü veren gruplarda koheziv tipte kırılmaya rastlanmamıştır.

AFM ve SEM incelemeleri için seçilen gruplardan ikişer örnek aynı işlemlere uygun olarak hazırlanmış ve incelenmiştir.

Dental literatürde farklı materyal ve dokuların AFM ile incelendiği çalışmalar mevcuttur.

Bourauel ve arkadaşları niteliksel ölçümler için kullanılabilen AFM ile yüzeyin görüntüsüyle ilgili 3 boyutlu bilgi sağlanabileceğini belirtmişlerdir. SEM'e göre detaylı yüzey topografisi görüntüleri elde edilebilir. Yüzey pürüzlülüğünü nicel olarak belirlemek için sıklıkla kullanılan profilometre yönteminde ise 2 boyutlu bir tarama işlemi uygulanmaktadır ve çizgisel bir pürüzlülük belirlenir. Yüzey topografisinden bahsedildiği zaman bu 3 boyutlu bir görüntüyü ifade eder ve sadece bu ölçüm yüzeyin doğal karakterizasyonu ile ilgili bilgi verir. 2 boyutlu profil ölçümlerinde ise bunu sağlamak mümkün değildir (1998).

Dental kompozitlerde yüzey pürüzlülüğünü değerlendiren Kakaboura ve arkadaşları AFM'nin SEM'e göre yüzey karakterini daha detaylı tanımlayabildiğini belirtmişlerdir (2007).

Hegedüs ve arkadaşları AFM'nin minimal örnek hazırlığı gerektirmesini ve sadece X, Y eksenlerinde değil Z ekseninde de yüzey taraması yapılabilmesini SEM'e olan üstünlükleri olarak vurgulamışlardır. Araştırmacılar ayrıca SEM incelemeleri için

gerekli olan inceleme şartlarının elde edilmesi işleminin doğal örnek yapısını bozabileceğini belirtmişlerdir. AFM için inceleme koşulları çok daha doğaldır. Bu özellikle biyolojik örneklerin incelemelerinde önem kazanmaktadır (1999).

Araştırmamızda kullanılan 'needle sensor' AFM cihazı incelenen yüzeye temas etmeden çalışmaktadır (Diociaiuti ve ark., 2002). Kontak AFM'lere göre istenmeyen örnek-uç temasının oluşmaması ve yüzeyde ucun sürtünmesine bağlı hatalı alınabilecek ölçümlerin engellenmesi bakımından avantajları vardır. Bu özellikle 'etching' gibi işlemlerden sonra elde edilen hassas yüzeylerin incelenmesinde önemlidir (Silikas ve ark., 1999, Diociaiuti ve ark., 2002).

Silveria ve arkadaşlarının yüksek dirençli alüminöz seramiği Nd:YAG lazer ile pürüzlendirme çalışmalarında, SEM incelemelerinde uygulanan lazer enerjisi ile yüzeyde şu değişikliklerin sağlandığı gösterilmiştir:

a) Anlık lazer vurumları ile yüzeyden küçük miktarda materyal kaybı sonucu oluşan krater ve gözenekler,
b) Yüzeyde yükselme sonucu oluşan en dış yüzeydeki seramiğin eriyip kaynaşması ve ardından tekrar katılaşması.
c) Muhtemelen lazer uygulama alanına yakın materyal yığınları sebebiyle oluşan küresel biçimli damlacıkların çöküntü oluşturması (Silveria ve ark., 2005).

Feldspatik porselenlerde Nd-YAG kullanılarak yapılan pürüzlendirmenin ardından yapılan SEM incelemelerinde ise yüzey girintili, pürüzlü ve krater şeklinde görülmüş ve bu yapının mikromekanik tutuculuğa yardımcı olduğu ifade edilmiştir (Li ve ark., 2000).

Araştırmamızda SEM incelemeleri ile elde ettiğimiz görüntüler Silveria ve arkadaşlarının tanımlamalarına benzer şekilde karşımıza çıkmaktadır.

532 ve 1064 nm dalga boylarındaki Nd-YAG lazerlerin zirkonya seramikler üzerinde çok farklı etkiler meydana getirdiği SEM ve AFM incelemelerinde de gözlemlenmektedir. 1064nm dalga boyunda lazer uygulanan gruplarda polisaja bağlı meydana gelmiş olan çizgi şeklindeki görüntülerin bile ortadan kalkmayışı ve sonuçta bağlantı testinde düşük değerler vermesi yüksek dalga boyunun düşük enerjide olmasının bir kanıtı olarak görülmektedir. 1064nm uygulanan gruplarda izlenen tabakalanma görüntüsü 532nm uygulanan gruplarda yerini yüzeyden bir tabaka kalkmış izlenimi veren görüntüye bırakmaktadır. 532nm dalga boyu uygulanan yüzeylerde meydana gelen, uygulama gücüne göre artmış sayı ve boyutlardaki yer yer ergime görüntüsüne de 1064 nm uygulananlarda rastlanmamaktadır.

AFM ve SEM incelemelerinde lazer uygulaması sonucu yüzeyde oluşan nm skalasındaki değişimler izlenmektedir. Gözlemlenen pürüzlülük görüntüsüyle shear bağlantı testinden elde edilen sonuçlar korelasyon halindedir.

AFM incelemelerinde elde ettiğimiz pürüzlülük değerleri 5µm gibi çok küçük bir alandan elde edildiğinden çalışmamızda rakamsal bir değer olarak kabul edilmemiştir. Bu gibi küçük alanların incelenmesiyle elde edilen pürüzlülük değerlerinin istatistiksel olarak anlam ifade edebilmesi için örnekten çok sayıda ölçüm yapılması gerektiği bildirilmektedir (Valois ve ark., 2005). Yöntemin çok hassas, pahalı ve zaman alıcı olmasından dolayı örneklerden çok sayıda ölçüm almak mümkün olmamıştır. Bu sebeple incelediğimiz örneklerde görülen pürüzlülük değerlerinin sadece incelediğimiz alana ait olduğu belirtilmiştir. İncelenen bölgeye bağlı olarak çok fazla değişkenlik gösterebilen bu değerler genel anlamda bağlantı testi sonuçlarıyla ve SEM bulgularıyla örtüşmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Zirkonyum oksit esaslı seramiklerin diş yüzeyine mikro mekanik tutuculuklarını artırmak amacıyla klinikte pratik bir şekilde pürüzlendirilmeleri hidroflorik asitten etkilenmemeleri nedeniyle mümkün olamamaktadır. Ayrıca yüzeyin silika içeriğinin bulunmaması silan ajanların kullanımını etkisiz kılmaktadır. Bu çalışma ile zirkonyum oksit esaslı seramiklerde ,

- Özellikle 532nm dalga boyundaki Nd-YAG lazeri ile pürüzlendirmenin kullanılan diğer yöntemlere göre çok iyi mikro mekanik tutuculuk oluşturduğu ve en yüksek bağlantı gücünü verdiği,

- Lazer uygulamadan önce kumlama uygulamasının bağlantı gücüne pozitif etki katmadığı, bazı gruplar için olumsuz etkisi olduğu,

- 532nm dalga boyunun, 1064nm dalga boyu uygulamalarına göre daha yüksek bağlantı gücü veren pürüzlülük oluşturduğu,

- Aynı dalga boyunda 120mj ve 80mj olarak lazer uygulanan seramikler arasında rezin siman bağlantı gücünde anlamlı bir fark olmadığı,

Bu konu, lazer uygulanan yüzeylerin faz analizleri, farklı lazerler, seramikler ve dalga boyları gibi başka konularda çalışmalar yapmaya açıktır.

ÖZET

Zirkonyum Oksit Esaslı Seramik Sistemlerinde Lazerle Yapılan Pürüzlendirmenin Bağlantı Gücüne Etkisi

Zirkonya esaslı seramiklerde konvansiyonel yöntemlerle yapılan yüzey işlemleri ile ilgili çok sayıda çalışma olmasına karşın bu konuda Nd- YAG lazerinin etkinliği henüz değerlendirilmemiş bir konudur. Bu çalışmanın amacı seramiğe uygulanan kumlama ve lazerleme yöntemlerinin DC-Zirkon seramik ve Panavia simanı arasındaki shear bağlantı gücüne etkisini araştırmaktır. 90 adet DC-Zirkon (DC-Zirkon, DCS Dental, Germany) (5x1.5 mm) ve kompozit rezin (Charisma/Gluma ® Comfort® Bond, Heraeus Kulzer, Hanau, Germany) silindirik örnek (3x3 mm) üretici firmaların önerileri doğrultusunda hazırlandı. Seramik yüzeylerin tamamı 1 μm'lik monokristal elmas pastasıyla parlatıldı ve uygulanan yüzey işlemlerine göre şu gruplara ayrıldı: Grup P, kontrol, yüzey işlemi uygulanmadı; grup SB, 125 μm' luk Al_2O_3 ile kumlama; grup PL1, lazer1, (532 nm, 80 mJ); grup PL2,lazer2 (532 nm,120mJ), grup PL3, lazer3 (1064 nm,60mJ); grup PL4, lazer4 (1064 nm, 100mJ); grup SBL1, kumlama+lazer1; grup SBL2, kumlama+lazer2; SBL3, kumlama+lazer3; SBL4, kumlama+lazer4. Yüzey işlemlerini takiben kompozit silindirler seramik yüzeylere Panavia simanı ile yapıştırışdı. Örnekler distile suda 24 saat bekletildikten sonra Universal Testing Machine'de crosshead hızı 0.5 mm/min olacak şekilde shear bond testi uygulandı. Desimante olan örnekler kopma noktasının belirlenebilmesi için ışık mikroskobunda incelendi. Her bir yüzey işlemine ait ikişer adet olmak üzere toplam 20 adet örnek yarısı SEM yarısı da AFM de incelenmek aynı protokollere uygun olarak hazırlandı ve incelendi. Sonuç olarak Nd-YAG lazeri 532 dalgaboyunda en iyi pürüzlülük değeri ve bağlantı gücü elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Atomik kuvvet mikroskobu, bağlantı gücü, lazer, yüzey pürüzlülüğü, zirkonya esaslı seramik

SUMMARY

Effect of zirconium-oxide ceramic laser surface treatments on the bond strength to adhesive resin

Several conventional surface treatments have been used on zirconia ceramic surface, no study investigated the effect of Nd-YAG laser. The aim of this study is to evaluate the effect of different surface treatments of shear bond strenght between DC-Zirkon and Panavia Cement. Ninety zirconia (DC-Zirkon, DCS Dental, Germany) (5x1.5 mm) and composite (Charisma/Gluma ® Comfort® Bond, Heraeus Kulzer, Hanau, Germany) cylinders (3x3 mm)were prepared. The ceramic surfaces were polished with 1 μm diamond paste and randomly divided into nine experimental groups according to the surface treatment. Group P, control, no treatment; group SB, sandblasted with 125 μm Al_2O_3; group PL1, laser1 (532 nm, 80 mJ); group PL2, laser2 (532 nm,120mJ), group PL3, laser3 (1064 nm,80mJ); group PL4, laser4 (1064 nm, 12mJ); group SBL1, sandblast+laser1; group SBL2, sandblast+laser2; SBL3, sandblast+laser3; SBL4, sandblast+laser4. The composite resin cylinders were bonded to the treated ceramic surfaces with resin luting agent (Panavia F). After the specimens were stored in distilled water at 37^0 C for 24 hours, their shear bonding strength was tested using a universal testing machine at a crosshead speed of 0.5 mm/min. Debonded specimen surfaces were examined with a stereomicroscope to assess the mode of failure. Two specimen for each surface treatment were prepared with the same procedures and observed by scanning electron microscopy and atomic force microscopy. Nd-YAG with 532 nm wavelenght etch increased the shear bond strength between zirconium oxide ceramic and resin luting agent (Panavia F).

Keywords: Atomic force microscope, bond strenght, laser, surface rougness, zirconia based ceramic

KAYNAKLAR

ADDISON, O., MARQUIS, P. M., FLEMING, G.J.P.(2007). Resin strengthening of dental ceramics—The impact of surface texture and silane. journal of dentistry **35**:416–424

ANUSAVICE K.J. (1993). Recent developments in restorative dental ceramics. *J. Am. Dent. Assoc.*;**124**:72-4, 76-8, 80–4.

ARDLIN, B. I. (2002). Transformation-toughened zirconia for dental inlays, crowns and bridges: chemical stability and effect of low-temperature aging on flexural strength and surface structure. *Dent. Mater.***18**:590–595

ARGAMAN, M., GOLAN, R., THOMSON, N.H., HANSMA, H.G.(1997). Phase imaging of moving DNA molecules and DNA molecules replicated in the atomic force microscope. *Nucleic Acids Research.* **25**(21):4379–84.

ATSU, S.S., KILIÇARSLAN, M.A., KÜÇÜKEŞMEN, H.C., AKA, P.S. (2006). Effect of zirconium-oxide ceramic surface treatments on the bond strength to adhesive resin. *J. Prosthet. Dent.*; **95**(6):430–6.

BLATZ M.B., SADAN, A., MARTIN, J., LANG., B. (2004). In vitro evaluation of shear bond strengths of resin to densely-sintered high-purity zirconium-oxide ceramic after long-term storage and thermal cycling. *J. Prosthet. Dent.*;**91**(4):356–62.

BLATZ M., SADAN A., KERN M. (2003). Resin-ceramic bonding: a review of the literature. *J Prosthet Dent.* **89**:268–74.

BLATZ, M.B, SADAN, A., ARCH G.H.J.R., LANG B.R. (2003). In vitro evaluation of long-term bonding of Procera AllCeram alumina restorations with a modified resinluting agent. J Prosthet Dent;89:381–7.

BORGES, G.A., SOPHR, A.M., GOES, M.F., SOBRINHO, L.C., CHAN, D.C.N. (2003). Effect of etching and airborne particle abrasion on the microstructure of different dental ceramics, *J. Prosthet. Dent.* **89**:479–88.

BOURAUEL, C., FRIES, T., DRESCHER, D., PLIETSCH, R. (1998). Surface roughness of orthodontic wires via atomic force microscopy, laser specular reflectance, and profilometry. *European Journal of Orthodontics* **20**:79–92.

BRECKER S.C. (1956). Porcelain baked to gold—a new medium in prosthodontics. *J. Prosthet. Dent.* **6**:801–10.

BURKE, F.J. (1995). The effect of variations in bonding procedure on fracture resistance of dentin-bonded all-ceramic crowns *Quintessence Int.* Apr.;**26**(4):293–300.

BUTLER, E.P. (1985). Transformation toughned zirconia ceramics. *Mat. Sci. Tech.* **1**:417-32.

CHEAL, R.L., YONG, J.P. (2003). Characteristics of UV photodedector fabricated by Al0,3Ga0,7N/GaN heterostructure. *Journal of crystal growth.* **252**:51–57.

DEDERICH, D.N., BUSHICK, R.N. (2004). Lasers in dentistry. *J. Am. Dent. Assoc*. **135**:204–212.

DERAND P., DERAND T. (2000). Bond strength of luting cements to zirconium oxide ceramics. *Int. J. Prosthodont*. **13**:131–5.

DERAND, T., MOLIN, M., KVAM, K. (2005). Bond strength of composite luting cement to zirconia ceramic surfaces *Dent. Mater.* **21:**1158–1162.

DIOCIAIUTI, M., BORDI, F., MOTTA, A., CAROSI, A., MOLINARI, A., ARANCIA, G., COLUZZA, C. (2002). Aggregation of Gramicidin A in Phospholipid Langmuir–Blodgett Monolayers. *Biophysical Journal* **82**: 3198–3206.

DUNWORTH F.D. (1958). Porcelain fused to gold. *J. Prosthet. Dent.*;**8**:635–9.

FILHO, A.M., VIEIRA, L.C.C., ARAUJO, E., JUNIOR, S.M. (2004). Effect of different ceramic surface treatments on resin microtensile bond strength. *J. Prosthodont.***13**:28–35.

FISCHER H., WEBER M., MARX, R. (2003). Lifetime prediction of all-ceramic bridges by computational methods. *J Dent Res*;**82**:238-42.

FISHBANE, P.M., GAISOROWICZ, S., STEPHEN, S. T. (2003). Temel Fizik, Cilt 2, Arkadaş Yayıncılık, İstanbul, 686, 1155–1195–1209.

FOLWACZNY, M., MEHL, A., HAFFNER, C., HICKEL, R. (1998). Polishing and coating of dental ceramic materials with 308 nm XeCl excimer laser radiation. *Dent Mater* **14**:186–193.

FONT, A.F., RUÍZ, M.F.S., RUÍZ, M. G., RUEDA, C.L., GONZÁLEZ, A.M. (2006). Choice of ceramic for use in treatments with porcelain laminate veneers *Med. Oral. Patol. Oral Cir. Bucal.* **11**: 297–302.

GADELMAWLA, E.S., KOURA, M.M., MAKSOUD, T.M.A. ELEWA, I.M., SOLIMAN, H.H. (2002). Roughness parameters. *Journal of Materials Processing Technology.* **123**:133–145.

GUAZZATO, M., ALBAKRY, M., RINGER,S. P. SWAIN, M. V.(2004). Strength, fracture toughness and microstructure of a selection of all-ceramic materials. Part II. Zirconia-based dental ceramics. *Dental Mater*. **20:**449–456.

HEGEDUS, C., BISTEY, T., FLO´RA-NAGY, E., KESZTHELYI, G., JENEI, A. (1999). An atomic force microscopy study on the effect of bleaching agents on enamel surface. *Journal of Dentistry* **27**:509–515.

HONDRUM S.O. (1992). A review of the strength properties of dental ceramics. *J. Prosthet. Dent.*;**67**:859–65.

KAKABOURA, A., FRAGOULI, M., RAHIOTIS, C., SILIKAS, N**.** (2007). Evaluation of surface characteristics of dental composites using profilometry, scanning electron, atomic force microscopy and gloss-meter. *J Mater Sci: Mater Med* **18**:155–163.

KATO H, MATSUMURA H, ATSUTA M. (2000). Effect of etching and sandblasting on bond strength to sintered porcelain of unfilled resin. *J. Oral Rehabil.*; **27**:103–10.

KELLY, J.R., DENRY, (2007). Stabilized zirconia as a structural ceramic: An overview. *Dent Mater* **10**: [Epub ahead of print]

KERN M., WEGNER, S. (1998). Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dent Mater*;**14**:64–71.

KRAMER, N., LOHBAUER, U., FRANKENBERGER, R. (2000). Adhesive luting of indirect restorations. *Am J Dent;* **13**:60D–76D.

LI R., REN Y., HAN J. (2000)..Effects of pulsed Nd:YAG laser irradiation on shear bond strength of composite resin bonded to porcelain [Abstract] *Hua. Xi. Kou. Qiang. Yi. Xue. Za. Zhi.* **18**(6):377–9.

MADANI M., CHU, F.C., MCDONALD, A.V., SMALES, R.J. (2000). Effects of surface treatments on shear bond strengths between a resin cement and an alumina core. *J Prosthet Dent.* **83**:644–7.

MAGNE, P., BELSER, U. (2003). Bonded Porcelain Restorations in the Anterior Dentition: A Biomimetic Approach. Quintessence Publishing. Chapter 8.

MCLEAN J.W., HUGHES T.H. (1965). The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. *Br. Dent. J.*;**119**:251–67.

MISERENDINO, L.J., PICK, R.M. (1995). Lasers in Dentistry, Quintessence Publishing Co, Inc, Chicago, Illionis.

NAKABAYASHI, N, KOJIMA, K, MASUHARA, E. (1982). The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J. Biomed. Mater. Res.*;**16:**265–73.

OILO, M., GJERDET, R. N., TVINNEREIM, H. M. (2007). The firing procedure influences properties of a zirconia core ceramic *Dent Mater.* **10**: [Epub ahead of print]

OURA, K., LIFSHITS, V.G., SARANIN, A.A., ZOTOV, A.V., KATAYAMA, M. (2003). Surface Science. Springer, Berlin, 19-37, 159–168.

OZCAN M., VALLITTU P. K. (2003). Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics. *Dent Mater;***19**:725-31.

PACE, L.L., HUMMEL, S.K., MARKER,.V. A., BOLOURI, A. (2007). Comparison of the flexural strength of five adhesive resin cements. *J Prosthodont.***16**:18–24.

PICONI, C., MACCAURO, G. (1999). Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials* **20**: 1–25.

QUAAS, A.C., YANG, B., KERN, M. (2007). Panavia F 2.0 bonding to contaminated zirconia ceramic after different cleaning procedures. *Dent Mater.* **23**:506–512.

QUALTROUGH, A.J.E., PIDDOCK, V.(1999). Recent advances in ceramic materials and systems for dental restorations. *Dent. Update.* Mar;**26**(2):65–72.

ROSENSTIEL, S.F., LAND, M.F., FUJIMOTO, J. (2001). Contemporary Fixed Prostodontics. Third Edition: Mosby, Inc., Chapter 25.

ROSENSTIEL, S.F., LAND, M.F., CRISPIN, B.J. (1998) Dental luting agents. A review of the current literature. *J. Prosthet. Dent*. **80**:280–301.

SAYGILI, G., SAHMALI, S. (2003). Effect of ceramic surface treatment on the shear bond strengths of two resin luting agents to all-ceramic materials. *J Oral Rehabil* **30**:758–764.

SCMIDTLING, T., POHL, U.W., RICHTER, W. (2005). In situ spectroscopic ellipsometry study of GaN nucleationlayer growth and annealing on sapphire in metal-organic vapor phase epitaxy. *Journal of Appiled Physics* **98**:33522–5.

SIEGMAN, A. E. 1986). Lasers. University Science Books, 55D gate five road, Sausalito, CA, Chapter 1, Chapter 26.

SILIKAS, N., WATTS, D.C., ENGLAND, K.E.R., JANDT, K.D. (1999). Surface fine structure of treated dentine investigated with tapping mode atomic force microscopy (TMAFM). *Journal of Dentistry* **27**:137–144.

SILVEIRA, B.L.D., PAGLIA, A., BURNETT, L.H., SHINKAI, J.R.R.S.A., EDUARDO, C.D.P., SPOHR, A.M. (2005). Micro-Tensile Bond Strength Between a Resin Cement

and an Aluminous Ceramic Treated with Nd:YAG Laser, Rocatec System, or Aluminum Oxide Sandblasting. *Photomedicine and Laser Surgery* **23(**6): 543–548.

STABHOLZ, A., ZELTSER, R., SELA, M., PERETZ, B., MOSHONOV, J., ZISKIND, D., STABHOLZ, A. (2003). The use of lasers in dentistry: Principles of operation and clinical applications. *Compendium* **24**(12): 935-948

TEIXEIRA, E.C., PIASCIK, J.,R., STONER, B.R., THOMPSON, J.Y. (2007). Dynamic fatigue and strength characterization of three ceramic materials. *J Mater Sci Mater Med.* Jun;**18**(6):1219–24.

THURMOND, J.W., BARKMEIER, W.W., WILWERDING, T.M. (1994). Effect of porcelain surface treatments on bond strengths of composite resin bonded to porcelain. *J. Prosthet. Dent.*;**72**:355–9.

TINSCHERT, J., NATT, G., MAUTSCH, W., AUGTHUM, M., SPIEKERMANN, H. (2001). Fracture resistance of lithium disilicate, alumina and zirconia based three-unit fixed partial dentures: a laboratory study. *Int. J. Prodthodont.*; **14**:231–8.

TÜRKMEN, C., SAZAK, H., GÜNDAY, M. (2006). Effects of the Nd:YAG laser, air-abrasion, and acid-etchant on filling materials. *J. Oral Rehabil.* **33**(1):64–9.

VAN LANDUYT, K. L., SNAUWAERT, J., MUNCK, J., PEUMANS, M., YOSHIDA, Y., POITEVIN, A., COUTINHO, E., SUZUKI, K., LAMBRECHTS, P., VAN MEERBEEK, B. (2007). Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives *Biomaterials* **28**:3757–3785.

VALOIS, C. A., SILVA, L. P., AZEVEDO, R. B. (2005). Atomic Force Microscopy Study of Stainless-Steel and Nickel-Titanium Files. *JOE* **31(**12**):** 882-85

WEGNER, S., KERN, M. (2000). Long-term resin bond strength to zirconia ceramic. *J Adhes Dent*;**2**:139–47.

WOLFART, M., LEHMANN, F., WOLFART, S., KERN, M. (2007). Durability of the resin bond strength to zirconia ceramic after using different surface conditioning methods. *Dent Mater.* **23**:45–50.

YAMAMOTO, H., SATO, K. (1980). Prevention of dental caries by acousto-optically Q-switched Nd:YAG laser irradiation. *J Dent Res* Feb **59(**2): 137

ÖZGEÇMİŞ

I- Bireysel Bilgiler

Adı	: Eda
Soyadı	: Dörterler
Doğum yeri ve tarihi	**:** Kayseri- 09.08.1977
Uyruğu	**:** T.C.
Medeni durumu	**:** Bekar
İletişim adresi ve telefonu	**:** 4. Cad 77/5 Emek Ankara
Ev telefon	**:** 0 312 2133644

II- Eğitimi

2001-	:Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı/ Doktora
1994-2000	:Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Yüksek Lisans
1991-1994	: Özel Toros Fen Lisesi
1988-1991	: Piri Reis Ortaokulu
1982-1987	: Ahmet Baldöktü İlköğretim Okulu
Yabancı Dil	: İngilizce

III- Ünvanları

2001- 2007 **:**Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı / Doktora Öğrencisi

IV- Mesleki Deneyimler

2001- 2007 **:**Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı / Doktora Öğrencisi

V- Üye Olduğu Bilimsel Kuruluşlar

Türk Prostodonti ve İmplantoloji Derneği

VI- Bilimsel İlgi Alanları

A) Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler

1) R.S.Kurucu, A.Esendemir, A. Alaçakır **E. Dörterler** (2005) PROTETİK DİŞ HEKİMLİĞİNDE LASER KULLANIMI, UYGUN LASER CİHAZLARININ GELİŞTİRİLMESİ Türk Fizik Derneği 23. Uluslararası Fizik Kongresi 13-16 Eylül 2005 Muğla

VII- Bilimsel Etkinlikler

2006

- Diş-hekimliği Lazer Akademisi Derneği 1. Bilimsel Kongresi, 9-11 Kasım, İstanbul,Türkiye
- Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi ve Boston Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Bilimsel Toplantısı, 24–26 Kasım 2006, Ankara, Türkiye.

2005

- Türk Prostodonti ve İmplantoloji Derneği Bilimsel Toplantısı, 22-23 Ekim 2005, Ankara, Türkiye.
- **"Symposium of Implantology", 16-21 Mayıs, Boston, USA**

2004

- 28th Annual Conference of European Prosthodontic Association, 16–18 September 2004, Kuşadası, Turkey.

2003

- 13. Uludağ Sempozyumu, 12–14 Aralık 2003, Bursa, Türkiye.
- Türk Prostodonti ve İmplantoloji Derneği XIII. Bilimsel Toplantısı, 16-19 Ekim, Antalya, Türkiye

2002

- 'Management of TMJ Disorders' J. P. Okeson, Sempozyum, 17 Ekim, İstanbul, Türkiye

2001

- Türk Prostodonti ve İmplantoloji Derneği XI. Bilimsel Toplantısı, İstanbul, Türkiye