

T.C
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

**SELEKTİF LAZER SİNERİZASYON VE DÖKÜM YÖNTEMLERİ
İLE ELDE EDİLEN METAL ALTYAPILARIN LEHİMİNDE
KULLANILAN FARKLI TEKNİKLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN, ELEMENTAL İÇERİĞİNİN VE
MİKROYAPISININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dt. Ecmel Nadir BUDAK

**PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Yurdanur UÇAR**

ADANA 2015

T.C
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI

**SELEKTİF LAZER SİNERİZASYON VE DÖKÜM YÖNTEMLERİ
İLE ELDE EDİLEN METAL ALTYAPILARIN LEHİMİNDE
KULLANILAN FARKLI TEKNİKLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN, ELEMENTAL İÇERİĞİNİN VE
MİKROYAPISININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dt. Ecmel Nadir BUDAK

**PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Yurdanur UÇAR**

Bu çalışma DHF2013D3...nolu proje olarak Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir.

ADANA 2015

KABUL VE ONAY

Protetik Diş Tedavisi Doktora Programı Çerçevesinde yürütülmüş olan
“Selektif Lazer Sinterizasyon ve Döküm Yöntemleri ile Elde Edilen Metal Altyapıların Lehiminde
Kullanılan Farklı Tekniklerin Mekanik Özelliklerinin, Elemental İçeriğinin ve Mikroyapısının
Değerlendirilmesi”
adlı çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tarihi: 23 / 10 / 2015

TEZ SINAV JÜRİSİ

Doç. Dr. Yurcanur UÇAR
Çukurova Üniversitesi
Baskan

Prof. Dr. H.Öğüz YOLDAŞ
Çukurova Üniversitesi
Üye

Yard. Doç. Dr. Orhun EKREN
Çukurova Üniversitesi
Üye

Yard. Doç. Dr. Yusuf Ziya AKPINAR
İzzet Baysal Üniversitesi
Üye

Yard. Doç. Dr. M. Ali ASLAN
İzzet Baysal Üniversitesi
Üye

Yukarıdaki Tez, Yönetim Kurulunun / / tarih ve
edilmiştir.

sayılı kararı ile kabul

Prof. Dr. Behice DURGUN
Sağlık Bilimleri Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Protetik diş tedavisi eğitimim boyunca ve bu çalışma süresince, her türlü konuda gerek bilimsel altyapısı ile gerekse manevi desteği ile yanımda olan çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Yurdanur Uçar'a, ve diğer tüm bölüm hocalarıma,

Tez örneklerimin hazırlanmasında destek sağlayan Sayın Doç. Dr. Muharrem Erhan Çömlekoğlu'na, Dental labor (İzmir, Türkiye) dental protez laboratuvarlarına özellikle Sayın Elif Dağcı'ya, Mezadent (Adana, Türkiye) dental protez laboratuvarlarına,

Doktora hayatım boyunca sevinç ve üzüntülerimizi birlikte yaşadığımız tüm Protetik Diş Tedavisi Departmanı çalışma arkadaşlarıma ve her zaman yanımda olan sevgili asistan arkadaşlarıma,

Tüm hayatım boyunca yanımda olan ve maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili anneme, babama, ablama,

Protetik diş tedavisi eğitimime başladığım günden beri hayatımı güzelleştiren, sonsuz desteği ile hep yanımda hissettiğim sevgili hayat ortağım Ayça Budak'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİL BİLGİLERİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Protetik Diş Tedavilerinde Kullanılan Dental Alaşımlar	2
2.1.1. Diş Hekimliğinde Metal Alaşımların Elde Edilme Yöntemleri	3
2.1.1.1. Döküm	3
2.1.1.2. CAD/CAM ve Kopya Freze	3
2.1.1.3. Lazer Sinterizasyon	4
2.2. Sabit Protez Uygulamalarında Lehim	7
2.2.1. Geleneksel Gümüş Lehimleme	7
2.2.2. Elektrik ile Lehimleme	7
2.2.3. Lazer ile Lehimleme:	8
2.2.3.1. Lazer Kaynağın Çalışma Prensipleri	10
2.3. Metal Destekli Restorasyonlarda Kullanılacak Alaşımların Mekanik Özellikleri	13
2.3.1. Çekme ve Baskı Dayanımı	13
2.3.2. Sertlik ve Sertlik Ölçüm Yöntemleri	14
2.3.3. Darbe Dayanımı	14
2.3.4. Kırılma Dayanımı (Fracture Strength)	15
2.4. Kırık Yüzeyi İncelemesi	15
2.4.1. Makroskobik Açıdan Kırılma Tipleri	15
2.4.1.1. Gevrek Kırılma	15
2.4.1.2. Sünek Kırılma	15
2.4.2. Mikroskobik Açıdan Kırılma Tipleri	16

2.4.2.1. Klivaj (Ayrılma) Kırılması	16
2.4.2.2 Kayma Kırılması.....	17
2.4.2.3. Grenlere Göre Kırılma Tipleri	17
2.4.2.3.1. İntergranüler (Taneler Arası) Kırılma.....	17
2.4.2.3.2. Transgranüler (Taneleri Keserek) Kırılma	17
2.5. Kırık Yüzeyi İncelemesi	17
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	21
3.1. Test Düzeneğinin Hazırlanması.....	22
3.2. Örneklerin Hazırlanması.....	24
3.3. Örneklerin Kesilmesi ve Lehimlenmesi	25
3.4. Mekanik Testler	27
3.5. Kırık Yüzeyi ve Mikroyapının İncelenmesi	29
3.6. İstatistiksel Analiz.....	29
4. BULGULAR.....	30
4.1. Mekanik Testler	30
4.2. Mikroyapı (SEM) Analiz görüntüleri	31
4.2.1. Lehim Yapılmamış Lazer Altyapı Kontrol Grubu (L_{kont}).....	31
4.2.2. Lazer Sinterize Altyapı ve Geleneksel Lehim Grubu (L_{GL})	33
4.2.3. Lazer Sinterize Altyapı ve Lazer Lehim Grubu (L_{LL})	36
4.2.4. Geleneksel Döküm ile Elde Edilen Lehim Yapılmamış Kontrol Grubu (D_{kont})	39
4.2.5. Döküm Altyapı ve Geleneksel Lehim Grubu (D_{GL})	41
4.2.6. Döküm Alt Yapı ve Lazer Lehim Grubu (D_{LL}).	43
4.3. Elementel İçerik Analizi Sonuçları.....	44
5. TARTIŞMA.....	49
6. SONUÇLAR.....	58
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	64

ŞEKİL BİLGİLERİ

Şekil 2.1.	Seçici lazer sinterlemenin şematik bir ilüstrasyonu.....	6
Şekil 2.2.	Lazer nokta kaynağı ve lazer nüfuziyet kaynağı ilüstrasyonu	12
Şekil 2.3.	Çekme dayanımı deney düzeneği ilüstrasyonu ve kuvvet/uzama grafiği	13
Şekil 3.1.	Standart prepare edilmiş akrilik dişler	23
Şekil 3.2.	Alçı model	23
Şekil 3.3.	Mekanik testlerde kullanılan metal düzenek	24
Şekil 3.4.	Lehim prosedürüne hazır hale getirilmiş örnekler.	25
Şekil 3.5.	Silikon indeksin hazırlanması.....	26
Şekil 3.6.	Lehim Boşluklarının Hazırlanması.....	26
Şekil 3.7.	Patern Rezinlerin Standart polimerizasyonunun sağlanması	27
Şekil 3.8.	3 nokta bükme testi ilüstrasyonu	28
Şekil 3.9.	Üniversal Test Cihazı (Testometric).....	28
Şekil 3.10.	3 nokta bükme testi düzeneği	29
Şekil 4.1.	L_{kont} örneğine ait $\times 35$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü.	31
Şekil 4.2.	L_{kont} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.1'deki 1 numaralı kırılma sahası)	32
Şekil 4.3.	L_{kont} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.1'deki 2 numaralı kırılma sahası)	32
Şekil 4.4.	L_{kont} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.1'deki 3 numaralı kırılma sahası)	33
Şekil 4.5.	L_{GL} örneğine ait $\times 33$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü.	34
Şekil 4.6.	L_{GL} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.5'deki 1 numaralı kırılma sahası)	34
Şekil 4.7.	Lazerle Sinterize CoCr ve geleneksel lehim (L_{GL}) örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.5'deki 2 numaralı kırılma sahası).....	35
Şekil 4.8.	L_{GL} örneğine ait $\times 2000$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.5'deki 3 numaralı kırılma sahası)	35
Şekil 4.9.	L_{GL} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.5'deki 4 numaralı kırılma sahası)	36
Şekil 4.10.	L_{LL} örneğine ait $\times 35$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü.	37
Şekil 4.11.	L_{LL} örneğine ait $\times 1000$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.10'daki 1 numaralı kırılma sahası)	37
Şekil 4.12.	L_{LL} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.10'daki 2 numaralı kırılma sahası)	38
Şekil 4.13.	L_{LL} örneğine ait $\times 2000$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.10'daki 3 numaralı kırılma sahası)	38

Şekil 4.14.	D_{kont} örneğine ait $\times 35$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü.....	39
Şekil 4.15.	D_{kont} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü.....	40
Şekil 4.16.	D_{kont} örneğine ait $\times 1000$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü.....	40
Şekil 4.17.	D_{kont} örneğine ait $\times 2000$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü.(Şekil 4.14'deki 3 numaralı kırılma sahası)	41
Şekil 4.18.	D_{GL} örneğine ait $\times 33$ büyütmede elde edilen kırık yüzey görüntüsü.....	41
Şekil 4.19.	D_{GL} örneğine ait $\times 500$ büyütmede elde edilen kırık yüzey görüntüsü. (Şekil 4.18'deki 1 numaralı kırılma sahası)	42
Şekil 4.20.	D_{GL} örneğine ait $\times 1000$ büyütmedeki kırık yüzey görüntüsü. (Şekil 4.18'deki 2 numaralı kırılma sahası)	42
Şekil 4.21.	D_{LL} örneğine ait $\times 33$ büyütmede elde edilen kırık yüzey görüntüsü.	43
Şekil 4.22.	D_{LL} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü. (Şekil 4.21'deki 1 numaralı kırılma sahası)	43
Şekil 4.23.	D_{LL} örneğine ait $\times 1000$ büyütmede elde edilen kırık yüzey görüntüsü. (Şekil 4.21'deki 2 numaralı kırılma sahası).....	44
Şekil 4.24.	L_{GL} lehim alanı EDS analizi sonucu	46
Şekil 4.25.	L_{LL} lazer altyapı alanı EDS analizi sonucu.....	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1.Dental alaşımların ISO sınıflandırması.....	2
Çizelge 2. 2.Tabakalı üretim tekniklerine genel bir bakış	5
Çizelge 3. 1.Örnek dağılımını gösteren şema	21
Çizelge 3. 2.Çalışmada kullanılan alaşımların elemental yüzde içerikleri.....	22
Çizelge 4. 1.Üç nokta bükme testi sonuçları.....	30
Çizelge 4. 2.EDS analizine göre ortalama % ağırlık değerleri.....	45

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

DMLS	: Doğrudan Lazer Teknolojisi ile Metal Sinterizasyon
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	: Electron Dispersive Spectroscopy
MPa	: Megapascal
NiCr	: Nikel Krom
CoCr	: Kobalt Krom
ISO	: Uluslararası standardizasyon orginasyonu
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	: Bilgisayar Destekli Üretim
PMMA	: Polimetilmetakrilat
SLS	: Seçici Lazer Sinterizasyon
SLM	: Seçici Lazer Ergitme
DTM	: Masaüstü Üretim
LM	: Tabakalı Üretim
µm	: mikrometre
Ag	: Gümüş
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
Nd	: Neodmiyum
YAG	: Yttriyum Alüminyum Garnet Kristalleri
CO₂	: Karbondioksit
ms	: milisaniye
mm	: milimetre
eV	: Elektronvolt
nm	: nanometre
Mo	: Molibden
Si	: Silisyum
W	: Tungsten
Fe	: Demir
Wt	: Ağırlık Yüzdesi

ÖZET

Selektif Lazer Sinterizasyon Ve Döküm Yöntemleri İle Elde Edilen Metal Altyapıların Lehiminde Kullanılan Farklı Tekniklerin Mekanik Özelliklerinin, Elemental İçeriğinin Ve Mikroyapısının Değerlendirilmesi

Selektif lazer sinterizasyon (SLS) teknolojisi metal seramik restorasyonlar için metal altyapı üretimi sağlar ve geleneksel döküm yöntemine göre birçok avantajı vardır. Döküm işlemi için laboratuvar aşamalarında yapılan hatalar, prepare diş ve restorasyon arasında uyumsuzluğa neden olabilir. Bu durumda, metal altyapılar kesilmeli ve lehimlenmelidir.

Metal altyapıların birleştirilmesinde, lazer lehim ve geleneksel lehim yöntemleri kullanılmaktadır. Geleneksel lehim sırasında kullanılan yüksek ısının protetik restorasyona zarar verme ihtimali olabilir. Günümüzde lazer lehim, uygulama tekniğinin kolaylığı, zaman tasarrufu ve çevre dokulara verilen zararı engellemesi gibi nedenlerle popüler hale gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı, SLS ve geleneksel yöntem ile üretilen 3 üyeli metal altyapılara uygulanan SLS lehim ve geleneksel lehimin mekanik ve metallurjik özelliklerini karşılaştırmaktır. Çalışmanın hipotezi ise lazer lehim ve geleneksel lehim metodları arasında mekanik ve metallurjik fark yoktur şeklinde belirlenmiştir.

SLS (n=45) ve geleneksel döküm (n=45) metodları kullanılarak, üst çene 1. premolar, 2. premolar ve 1. molar dişleri içeren 3 üyeli metal altyapılar 2 grup halinde üretildi. Her üretim metodundaki örnekler lazerle lehim, geleneksel lehim ve lehimsiz (kontrol) olacak şekilde 3 gruba ayrıldı (n=15). Lehim gruplarındaki örnekler 1. ve 2. premolar dişler arasından ayrıldı. Lehim boşluklarının boyutu 2mm×3mm×1mm olacak şekilde standardize edildi. Lehimlenen örnekler üzerine universal test cihazında 3 nokta bükme testi (0,5mm/min) uygulandı. İstatistiksel analizler için 2 yönlü-ANOVA ve Tukey-HSD ($\alpha=0,05$) testleri kullanıldı. Metal altyapıların kırık yüzeyleri optik ve taramalı elektron mikroskopları (SEM) kullanılarak incelendi. Kırık yüzeylerin elemental içeriği enerji dağıtıcı x-ray spektroskopisi (EDS) analizi ile değerlendirildi.

SLS metal altyapılar için ortalama kırılma dayanımı geleneksel lehim grubunda ($1334,3 \pm 547,1$ MPa) lazer lehim grubuna ($881,7 \pm 572,8$ MPa) göre daha yüksek çıkmıştır ancak 2 grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark ($p>0,05$) bulunmamıştır. Geleneksel döküm yöntemi ile hazırlanan metal altyapılar için ortalama kırılma dayanımı geleneksel lehim grubunda ($2899,6 \pm 1801,2$ MPa), lazer lehim grubuna göre ($2039,3 \pm 767,8$ MPa) daha yüksek çıkmıştır ancak 2 grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark ($p>0,05$) bulunmamıştır. SLS ($19330,6 \pm 2405,7$ MPa) ve geleneksel döküm ($4268,5 \pm 1506,1$ MPa) kontrol gruplarının ortalama kırılma dayanımı, lehim uygulanan gruplara göre istatistiksel olarak anlamlı şekilde yüksek çıkmıştır ($p<0,05$). Kontrol grupları arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$).

Optik mikroskop ve değişik büyütme ölçeklerindeki SEM görüntüleri ve mekanik özellikler birbirleri ile uyum göstermiştir. Lehim bağlantıları kırık yüzeylerinin yalnızca çevresel alanlarında gözlemlenmiş olup, merkez alanlardaki integrasyon

eksikliğinin, tüm lehim gruplarındaki kırılma dayanımını azalttığı düşünölmektedir. İ tabakalarda, geleneksel lehimleme yapılan gruplarda dendritik mikroyapılar gözlenirken, lazer lehim gruplarda dendritik ve taneli mikroyapı beraber gözlenmiştir.

Sonuç olarak her iki lehimleme tekniğinde de, lehim metotları metal altyapıların kırılma dayanımını azaltmaktadır. Bu yüzden klinik olarak kıymetsiz metal altyapıların lehimleme işleminden kaçınılmalıdır.

Anahtar Sözcükler: Lehim, Lazer, Geleneksel, Döküm, Sinterizasyon

ABSTRACT

The Evaluation of Mechanical Properties, Elemental Composition and Microstructure Of Different Soldering Techniques Conducted On Selective Laser Sintering And Conventional Cast Metal Substructures.

Selective laser sintering (SLS) technique enables the production of metal sub-structure for the metal-ceramic restorations and creates an alternative to conventional techniques with many advantages. Errors or misfit can occur during casting procedures in the laboratory which may lead to a mismatch between prepared teeth and restorations. In this case, metal substructures must be sectioned and soldered.

Either laser soldering or conventional soldering is preferred for joining metal substructures. Conventional solder can damage the prosthetic restoration due to heat. Recently, laser soldering became popular because of simplified technique and relatively short processing time in order to avoid damaging of surrounding structures.

The aim of this study was to compare mechanical and metallurgical properties of selective laser sintered (SLS) soldering vs. conventional soldering conducted on both SLS and conventionally cast 3 unit metal frameworks. The null hypothesis was: there will be no mechanical and metallurgical differences between laser soldering and conventional soldering methods.

Two groups of 3 unit CoCr metal frameworks including maxiller 1st premolar, 2nd premolar and 1st molar were prepared using SLS (n=45) and conventional casting (n=45) methods. Specimens in each manufacturing method were further divided in 3 subgroups (n=15); SLS soldered, conventionally soldered and non-soldered control-groups. Specimens in soldered groups were separated between 1st and 2nd premolars. The size of the separation-gap was standardized as 2mm×3mm×1mm. Three-point-bending tests were carried out on stainless-steel molds using universal testing machine at a crosshead speed of 0,5mm/min. 2-way-ANOVA followed by Tukey-HSD test ($\alpha=0,05$) was used for statistical analysis. Fracture surface of metal frameworks were evaluated using optical and scanning electron microscopes (SEM). Elemental composition of fracture surfaces were evaluated using energy dispersive x-ray spectroscopy (EDS).

For SLS metal substructures, the mean fracture strength of the conventionally-soldered group ($1334,3 \pm 547,1$ MPa) was higher than that of laser-soldered group ($881,7 \pm 572,8$ MPa), but there was no statistically significant difference ($p>0,05$) between the 2 groups. For conventionally cast substructures, the mean fracture strength of the conventionally-soldered group ($2899,6 \pm 1801,2$ MPa) was higher than that of laser-soldered group ($2039,3 \pm 767,8$ MPa) but there was no statistically significant difference ($p>0,05$) between the two groups. The mean fracture strength of both SLS ($19330,6 \pm 2405,7$ MPa) and conventionally-cast ($4268,5 \pm 1506,1$ MPa) control groups were statistically significantly higher than the soldered groups ($p<0,05$). A statistically significant difference was found between the control groups as well ($p<0,05$).

Optical microscope and varying magnifications of SEM images were in accordance with the mechanical properties. Soldered surfaces were observed only on the peripheral of the fracture surface where no integration was observed on the center yielding decreased fracture strength in all soldered groups. Dendritic microstructure was observed in conventionally-soldered groups and laser-soldered groups showed a combined microstructure including both grains and dendritic microstructure in the inner layers.

No matter of what soldering thechnique is used, soldering methods decrease the fracture strength of metal frameworks. Therefore, soldering of base metal frameworks should be avoided.

Key Words: Soldering, Laser, Conventional, Cast, Sintering

1. GİRİŞ

Diş hekimliğinde yüz yılı aşkın süredir sabit restorasyon yapımında kullanılmakta olan ve Dr. Taggart tarafından diş hekimliğine 1907’de tanıtılan döküm tekniğinde, kullanım kolaylığı ve biyouyumluluğu nedeni ile altın alaşımları ilk tercih edilen materyaller olmuştur. Üstün biyolojik özellikleri ve döküm kolaylığına rağmen altının yüksek maliyeti nedeni ile kobalt-krom (CoCr) ve nikel-krom (NiCr) gibi alternatif metallere ihtiyaç duyulmuştur. Sabit protetik restorasyonlarda kıymetsiz metallerin kullanılması daha ekonomik restorasyonların yapılmasını sağlamıştır¹.

Kayıp mum tekniği ile hazırlanacak döküm restorasyon için ölçü aşamasından sonra teknisyen tarafından dikkatlice dökülmüş olan model pindex yöntemi ile hazırlanır. Mum modelaj, revetmana alma ve mum atımı işlemlerini takiben restorasyonun dökümü yapılır. Bu aşamalar teknik açıdan hassastır, uygulayan kişinin tecrübesine bağlıdır ve zaman alır².

Hekim hataları ve laboratuvarında yapılan işlemler sonrası oluşabilecek değişime bağlı olarak kron ile prepare dişler arasında pasif uyumun sağlanamaması durumunda metal altyapıların kesilerek tekrar lehimle birleştirilmesi gerekmektedir³.

Diş hekimliğinde metallerin birleştirilmesinde birçok teknik kullanılmaktadır, ancak en fazla geleneksel lehim (gaz lehim) ve lazer lehim tercih edilmektedir⁴. Geleneksel lehimin protetik restorasyonlarda ısıya bağlı harabiyet yapabilmesi nedeniyle, akrilik rezin ve porselen gibi çevre yapılara zarar vermeyen lazer lehimin popülerliği artmaya başlamıştır. Ayrıca basit ve kısa zamanda yapılabilmesi de tercih edilme nedenleri arasındadır^{4,5}.

Bu tez çalışmasının amacı, lazer sinter yöntemi ile elde edilen 3 üye metal alt yapı protezler ile geleneksel döküm yöntemi ile elde edilen metal alt yapı protezlerin geleneksel lehim yöntemi ve lazer ile lehimlenmesi neticesinde metalografik ve mekanik özellikleri ile elemental içeriklerinin karşılaştırılmasıdır. Tez çalışması geleneksel lehim yöntemi ve lazer lehim yöntemi arasında mekanik, metalografik ve içerik açısından bir farklılık olmayacağı hipotezine dayanmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Protetik Diş Tedavilerinde Kullanılan Dental Alaşımlar

Dental alaşımların sınıflandırılmasında birçok farklı sınıflama mevcuttur. Uluslararası standartlar organizasyonu (ISO)'nun sınıflamasına göre diş hekimliğinde kullanılan alaşımlar Çizelge 2.1'de de gösterildiği gibi 6 gruba ayrılır

Çizelge 2. 1. Dental alaşımların ISO sınıflandırması

TİP	KULLANIM ALANI	ÖRNEK	YIELD DAYANIMI(MPa)	UZAMA(%)
0	Düşük stres, tek diş sabit restorasyonlar (küçük)	Küçük tek yüzey inlay	-	-
1	Düşük stres, tek diş sabit restorasyonlar	Minimum okluzal yük altındaki tek kron	80	18
2	Tek diş sabit restorasyonlar	Normal okluzal yük altındaki tek kron	180	10
3	Çoklu diş, sabit restorasyonlar	Sabit bölümlü protez (köprü)	270	5
4	Yüksek kuvvet altındaki ince bölümler	Hassas bağlantı	360	2
5	Yüksek sertlik ve yüksek stres	Hareketli bölümlü protez kroşeleri	500	2

2.1.1. Diş Hekimliğinde Metal Alaşımların Elde Edilme Yöntemleri

2.1.1.1. Döküm

1907 den bu yana dental restorasyonların hazırlanmasında Dr. Taggart tarafından bulunan “kayıp mum tekniği” kullanılmaktadır. Kayıp mum tekniği ile hazırlanacak döküm restorasyon için diş hekiminin ölçü alması gerekir. Ölçü seansı ise anestezi ve retraksiyon işlemleri sebebi ile hasta ve hekim açısından sıkıntı yaratan aşamalardır. Ölçü aşamasından sonra teknisyen pindex yöntemini kullanarak model hazırlar. Mum modelaj, rövetmana alma ve mum atımı işlemlerini takiben restorasyonun dökümü yapılır. Son olarak elde edilen döküm kronların tesviye ve polisajları yapılır⁶.

Metal seramik restorasyonlarda porselen fırınlama siklusları sırasında metal altyapıda deformasyonların olmaması için alaşımın yüksek erime sıcaklığına sahip olması gerekir. Metal altyapılarda görülebilen döküm hataları; 1. Tek parça dökümlerin proksimal alanlarında porozite olması, 2. Dökülmüş kitle içinde porozite olması, 3. Dökümün kırılğan olması, 4. Metal alt yapıların oksidasyonu veya gazdan arındırma işleminden sonra döküm üzerinde korozyon direnci düşük bölgelerin olması ve 5. Gaz çıkarma/oksidasyon sırasında döküm alt yapının deforme olmasıdır. Dökümden sonra metal altyapı üzerine işlenen porselende döküm işlemine bağlı olarak oluşan problemler; 1. Çatlaklar ve porselenin metal altyapıdan ayrılması, 2. Metal oksit tabakasındaki uyumsuzluk nedeni ile seramik ile metal arasında istenen bağlantının oluşamaması ve 3. Renk değişikliğidir^{7,8}.

Döküm yöntemi esnasında karşılaşılan bütün bu başarısızlıklar neticesinde, klinik uygulamalarda ya metallerin balanssızlık gösterdiği bölgeden kesilerek lehimlenmesi ya da döküm işleminin tekrar edilmesi gerekmektedir. Geleneksel lehimleme işlemlerinin çok aşamalı olması ve el hassasiyeti gerektirmesi yeni yöntem arayışına neden olmuştur.

2.1.1.2. CAD/CAM ve Kopya Freze

Günümüzde sabit restorasyonların hızlı üretiminde bilgisayar destekli tasarım-bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) teknolojisine sahip birçok sistem kullanılmaktadır. Seramik restorasyon yapımında CAD/CAM veya diğer makineler ile

hızlı üretim tekniklerinin kullanılması iki önemli fırsat sağlamıştır. Birincisi; bu sistemlerin dental laboratuvarlarda teknisyen tarafından seramik yığılmasını ortadan kaldırması ve ikincisi ise buna bağlı olarak mikroyapısındaki değişiklikleri azaltmasıdır. Kopya-milleme yönteminin metal alt yapı üretiminde kullanılması ise oldukça yeni ve hızlı bir üretim sistemidir.

Kopya milleme, CAD yöntemi ile tarama ve tasarım yapıldıktan sonra metal bir ingottan 4 veya 5 eksenle aşındırma yaparak metal üniteler elde eden yeni bir yöntemdir. Bu sistem ile CoCr gibi ağır metaller, titanyum gibi döküm prosedürü problemlili olan metaller, PMMA ve seramikler işlenebilmektedir^{8,9}. Literatürde bu konuyla ilgili yapılmış yeterli araştırma olmamakla birlikte Açıkalin ve ark'nın internal yapıştırma aralığı ve marjinal aralığı değerlendirdiği çalışmada geleneksel döküm yönteminin kopya milleme yöntemine göre daha olumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ancak bunun klinik olarak değerlendirilmesi gerektiği sonucu belirtilmiştir⁸. Bu sonuçlar ışığında farklı hızlı üretim teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

2.1.1.3. Lazer Sinterizasyon

Üç boyutlu lazer kaplama teknolojisinin de öncüsü olan ve seçici lazer sinterleme (Selektif Lazer Sintering, SLS veya Direct Metal Laser Sintering, DMLS) ve seçici lazer ergitme (Selektif Lazer Melting, SLM) sistemlerinin kavramlarını tanımlayan Ciraud, 1977 yılında Household patentlerini almıştır¹⁰. Deckard'ın 1986'da Teksas Üniversitesi'nde yaptığı çalışma 1992 yılında ortaya çıkarılan ilk masaüstü üretim (Desktop Manufacturing, DTM) makinesi ile sonuçlanmıştır. Deckard geliştirdiği sistemi ilk olarak nesnelerin seçici sinterleme ile tabakalı oluşturulması (Part Generation by Layerwise Selective Sintering, PGLSS) olarak adlandırmış ardından bu ismi seçici lazer sinterleme olarak değiştirmiştir¹¹.

1980'li yılların ortalarında ve 1990'lı yılların başında gelişmeye başlayan hızlı prototipleme çalışmaları üretimin her aşamasında hızla gelişmiştir. 90'lı yıllarda SLS ve SLM sistemlerinin bulunması ile metal tozlarından tabakalı parça imalatına geçilmiştir. Lazer ergitme yönteminde toz malzeme ergitilerek, tozların birbirine bağlanması sağlanmaktadır. Bu teknolojiler önce prototip, daha sonra seri üretim tekniğinde günümüze kadar başarı ile kullanılmıştır.

Tabakalı üretim (Layer Manufacturing, LM), diğer adı ile hızlı prototipleme, tekniklerinin yaklaşık 30 yıllık bir tarihçesi mevcuttur. Bu teknikler CAD ile üretilen üç boyutlu katı modellerden, doğrudan, tabaka-tabaka fiziksel modeller üretirler¹²⁻¹⁴.

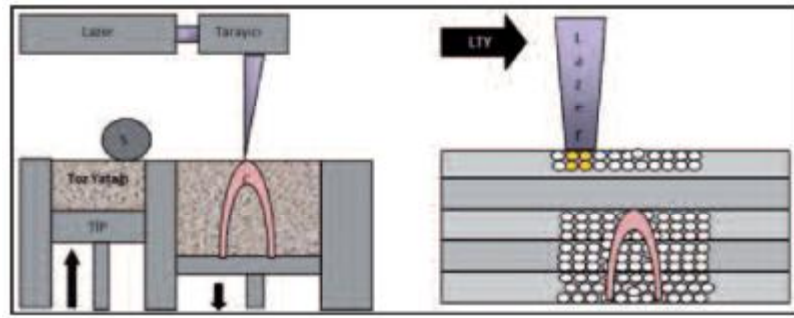
Hızlı prototipleme (Rapid Prototyping), 3-boyutlu (3D) CAD tasarımı yapılan numunelerin tasarımıdaki hatalarını görmek veya kullanıma uygunluğunu tespit etmek için hızlı imalat teknolojisi sonucu oluşan prototip üzerinde inceleme yapmaya imkan sağlamıştır. Son yıllarda gelişen teknoloji ile SLS ve SLM makineleri, prototip anlayışını kırarak doğrudan üretim olanağı sunmuştur¹⁵.

Çizelge 2. 2. Tabakalı üretim tekniklerine genel bir bakış¹⁶

İsim	Kısaltma	Gelişim Yılları
Stereolitografi (Stereolithography)	SLA	1986-1988
Katı Zemin Kürü (Solid Ground Curing)	SGC	1986-1988 1999 yılında kaybolmuştur
Tabakalı Nesne Üretimi (Laminated Object Manufacturing)	LOM	1985-1991
Eriyik Biriktirme Modellemesi (Fused Deposition Modelling)	FDM	1988-1991
Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering)	SLS	1987-1992
3-Boyutlu Baskı (3D Printing)	3DP	1985-1997
Selective Laser Melting	SLM	1986- 1995

Hızlı üretim, gerçek üretim parçaları (son ürün) olan ve çeşitli temel gereklilikleri sağlayan fonksiyonel parçaların üretilmesi anlamına gelir¹⁷. **Hızlı aletleme** hızlı üretimin alt kategorisi olarak değerlendirilebilir. Bu terim tabakalı üretim teknolojisi ile üretilen fonksiyonel alet parçaları için kullanılmaktadır^{18,19}.

Seçici Lazer Sinterleme, lazer enerjisi kullanılarak gerçekleştirilen tabakalı üretim tekniklerindendir. Bu sistemde alaşım tozu bir yatak üzerine yığılır (Şekil 2.2). Toz yatağının üzerinden geçen bir silindir ya da seviyeleme sistemi yardımı ile toz yatağına sabit kalınlıkta alaşım tozu yerleştirilmesi sağlanır. Toz alaşım katmanının kalınlığı 20-100 μ m aralığındadır. Galvano aynaların rehberlik ettiği lazer demeti üretilecek cismi oluşturmak üzere her tabakadan sonra toz yatağını tarar. Üç boyutlu obje tamamlanana kadar bu döngü devam eder¹².



Şekil 2. 1. Seçici lazer sinterlemenin şematik bir ilüstrasyonu

Seçici Lazer Eritme, kullanılan teçhizat yönünden seçici lazer sinterleme metoduna benzer. Fakat seçici lazer eritmede kullanılan yüksek enerji alaşım tozunun tamamen erimesine neden olur. Bu sebeple, seçici lazer eritmede yoğunluğu daha yüksek parçalar üretilebilir^{20,21}. SLM yöntemi ile tam yoğunlukta parçalar üretilebilmektedir, fakat doğru işlem kontrolü sağlanmadığında, üretilen parçalarda yüksek iç gerilimler ve zayıf yüzey bitimi meydana gelir. Bunun sebebi işlem esnasında oluşan yüksek sıcaklık değişimleridir²². SLM işleminde arzu edilmeyen bir diğer durum toz yatağının yüksek enerji yoğunluğuna maruz kalması ile birlikte gelişen buharlaşma ve aşırı basınçtır²³.

Üç Boyutlu Lazer Kaplama (3-D laser cladding)'da ise bir toz yatağının içinde materyalin kaynaştırılmasından ziyade, toz küçük kanallardan temin edilir. Toz genellikle lazer demetine dik gelecek şekilde verilir. Geleneksel yöntemlerle işlenmiş materyallerin mekanik özelliklerine ve yoğunluğuna yakın veya bu materyallerden daha üstün olan parçaların üretimi sağlanmış olur^{12,23}.

2.2. Sabit Protez Uygulamalarında Lehim

Lehimleme; iki komşu metal yüzeyin ara doldurucu materyal kullanılarak veya kullanılmadan birleştirilme işlemidir. Bu işlemde doldurucu metal birleştirilecek yüzeylerden daha düşük erime noktasına sahip olmalıdır. Lehimleme işleminde ara materyal olarak kullanılan metal elementleri, hem birleştirilen komşu yüzeylerden doldurucu metale doğru hem de tam tersi olacak şekilde akarlar ve bu şekilde iki komşu materyal lehimlenmiş olur⁴. Diş hekimliğinde üç temel lehimleme metodu bulunmaktadır. Bunlar;

2.2.1. Geleneksel Gümüş Lehimleme

Komşu metallerin farklı tipte metaller kullanarak 450°C'nin üzerinde birleştirme işlemidir²⁴. Lehimleme işlemi için, 660°C'lik erime noktasına sahip %5 gümüş (Ag), %16 bakır (Cu), %24 çinko (Zn), %25 krom (Cr) ve %30 nikel (Ni) içeren küçük barlar ara materyal olarak kullanılmaktadır. "Torç" aletinin kullanımıyla, komşu metallerin lehimlenmesi için gerekli olan hidrojen-oksijen gazı elektrokimyasal olarak elde edilmektedir. Geleneksel gümüş lehimlemenin temel problemleri; galvanik korozyon, düşük biyouyumluluk ve lehim boşluklarından oluşabilecek düşük mekanik dayanıklılıktır. Lehim aralığında oluşan boşluklar ve düşük korozyon direnci özelliklerinden ötürü yeni alternatif tekniklere ihtiyaç duyulmuştur. Ancak maliyetinin uygun olması ve ayrı bir cihaz gerektirmemesinden ötürü diş hekimliği alanında halen en sık uygulanan lehimleme metodudur²⁵.

2.2.2. Elektrik ile Lehimleme

Bu teknikte "noktasal eritme ünitesi" lehimlenecek materyaller karbon ile bakır elektrodlar arasında tutulur. Bu elektrodlar arasından geçen elektrik akımı, lehimlenecek materyallerin direkt olarak ısınmasına ve doldurucu lehim ara materyalinin eriyip akmasına neden olur²⁴. İki malzemenin birleştirilmesi için gerekli olan ısı, malzeme ile kaynak elektrodu arasında yaratılan yüksek elektrik akımı ile sağlanmaktadır. Bu elektrik akımı çeşitli nedenlerle malzeme birleşme noktasına odaklanamadığı için malzeme üzerine, enerjinin çok daha fazlası uygulanmak zorunda kalınmaktadır. Uygulanan yüksek miktarda enerji malzeme üzerinde gereksiz ısınmalara neden olur. Bu nedenle kaynak hızı düşmekte ve yüzeyin aşırı ısınması, malzeme özelliklerini

bozmaktadır. Elektrik lehimleme, diş hekimliğinde çok fazla tercih edilen bir yöntem değildir.

2.2.3. Lazer ile Lehimleme:

En güncel lehimleme tekniğidir. Lehim bölgesinde ısı konsantrasyonu oluşturarak metalin bölgesel olarak erimesine olanak sağlamaktadır. Dental alaşımların lehimlenmesinde lazer ışınlarının salınması için neodmiyum (Nd) ile güçlendirilmiş yttriyum alüminyum garnet kristalleri (YAG) kullanılmaktadır²⁶. Kullanılan radyasyonun dalga boyu uzunluk aralığı 1064 nm ile sınırlıdır^{27,28}.

Lazer ile lehimleme diş hekimliğinde kullanılan diğer geleneksel lehimleme seçeneklerine göre çok sayıda avantaja sahiptir ve bu nedenlerden ötürü kullanımı giderek artmaktadır. Bu avantajlar;

1. Etkin çalışmanın sağlanabilmesi ve zamandan tasarruf,
2. Prosedürün direkt olarak modeller üzerinde uygulanabilmesi ve böylece modelin kopyalanmasından ötürü oluşabilecek muhtemel distorsiyondan kaçınılması^{29,30}.
3. Ara materyal kullanmadan birleştirme gerçekleştiği için korozyona dirençli yüzey
4. Homojen yapı sağlanabilmesi,
5. Yüksek mekanik dayanıklılık,
6. Isıdan küçük bir alanın etkilenmesi
7. Daha düşük deformasyon,
8. Revetman modele ihtiyaç duymaması
9. Plastik ve seramik materyallere yakın bölgelerde çalışılabilmesi,
10. Kırılmış apareylerin tamirine olanak sağlayabilmesidir²⁹⁻³¹.

Lazer lehim günümüzde otomotiv sanayinde, hava ve uzay teknolojilerinde, ağır endüstri materyallerinin lehimlenmesinde, elektronik alanında ve medikal endüstride metallerin birleştirilmesi işlemlerinde kullanılırlar. Metal işçiliğinde katı lazerler ve gaz lazerler olmak üzere iki temel lazer kullanılır. Katı lazer olarak ruby lazer ve Nd:YAG (neodymium yttrium aluminium garnet) lazer, gaz lazer olarak CO₂ lazer kullanılmaktadır^{32,33}. Aktif ortam olarak CO₂ lazerlerde CO₂; Nd:YAG lazerlerde ise az

miktarda neodimyum katkılı yitrium-aluminyum-garnet kristali kullanılmaktadır³⁴. Diş hekimliğinde lehimleme işlemlerinde ise Nd:YAG lazer ve CO₂ lazer sıklıkla hareketli bölümlü protez parçalarının bağlanmasında, kırılan parçaların onarımında, implant üstü protez parçalarının birleştirilmesinde, implant abutment modifikasyonunda, manyetik tutucuların lehimlenmesinde ve hassas tutucuların iskelete montesinde kullanılmaktadır^{33,35}. Diş hekimliğinde kullanılan lazer lehimin diğer lehimleme işlemlerine göre kolay, temiz ve hızlı olması, distorsiyonun minimal olması, lehimleme sırasında rövetmana almaya gerek duyulmaması, maliyetinin düşük olması ve ısıdan etkilenen alanın küçük olması tercih edilme sıklığını arttırmaktadır^{36,37}.

Lazer lehimin metaller üzerindeki etkisi metalin optik özelliklerine bağlıdır. Yüksek yansıtma özelliğine sahip metallerin ışınları emebilme özellikleri daha zayıftır. Lehimleme için kullanılan Nd:YAG lazerler için baz alaşımların abzorbsiyon özellikleri soy alaşımlara göre daha yüksektir. Lazer lehimin etkileri lehimlenecek metalin ışınları abzorbsiyon derecesine, termal iletkenliğine ve yüzey özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Nd:YAG lazerlerin etki edeceği bölgedeki koyu pigmentlere karşı afinitesi vardır³⁴. Metalin termal iletkenliğinin düşük olması ve yüzeyinde oluşan oksit tabakasının varlığı lazer ışınlarının abzorbsiyonunu arttırmaktadır^{28,38}. Araştırmalarda kullanılan baz alaşımların termal iletkenliği soy alaşımlara göre daha düşüktür ve yüzeylerinde oksit tabakası daha yüksek oranda bulunmaktadır. Dolayısıyla baz alaşımların lazer ışınlarını abzorbsiyon miktarı soy alaşımlara göre daha yüksektir.

Lazer lehimin atım süresi lehimin gerçekleşmesi için gönderilen sinyal zamanının uzunluğunu ifade eder. Lehim derinliğini arttırmak için lazer ışınının aynı noktaya uzun süre konsantre olması termal iletkenliğin düşük olmasından bağımsızdır ancak atım süresinin artması distorsiyon artefaktlarına ve alaşım elemetlerinde buharlaşmaya neden olur. Lazer lehimlemede termel iletkenliği yüksek olan (altın) alaşımlar kullanıldığında atım süresi azaltılmalıdır. Atım süresi uzadıkça lehim derinliği artar ancak ısıdan etkilenen alanlar genişler ve lehim alanlarında termal genleşme yayılabilir³⁹.

Lazer ışını oldukça kuvvetli ve doğrusaldır. Yüksek enerjili ışının odaklama miktarı aynalar ve lensler ile ayarlanabilmektedir. Bu enerji 0,5-20 ms gibi çok kısa bir zamanda oluşur⁴⁰. Odak noktası boyutu 0,2 mm ile 13 mm arası ayarlanabilir. Küçük odak noktası lehimleme ve kesme işlemlerinde, geniş odak noktası ise ısıtma

işlemlerinde kullanılmaktadır. Lehimleme işlemlerinde yüzeye uygulanan lazer ışını metali ergime derecesine kadar yükseltir. Çalışılan parçanın optik kaviteye olan uzaklığı pek önemli değildir. Yakın veya uzak olması durumunda lazerin enerji miktarında çok değişiklik olmaz. Diğer lehimleme işlemlerinde oluşan ısıdan etkilenen alan (heat effected zone) lazer lehimlemede görülmez⁴¹.

2.2.3.1. Lazer Kaynağın Çalışma Prensipleri

Lazer ışını genel olarak bir maddenin dışarıdan verilen uyarıcı bir etki ile uyarılarak, etrafa foton yayması sağlanarak elde edilir. Yayılan bu fotonların bir kısmı maddenin içinde bulunduğu kabın yüzeylerinden yansıyarak maddeyi oluşturan atomlara çarpar ve yeni fotonların yayılmasına neden olur. Bu şekilde zincirleme devam eden reaksiyon sonucunda ortamda eş fazlı ve monokromatik bir ışık oluşur. Çevreleyici kap üzerindeki optik bakımdan geçirgen bir delik yardımıyla oluşan ışının bir kısmı kaptan dışarı çıkartılarak istenilen doğrultuda yönlendirilir⁴³.

Lazer ışınının oluşması için gerekli olan dış enerji, genel olarak sisteme kimyasal, elektriksel veya optik olarak iletilir. Günümüzde, endüstride kullanılan en yaygın uyarma yöntemi CO₂ lazerlerde kullanılan yüksek frekanslı elektrik akımı ve katı hal (Nd:YAG ve Ytterbium Fiber vs.) lazerlerde kullanılan flaş lamba ve diyotlardır⁴³.

Kaynaklanacak metal parçası üzerinde merkez noktası hedef alınır. Yüzeyde, ışık enerjisi ısı enerjisiye çevrilir. Metal yüzeyi erimeye başlar ve yüzeyin iletkenliği sayesinde erime ilerler. Kaynak için, ışın enerjisi metalin buharlaşma sıcaklığının altında tutulur. Metal kütlesine nüfuz etme, iletilen ısıya bağlı olduğu için kaynaklanacak malzemelerin kalınlıkları genelde 20 mm'nin altındadır (gelişmiş lazerlerle artık 8-10 mm kalınlıklara kadar kaynak yapılabilir).

Merceklerin odaklanmalarının rolü bu işlemde çok önemlidir, çünkü ışın enerjisini 0,32cm ve daha düşük çaplardaki odak noktalarına yoğunlaştırır⁴².

Lazer ışını üretecek olan maddenin etrafındaki kap çok farklı tiplerde olabilmektedir. Gaz lazerlerde bu kap içindeki gazın sızmasını engelleyecek şekilde yalıtılmış, bir ucunda tamamen yansıtıcı ayna olan, diğer ucunda ise merkezinde ya tamamen geçirgen, ya da yarı geçirgen bir bölge olan yansıtıcı ayna bulunan metal veya cam tüplerden oluşmaktadır. Bu sayede tüp hem içerisinde oluşan lazer ışınının bir

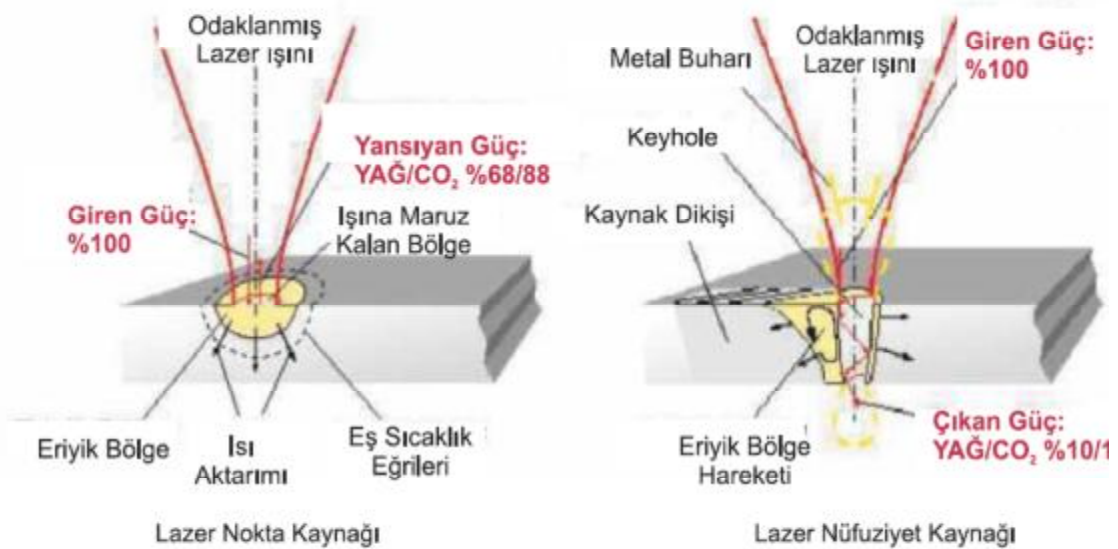
kısının iki uçtaki aynalardan geri yansıtılarak sistem içerisindeki gazın daha da uyarılmasını sağlamakta, hem de bir ucundaki geçirgen bölgeden dışarı oluşan lazer ışınının bir kısmının çıkmasına imkân vermektedir. Katı hal lazerlerinde ise lazerin tipine göre değişim gösteren bir şekildeki (çubuk, uzun fiber veya ince disk vs.) kristalin, içinde bulunduğu kabın bir veya birden fazla noktasından sağlanan uyarıcı ışık demetleri ile uyarılarak, etrafa lazer ışını yayması sağlanmaktadır. Fiber lazerlerde bu işlem lazer ışını üretecek olan kristalden imal edilmiş birkaç yüz mikron çapında bir fiberin etrafının hem koruma hem de uyarıcı ışını taşıyan bir kılıf ile kaplanması ile sağlanır. Bu sayede üretilen lazer ışını, fiberin bir ucunun optik olarak yalıtılması ile sadece diğer uçtan çıkabilir. Bu uca bağlanan bir fiber optik kablo yardımı ile oluşan lazer ışını istenilen bölgeye taşınabilmektedir⁴⁴.

Lazer kaynağı, diğer geleneksel kaynak yöntemleriyle karşılaştırıldığında birçok avantaja sahiptir. Ark kaynaklarında iki malzemenin birleştirilmesi için gerekli olan ısı, malzeme ile kaynak elektrodu arasında yaratılan yüksek elektrik akımı ile sağlanmaktadır. Bu elektrik akımı çeşitli nedenlerle çok hassas olarak malzeme birleşme noktasına odaklanamamaktadır. Bu odaklanamama nedeniyle malzeme üzerine, kaynak yapılacak bölgenin eritilmesi için gerekli olan enerjinin çok daha fazlası uygulanmak zorunda kalınmaktadır. Uygulanan yüksek miktarda enerjinin büyük bir kısmı, malzeme üzerinde kaynak sırasında birleşmeyen bölgelerin de ısınmasına yol açmaktadır. Malzeme üzerindeki bu gereksiz ısınmaların iki önemli dezavantajı vardır. Birinci olarak kaynak yapmak için malzemeye verilmesi gerekli toplam enerji miktarı artmaktadır, dolayısıyla kaynak hızı düşmektedir. İkinci olarak da yüzeyin aşırı ısınması, malzeme özelliklerini bozmaktadır. Günümüzde sanayide kullanılan birçok malzeme hassas ısıl işlem operasyonlarından geçirilmiş, mekanik özellikleri uygulamaya göre optimum seviyeye getirilmiş özel malzemelerdir. Bu tarz malzemelerin üzerine kaynak sırasında verilen yüksek ısı, malzemenin mekanik özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır. Bu da istenmeyen bir durumdur.

Lazer kaynağında ise lazer ışını çok daha hassas olarak malzemelerin birleşme bölgesine odaklanabilmektedir. Bu sayede hem kaynak için gerekli olan enerji miktarı azalmakta, dolayısıyla kaynak hızı yükselmekte, hem de malzemenin kaynakla birleştirilen bölgesi dışındaki bölgelerine gereksiz ısıl yük uygulanmamaktadır. Bu da

malzemelerin mekanik özelliklerinin değişmemesini ve görsel açıdan malzemenin korunmasını sağlamaktadır⁴⁴.

Lazer kaynağı iki tipte olabilmektedir. Bu tipler “ Lazer Nüfuziyet Kaynağı” ve “ Lazer Nokta Kaynağı”dır⁴⁴ (Şekil 2). Birinci tip lazer kaynağı olan nüfuziyet kaynağında lazer ışınının kaynak yapılması istenen her iki malzemeyi de delerek geçmesi hedeflenmektedir. Bu tip kaynaklarda çok yüksek yoğunluktaki lazer ışını, metal malzemenin ani ve lokal olarak buharlaşarak “anahtar deliği” olarak adlandırılan, malzemeyi boydan boya geçen bir deliğin oluşmasını sağlamaktadır. Bu delik içerisinde buharlaşan metal malzemenin yarattığı plazma tarafından emilen lazer ışını, deliğin yan duvarlarına aktararak duvar malzemesinin erimesini sağlamaktadır. Bu aşamada lazer ışını malzeme üzerinde hareket ettirilerek, hareket yönünde eriyen metal malzemenin, delik etrafından dolaşarak, lazer ışınının geçişinin ardından karışarak soğuması sağlanır. Soğuyarak donan metal malzeme karışımı, iki malzemenin birleşmesini sağlar. Bu tip lazer kaynağında lazer gücüne ve kullanılan ışın özelliklerine bağlı olarak çelik malzemelerde 50 mm kalınlığa kadar nüfuziyet sağlanabilmektedir⁴⁴. Fakat endüstriyel uygulamalarda bu kalınlık 20 mm dolaylarında kalmaktadır.



Şekil 2. 2. Lazer nokta kaynağı ve lazer nüfuziyet kaynağının ilüstrasyonu

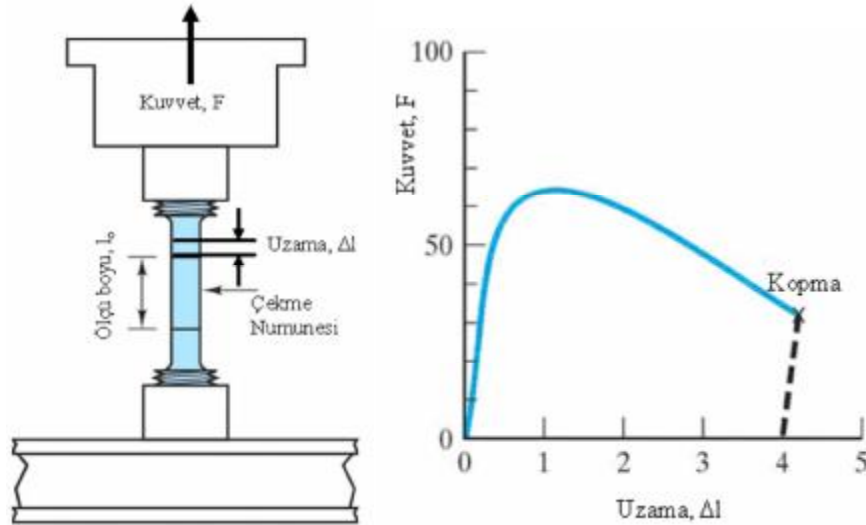
2.3. Metal Destekli Restorasyonlarda Kullanılacak Alaşımların Mekanik Özellikleri

Materyalin deformasyona gösterdiği dirençler katı kütlenin ‘temel elastiklik özellikleri’ ni temsil etmektedir. Malzemelerin mekanik özellikleri şu başlıklarda incelenecektir:

- Çekme ve baskı dayanımı
- Sertlik
- Darbe dayanımı
- Kırılma dayanımı
- Yorulma dayanımı

2.3.1. Çekme ve Baskı Dayanımı

Malzemelerin ne kadar dayanıklı oldukları ve ne ölçüde şekil değiştirebilme kabiliyetine sahip olduklarının ölçütüdür. Malzemelerin dayanım ve şekil değiştirme özelliklerini belirlemede kullanılan en yaygın test; “çekme ya da baskı dayanımı deneyi” dir. Deney düzeneği Şekil 3’de gösterilmiştir. Çekme ve baskı dayanımı deneyi, bu amaç için hazırlanan bir test numunesinin universal çekme/basma makinesine bağlanarak kuvvete maruz bırakılmasıdır. Etki eden kuvvet numune kopana/kırılana kadar artar. Bu esnada, etki eden kuvvet ve test numunesinde meydana gelen uzama veya kısalma miktarı sistem tarafından sürekli olarak kaydedilir.



Şekil 2. 3. Çekme dayanımı deney düzeneği ilüstrasyonu ve kuvvet/uzama grafiği

Mühendislik stresi; orijinal stresin ‘başlangıçtaki’ kesit alanına oranı (MPa), mühendislik straini boydaki değişimin ‘orijinal’ uzunluğa oranıdır (birimsiz). Gerçek stres ve strainden farkı ‘başlangıç’ı primer almasıdır. Ancak uzama veya baskı uygulandıkça kesit alanı test süresince değişmektedir⁴⁵.

Bu verilerin, mühendislik olarak daha anlamlı olabilmesi için geometrinin etkisinin giderilmesi gerekir. Bu nedenle “**kuvvet-uzama ($F - \Delta l$)**” diyagramının “**gerilme - birim şekil değiştirme ($\sigma - \epsilon$)**” diyagramına dönüştürmek gerekir.

Çekme deneyi sırasında parça, önce “**ELASTİK**” şekil değişimine daha sonrada “**PLASTİK**” şekil değişimine maruz kalır. Daha sonra parça kopar.

2.3.2. Sertlik ve Sertlik Ölçüm Yöntemleri

Bir malzemenin yüzeyine batırılan sert bir cisme karşı gösterdiği dirençtir. Sertlik değerleri direk olarak malzemelerin dayanımları ile alakalı olduğu için büyük önem taşır ve dolayısıyla malzemelerin dayanımları ile ilgili bağlı değerler verir. Malzemelerin sertlik değerleri sertlik testleri ile saptanır. Bu sertlik deneyleri; batıcı ucun geometrisine ve uygulanan kuvvet büyüklüğüne göre çeşitli isimler alır. Bunlardan en yaygın olanları:

- Brinell sertlik ölçme metodu
- Vickers sertlik ölçme metodu
- Rockwell sertlik ölçme metodu
- Knoop sertlik ölçme metodudur

2.3.3. Darbe Dayanımı

Normal şartlarda sünek malzemeler, bazı şartlar altında gevrek davranış gösterebilir. Bu şartlar;

- ¾ Üç eksenli yükleme hali (**çentik bulunması**): 3 eksenli yükleme halinde malzeme orta noktasına eşit mesafede iki dayanak üzerine yerleştirilir. Orta noktasına yukarıdan bir kuvvet uygulandığı zaman gerilimler, malzemenin her iki ucuna doğru olacak şekilde gelişir.

- ¾ Düşük sıcaklıkta zorlama
- ¾ Kuvvetin ani uygulanması (**darbe**)

Bu şartlardan biri veya bir kaçı gerçekleşmişse malzeme gevrek davranabilir. Gevrek davranış eğiliminin başlıca sebebi malzemelerin plastik şekil değişimine imkânı bulamamalarıdır.

2.3.4. Kırılma Dayanımı (Fracture Strength)

Kuvvete mağruz kalan bir cismin kırıldığı andaki gerilim miktarına kırılma dayanımı denir. Bir cismi kırmak için gereken enerji miktarıdır. Gerilim tipine göre çekme, basma ya da makaslama dayanımı olarak adlandırılır.

2.4. Kırık Yüzeyi İncelemesi

2.4.1. Makroskobik Açıdan Kırılma Tipleri

2.4.1.1. Gevrek Kırılma

Kırılğan tipteki kırıklar mikroskobik olarak hiç veya çok az plastik deformasyon gösterirler. Kırılğan tipteki kırıkların oluşumu için göreceli olarak daha az enerjiye gereksinim vardır. Genellikle camlar, seramikler, bazı polimerler ve metaller, gevrek olarak kırılırlar. Sadece mikro fraktografik özelliklere bakarak başarısızlığın mekanizmasını kesin olarak belirlemek çoğu zaman zordur⁴⁶.

2.4.1.2. Sünek Kırılma

Sünek kırılma, çatlak yayılması boyunca devam eden plastik deformasyon ile karakterizedir. Kırık yüzeylerinde anlamlı büyüklükte deformasyonlar mevcuttur. Sünek kırılma, yüksek oranda plastik deformasyon gösteren materyallerde önemli miktarda enerji çıkışıyla ve yavaşça yırtılması ile karakterizedir. Orta dereceli sünek materyallerin germe kırıklarında plastik deformasyon sonucu materyalin çapında azalma ile gözlemlenir ve “boyunlaşma” meydana gelir. Kırık örneğin merkezinde başlar ve bir makaslama şeklinde ayrılma ile yayılır. Bu tip kırılma genel bir ifade ile “cup and cone”

kırığı olarak isimlendirilir. Çok sünek materyaller ayrılmadan önce bir nokta veya çizgilenme gösterirler ki buna “yırılma” ismi verilmektedir.

Sünek kırılmalarda çatlak gelişimi boşlukların birleşme süreci yolu ile olmaktadır. Birleşme, boşlukların uzaması ve boşluklar arası materyal köprülerinin bir araya gelmesi ile gerçekleşmektedir. Bu da, uzamış “dimple” çukurcukları içeren bir kırık yüzeyinin oluşmasına neden olmaktadır. Sünek kırılmanın temelini oluşturan bu çukurcuklar için olası sahalar çeşitli inklüzyonlar, poröziteler, ikincil-faz partikülleri veya ince oksit partikülleridir. Nükleasyona sebep olan partiküllerin miktarının sünek kırılma üzerine büyük bir etkisi olmadığı belirtilmiştir⁴⁶.

Metallerdeki sünek kırılma, mikro boşluklar tarafından oluşturulan çukurcuklu yüzey görünümü sergiler. Sünek kırılma her ne kadar bir parça kırılğan tip sergilese de, sünek kırılma morfolojisi sıklıkla merkezden uzakta bir bölgede gözlenir. Metallerin çoğunun başarısızlığında sünek tipteki aşırı yüklenme sebebi ile yüksek hıza ulaşan kırılmanın son aşamasında makaslama gerilimi oluşur. Bu aşırı yüklenme sahasının yayılımı stres seviyesinin bir belirleyicisidir. Genellikle, aşırı yüklenme sahası ne kadar büyük ise başarısızlığın gerçekleştiği komponent üzerindeki stres seviyesi o kadar yüksektir⁴⁷.

2.4.2. Mikroskobik Açıdan Kırılma Tipleri

2.4.2.1.Klivaj (Ayrılma) Kırılması

Kırılma, klivaj düzlemleri diye bilinen belirli kristallografik düzlemler boyunca meydana gelirse, buna “klivaj kırılması” denir. Klivaj düzlemleri en düşük yüzey enerjisine sahip düzlemlerdir. Bu tip kırılma, klivaj düzlemine dik normal gerilmelerin kritik bir değeri aşması ile klivaj düzlemine dik atom bağlarının koparılması sonucunda olur. Tek eksenli gerilme halinde, çatlak çekme yönüne dik olarak ilerleme eğilimi gösterir. Bu sebeple de klivaj kırılmaları düz bir görünüm gösterir. Malzemelerin gevrek kırılması, genellikle klivaj kırılması şeklinde olur. Klivaj kırılmasında genellikle tanelerin şekli bozulmaz ve yüzeyin görünüşü düzdür. Kırılma yüzeyi ışığı çok iyi yansıtır ve parlak olarak görünür. Bu düz yüzeyler genellikle yerel deformasyonlar yolu ile oluşan enerji emiliminin belirleyicisi olan ırmak benzeri izleri ihtiva etmektedir.

İrmak izleri, düzlükler oluşturan paralel düzlemler arasında kristal boyunca uzanan çatlak hareketi sonucu oluşmaktadır⁴⁸.

Klivaj kırığının oluşumu üç basamakta gerçekleşir; (1) Plastik deformasyon sonucu dislokasyon katlantılarının oluşması, (2) çatlak başlaması ve (3) çatlak yayılması. Mikro çatlakların başlaması ile karakterize ikincil-faz partiküllerin varlığından ve doğasından oldukça etkilenir.

2.4.2.2 Kayma Kırılması

Metalik malzemelerde plastik deformasyon, kaymaya karşı direnci az olan atom düzlemlerinin kayması ile meydana gelir. Bu düzlemlere kayma düzlemleri adı verilir. Metalik malzemelerde kayma çatlakları maksimum kayma gerilmesinin bulunduğu kısımlarda ilerleme eğilimi gösterir⁴⁸.

2.4.2.3. Grenlere Göre Kırılma Tipleri

2.4.2.3.1. İntergranüler (Taneler Arası) Kırılma

Tane sınırlarında meydana gelen kırılma şeklidir. Kırılma kırığın granül sınırlarını takip edecek şekilde granüller arasında ilerlemesi ile oluşmaktadır. Tanecik sınırlarında oluşan ayırım da intergranüler başarısızlığa yol açabilecek derecede yüzey enerjisini düşürebilmektedir. Akide şekeri görünümü ile teşhis edilebilen intergranüler kırık, çatlak tanecik sınırlarını izliyor ise görülür⁴⁸.

2.4.2.3.2. Transgranüler (Taneleri Keserek) Kırılma

Tanelerin ortasından geçerek ilerleyen kırılma şeklidir. Eğer tanecik sınırları kırılma parçaları içeriyor ise kırığın granül içinden geçerek ilerlemesi söz konusu olabilmektedir⁴⁸.

2.5. Kırık Yüzeyi İncelemesi

Kırık yüzeyinin mikroskopik incelemesinden kırığın doğası ile ilgili önemli bilgiler elde edilebilmektedir. Bu incelemeye “fraktografi” adı verilmektedir ve inceleme için genellikle elektron tarama mikroskobu (SEM) kullanılmaktadır⁴⁶.

Geniş odak derinliği sayesinde kırık yüzeyinin incelemesine olanak sağlaması açısından SEM kırık analizinde önemli bir yer tutar.

Temel olarak taramalı elektron mikroskobu, tungsten, lantan hekza borit katottan veya alan salınımlı tabancadan (FEG) çıkan enerjisi artmış elektronları kullanarak incelenecek malzeme yüzeyine gönderilmesi sonucu oluşan etkileşmelerden yararlanılması esasına dayanır. SEM’lerde genel olarak bu elektron enerjisi 200-300 eV dan 100 keV a kadar değişebilir. Bu amaçla, yoğunlaştırıcı elektromanyetik merceklerle (condenser lense) toplanan, objektif merceklerle odaklanan elektron demeti, yine elektromanyetik saptırıcı bobinlerle örnek yüzeyinde tarama işlemi (scanning) gerçekleştir. Bir taramalı elektron mikroskobunda görüntü oluşumu temel olarak; elektron demetinin incelenen örneğin yüzeyi ile yaptığı fiziksel etkileşmelerin (elastik, elastik olmayan çarpışmalar ve diğerleri) sonucunda ortaya çıkan fotonların dedektörde toplanması ve incelenmesi prensibine dayanır.

Bunlardan ilki, gelen elektron demetindeki elektronların, malzemedeki atomlarla yapmış olduğu elastik olmayan çarpışma sonucu (yani, örnek yüzeyindeki atomlardaki elektronlara enerjilerini transfer ederek) ortaya çıkan ikincil elektronlardır (secondary electrons). Bu elektronlar örnek yüzeyinin yaklaşık 10 nm’lik bir derinliğinden ortaya çıkarlar ve bunların tipik enerjileri en fazla 50 eV civarındadır. İkincil elektronlar foto-çoğaltıcı tüp yardımıyla toplanıp, örneğin tarama sinyali konumuyla ilişkilendirilerek yüzey görüntüsü (topografik görüntü) elde edilir.

Elektron demeti ile incelenen örnek yüzeyindeki malzeme arasındaki etkileşmede ortaya çıkan diğer bir elektron grubu ise geri saçılma elektronları (backscattered electrons) adı verilen elektronlardır (bu elektronlar, yüzeye gelen elektron demeti ile yaklaşık 1800 açı yapacak biçimde saçılırlar). Geri saçılma elektronları, yüzeyin derin bölgelerinden (yaklaşık 300 nm’ye kadar) gelen daha yüksek enerjili elektronlardır. Bu enerjideki elektronlar bir foto-çoğaltıcı tüp tarafından tespit edilemeyecek kadar yüksek enerjiye sahip olduklarından, genellikle katı-hal detektörleri yardımıyla tespit edilir. Bilindiği üzere bu tür detektörler üzerine gelen elektronların indüklediği elektrik akımının şiddetine göre çıkış sinyali verirler. İncelenecek örnekteki yüksek atom numarasına sahip bir atomdan saçılan elektronun enerjisi küçük atom numaralı bir atomdan saılana göre daha yüksektir. Sonuç olarak ikincil elektronlar incelenen örneğin kompozisyonu hakkında bilgi verir.

Gelen elektron demetinin incelenen örnek yüzeyi ile yapmış olduğu diğer bir etkileşme ise (yaklaşık 1000 nm derinlik civarında), karakteristik X ışınlarının çıktığı durumdur, enerjileri keV mertebesinde. Buna göre örneğe çarpan elektron, örnekteki atomun iç yörüngesinden bir elektron kopmasına neden olunca, enerji dengelenmesi gereği bir üst yörüngedeki elektron bu seviyeye geçer ve geçerken de ortama bir X ışını yayar ve buna da karakteristik X ışını adı verilir. Bu X ışını mesela 10 mm² çapındaki bir Si detektörle algılanır, ortaya çıkan sinyal yükselticiye, oradan çok kanallı analizöre ve daha sonra da SEM sistemin bilgisayarına gönderilir. Sonuçta ortaya çıkan karakteristik X ışını (ki bu ışının enerjisi her atoma özeldir), SEM’ de incelenen malzemenin element bakımından muhtevasının nitel ve nicel olarak tespit edilmesine yardımcı olur.

Enerji dağılımlı X ışınları analizi (EDS) ise; herhangi bir örnek veya örnek üzerindeki ilgili küçük bir alanda elemental kompozisyonu tanımlamak için kullanılan bir tekniktir. SEM’na bağlı bulunan EDS cihazı sayesinde elemental içerik analizi, örnek üzerine elektron demeti düşürülerek gerçekleştirilir. Bu elektronların bazıları örnek içindeki elektronlar ile çarpışarak elektronların yörüngelerinden çıkmasını sağlar. Boşalan pozisyonlar X-ışınları yayan yüksek enerjili elektronlar tarafından doldurulur. Saçılan fotonlar analiz edilerek, örneğin elemental kompozisyonu tespit edilebilmektedir⁴⁹.

AMAÇ;

Mevcut çalışmanın genel amacı, geleneksel döküm ve lazer sinterizasyon yöntemleri kullanılarak elde edilmiş metal altyapıların geleneksel ve lazer lehimlerinin başarısını mekanik ve metalografik açıdan karşılaştırmaktır.

Çalışmanın spesifik amaçları;

1. Lazer sinterizasyon yöntemi ve geleneksel döküm tekniği ile hazırlanmış metal altyapılara uygulanan lazer ve geleneksel lehim, mekanik ve metalografik özellikleri açısından karşılaştırmak,

2. Lazer sinterizasyon yöntemi ve geleneksel döküm tekniği ile hazırlanmış metal altyapılara uygulanan lazer ve geleneksel lehim, elemental içerik açısından karşılaştırmak,
3. Lazer sinterizasyon yöntemi ve geleneksel döküm tekniği ile hazırlanmış metal altyapılara uygulanan lazer ve geleneksel lehimin mikroyapılarını karşılaştırmak.

Bu araştırmanın hipotezleri;

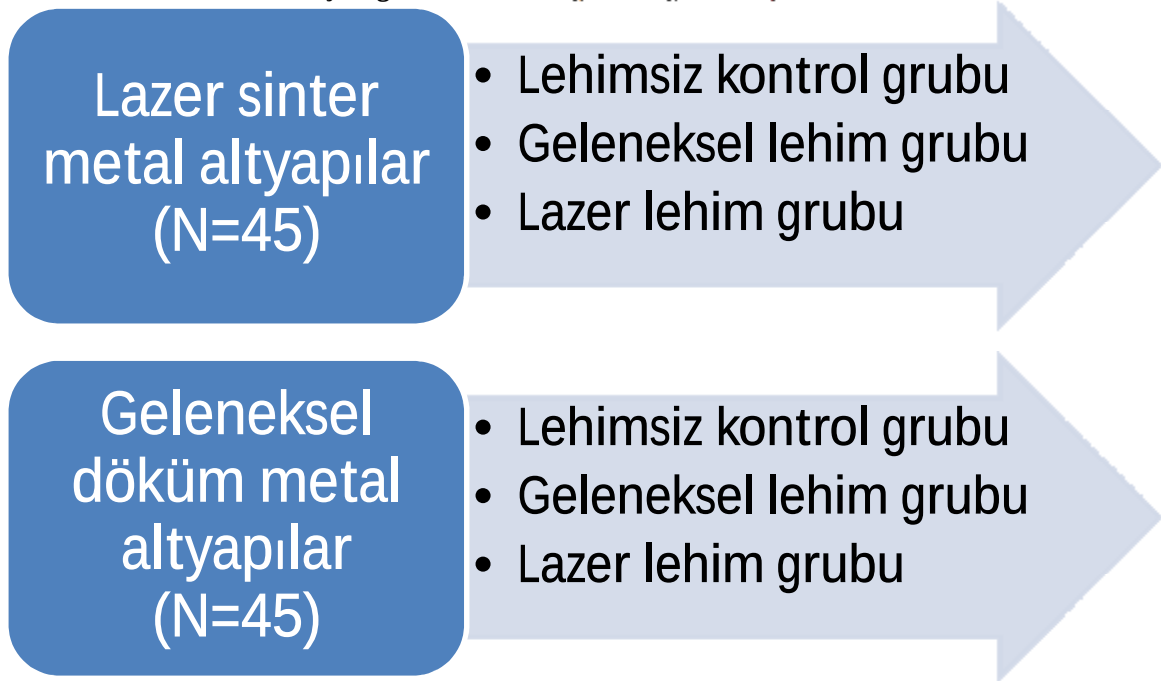
1. Lazer yöntemi kullanılarak yapılan lehim örneklerin mekanik ve metalografik özellikleri, geleneksel yöntem kullanılarak yapılan lehim örneklerden farklı değildir.
2. Lazer yöntemi kullanılarak yapılan lehim örneklerin elemental içeriği, geleneksel yöntem kullanılarak yapılan lehim örneklerden farklı değildir.
3. Lazer yöntemi kullanılarak yapılan lehim örneklerin mikroyapısı geleneksel yöntem kullanılarak yapılan lehim örneklerden farklı değildir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmada, geleneksel lehim ve lazer lehim ile birleştirilen; seçici lazer sinterizasyon ile hazırlanan CoCr örnekler aynı yöntemlerle lehim yapılan döküm CoCr örnekler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmamızda geleneksel döküm yöntemi ve tabakalı üretim yöntemlerinden biri olan lazer sinterizasyon yöntemi ile üretilen CoCr grupları kendi içerisinde üç gruba ayrılmıştır.

1. Herhangi bir işlem uygulanmamış kontrol grubu (n=15/grup).
2. Lazer lehim uygulanan grup (n=15/grup).
3. Geleneksel lehim uygulanan grup (n=15/grup).

Çizelge 3. 1. Örnek dağılımını gösteren şema



1. **L_{kont}**: Lehim yapılmamış lazer sinterize altyapı grubu (n=15/grup)
2. **L_{GL}**: Geleneksel lehim yapılmış lazer sinterize altyapı grubu (n=15/grup)
3. **L_{LL}**: Lazer lehim yapılmış lazer sinterize altyapı grubu (n=15/grup)
4. **D_{kont}**: Lehim yapılmamış döküm grubu (n=15/grup)
5. **D_{GL}**: Geleneksel lehim yapılmış döküm grubu (n=15/grup)
6. **D_{LL}**: Lazer lehim yapılmış döküm grubu (n=15/grup)

Çalışmada kullanılan metal alaşımları ve kompozisyonları Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Hazırlanan örnekler mekanik özellikleri, elemental içerikleri ve kırık yüzeyleri açısından değerlendirilmiştir. Lazer sinter metal altyapı üretimi için EOS CoCr içerikli olan SP2 (CobaltChrome SP2, EOS, EOS GmbH, Münih, Almanya) ve geleneksel döküm metal altyapı üretimi için Microlit ISI (Wirobond C, Bego, Bremen, Almanya) alaşımları kullanılmıştır. Lazer sinter altyapılarda lehim alaşımı olarak EOS CoCr SP2, geleneksel döküm altyapılarda lehim alaşımı olarak Remanium CSE (Bego, Bremen, Almanya) alaşımları kullanılmıştır.

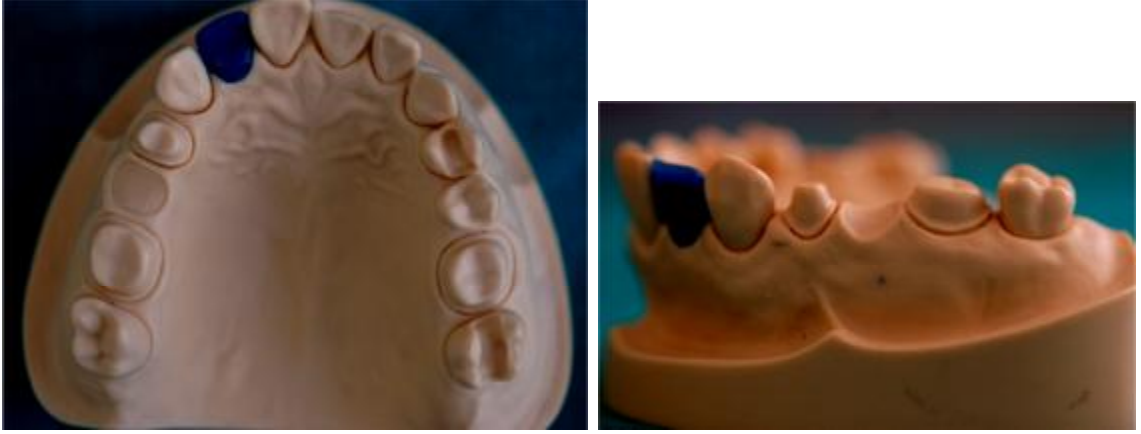
Çizelge 3. 2. Çalışmada kullanılan alaşımların elemental yüzde içerikleri

	Co	Cr	Ni	Mo	W	Si	Fe	C	Mn	Ce
EOS CoCr SP2	63,8	24,7		5,1	5,4	1,0	0,5		0,1	
Microlit ISI	61,1	24,8		5	6,5	1,7			<0,5	
Remanium CSE	<%0,1	26	61	11		1,5	<%0,1			<%0,1

Lazer sinter metal altyapıların üretimi ve lazer lehim alaşımı için EOS CoCrSP2, döküm altyapıların üretimi için Microlit ISI ve döküm lehim alaşımı için Remanium CSE alaşımları kullanılmıştır.

3.1. Test Düzenekinin Hazırlanması

Mekanik testlerde kullanılacak olan örnekler klinik uygulamayı simüle edebilmesi adına 3 üye sabit restorasyon metal alt yapı olarak planlanmıştır. Standart boyutlarda köprü restorasyonların elde edilebilmesi için standardize edilmiş bir test düzeneği önem arz etmektedir. Standart basamak preparasyonunu ihtiva eden akrilik çene (Ivoclar Vivadent, NY, ABD) kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3. 1. Standart prepare edilmiş akrilik dişler

Akrilik çene üzerinden A tipi polivinil siloksan dublikat malzemesi (Elite Double32, Zhermack, Öhlmühle, Almanya) kullanılarak kalıplar elde edilmiştir. Dublikatlar tip 4 geliştirilmiş sert alçı (Fujirock EP, GC, Illinois, Şikago, ABD) kullanılarak elde edilmiştir. Dublikatlar prepare dişlerin komşu bölgelerinden kıl testere yardımı ile çenelerden ayrılmıştır (Şekil 3.2) .



Şekil 3. 2. Alçı model

Alçı modellerden A tipi silikon dublikat malzemesi kullanılarak kalıplar elde edilmiştir. Kalıplara model mumu (Degudent, Dentsply, Konstanz, Almanya) konularak standart boyutlarda mum modeller elde edilmiştir. Mum model tiplenerek üretici firmanın tavsiyeleri doğrultusunda fosfat bağlı revetmana (Bellavest T, Bego) alınmıştır. Manşet ön ısıtma fırınında (Mikrotek, Sakarya, Türkiye) 950 °C’de 45 dakika

bekletildikten sonra santrifüj döküm cihazına (Fundor T, Bego) alınmış ve 1400 °C’de dökümleri yapılmıştır. Dökümü tamamlanan model manşet içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Rövetmandan çıkarılan ana modelin tijleri karbit frez kullanılarak uzaklaştırılmıştır. Böylece çalışma testlerinin uygulanacağı ana model elde edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3. 2. Mekanik testlerde kullanılan metal düzenek

3.2. Örneklerin Hazırlanması

Metal mekanik test düzeneği ağız içi tarayıcı (Dental Wings, Montreal, Kanada) yardımı ile taranarak bilgisayara aktarılmıştır. Taranan model üzerine lazer sinterize CoCr örnekler tasarlanmıştır. Lazer sinterize CoCr örnekler hazırlanırken ISO 22674 nolu standarta uygun olacak şekilde STL formatlı dosya kullanılarak, EOSINT M 270 cihazına veri girişi yapılmıştır. Örnekler Dental Labor (İzmir, Türkiye) isimli dental laboratuarda hazırlanmıştır. Anabilim dalımızda daha önce uygulanmış çalışmalar ile kıyaslanabilmesi adına; çalışma örnekleri hazırlanırken üretim parametreleri sırası ile; lazer gücü 200W, lazer demetinin çapı 0.200 mm, tarama hızı; 7.0 m/s, üretim hızı; 2-20 mm³/s, katman kalınlığı; 0.020 mm ve koruyucu atmosfer max % 1,5 oksijen olacak şekilde ayarlanmıştır. Üretilen parçalara uygulanan ısı işlem 5 aşamadan oluşmaktadır:

- ¾ Aşama 1: Sinterlenen yapı üzerinde durduğu levhadan ayrılmadan 400 °C’de 45 dakika süresince fırınlanır,
- ¾ Aşama 2: Sıcaklık 400 °C’de 30 dakika boyunca muhafaza edilir,
- ¾ Aşama 3: Sıcaklık dakikada 15 °C yükseltilerek 290 °C’den 590 °C’ye yükseltilir,
- ¾ Aşama 4: Sıcaklık 60 dakika içinde 400 °C den 620 °C ye çıkartılır,
- ¾ Aşama 5: Fırın kapağı açılır ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılır,

Lazer sinter gruplarında kullanılmak üzere toplam 45 lazer sinter CoCr köprü elde edilmiştir (Şekil 3.4).

Tamamlanmış olan lazer sinterize CoCr köprülerden herhangi biri CAD-CAM ile taranarak standart boylarda akrilik rezin örnekler elde edilmiştir. Mum modeller tiplenerek üretici firmanın tavsiyeleri doğrultusunda fosfat bağlı revetmana (Bellavest T, Bego) alınmıştır. Yukarıda anlatılan şekilde döküm işlemi tamamlanmıştır. Dökümü tamamlanan örnekler manşet içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Rövetmandan çıkarılan örneklerin tijleri karbit frez kullanılarak uzaklaştırılmıştır (n=45/grup).

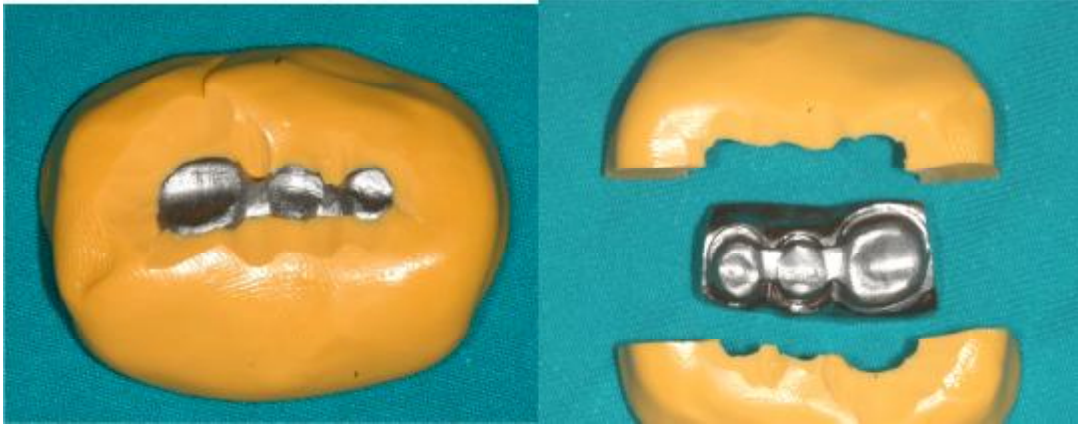


Şekil 3. 3. Lehim işlemine hazır hale getirilmiş örnekler.

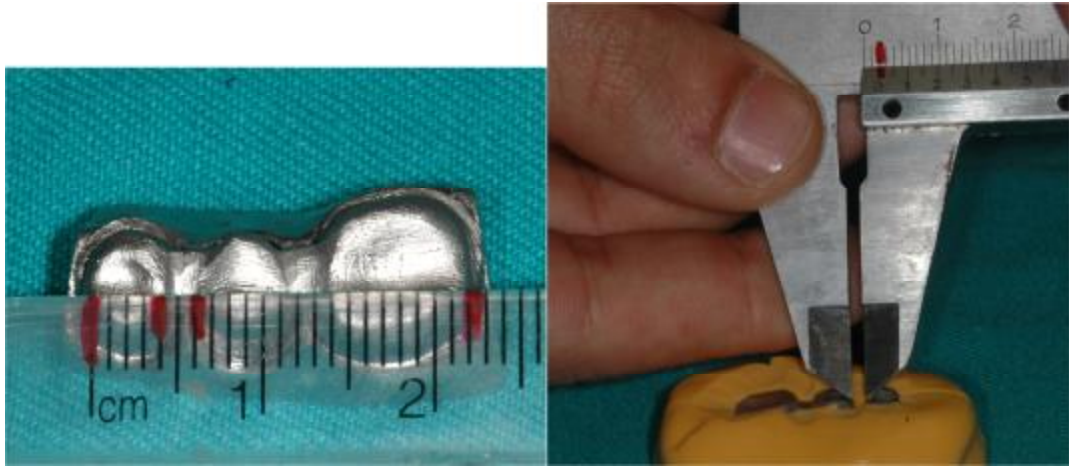
3.3. Örneklerin Kesilmesi ve Lehimlenmesi

Gerek geleneksel döküm gerekse lazer sinterize gruplarından 15er örnek kontrol gruplarında kullanılmak üzere lehim yapılmaksızın test edilmek üzere ayrılmıştır.

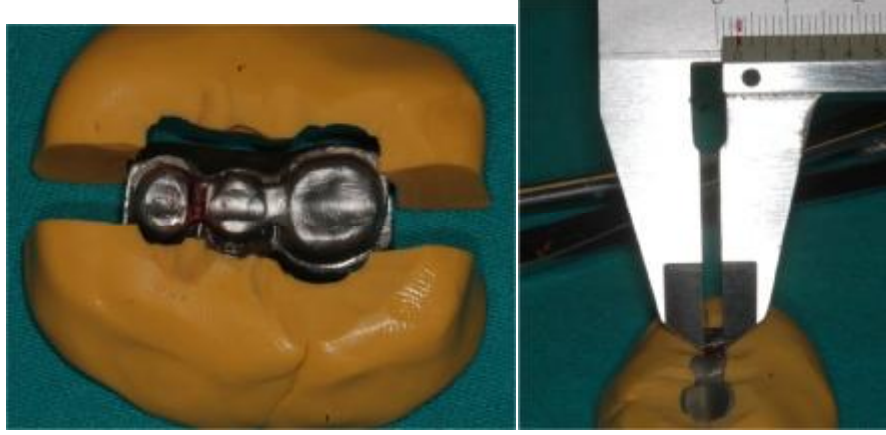
Lehim yapılmak üzere elde edilen geleneksel döküm ve lazer sinterize 3 üye köprüler metal ana model üzerinde uyumlandıktan sonra standart lehim boşluğu elde edebilmek adına A tipi polivinil siloksan (Panasil, Kettenbach, Eschenburg, Almanya) ile silikon indeks elde edilmiştir (Şekil 3.5). Mezyodistal yönde 2mm, bukkoligual yönde 3mm, servikooklüzal yönde 1mm lehim boşluğu belirlendikten sonra birinci premolar ve ikinci premolar bölgelerinde 1. premolar dişin en mezyalinden 4mm uzaklıktan karbon separe ile standart lehim boşlukları oluşturulmuştur (Şekil 3.6). Standart döküm boşluklarının ölçümleri 0,01 mm hassasiyetindeki mekanik bir mikrometre (Mitutoyo, Bilginoğlu END, İzmir, Türkiye) ile yapılmıştır. Döküm boşluklarına Pattern Resin LS (Illinois, Şikago, ABD) konulmuştur (Şekil 3.7).



Şekil 3. 4. Silikon indeksin hazırlanması



Şekil 3. 5. Lehim Boşluklarının Hazırlanması



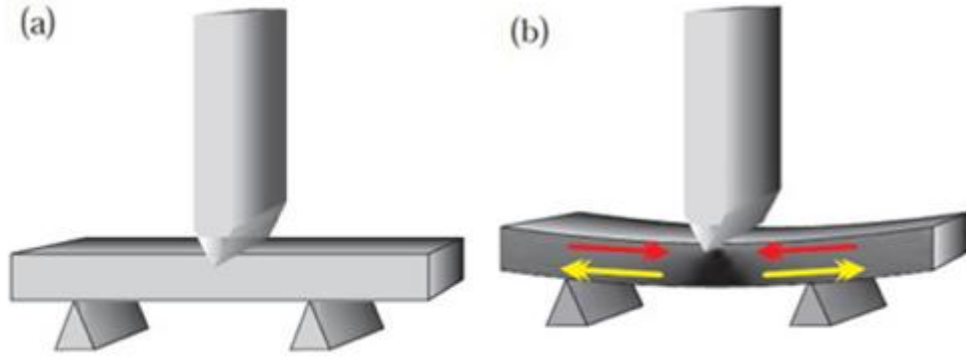
Şekil 3. 6. Patern Rezinlerin Standart polimerizasyonunun sağlanması

Her gruptan 15 er örnek geleneksel lehim yöntemi ile lehimleme işlemine tabi tutulmuştur. Patern rezin ile sabitlenen örnekler, rövetmana alındıktan sonra geleneksel oksijen gaz (oksijen-doğal gaz) lehimleme cihazı ile doldurucu metal (Rermanium CSE) kullanılarak lehimlenmiştir. Geleneksel lehimleme için kullanılan lehim metalinin yüzdeleri Çizelge 3-2.' de verilmiştir.

Her gruptan 15 er örnek lazer ile lehimleme işlemine tabi tutulmuştur. Patern rezin ile sabitlenen örnekler, Neolazer kaynak cihazı (Amann Girbach, Pforzheim, Almanya) ile doldurucu metal (Microlit ISI) kullanılarak lehimlenmiştir. Neolazer kaynak cihazı tek enerji seviyesinde (260 V) ve tek süreklilikte (7 ms) uygulanmıştır. Odak noktası boyutu 1,5 mm olarak ayarlanmıştır. Lazer lehimleme için kullanılan lehim metalinin yüzdeleri Çizelge3-2'de verilmiştir.

3.4. Mekanik Testler

Mekanik testler, Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi araştırma laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızda mekanik özelliklerin belirlenmesi için ISO 22674 standardına göre 3 nokta bükme test düzeneği kullanılmıştır. 3 nokta bükme testinde test edilecek örneğin orta noktasına bir kuvvet uygulandığı zaman gerilimler şekilde gösterildiği gibi değişir (Şekil 3.8).



Şekil 3. 7. 3 nokta bükme testi ülistasyonu

Bükme testi Üniversal Test Cihazı (Testometric, Lancashire, İngiltere) kullanılarak (Şekil 3.9) dakikada 1mm’lik bir hızla gerçekleştirildi. Bükme testi sonucunda her grubun ortalama maksimum bükme dayanımı, ortalama maksimum bükme kuvveti ve ortalama bükme modülü karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. 8. Üniversal Test Cihazı (Testometric)

Cihazın alt kısmına mevcut metal ana model yere paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.10). Cihazın üst kısmına ise, uç kısmı 1,4 mm çapında, 1. premolar dişin en mezyalinden 4mm uzaklıktaki noktaya temas edecek şekilde ayarlanmış baskı ucu yerleştirilmiştir. Başlıklar arası (crosshead) hız 1mm/dakika olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. 9. Üç nokta bükme testi düzeneği

3.5. Kırık Yüzeyi ve Mikroyapının İncelenmesi

Üç nokta bükme testi sonucunda kırılan örneklerin bir yarısı numunenin kırık yüzeyinde bir değişikliğe neden olmayacak şekilde korunmuş ve örneklerin kırık yüzeyi ve mikroyapı incelemesi için kullanılmıştır. Örnek yüzeyleri stereomikroskop (SZ61, Olympus, Tokyo, Japon) yardımı ile incelenerek lehim metalindeki olası boşluklar, kırık hatları belirlenerek hangi alanların öncelikli inceleneceği belirlenmiştir. Lehim alanların mikroyüzeyi ve fraktografi çalışmaları için elektron tarama mikroskobu (QUANTA 400F Field Emission SEM, Oregon, ABD), elemental analiz için ise enerji dağılımlı spektroskopi (EDS) (The JXA-8230 Elektron Prob Mikroanaliz cihazı, Massachusetts, ABD) kullanılmıştır. Tezin bu aşaması Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elektron Tarama Mikroskobisi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.6. İstatistiksel Analiz

Mekanik testlerin sonuçlarının analizi için SPSS (SPSS 21.0 for Windows Evaluation Version New York, ABD) kullanılmıştır. İstatistiksel analizlerde iki-yönlü ANOVA testi ve akabinde Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır ($\alpha=0,05$). Alt yapı üretim yöntemi ve lehim yöntemleri bağımsız değişkenler iken, mekanik özellikler bağımlı değişkenler olarak belirlenmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Mekanik Testler

Çalışmada mekanik özelliklerin belirlenmesi için gerçekleştirilen 3 nokta bükme test sonuçları Çizelge 4.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1. Üç nokta bükme testi sonuçları

Grup	N	Ortalama Maksimum Bükme Dayanımı $\pm$ Standard Sapma (MPa)
L_{kont}	15	19330,6 $\pm$ 2405,6 A*
L_{GL}	15	1334,3 $\pm$ 547,1 B
L_{LL}	13	881,7 $\pm$ 572,7 B
D_{kont}	13	4268,5 $\pm$ 1506,1 C
D_{GL}	13	2899,6 $\pm$ 1801,2 B
D_{LL}	12	2039,3 $\pm$ 767,8 B

* Farklı harfler istatistiksel açıdan anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Üç nokta bükme dayanımı test sonuçlarına istinaden ortalama maksimum bükme dayanımı için istatistiksel olarak **L_{kont}** ve **D_{kont}** ile lehim grupları (**L_{GL}**, **L_{LL}**, **D_{GL}**, **D_{LL}**) arasında anlamlı bir farklılık kaydedilmiştir ($p < 0,05$). Lehim yapılmamış lazer sinterize altyapıların ortalama 3 nokta bükme dayanımı (19330,6 $\pm$ 2405,6 MPa) **D_{kont}** grubu da dâhil olmak üzere diğer 5 gruptan anlamlı bir şekilde daha yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$). **D_{kont}** grubunun ortalama 3 nokta bükme dayanımı (4268,5 $\pm$ 1506,1 MPa) ile lehim yapılmış gruplar (**L_{GL}**, **L_{LL}**, **D_{GL}**, **D_{LL}**) arasında da anlamlı bir farklılık kaydedilmiştir ($p < 0,05$). Ancak lehim yapılmış grupların (**L_{GL}**, **L_{LL}**, **D_{GL}**, **D_{LL}**) ortalama 3 nokta bükme dayanımları arasında anlamlı bir farklılık kaydedilmemiştir ($p = 0,220$).

Döküm yöntemi kullanılarak üretilmiş lehim yapılmış altyapıların (**D_{GL}**, **D_{LL}**) ortalama bükme dayanımları lazer sinterizasyon ile elde edilmiş lehim yapılmış gruplardan (**L_{GL}**, **L_{LL}**) daha yüksek değerler göstermiştir. Ancak, gruplar arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı değildir.

Lehim yapılmış grupların ortalama bükme dayanımları büyükten küçüğe sırası ile; D_{GL} için $2899,6 \pm 1801,2$ MPa, D_{LL} grubu için $2039,3 \pm 767,8$ MPa, L_{GL} grubu için $1334,3 \pm 547,1$ MPa ve son olarak da L_{LL} grubu için $881,7 \pm 572,7$ MPa dır.

Geleneksel lehim yöntemi kullanılan grupların (D_{GL} , L_{GL}) ortalama bükme dayanımları ile lazer lehim yöntemi kullanılan grupların (D_{LL} , L_{LL}) ortalama bükme dayanımları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunamamıştır. Ancak, geleneksel lehim yöntemi kullanıldığında ortalama bükme dayanımı küçük de olsa bir miktar daha yüksek bulunmuştur.

4.2. Mikroyapı (SEM) Analiz görüntüleri

Üç nokta bükme dayanımı testi örnekler kırılana kadar devam ettirilmiştir. Kırık yüzeyler farklı büyütmelerde ikincil elektron (SE) ve geri saçılma elektron (BSE) görüntüleri kullanılarak taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımı ile incelenmiştir. İlk olarak düşük büyütmeler ($\times 35$) ile başlanan ve sonrasında daha yüksek büyütmeler ($\times 500$, $\times 1000$, $\times 2500$) kullanılarak elde edilen mikroyapı incelemelerine ait SEM görüntüleri Şekil 4.1 ile Şekil 4.23 arasında verilmiştir.

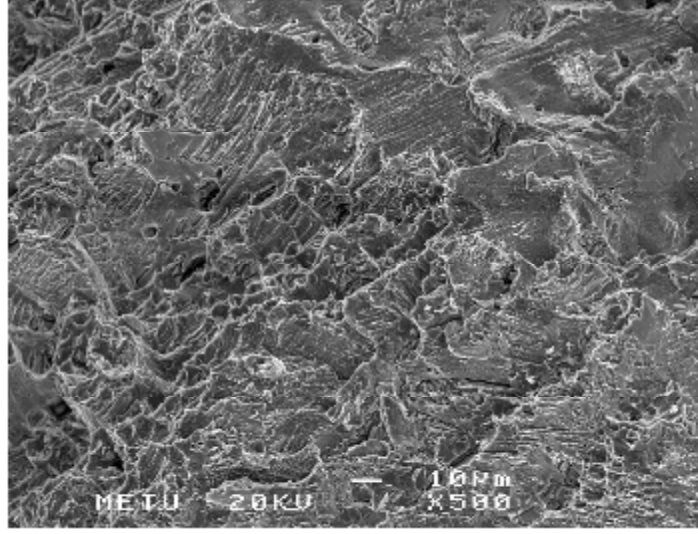
4.2.1. Lehim Yapılmamış Lazer Altyapı Kontrol Grubu (L_{kont})

SLS yöntemi ile elde edilen örneklerden alınan $\times 35$ büyütmedeki kırık yüzey görüntüsü Şekil 4.1’de verilmiştir. Bu gruba ait örneklerde makro olarak da gözlemlenebilen kırık yüzeyindeki parlak düzlükler gevrek kırılmayı karakterize etmektedir.

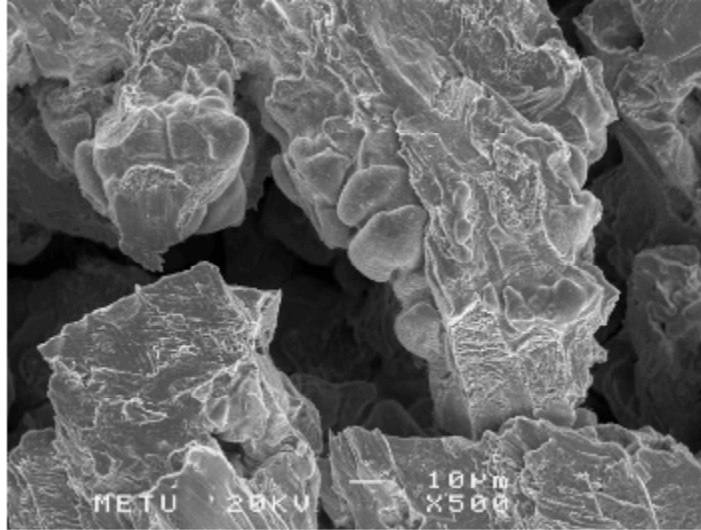


Şekil 4. 1. L_{kont} örneğine ait $\times 35$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü.

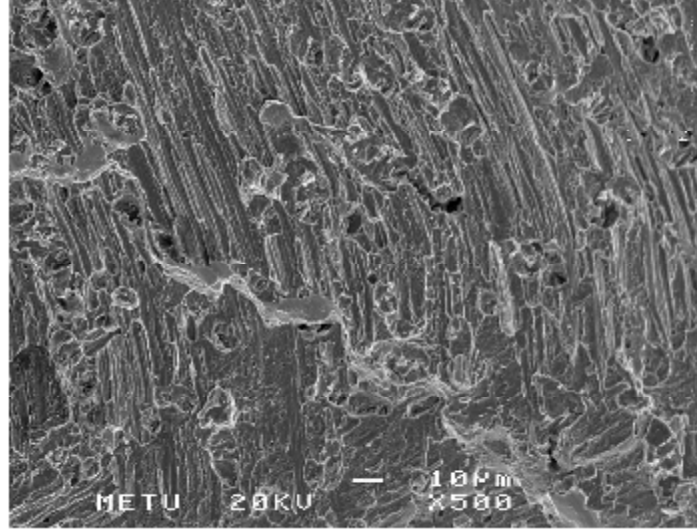
Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4’de verilen selektif lazer sinterizasyon yöntemi ile elde edilen kontrol grubundaki alaşımın kırık yüzey görüntüsünde, alaşımın gevrek kırılmasını onaylayan alanlar sağ üst köşede (Şekil 4.2.) izlenebilmektedir. Bununla birlikte aynı şeklin sol alt köşesinde dimple diye tarif edebileceğimiz sünek kırılmaya ait izler de izlenebilmektedir.



Şekil 4. 2. L_{kont} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.1’deki 1 numaralı kırılma sahası)



Şekil 4. 3. L_{kont} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.1’deki 2 numaralı kırılma sahası)



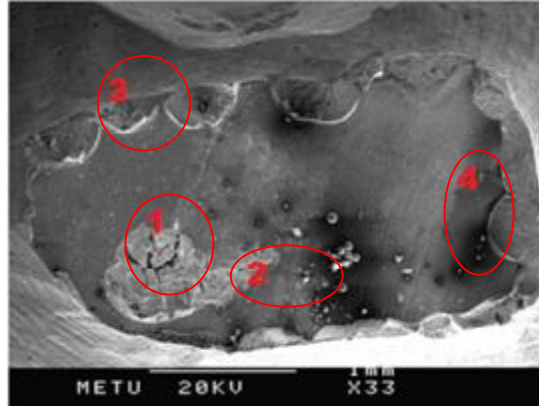
Şekil 4. 4. L_{kont} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.1'deki 3 numaralı kırılma sahası)

Şekil 4.2 ve 4.4'de $\times 500$ büyütme altında sinterizasyon katmanları ve katmanlar arasında ilerleyen kırığın ani ilerleyişi ile karakterize keskin ve parlak kırık hatları takip edilebilmektedir. Şekil 4.3'de gevrek kırılmaya ilaveten pörötik izlenmi veren bir alan ve çatlağın olduğu yerdeki partiküller izlenmektedir.

Ancak bu bölgenin pörötik bir alan olmadığı, ani kırılma esnasında diğer kırılma yüzeyinde tutunarak büyük bir parçanın koptuğu şeklinde yorumlanmıştır.

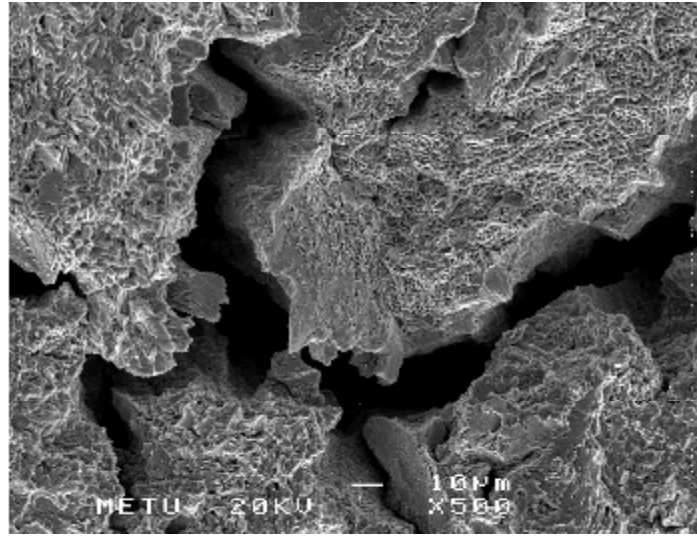
4.2.2. Lazer Sinterize Altyapı ve Geleneksel Lehim Grubu (L_{GL})

Selektif lazer sinterizasyon yöntemi ile hazırlanmış metal altyapılara geleneksel lehim uygulanmış örneklerden alınan $\times 33$ büyütmedeki kırık yüzey görüntüsü Şekil 4.5'de verilmiştir. Bu gruba ait örneklerde düşük büyütmede lehimin arayüzeyin çeperinde kaldığı ve lehim alaşımından merkeze doğru çok fazla olmasa da akmalara olduğu görülmektedir. Ancak lehim alaşımının tüm arayüzeye akmamış olması 2 metal yapının bağlantısının zayıf olmasına sebep olmaktadır.

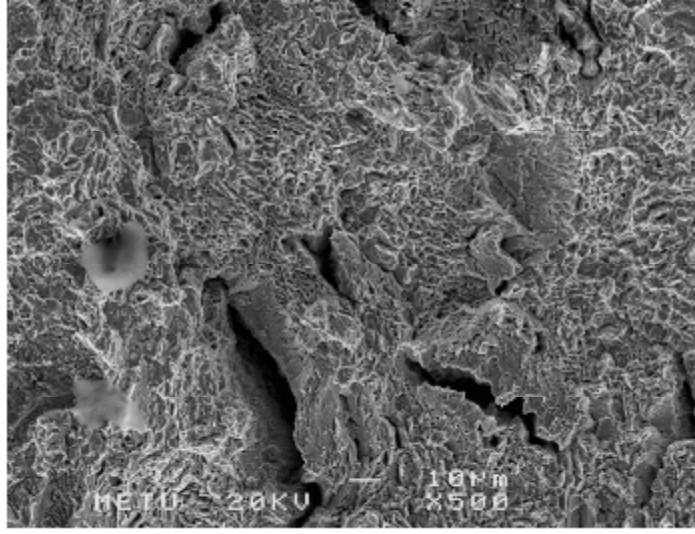


Şekil 4. 5. L_{GL} örneğine ait $\times 33$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü.

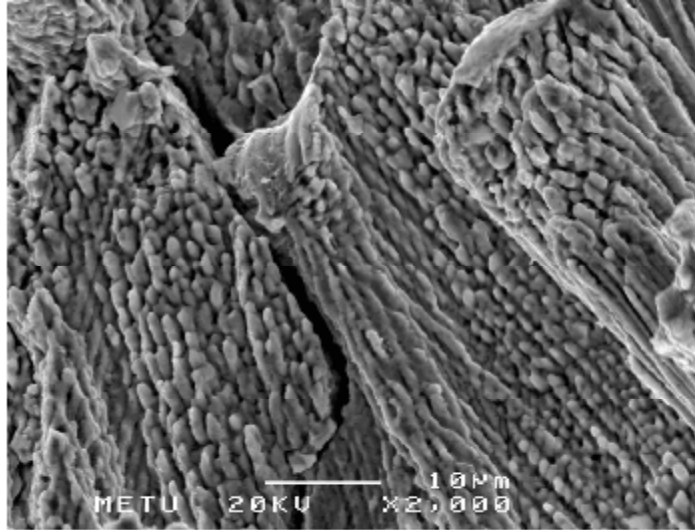
Şekil 4.6-4.8’de L_{GL} grubundaki örneklerde kırık yüzey görüntüsünde, alaşımın kırılma alanları izlenebilmektedir.



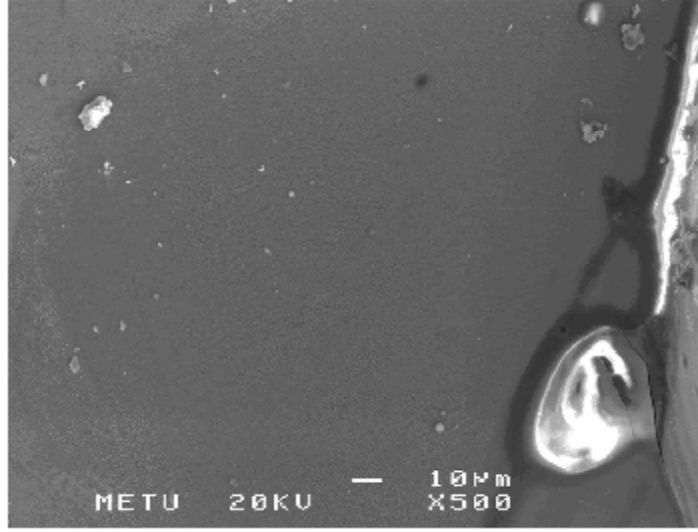
Şekil 4. 6. L_{GL} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.5’deki 1 numaralı kırılma sahası)



Şekil 4. 7. Lazerle Sinterize CoCr ve geleneksel lehim (L_{GL}) örneğine ait x500 büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.5'deki 2 numaralı kırılma sahası)



Şekil 4. 8. L_{GL} örneğine ait ×2000 büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.5'deki 3 numaralı kırılma sahası)



Şekil 4. 9. L_{GL} örneğine ait ×500 büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.5’deki 4 numaralı kırılma sahası)

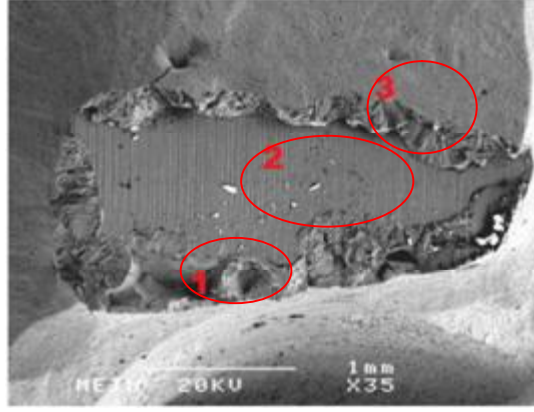
Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 Şekil 4.5’de 1 ve 2 numara olarak işaretlenen kırılma sahalarının ×500 büyütmedeki SEM görüntüleridir. Bu alanlarda geleneksel lehim alaşımının dentritik yapısı ve pörotik alanlar seyredilmektedir.

Şekil 4.8 Şekil 4.5’deki 3 numaralı gevrek kırılma sahasının ×2000 büyütmedeki SEM görüntüsüdür. Bu alanda geleneksel lehim alaşımının dentritik yapısı görülmektedir. Bu dentritik görüntü gevrek kırılmayı göstermektedir. İşaretli alanda dikey yönde gözlenen pörotik saha geleneksel lehim yapıldığında bağlantının zayıf olacağına işaret etmektedir.

Şekil 4.9 ise Şekil 4.5’deki 4 numaralı kırılma sahasının ×500 büyütmedeki SEM görüntüsüdür. Bu alanda yabancı cisimler gözlemlenmektedir. Bu yabancı cisimlerin görülmesi geleneksel lehim işleminde kontaminasyona işaret etmektedir. İlerleyen kısımlarda bahsedileceği gibi bu görüntü işaretli bölgede elemental içerik analizleri sonuçları ile de desteklenen muhtemel oksidasyon sınırını göstermektedir.

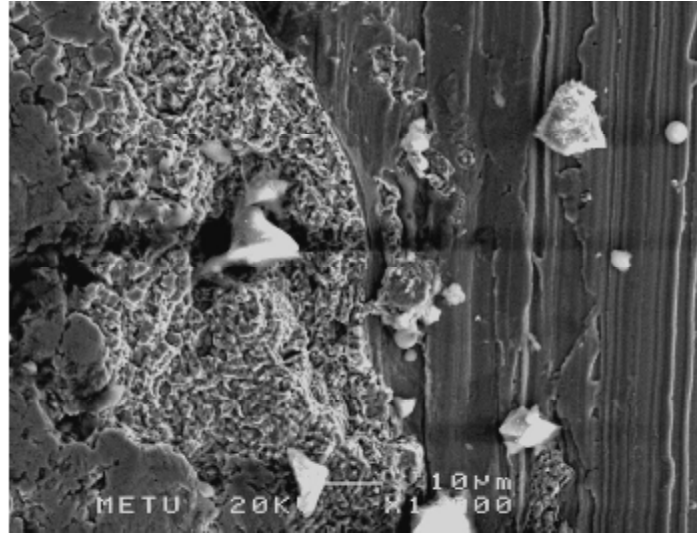
4.2.3.Lazer Sinterize Altyapı ve Lazer Lehim Grubu (L_{LL})

Lazer lehim yapılmış lazer sinterize örnekten alınan ×35 büyütmedeki kırık yüzey görüntüsü Şekil 4.10’da verilmiştir. Bu gruba ait örneklerde makro olarak lazer lehimin tüm bağlantı alanı boyunca diffüze olmadığı ve lehim alanını çember şeklinde puntoladığı gözlemlenmektedir.

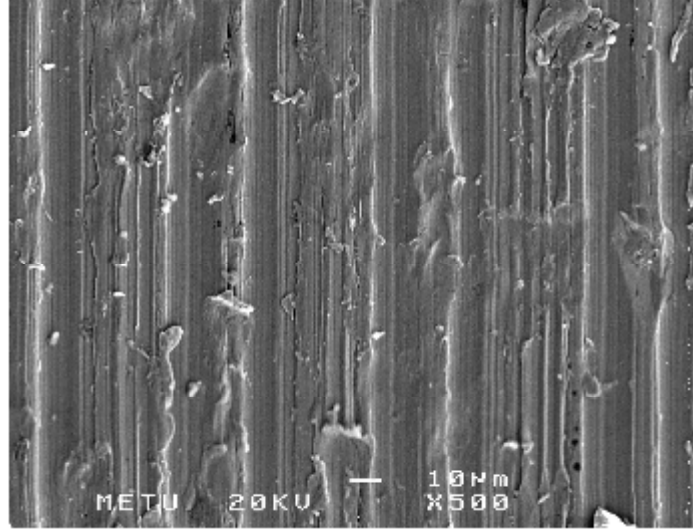


Şekil 4. 10. L_{LL} örneğine ait $\times 35$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü.

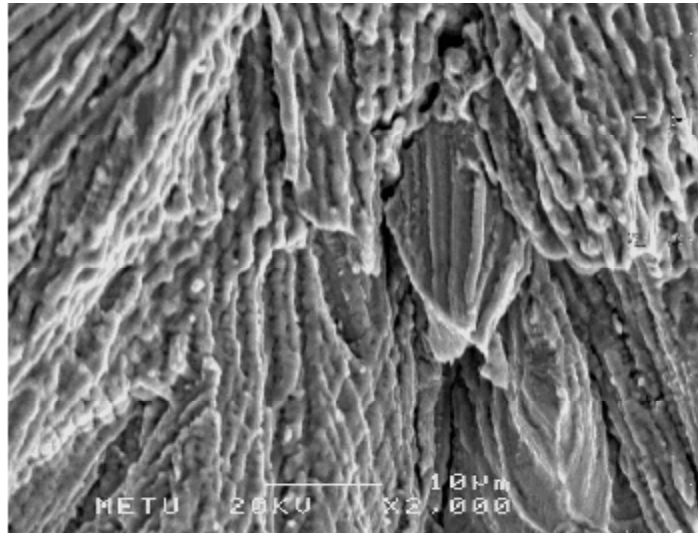
Şekil 4.11, 4.12 ve 4.13’de verilen lazer sinterizasyon yöntemi ile elde edilen alaşımların lazer lehim ile birleştirildiği kırık yüzey görüntüsünde, alaşımin kırılma alanları izlenebilmektedir.



Şekil 4. 11. L_{LL} örneğine ait $\times 1000$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.10’daki 1 numaralı kırılma sahası)



Şekil 4. 12. L_{LL} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.10'daki 2 numaralı kırılma sahası)



Şekil 4. 13. L_{LL} örneğine ait $\times 2000$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü (Şekil 4.10'daki 3 numaralı kırılma sahası)

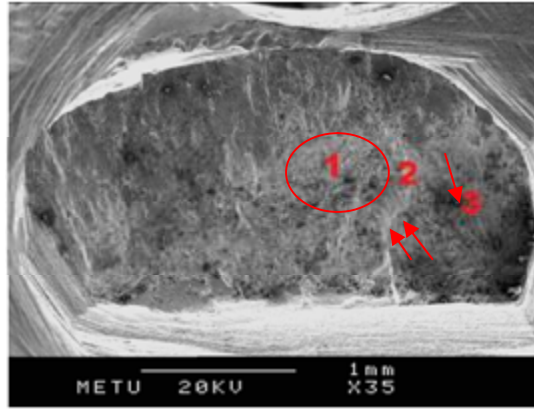
Şekil 4.11 Şekil 4.10'da gösterilen 1 numaralı kırılma sahasının $\times 1000$ büyütme SEM görüntüsüdür. Bu alanda sinterize metal altyapı ve lazer lehimin birleşme sınırı görülmektedir. Görüntüde birleşme sınırında gözlemlenen pörotik alan lazer lehimin sinterize alt yapıya yeterince yayılmadığını göstermektedir. Nitekim L_{LL} grubunun en düşük bükülme dayanımı göstermesi SEM'de izlenen bu bulguyu desteklemektedir.

Şekil 4.12 de Şekil 4.10 üzerinde belirtilen 2 numaralı kırılma sahasının $\times 500$ büyütmedeki SEM görüntüsüdür. Bu görüntüde izlenen dikey çizgiler metal altyapının lehim için hazırlanması sırasında karbon separe ile kesilmesi sonucu karbon separenin sinter altyapı üzerinde oluşturduğu izlerdir. Bu görüntü lehim alaşımının lehim sahasında merkez bölgede diffüze olmadığını göstermektedir.

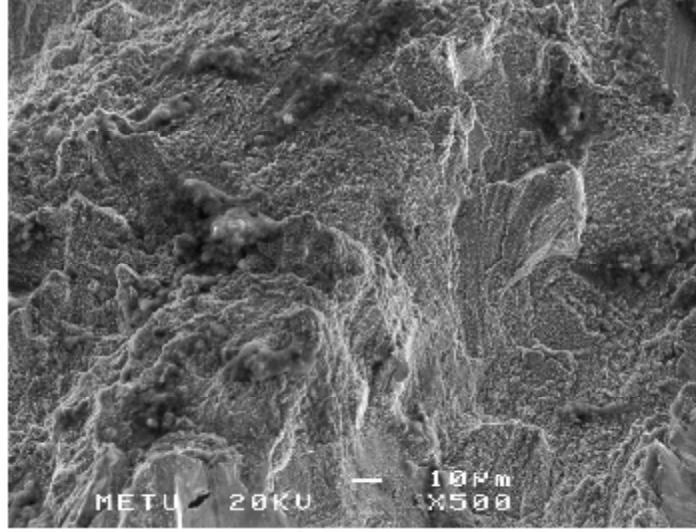
Şekil 4.13 ise Şekil 4.10'da 3 numaralı kırılma sahasının $\times 2000$ büyütmedeki SEM görüntüsüdür. Bu fotoğrafta gözlenen dentritik yapı kıymetsiz metal alaşımları için oldukça spesifik bir mikroyapıdır.

4.2.4. Geleneksel Döküm ile Elde Edilen Lehim Yapılmamış Kontrol Grubu (D_{kont})

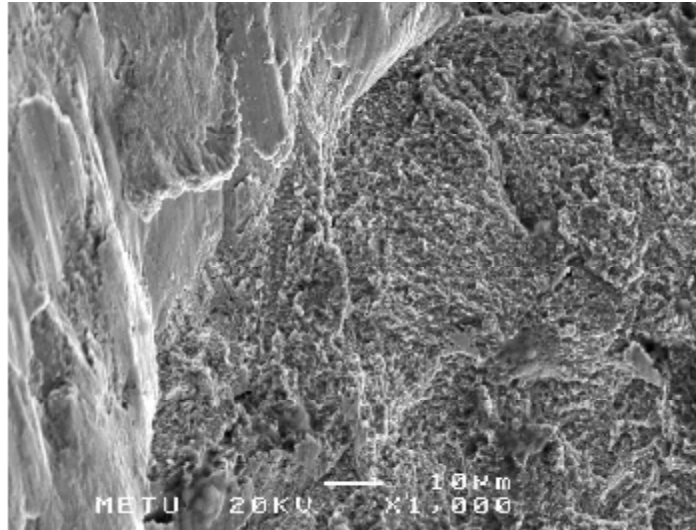
Şekil 4.14'de $\times 35$ büyütme altında döküm yöntemi ile elde edilen lehim yapılmamış kontrol grubundaki bir örneğe ait kırık yüzeyi görüntüsünde kırığın kademeli olarak ilerleyişi görülmektedir.



Şekil 4. 14. D_{kont} örneğine ait $\times 35$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü.



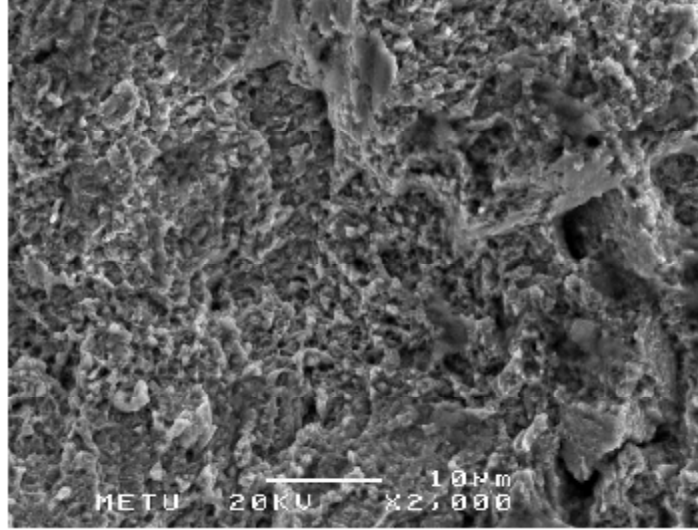
Şekil 4. 15. D_{kont} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü. (Şekil 4.14'deki 1 numaralı kırılma sahası)



Şekil 4. 16. D_{kont} örneğine ait $\times 1000$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü. (Şekil 4.14'deki 2 numaralı kırılma sahası)

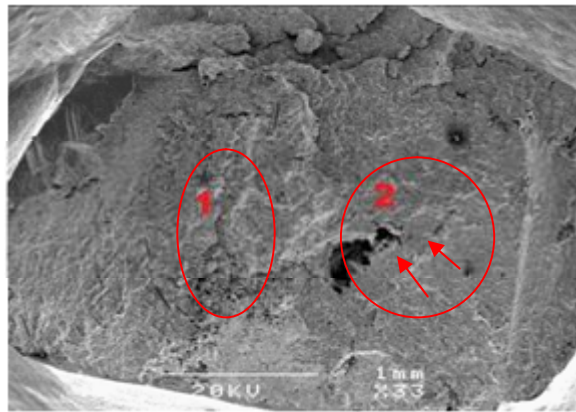
D_{kont} grubundan bir örneğe ait $\times 500$ ve $\times 1000$ büyütmenin verildiği Şekil 4.15 ve 4.16'da hem sünek kırılmaya ait izler hemde gevrek kırılmaya ait klivaj sahaları izlenebilmektedir. Şekil 4.15'te kırık yüzeyindeki partiküllerin yoğunluğu dikkat çekerken, Şekil 4.16'da ise görüntünün sol kısmında parlak gevrek kırılmaya ait izlerle partiküllerin yoğun olduğu bölgenin birleşim bölgesi dikkat çekicidir. Şekil 4.17'de ise

×2000 büyütmede kırılma alanındaki dentritik yapıya ait bölgeler ve partiküler bir görüntü gözlemlenmektedir.



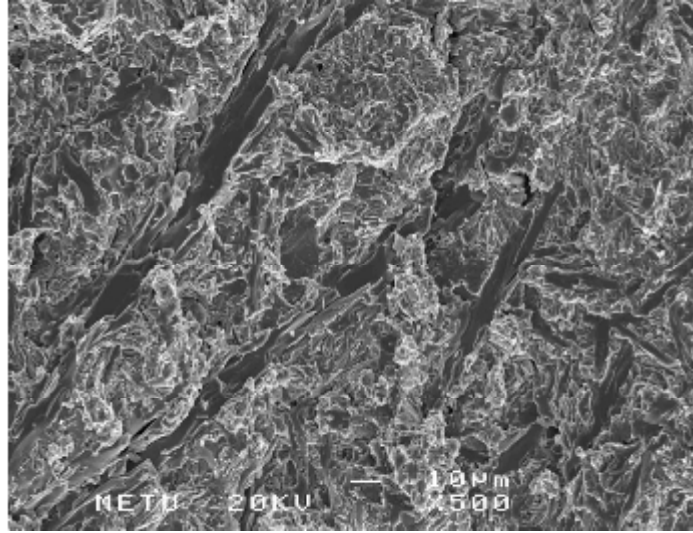
Şekil 4. 17. D_{kont} örneğine ait ×2000 büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü.(Şekil 4.14'deki 3 numaralı kırılma sahası)

4.2.5. Döküm Altyapı ve Geleneksel Lehim Grubu (D_{GL})

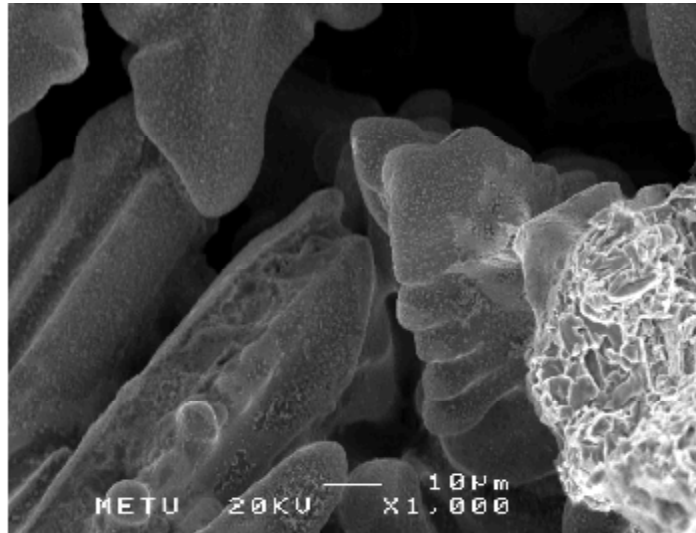


Şekil 4. 18. D_{GL} örneğine ait ×33 büyütmede elde edilen kırık yüzey görüntüsü.

Geleneksel döküm altyapı ve geleneksel lehim yapılmış örneklerden alınan $\times 33$ büyütmedeki kırık yüzey görüntüsü Şekil 4.18 'de verilmiştir. Bu gruba ait örneklerde makro olarak lehim alaşımının döküm altyapı alaşımına iyi tutulum gösterdiği ve lehim alaşımında olacak şekilde koheziv kırılma gerçekleştiği gözlemlenmektedir.



Şekil 4. 19. D_{GL} örneğine ait $\times 500$ büyütmede elde edilen kırık yüzey görüntüsü. (Şekil 4.18'deki 1 numaralı kırılma sahası)

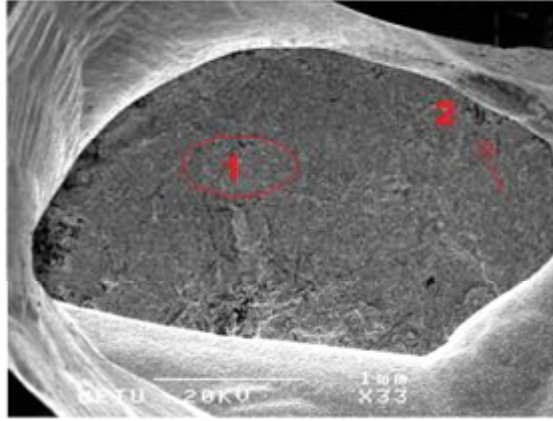


Şekil 4. 20. D_{GL} örneğine ait $\times 1000$ büyütmedeki kırık yüzey görüntüsü. (Şekil 4.18'deki 2 numaralı kırılma sahası)

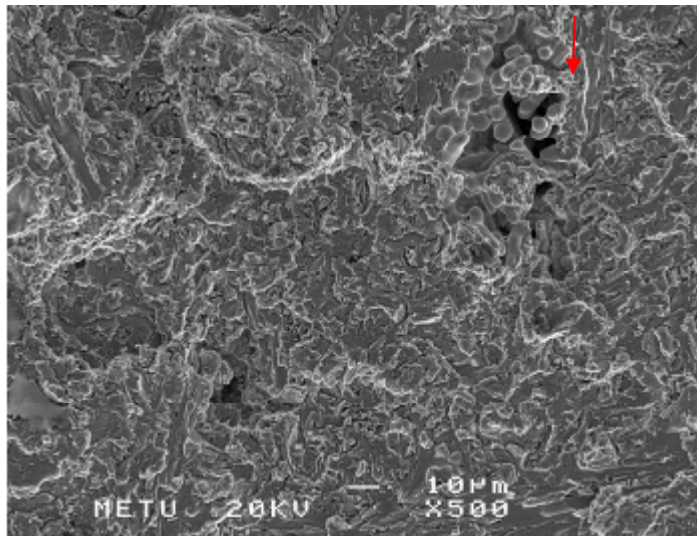
D_{GL} örneğine ait $\times 500$ ve $\times 1000$ büyütmenin verildiği Şekil 4.18 ve 4.19’da ağırlıklı olarak gevrek kırılma gözlenmekle birlikte sünek kırılmaya ait izler de izlenebilmektedir. Şekil 4.20’de kırılmanın başlamasına sebep olarak gösterilebilecek pörotik saha görülmektedir. Pörotik alandaki derindeki dendritik yapıların üzerindeki partikülller oldukça belirgin olarak izlenmektedir.

4.2.6. Döküm Alt Yapı ve Lazer Lehim Grubu (D_{LL}).

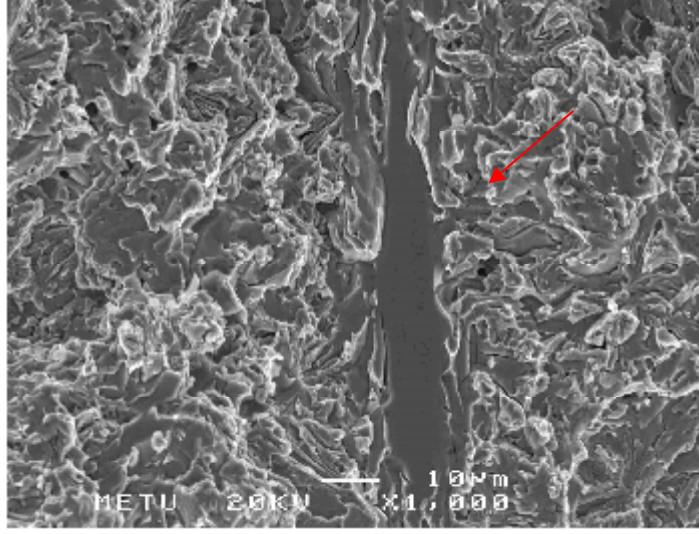
Şekil 4.21’de $\times 33$ büyütme altında döküm alt yapı ve lazer lehim grubunun kırık yüzeyinde, lazer lehim alaşımının kendi içerisinde koheziv bir kırık oluşturduğu gözlenmektedir.



Şekil 4. 21. D_{LL} örneğine ait $\times 33$ büyütmede elde edilen kırık yüzey görüntüsü.



Şekil 4. 22. D_{LL} örneğine ait $\times 500$ büyütme altında elde edilen kırık yüzey görüntüsü. (Şekil 4.21’deki 1 numaralı kırılma sahası)



Şekil 4. 23. D_{LL} örneğine ait ×1000 büyütmede elde edilen kırık yüzey görüntüsü. (Şekil 4.21’deki 2 numaralı kırılma sahası

D_{LL} örneğine ait ×500 ve ×1000 büyütmenin verildiği Şekil 4.22 ve 4.23’de ağırlıklı olarak gevrek kırılmaya ait izler izlenebilmektedir. Şekil 4.23’de ok ile belirtilen bölgede gevrek kırılmaya ait geniş bir alan görülmektedir.

4.3. Elementel İçerik Analizi Sonuçları

Kırık metal altyapı örneklerden, DMLS metal altyapı, DMLS lehim bölgesi, döküm metal altyapı ve geleneksel lehim bölgesi olmak üzere dört farklı ölçüm noktası esas alınarak analiz yapılmıştır. EDS analizine göre tarama yapılan bölgelerden alınan verilerin ortalama ağırlık yüzdeleri (% wt) Çizelge 4.2’de verilmiş olup analizlerin yapıldığı noktaları gösteren SEM görüntüleri Şekil 4.1, 4.5, 4.9, 4.14, 4.18 ve 4.21’de verilmiştir.

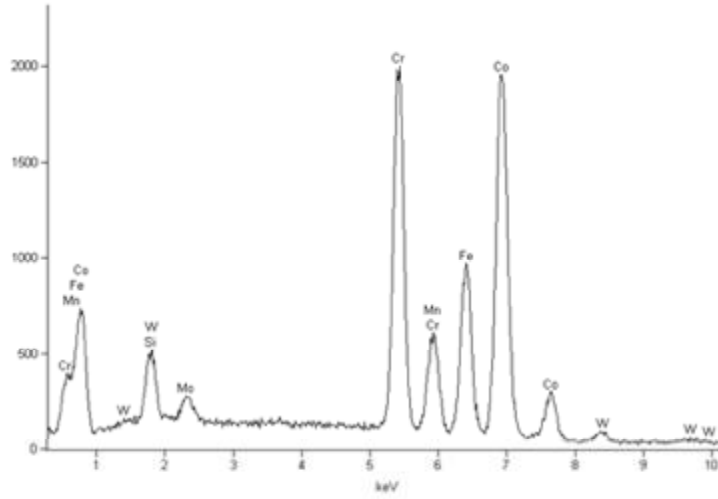
Çizelge 4. 2. EDS analizine göre ortalama % ağırlık değerleri

Grup	Co	Cr	Ni	Mo	W	Si	Fe	Mn
LazerKont	59,6 1,2 G	30,6 0,5 H		0,5 0,2 J	7,7 0,9 K	1,3 0,2 M		0,5 0,1 N
LGL	53,4 7,9 A*	27,3 1,9 a		2,3 0,9 B	6,0 1,8 b	0,11 0,5 C	14,9 4,0 c'	2,4 2,2 D
LLL	45,8 20,4 A	25,1 2,0 a		3,5 1,3 B	5,0 2,7 b	0,9 0,6 C	37,7 4,8 c	4,5 5,5 D
DökümKont	60,2 1,8 G	25,9 0,7 h		3,8 0,5 j	6,3 0,8 k	3,3 2,1 m		0,3 0,1 n
DGL	33,9 11,5 E	26,6 2,6 e	29,6 10,9 E'	5,9 1,8 F	7,6 0	1,5 0,6 f	1,7 0,3 F'	0,6 0,14 G
DLL	24,2 6,5 E	37,8 20,1 e	27,7 12,7 E'	7,0 0,4 F		1,1 0,5 f	1,5 0,3 F'	0,5 0,05 G

* Farklı harfler istatistiksel açıdan anlamlı farklılıkları göstermektedir.

EDS analizlerinden alınan sonuçlara göre L_{kont} grubunda yaklaşık %59,6±1,2 Co, %30,6±0,5 Cr, %0,5±0,2 Mo, 7,7±0,9 W, %1,3±0,2 Si, %0,5±0,1 Mn bulunmuştur.

L_{GL} grubunda %53,4±7,9 Co, %27,3±1,9 Cr, %2,3±0,9 Mo, %6,0±1,8 W, %0,11±0,5 Si, %14,9±4,0 Fe ve %2,4±2,2 Mn bulunmuştur. Şekil 4.25'te de 4.24'e benzer şekilde EDS spektrumu verilmiştir.

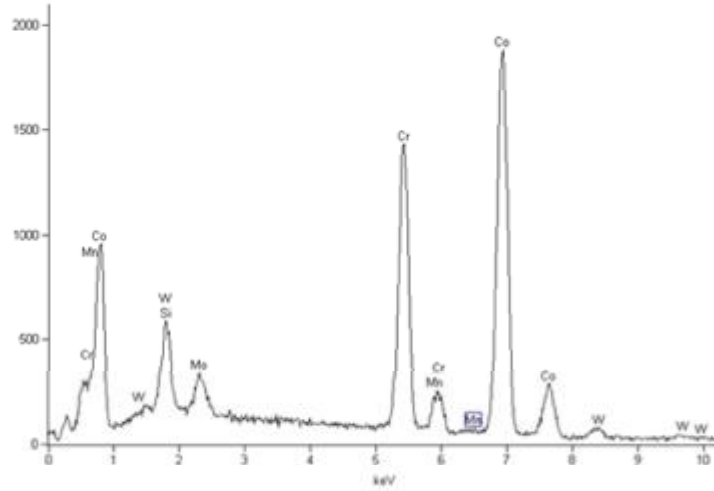


<i>Element</i>	<i>Weight Conc %</i>	<i>Atom Conc %</i>
<i>Si</i>	0.74	1.53
<i>Cr</i>	25.67	28.73
<i>Mn</i>	4.91	5.20
<i>Fe</i>	17.59	18.32
<i>Co</i>	43.72	43.17
<i>Mo</i>	2.44	1.48
<i>W</i>	4.93	1.56

Şekil 4. 24. L_{GL} lehim alanı EDS analizi sonucu

L_{LL} grubunda yaklaşık %45,8±20,4 Co, %25,1±2,0 Cr, %3,5±1,3 Mo, %5,0±2,7 W, %0,9±0,6 Si, %37,7±4,8 Fe ve %4,5±5,5 Mn bulunmuştur.

Şekil 4.24’de L_{LL} grubuna ait bir örnekten elde edilen EDS spektrumu verilmiştir. Bu spektrumda mevcut elementlere ait sayım değerleri izlenmektedir.



Element	Weight Conc %	Atom Conc %
Si	0.64	1.36
Cr	26.61	30.65
Mn	0.23	0.25
Co	61.68	62.68
Mo	5.13	3.20
W	5.70	1.86

Şekil 4. 25.. L_{LL} lazer altyapı alanı EDS analizi sonucu

EDS analizlerinden alınan sonuçlara göre D_{kont} grubunda %60,2±1,8 Co, %25,9±0,7 Cr, %3,8±0,5 Mo, %6,3±0,8 W, %3,3±2,1 Si ve %0,3±0,1 Mn bulunmuştur (Şekil 4.25).

D_{GL} grubunda ise %33,9±11,5 Co, %26,6±2,6 Cr, %29,6±10,9 Ni, %5,9±1,8 Mo, %7,6±0 W, %1,5±0,6 Si, %1,7±0,3 Fe ve %0,6±0,14 Mn bulunmuştur.

D_{LL} grubunda %24,2±6,5 Co, %37,8±20,1 Cr, 27,7±12,7 Ni, %7,0±0,4 Mo, %1,1±0,5 Si, %1,5±0,3 Fe ve %0,5±0,05 Mn bulunmuştur.

EDS analizine göre tarama yapılan bölgelerden alınan verilerde yapılan istatistiksel analizler sonucunda; lazer sinterizasyon yöntemi ile üretilen metal altyapılar üzerine uygulanan iki farklı lehim yöntemi karşılaştırıldığında, Co (p=0,471), Cr (p=0,097), Mo (p=0,120), W (p=0,481), Si (p=0,719) ve Mn (p=0,452) içerikleri

arasında, istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamamıştır. Sadece Fe içerikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p=0,01$).

Geleneksel döküm yöntemi ile üretilen metal altyapılar üzerine uygulanan iki farklı lehim yöntemi karşılaştırıldığında, Co ($p=0,116$), Cr ($p=0,282$), Ni ($p=0,774$), Mo ($p=0,139$), Si ($p=0,166$), Fe ($p=0,269$) ve Mn ($p=0,056$) içerikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamamıştır.

Lazer lehim uygulanmış, farklı iki yöntemle üretilen metal altyapılar karşılaştırıldığında, Co ($p=0,77$), Cr ($p=0,197$), Si ($p=0,602$), Fe ($p=0,060$) ve Mn ($p=0,178$) içerikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamamıştır. Mo içerikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p=0,03$).

Geleneksel lehim uygulanmış, farklı iki yöntemle üretilen metal altyapılar karşılaştırıldığında, Cr ($p=0,596$), Si ($p=0,096$) ve Mn ($p=0,113$) içerikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamamıştır. Co ($p=0,003$), Mo ($p=0,001$) ve Fe ($p=0,029$) içerikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur.

Lehim uygulanmayan ve farklı iki yöntemle üretilen metal altyapılar karşılaştırıldığında, Co ($p=0,417$) içerikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamamıştır. Cr ($p=0,000$), Mo ($p=0,000$), W ($p=0,006$), Si ($p=0,019$) ve Mn ($p=0,01$) içerikleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmanın sonuçları seçici lazer sinterleme prosedürünün dental uygulamalarda mekanik özellikleri olumlu yönde etkilediğini doğrulamıştır^{16,50-53}. Ancak klinikte köprü uygulamalarında karşılaştığımız dengesizlik (balanssızlık) durumunda lehim uygulamasının lazer sinterize metal altyapıların dayanıklılığını anlamlı ölçüde azalttığını göstermiştir. Benzer şekilde döküm altyapılarda da lehim uygulaması metal altyapıların dayanıklılığını önemli ölçüde azaltmıştır.

Baz alaşımlar sabit protezlerde, metal iskeletlerin yapımında ve implant üstü protez uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Lehim metal iskeletlerin birleştirilmesinde, kırılan protez parçalarının ve çok parçalı protez üyelerinin birleştirilmesinde kullanılmaktadır. CoCr ve NiCr alaşımlarının birleştirilmesinde çoğunlukla geleneksel lehim ve lazer lehim tercih edilmektedir⁵⁴. Seçici lazer sinterleme günümüzde klinik uygulamalarımızda da yer alan, özellikle metal destekli seramik restorasyonların metal altyapılarının hazırlanmasında kullanılan hızlı bir üretim yöntemidir. Ancak bu yöntem kliniklerimizde kullanılmaya başlamış olmasına rağmen literatürde lazer sinterize metal yapıların lehim uygulamalarının mekanik özelliklerinin, mikroyapısının ve elementel içeriğinin kıyaslandığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Mevcut çalışmada iki farklı yöntemle hazırlanmış metal altyapılara iki farklı yöntemle lehim yapılmış ve lehimin başarısı in vitro olarak test edilmiştir.

Mekanik özellikler metalografik özelliklerden etkilenmektedir. Metalografik özellikler korozyon direncini, korozyon direnci ise biyolojik uyumu etkilemektedir. Bütün bu özellikler başlangıçta farklı ana başlıklar gibi görünse de aslında bütünlük arz eden bir döngüdür. Bu nedenle mevcut çalışmada daha önce Anabilim Dalımızda lazer sinter CoCr metal alt yapıların mekanik, metalografik, elemental içerik analizleri, korozyon direnci ve biyolojik uyumluluk özelliklerinin geleneksel döküm CoCr metal alt yapılarla kıyaslandığı diğer çalışmaların devamı niteliğinde olabilmesi ve bu alaşımların lehim prosedürüne olan uyumlarının değerlendirilebilmesi adına aynı oranlarda kullanılan CoCr alaşımları tercih edilmiştir^{2,16,50,55}.

Dental alaşımların kullanımında gerek ana elementler gerekse de eser elementlerin yüzdeleri bir alaşımın mikroyapısını, buna bağlı olarak mekanik özelliklerini, korozyon direncini ve biyolojik yanıtını etkilemektedir. Bu nedenle

mevcut çalışmada ve daha önceki çalışmalarda Cr yüzdesi etkisini ortadan kaldırmak için Cr içerikleri benzer olacak şekilde, döküm CoCr alaşımında % 25 wt ve lazer sinter CoCr alaşımı için % 27,5 wt olmak üzere kullanılan iki grupta da % 22,25- 30 wt aralığında seçilmiştir⁵⁶.

Lazer lehimin değerlendirildiği araştırmalar, lazer lehimin bölünmemiş parçalarla veya farklı lehimleme yöntemleriyle birleştirilen parçalarla karşılaştırılması şeklinde yapılmıştır. Ancak yapılan araştırmaların çok büyük bir kısmı titanyum alaşımlar, bir kısmı da soy alaşımlar üzerinde yapılmıştır. Ayrıca lehim yöntemlerinin karşılaştırıldığı araştırmaların çoğunda bar şeklinde örnekler kullanılmış ve bu barlara çekme kuvveti uygulanmıştır⁵⁷⁻⁶¹. Mevcut çalışmada kullanılan örnekler klinik uygulamayı simüle edebilmesi adına 3 üye sabit restorasyon metal altyapısı olarak seçilmiştir. Çalışmada kullanılan test düzeneği çalışmanın güçlü yanlarından biridir.

Literatürdeki klinik çalışmalarda gerek sabit köprü uygulamalarında gerekse de uzantılı restorasyonlarda ortaya çıkan başarısızlıklarda döküm işlemine bağlı teknik komplikasyonlar sıklıkla yaşanmaktadır⁶². Bu durumda lehim uygulaması klinikte ihtiyaç duyulan bir çözüm yöntemidir. Lehimlenen sistemlerde kısa vadede en çok karşılaşılan teknik komplikasyonlar lehim bağlantısının gerçekleşmemesi, noktasal lehimlerin oluşması ve lehim bölgesinde ortaya çıkan kırıklardır. Mevcut çalışmada lazer lehim uygulanmış grupların kırılma dayanımı değerleri D_{GL} 2899,6 $\pm$ 1801,2 MPa, D_{LL} 2039,3 $\pm$ 767,8 MPa, L_{GL} 1334,3 $\pm$ 547,1 MPa ve son olarak L_{LL} 881,7 $\pm$ 572,7 MPa olarak bulunmuştur. Lazer lehim uygulanan gruplarda lehim ve altyapı alaşımları arasında noktasal lehimleme alanları gözlenmiştir ve lehim tüm yüzey alanı boyunca diffüze olmamıştır. Bunun sebebinin lehimle işlemi gerçekleştiren cihazın noktasal lehimleme işlemi ile çalışması olduğu düşünülmektedir. Ayrıca kullanılan lehim alanı boşluğu boyutunun genişliği de lehimin derine nüfuz etmemesinin bir sebebi olarak düşünülmektedir. Uzun vadede en çok karşılaşılan komplikasyonlar ise korozyona bağlı olarak gerçekleşen degradasyonlar ve malzemenin zayıflamasıdır. Lehim birleşim bölgelerinin kuvvete karşı direncini ve kalitesini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler; lehimleme yöntemi, lehimlenecek yüzeylerin hazırlanmasında kullanılan aşındırıcı materyalin tipi, lehim porözitesinin derecesi, lehim metalinin ana metale yetersiz kaynaşması, lehim metaline ile ana metal arasındaki elektrod potansiyel farkı, iki metal arasında kırık hattı oluşturabilecek boşluklar kalması ve protez tasarımı olarak

sayılabilir^{63,64}. Mevcut çalışmada da lehim metalinin ana metale yetersiz kaynaşmasından dolayı özellikle lazer lehim uygulanmış gruplarda kırılmanın bağlantı yüzeylerinde adeziv kırıklar şeklinde olduğu gözlenmiştir. Ana metal ve lehim metalleri arasında gözlenen pörotik alanlarda adeziv kırılmaların sebebi olarak gösterilebilir. Çalışmamızda standart bir lehim alanı silikon indeks ile elde edilmiştir. Yüzeyi pürüzlendirerek genişletip tutulum sağlaması adına tüm deney gruplarında lehim yüzey aşındırıcısı olarak karbon separe tercih edilmiştir. Lehim metalinin altyapıya tam kaynaşması için üretici firmaların prospektüsüne birebir uyularak lehim işlemleri tamamlanmıştır.

Chai ve arkadaşları döküm yaparak hazırladıkları titanyum örnekleri kontrol grubu tek parça olarak kalacak şekilde, dokuz deney grubundaki örnekleri iki parça haline getirmişlerdir. Üç farklı enerji seviyesi (290 V, 300 V, 310 V) ve üç farklı süreklilikte (8 ms, 10 ms, 12 ms) örnekleri lazerle lehimlemişler ardından çekme kuvvetine direnç değerlerini incelemişlerdir. Ortalama direnç değerlerini 374-562 MPa arasında bulmuşlardır. Enerji seviyelerindeki artışın lazerle lehimlenen örneklerin mekanik özelliklerini olumlu etkilediğini ve uygun enerji seviyesinde tek parça halinde dökülen örnek ile yakın mekanik özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bizim çalışmamızda kullanılan lazer cihazı tek enerji seviyesinde ve tek süreklilikte uygulanmıştır (260 V, 7 ms)⁶⁵. Bu çalışmada örnekler titanyumdan geleneksel döküm yöntemi ile üretilmiş ve lazer lehim uygulanmıştır. Arada herhangi bir lehim alaşımı kullanılmamıştır ve örnek boyutlarını belirlemek için kullanılan ISO standartları günümüzde geçerliliğini yitirmiştir. Bizim çalışmamızda geleneksel döküm yöntemi ile üretilen örneklerle uygulanan lazer lehimin ortalama direnç değerleri $2039,3 \pm 767,8$ MPa arasında bulunmuştur. Bizim çalışmamızda ortalama direnç değerlerinin daha yüksek çıkması arada bir lehim alaşımı kullanılması ve kullanılan ana alaşım ile lehim alaşımının içerik yüzdelerinin birbiri ile çok yakın olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Lazer lehim yöntemi geleneksel lehime göre hızlı, pratik, kolay ve temiz olması ve geleneksel lehimleme için gerekli olan rövetmana alma işlemlerine gerek olmaması gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca, ısıdan etkilenen bölgenin dar bir alanda kalması sayesinde geleneksel lehimde olduğu gibi lehimlenecek bölgenin etrafında bulunan yapılara zarar vermemektedir. Ancak lehim ana metalin tüm kesit yüzeyine nüfuz

etmemektedir, bu nedenle sadece bölgesel bir ısı artışı sağlayabilmektedir^{4,66,67}. Bu durum mevcut çalışmada kullanılan lazer lehim işleminde örneklerde çevresel bir puntolama sağlanması şeklinde bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmıştır. Bu nedenle lazer lehim yapılan gruplarda bükme dayanımının geleneksel lehim yöntemi ile hazırlanan gruplara oranla anlamlı bir fark olmasa da daha düşük olduğu gözlenmiştir. Lazer sinterize altyapıların lazer ve geleneksel lehim işlemlerinde lazer sinter metal tozu kullanılarak lehimleme gerçekleştirilmiştir. Bu iki faktörün mevcut çalışmada lazer sinter grubunun lehim uygulanan gruplarında daha düşük mekanik özellik göstermesine neden olduğu düşünülmektedir.

Zupancic ve arkadaşları CoCr alaşımından hazırladıkları silindirleri, dört gruba ayırmışlardır. Birinci grupta silindirler iki parçaya ayrılmadan bırakılmış, ikinci gruptaki örnekler geleneksel olarak lehimlenmiş, üçüncü ve dördüncü gruptaki örnekler ise farklı şekilde bağlantı yüzeyleri kullanılarak lazerle lehimlenmiştir. Lehimlenen silindirlere çekme testi uygulanmış. Geleneksel olarak lehimlenen örneklerin çekme kuvvetlerine karşı direnç ortalamaları 752 MPa iken lazerle lehimlenen örneklerin çekme kuvvetlerine karşı direnç değerleri 615 MPa olarak bulunmuştur. Kırılan örnekler SEM kullanılarak incelenmiştir. Farklı test yöntemi kullanılmış olsa da bu araştırmanın sonuçları ile mevcut çalışma bulguları paralellik göstermektedir⁴.

Hart ve arkadaşları titanyumdan hazırladıkları dört gruptan oluşan implant destekli barlı üst yapıların kantilever uzantılarını üç farklı lazer lehim protokolü ve ark lehimleme yöntemlerini kullanarak lehimlemişlerdir. Kantilever barlara çiğneme kuvvetlerini taklit edecek şekilde kuvvet uygulamışlar ve elektrik ark lehimleme yöntemiyle lehimlenen barların, lazerle lehimlenen barlara göre uygulanan kuvvetlere karşı daha dayanıklı olduklarını bulmuşlardır. Ancak, uygulanan lazer lehim protokolleri arasında doldurucu metal kullanılmamış olan örnekler için direnç değerleri doldurucu metal kullanılanlara göre belirgin olarak düşük bulunmuştur. Lazerle lehimlenen örneklerde ortalama direnç değerleri 291 MPa, 468 MPa ve 752 MPa olarak bulunurken, elektrik ark ile lehimlenen örneklerde ortalama direnç değerleri 1143 MPa olarak bulunmuştur. Yapılan bu araştırmaya göre barların lehimlenmesinde doldurucu materyal kullanılmasının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır⁶⁸. Tez çalışmamızda da bu nedenle direkt metal metale temas uygulamasından ziyade lehim boşluğu sağlanarak ara doldurucu uygulaması yapılmıştır. Lazer sinter metal altyapıların

lehimlenmesi esnasında geleneksel lehim alaşım çubuğu uygulanamamıştır; zira ilk örneklerde geleneksel lehim alaşımı kullanıldığında test cihazına dahi yerleştirilmeden elde kırılma göstermiştir. Bu nedenle ara doldurucusuz lehimleme yerine lazer sinter altyapı alaşımlarının lehimlenmesinde yine aynı metal kullanılmıştır. Çalışmamızın sonuçları lazer sinter alt yapıların mevcut lehim uygulamalarına uygun olmadığını göstermiştir. Mevcut çalışmada lazer noktasal kaynak yerine lazer nüfuziyet kaynak cihazı kullanılsaydı lehim alanlarının çevresel puntolama şeklinde değil daha derin alanlara diffüze olacağı dşnlmektedir. Ayrıca herhangi bir doldurucu kullanılmadan yapılacak lazer kaynak işlemi ile ana metal ve lehim metali arasında daha kuvvetli bir bağlantı alanı olacağı dşnlmektedir.

Benzer şekilde geleneksel döküm yöntemi ile elde edilmiş altyapılar da lehim için uygun değildir. Kıymetsiz alaşımlardan elde edilen altyapılarda üretim yöntemi ne olursa olsun lehim uygulaması yapılması önerilmemektedir. Farklı lehim yöntemleri lehim uygulanmış altyapıların bükme dayanımının anlamlı bir şekilde azalmasına neden olmuştur. Mevcut çalışmanın sonuçları sabit protetik restorasyonların altyapılarında lehim uygulamalarından kaçınılması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Lazer sinterizasyon yönteminde hekimin kullandığı ölçü tekniği ve kullanılan ölçü materyali ve die' li ana model yapım tekniği aşamalarında bir hata olmadığı müddetçe lehime ihtiyaç duyulmayacaktır. Mevcut çalışmada geleneksel döküm yöntemi ile elde edilen altyapıların lehim gruplarında ortalama bükme dayanımı, lehim yapılmayan kontrol grubuna göre anlamlı derecede çıkmıştır. Geleneksel döküm yöntemi doğası gereği hekim optimum standartlarda çalışmış olsa bile st yapı mum modelajı, mumdaki büzülme, geleneksel döküm st yapı elde edilmesi gibi laboratuvar aşamalarında oluşabilecek komplikasyonlardan dolayı lehim prosedürünün uygulanması kaçınılmaz hale gelebilir.

Gruplar ortalama en yüksek bükme dayanım değerleri açısından değerlendirildiğinde sırası ile; **L_{kont}** grubu $19330,6 \pm 2405,6$ MPa, **D_{kont}** $4268,5 \pm 1506,1$ MPa, **D_{GL}** $2899,6 \pm 1801,2$ MPa, **D_{LL}** $2039,3 \pm 767,8$ MPa, **L_{GL}** $1334,3 \pm 547,1$ MPa ve son olarak **L_{LL}** $881,7 \pm 572,7$ MPa'dır. Bu sonuçlar gerek lazer sinter altyapıların mekanik özelliklerinin test edildiği gerekse de lazer sinter alt yapıların lehim uygulamalarının değerlendirildiği çalışmalarla paralellik gstermektedir^{16,69}.

Çok üniteli sabit restorasyonlarda gövde bağlantıları gibi kırılma yönünden risk taşıyan sahalar için yaklaşık 300 MPa üzerindeki bir çekme dayanımı değeri yeterli görülür⁷⁰. Buna dayanarak, çalışmamızda test edilen tüm grupların bu kriteri yerine getirdiği söylenebilir. Gruplar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olsa da klinik uygulama açısından gruplar arasında bir fark oluşturmayacaktır. Buna rağmen, lazer sinter uygulamalarında ortalama bükme dayanımının özellikle lazer altyapılı kontrol grubuna nazaran lehim gruplarında yirmide birine düşmesi nedeni ile özellikle yüksek ısıma gücü olan hasta gruplarında ilk olarak lehim prosedürünün değil alt yapı tekrarlanması tercih edilmesi gerektiği söylenebilir.

Lazerle lehimlenen örneklerin çekme kuvveti uygulanması sonrası kırılan lehim bağlantı alanlarını SEM kullanarak değerlendiren araştırmaların bir kısmı lehim yüzeyini, oluşan kırık sonrası doğrudan incelemiştir^{4,32,57,71}. Lehimlenen örneklerin kırılan lehim bağlantı alanlarını SEM kullanarak değerlendiren araştırmaların bazılarında ise kırılan yüzeyi birleşim bölgelerinin kesiti alınarak da değerlendirme yapılmıştır^{35,41,72}. Ancak kırılma mekaniğini izlemek için ilk yöntemin tercihi daha anlamlıdır. Ağız ortamındaki restorasyonlarda ise, dinamik kuvvetler altında birleşim bölgesinde kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Bu yüzden bağlantı dayanıklılığı çalışmalarında dinamik yükleme testlerinin ve in-vivo araştırmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Böylece lehim yöntemlerinin in-vivo şartlardaki bağlantı dayanıklılıkları hakkında kliniğe daha yakın bilgiler elde edilmesi sağlanacaktır. Bu nedenle mevcut tez çalışmasında üç üye köprülere üç nokta bükme testi sonrasında kırık yüzeyinin SEM ve EDS analizleri kullanılarak doğrudan incelenmesi tercih edilmiştir. Bu şekilde hem kırılma paterni incelenmiş hem de kırılmanın hangi alaşımından gerçekleştiği yüzeydeki elemental yüzdenin değerlendirilmesi ile sayısal olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmamızda **L_{kont}** grubunun kırık yüzey görüntüsünde, alaşımın gevrek kırılmasını onaylayan klivaj sahaları izlenebilmektedir. Bu bölgelerde pörotik saha görünüşleri gözlemlenmiştir. EDS analizlerinden alınan sonuçlara göre lazer sinter kontrol grubunun merkezine yakın bölgede yaklaşık %31,32 Cr, %60,37 Co, %1,5 Si, %0,6 Mn, ve %6,2 W bulunmuştur. Lazer sinter kontrol grubunun pörotik bölgede yaklaşık %29,78 Cr, %60,93 Co, %1,13 Si, %0,36 Mn, %0,6 Mo ve %6,2 W bulunmuştur. Elemental içerikler değerlendirildiğinde pörotik saha olarak tanımlanan alanlar ile merkeze yakın bölgeler arasında yüzde oranları paralellik göstermektedir. Bu

durum bize pörotik gibi gözlenen alanların aslında büyük kopma alanları olduğunu ve aslında pöroz nedeni ile kırılma olmadığını göstermiştir. Bu bulgular lehim yapılmamış lazer sinterize grubunda izlenen yüksek mekanik özellikler ile örtüşmektedir. Bu sonuçlar daha önceki çalışmalarla paralellik göstermektedir^{16,73,74}.

Mevcut tez çalışmasında L_{LL} grubunun SEM görüntülerinde çevresel bir lehim alanı ile birlikte merkez bölgede karbon separe izleri gözlemlenmiştir. Bu araştırmada lazer lehimin zayıf ve yetersiz olma nedeninin lehimin sığ penetrasyon derinliği olduğu düşünülebilir. SEM ile incelenen kırık örneklerde lazer lehim özellikle metalin dış yüzeylerinde etkili olabilmiş ancak iç alanlara kadar ulaşamamıştır. L_{GL} grubunda ise SEM görüntülerine bakıldığında yine çevresel bir lehim alanı ile birlikte lehim difüzyonunun merkeze daha yakın alanlarda da dağıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum geleneksel lehimin daha geniş alanlara penetre olması ile açıklanmıştır. Tüm yüzeyde tutulum sağlanamaması lazer sinter altyapı metalinin lehim ile bağlanmasının, lehim yönteminden bağımsız olarak, yüzey özelliklerinin değiştirilmesinin zor olması nedeni ile lehime direnç göstermesi olarak speküle edilmiştir. Lazer sinterizasyon yöntemi ile elde edilen altyapıda lehimleme esnasında yaşanan güçlüğü ise hem alaşımın sahip olduğu Cr yüzdesi hem de alaşımın mikroyapısında gözlemlenen farklılık ile ilgili olduğu düşünülmektedir¹⁶.

Geleneksel lehim işleminde lehimleme aşamasında kullanılan flaks (flux), lehimlenecek metal yüzeyleri oksitlerden arındıran, yüzeyler arası gerekli ısı transferini gerçekleştiren ve lehimin yüzeyler boyunca yayılmasını sağlayan kimyasal kompozisyonlardır.

Oda sıcaklığında aktif olmayan flaks, ısıtıldığında aktif hale geçerek kuvvetli bir oksit çözücü ve önleyici malzeme halini alır. Isı enerjisi kullanılarak gerçekleştirilen lehimleme sürecinde en önemli yardımcı malzeme olan flaksın lehimleme öncesinde gerçekleşen birkaç görevi vardır ve bu aşamada en önemli faktör flaksın doğru ısı ile kullanılmasıdır. Flaks, lehimlenecek bölgeye gerekli ısı enerjisini sağlayan lehim ekipmanı, lehimlenecek yüzeyler ve erimiş lehim arasındaki ısı transferini gerçekleştirir. Ürün, lehim işleminden saliseler öncesinde yayıldığı yüzeyin direncini kırar ve erimiş lehimin yüzeyde topçuklar halinde kalmayarak akmasını ve gerekli yerleri dolduracak şekilde yayılmasını sağlar. Flaksın en önemli görevi, lehimlenecek metal yüzeyler üzerindeki oksitleri çözüp temizleyerek metaller arasında moleküler bir geçiş tabakası

oluşacak şekilde gerçekleşen düzgün bir lehim bağlantısının oluşmasını sağlamaktır. Metallerin her zaman oksitlendiği ama yüksek sıcaklıklarda bu oluşumun çok hızlı gerçekleştiği unutulmamalıdır. Isınmış metal, lehimleme işleminin hemen arkasından hızlıca yeniden oksitlenmeye yatkındır. Flaks, lehimleme gerçekleştikten hemen sonra yüzeyde yayılı kalarak hala sıcak olan lehim yüzeyinin oksijen ile temasını keser ve ısınmış metal yüzeyin yeniden oksitlenmesini engeller⁷⁵. Lazer sinterizasyon yöntemi ile gerçekleştirilen lehimleme işleminde flaks kullanılmaması, işleminin geleneksel lehimleme yöntemine göre daha zayıf bağlantı kurmasında bir etken olarak düşünülmektedir

Mevcut çalışmada kullanılan baz metal alaşımların termal iletkenliklerinin düşük olması sebebiyle, lazer lehim cihazının atım süresinin arttırıldığı bilinmektedir. Atım süresinin artmasının ısıdan etkilenen alanları genişlettiği ve termal genleşmeye bağlı olarak bağlantı bölgelerinde poröziteye sebep olduğu düşünülmektedir³⁹.

Çalışmamızda D_{GL} ve D_{LL} gruplarının SEM görüntülerinde tüm kırık sahasında yüzeyel bir tutulum gözlemlenmiştir. D_{LL} grubunun merkeze yakın bölgesinde yaklaşık %24,6 Cr, %28,93 Co, %36,11 Ni, %1,34 Si, %0,37 Mn, %6,89 Mo ve %1,75 Fe bulunmuştur. D_{LL} grubunun pörotik bölgesinde %73,14 Cr, %12,74 Co, %5,38 Ni, %0,15 Si, %0,5 Mn, %7,05 Mo ve %1,03 Fe bulunmuştur. D_{GL} grubunda ise merkeze yakın bölgesinde yaklaşık %29,36 Cr, %41,24 Co, %20,86 Ni, %2,86 Si, %0,73 Mn, %4,04 Mo ve %1,2 Fe bulunmuştur. D_{GL} grubunun pörotik bölgede %24,28 Cr, %62,68 Co, %3,95 Ni, %0,79 Si, %0,71 Mn, ve %7,6 W mevcuttur. Bu elemental analiz sonuçları ile her iki döküm grubunda da, lehimin yoğun difüzyon sahasına ulaştığı ve pörotik alan olarak adlandırılan bölgelerin alt yapı metali olduğu gözlemlenmiştir.

Literatürde lehim uygulanacak metal altyapılarda lehim yapılacak yüzeylerin birbirine olan uzaklığının 0.1 mm den az olmaması aksi takdirde lehim alaşımının ara yüzeye tamamen akamayacağı O'Brein tarafından belirtilir⁷⁶. Mevcut çalışmada lehim uygulanacak örneklerin kesilmesinde kullanılan karbon separinin 1 mm kalınlığı ve 1mm hata payı bırakılmasından dolayı lehim boşluğu 2 mm olarak standardize edilmiştir. Ayrıca metal seramik restorasyonların metal altyapılarının tasarımında konnektör bölge kalınlığı 2 mm olarak belirtilmiştir. Ancak bu boşluk boyutu 1 mm ve 0,5 mm olarak standardize edilirse veya herhangi bir ara doldurucu kullanılmadan lazer kaynak işlemi uygulanırsa metal altyapılar ve lehim alaşımları arasında daha iyi bir

bağlantı olacağı düşünülmektedir. İlerleyen zamanlarda bu parametrelerin kıyaslanacağı bir çalışma yapılması planlanmaktadır.

Yapılan mekanik testlere ve mikroyapı özelliklerinden alınan sonuçlara göre çalışmamızda kullanılan lazer sinterizasyon yöntemi ile elde edilen metal alt yapıların klinik olarak kullanılabilirliği teğit edilmiştir. Lehim sonrası döküm metal altyapıların bağlanma dayanımında da anlamlı düşüşler yaşanmıştır. Lehim yapılmış lazer sinterize grupların bağlanma dayanımı ile anlamlı farklılıklar olmasa da döküm metal altyapıların lehim sonrasında göreceli olarak daha az etkilendiği gösterilmiştir. Ancak çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda üretim yönteminden bağımsız olarak metal altyapıların lehimlenmemesi gerektiği sonucu çıkmaktadır. Lazer sinter yönteminin klinik kullanımı öncesi uzun dönem kontrollü in-vivo testlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Lazer lehimin esas problemi yüksek yatırım, işletim ve sürdürme maliyetleridir. Düşük çalışma hızından dolayı (25-250mm/dk) birleşme bölgelerinde çamurumsu oluşumlar (puddles) görülebilir. Lazer lehimleme yaklaşık 1,5 mm'lik derinlikle sınırlı olup, daha derine nüfuz etmesi için arttırılan enerji sadece gaz boşluklarına neden olur. Lazer lehimin minör eksiklerinin de üstesinden gelebilmek için tungsten gazının tek atımı ile açığa çıkan enerjiden faydalanılarak mikroelektrik ark lehimleyiciler tanıtıldı. Işık enerjisi kullanan lazer cihazının aksine tungsten soygaz (TIG) elektrik enerjisi uygular. Lehim noktası, uygulama parçası tarafından direk dağıtılan otomatik argon gaz kaplayıcı ile tasarlandı Argon kaplamalı tungsten soygaz lehimleme, lehim teli ile birlikte kullanıldığında, daha güçlü ve kırılmaya dirençli lehim alanları oluşturabilir. Ayrıca lazer lehime göre düşük maliyet, sınırlı çalışma alanı ve hafiflik gibi avantajları mevcuttur⁷⁷.

6. SONUÇLAR

1. Selektif Lazer Sinterizasyon (SLS) yöntemi ile elde edilen CoCr alaşımı testler sonrasında mekanik özellikler bakımından döküm alaşımlara göre üstün değerler sergilediği doğrulanmıştır.
2. Selektif Lazer Sinterizasyon (SLS) yöntemi ile elde edilen CoCr metal altyapıların lazer ve geleneksel lehim uygulaması sonrasında mekanik özellikleri açısından en düşük değerleri göstermiştir.
3. Geleneksel döküm yöntemi ile elde edilen CoCr metal altyapılar lehimin daha çok penentre olmasını sağlamıştır.
4. Lazer lehim ve geleneksel lehim yöntemleri karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmasa da geleneksel lehimin daha yüksek bükme dayanımı değerine sahip olduğu ortaya çıkmıştır.
5. Bütün grupların mekanik özellikleri klinik uygulamalar için yeterli mekanik özellikleri göstermektedir. Ancak parafonksiyonel alışkanlıkları olan hastalarda lehimleme yerine altyapı tekrarı düşünülmelidir.

KAYNAKLAR

1. **Anusavice KJ.** *Phillips' Science of Dental Materials*. 11th Ed., San Antonio: Saunders, **2003**.
2. **Ucar Y, Akova T, Akyil MS, Brantley WA.** Internal fit evaluation of crowns prepared using a new dental crown fabricating technique laser sintered CoCr crowns. *J Prosthet Dent*, **2009**; 102:253-9.
3. **Papazoglou E, Brantley WA, Johnston WM.** Evaluation of high-temperature distortion of high-palladium metal-ceramic crowns. *J Prosthet Dent*, **2001**; 85: 133-140.
4. **Zupancic, R., Legat, A., Funduk, N.** Tensile strength and corrosion resistance of brazed and laser-welded cobalt-chromium alloy joints. *Journal of Prosthetic Dentistry*, **2006**; 96: 273-282.
5. **Watanabe, I., Wallace, C.** Bond strength of gold alloys laser welded to cobalt-chromium alloy. *The Open Dentistry Journal*, **2008**; 2: 109-113.
6. **Shillenburg H, Hobo S.** *Fundamentals of Fixed Prosthodontics*. 2nd. Ed., Chicago: Quintessence Publishing Co , **1981**.
7. **Akın E.** *Dişhekimliğinde Porselen*. 2. Baskı, İstanbul: Bozak Matbaası, **1983**.
8. **Acikalin A, Budak N, Ucar Y.** Geleneksel Döküm ve Kopya Milleme Yöntemleri ile hazırlanan Metal Alt Yapılarının İç Uyumlarının Karşılaştırılması. *GÜ Diş Hek Fak Derg*, **2011**; 28: 169-176.
9. YenaDent Dental CAD-CAM sistem resmi sitesi Erişim: (<http://www.yenadent.com/Products/Machines/D40/>). Erişim Tarihi: 01.01.2014
10. **Deckard C.** Methods and apparatus for producing parts by selective laser sintering. US Patent 4863538, filed October 17, 1986, published September 5, **1989**.
11. **Shellabear ON.** DMLS-development history and state of the art, in: Proceedings of the Fourth Laser Assisted Net Shape Engineering. *LANE*, **2004**; 1: 393-404.
12. **Santos EC, Osakada MK, Laou T,** Rapid manufacturing of metal components by laser forming, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. **2006**; 46: 1459-1468
13. **Chua CK, Leong KF,** *Rapid Prototyping: Principles and Applications in Manufacturing*. 3rd. Ed., ABD: World Scientific Publishing, **1997**.
14. **J. Beaman JW, Barlow DL, Bourell RH, Crawford HL, Marcus KP, McAlea,** *Solid Freeform Fabrication: A New Direction in Manufacturing*, 1st Ed. New York: Springer Science+Business Media, **1997**.
15. **Levy GN, Schindel R, Kruth JP,** Rapid Manufacturing and Rapid Tooling with Layer Manufacturing (LM) Technologies, State of the Art and Future Perspectives Cirp Annals, *Manufacturing Technology*, **2003**; 52: 589-609.
16. **Gürbüz GA.** Selektif Lazer Sinterizasyonu İle Oluşturulan CoCr Kronların Porselen Fırınlanması Aşamalarında Boyutsal Stabilitésinin Değerlendirilmesi Ve Alaşımın Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2011.
17. **Rudgley M,** Rapid manufacturing - the revolution is beginning. Proceedings of the Rapid. Amsterdam, Hollanda, 2001: 441-444.
18. **Ciraud P,** Verfahren und vorrichtung zur herstellung beliebiger gegenstände aus beliebigem schmelzbarem material. German Patent Publication DE. Almanya, 1971: 1973-1977.

19. **Dimov SS, Pham DT, Lacan F, Dotchev KD**, "Rapid tooling applications of the selective laser sintering process", *Assembly Automation*, 2001; 21: 296-302.
20. **Santos EC, Shiomi M, Osakada K, Abe F**, Microstructure and mechanical properties of pure titanium models fabricated by selective laser melting, *Journal of Mechanical Engineering Science*, **2004**; 8: 711-719.
21. **Santos EC**, Processing of pure titanium by selective laser melting. Master Degree Dissertation, Graduate School of Engineering Science, Osaka University, Japan 2003.
22. **Tolochko NC, Mozzharov SE, Yadroitsev IA, Laoui T, Froyen L, Titov VI, Ignatiev MB**, Balling processes during selective laser treatment of powders, *Rapid Prototyping Journal*, **2004**;10: 2.
23. **Hauser C, Childs THC, Taylor CM, Badrossamay M**. Direct selective laser sintering of tool steel powders to high density. Part A. Effect of laser beam width and scan strategy, *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium*. Emerald, Bingley, UK.,2003:644-655.
24. **Heidemann J, Witt E, Feeg M, Werz R, Pieger K**. Orthodontic soldering techniques: aspects of quality assurance in the dental laboratory. *J Orofac Orthop.*, **2002**; 63: 325-338.
25. **Atik E., Ciger S**. Güncel Lehimleme Tekniği: Lazer Lehimleme. *Atatürk Üni Dış Hek Fak Dergisi*, **2013**; 1: 138-144.
26. **Rocha R, Pinheiro AL, Villaverde AB**. Flexural strength of pure Ti, Ni-Cr and CoCr alloys submitted to Nd:YAG laser or TIG welding. *Braz Dent J.*, **2006**; 17: 20-23.
27. **Srimaneepong V, Yoneyama T, Kobayashi E, Doi H, Hanawa T**. Mechanical strength and microstructure of laser-welded Ti-6Al-7Nb alloy castings. *Dent Mater J*, **2005**; 24: 541-549.
28. **Watanabe I, Baba N, Chang J, Chiu Y**. Nd:YAG laser penetration into cast titanium and gold alloy with different surface preparations. *J Oral Rehabil.*, **2006**; 33: 443-446.
29. **Fusayama T, Wakumoto S, Hosoda H**. Accuracy of fixed partial dentures made by various soldering techniques and one-piece casting. *J Prosthet Dent.*, **1964**; 14: 334-342.
30. **Apotheker H, Nishimura I, Seerattan C**. Laser welded vs. soldered non-precious alloy dental bridges: A comparative study. *Las Surg Med.*, **1984**; 4:207-213.
31. **Van Benthem H**. Advantages of laser welding compared to conventional joining. *Quintessenz Zahntech*, **1991**; 17: 1178-1193.
32. **Wang, R.R.,Welsch, G.E**. Joining titanium materials with tungsten inert gas welding, laser welding, and infrared brazing., *J Prosthet Dent.*, **1995**; 74: 521-530.
33. **Brudvik, J.S., Lee, S., Croshaw, S.N.,Reimers, D.L**. Laser welding of removable partial denture frameworks. *Int J Prosthodont*, **2008**; 21: 285-291.
34. **Pick, R.,Miserendino, L**. *Lasers in dentistry*. 4th Ed.,Chicago Quintessence Pub. Co., **1995**.
35. **Chao, Y., Du, L.,Yang, L**. Comparative study of the surface characteristics, microstructure, and magnetic retentive forces of laser-welded dowel-keepers and cast dowel-keepers for use with magnetic attachments. , *J Prosthet Dent*, **2005**; 93: 473-477.
36. **Wang, R.R.,Chang, C.T**. Thermal modeling of laser welding for titanium dental restorations. *Journal of Prosthetic Dentistry*, **1998**; 79: 335-341.

37. **Prasad, S., Monaco, E.A., Jr.** Repairing an implant titanium milled framework using laser welding technology: a clinical report. *Journal of Prosthetic Dentistry*, **2009**; 101: 221-225.
38. **Silva, E., Monteiro, W., Rossi, W., Lima, M.** Absorption of Nd: YAG laser beam by metallic alloys. *Journal of Materials Science Letters*, **2000**; 19: 2095-2097.
39. **Bertrand C., Quintin PA.** Proposals for optimization of laser welding in prosthetic dentistry, *Journal of Prosthodontics*, **2010**; 19: 69-76.
40. **Coluzzi, D.J.** Fundamentals of dental lasers: science and instruments. *Dental Clinics of North America*, **2004**; 48: 751-770.
41. **Wiskott, H.W., Dumas, M.T., Scherrer, S.S., Susz, C., Belser, U.C.** Microstructures of brazings and welds using grade 2 commercially pure titanium. *Journal of Prosthetic Dentistry*, **2001**; 14: 40-47.
42. **Jeffus L.** *Welding: Principles And Applications*, 7.th Ed., Chicago: Delmar, Cengage Learning CO, **2012**.
43. **Chang W.** 2005. *Princeples Of Lasers Ad Optics*, 4.th Ed.; England: Cambridge University Press, **2005**.
44. **Ion, J.C.** *Laser Prossesing of Engineering Mterials*, 6.th.Ed., ABD: Elsevier Butterworth-Heinemann, MA, **2005**: 176-198.
45. **Craig RG, Powers MJ.** *Restorative Dental Materials*. 11th Ed., St. Louis: The C.V. Mosby Co, **2002**: 450-456.
46. **Dieter GE,** *Mechanical Metallurgy*. 3rd Ed. New York: McGraw-Hill, **1986**: 241, 254, 329-332, 557 579.
47. **Parrington RJ,** *Practical Failure Analysis*. 2th Ed. St. Louis: Mosby; **2002**: 231-239.
48. **Bibb R, Taha Z, Brown R, Wright D.** Development of a rapid prototyping design advice system. *Journal of Intelligent Manufacturing*, **1999**; 10: 331-339.
49. Türkiye Atom enerjisi Kurumu resmi sitesi <http://www.taek.gov.tr/malzeme-teknolojisi/595-taramali-elektron-mikroskobu-sem-nasil-calisir.html>, 15.04.2015
50. **Akova T, Uçar Y, Alper T.** Comparison of the bond strength of laser-sintered and cast metal dental alloys to porcelain. *Dental Materials*, **2008**; 24: 1400-1404.
51. **Abou Tara M, Eschbach S, Bohlsen F, Kern M.** Clinical outcome of metal-ceramic crowns fabricated with laser-sintering technology. *Int J Prosthodont*, **2011**; 24: 46-48.
52. **Örtorp A, Jönsson D, Mouhsen A, Vult von Steyern P.** The fit of cobalt-chromium three-unit fixed dental prostheses fabricated with four different techniques: a comparative in vitro study. *Dent Mater*, **2011**; 27: 356-363.
53. **Raquel CA, Andre's ST, Jose' FL.** Evaluation of fit of cement-retained implant-supported 3-unit structures fabricated with direct metal laser sintering and vacuum casting techniques. *Odontology*, **2012**; 100: 249-253.
54. **Baba, N., Watanabe, I., Liu, J., Atsuta, M.** Mechanical strength of laser-welded cobalt-chromium alloy. *Journal of Biomedical Materials Research*, **2004**; 2: 23-27.
55. Acikalın A. Lazer Sinterize Alaşımların Biyouyumluluklarının Döküm Alaşımlar İle Karşılaştırılması. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2014

56. **Geis-Gerstorfer J, Weber H.** In vitro corrosion behaviour of four Ni–Cr dental alloys in lactic acid and sodium chloride solutions. *Dent Mater*, **1987**; 3: 289-295.
57. **Uysal, H., Kurtoglu, C., Gurbuz, R.,Tutuncu, N.** Structure and mechanical properties of Cresco-Ti laser-welded joints and stress analyses using finite element models of fixed distal extension and fixed partial prosthetic designs. *Journal of Prosthetic Dentistry*, **2005**; 93: 235-244.
58. **Ortorp, A.,Jemt, T.** Clinical experiences with laser-welded titanium frameworks supported by implants in the edentulous mandible: a 10-year follow-up study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, **2006**; 8: 198-209.
59. **Jemt, T., Henry, P., Linden, B., Naert, I., Weber, H.,Bergstrom, C.** A comparison of laser-welded titanium and conventional cast frameworks supported by implants in the partially edentulous jaw: a 3-year prospective multicenter study. *International Journal of Prosthodontics*, **2000**; 13: 282-288.
60. **Neo, T.K., Chai, J., Gilbert, J.L., Wozniak, W.T.,Engelman, M.J.** Mechanical properties of titanium connectors. *International Journal of Prosthodontics*, **1996**; 9: 379-393.
61. **Bock, J.J., Bailly, J., Gernhardt, C.R.,Fuhrmann, R.A.** Fracture strength of different soldered and welded orthodontic joining configurations with and without filling material. *Journal Applied Oral Science*, **2008**; 16: 328-335.
62. **Bragger, U., Aeschlimann, S., Burgin, W., Hammerle, C.,Lang, N.** Biological and technical complications and failures with fixed partial dentures (FPD) on implants and teeth after four to five years of function. *Clinical Oral Implants Research*, **2001**; 12: 26.
63. **Sadowsky, S.** Treatment considerations for maxillary implant overdentures: A systematic review. *The Journal of prosthetic dentistry*, **2007**; 97: 340-348.
64. **Waddell, J.N., Payne, A.G.,Swain, M.V.** Physical and metallurgical considerations of failures of soldered bars in bar attachment systems for implant overdentures: a review of the literature. *J Prosthet Dent*, **2006**; 96: 283-288.
65. **Chai, T.,Chou, C.K.** Mechanical properties of laser-welded cast titanium joints under different conditions. *J Prosthet Dent*, **1998**; 79: 477-483.
66. **Gordon TE,Smith DL.** Laser welding of prostheses--an initial report. *J Prosthet Dent*, **1970**; 24: 472-476.
67. **Suzuki Y, Ohkubo C, Abe M,Hosoi T.** Titanium removable partial denture clasp repair using laser welding: a clinical report. *J Prosthet Dent*, **2004**; 91: 418-420.
68. **Hart CN,Wilson PR.** Evaluation of welded titanium joints used with cantilevered implant-supported prostheses. *J Prosthet Dent*, **2006**; 96: 25-32.
69. **Arifoğlu NM.** Lazerle ve Geleneksel Olarak Lehimlenen İmplant Destekli Kantilever Barların Yükleme Direnç Değerlerinin Karşılaştırılması. Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009
70. **Wataha JC.** Noble alloys and solders. In: Craig RG, Powers JM, editors. Restorativedental materials. 11th edition. St. Louis: Mosby; **2002**, 449-478
71. **Berg E, Wagnere WC, Davik G, Dootz ER.** Mechanical properties of laser-welded cast and wrought titanium. *J Prosthet Dent*, **1995**; 74: 250-257.
72. **Chaves M, Vermilyea SG, Papazoglou E,Brantley WA.** Effects of three soldering techniques on the strength of high-palladium alloy solder joints. *J Prosthet Dent*, **1998**; 79: 677-684.

73. **Frenk A, Kurz W**, Microstructural effects on the sliding wear resistance of a cobalt-based alloy, **1994**; 174: 81-91.
74. **Asgar K, Peyton FA**, Effect of Microstructure on the Physical Properties, of Cobalt-Base Alloys. *J. Dent. Res.*, **1961**; 40:1.
75. **Özyönüm N**. Lehimleme Süreçlerinde Flaks Kullanımı ve Kullanım Sonrasında Temizleme İşlemleri. 3e Electrotech (Electronic Journal), - <http://www.3eelectrotech.com.tr/arsiv/yazi/128-lehimleme-sureclerinde-flaks-kullanimi-ve-kullanim-sonrasinda-temizleme-islemleri>
76. **William JO**. Dental materials and their selection. 3th edition. St. Louis: Mosby; **2002**, 218-249.
77. **Varghese S., Bhet V., Joseph S**. Laser welding of dental alloys: a systematic overview, *The Libyan Dental Journal*, **2014**; 4: 172-174.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Hatay’da doğdu. İlköğrenimini Hatay Sümerler İlkokulu’nda, orta ve lise öğrenimini 2001 yılında Hatay Osman Ötken Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2008 yılında Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi’nden mezun oldu. 2010 yılında Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı’nda doktora eğitimine başladı. Doktora eğitimi süresince Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi’nde klinik, akademik ve eğitsel faaliyetlerde bulundu.