



**T.C.**  
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİĞNEME SIRASINDA DIŞLERDEKİ RESTORASYONLARDA OLUŞAN**  
**AŞINMALARIN ÜÇ BOYUTLU BİR ÖLÇME SİSTEMİ İLE**  
**ÖLÇÜLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**FERHAT MAMUR**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

Bu tez ..../..../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oy çokluğuyla kabul edilmiştir.

Danışman:  
Doç.Dr.H. Selçuk HALKACI

Üye:

Üye:

**ÖZET**  
**Yüksek Lisans Tezi**

**ÇİĞNEME SIRASINDA DIŞLERDEKİ RESTORASYONLARDA OLUŞAN  
AŞINMALARIN ÜÇ BOYUTLU BİR ÖLÇME SİSTEMİ İLE  
ÖLÇÜLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ferhat MAMUR

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. H. Selçuk HALKACI

2006, 61 Sayfa

Jüri:

Doç. Dr. H. Selçuk HALKACI

Doç. Dr. Nimet ÜNLÜ

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin İMREK

Bu çalışmada dişlere yapılan dolgu materyallerinin çiğneme sırasındaki aşınmalarının ölçülmesi için optoTOP-HE 3B optik ölçme sisteminin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Dolgulardaki aşınmanın saptanması için pratik olarak uygulanabilir bir in vivo yöntem önerilmiştir. Aşındırma için hastalardan alınan gerçek dişleri kullanarak çiğneme durumunda dişlerde ve dolgularda oluşacak aşınmaları belirleyecek şekilde tasarlanmış bir simülatör kullanılmıştır.

Aşınmış ve aşınmamış örneklerin karşılaştırılması için paslanmaz çelikten imal edilen bir 3B referans gövdesi tasarlanmıştır. Çiğneme düzlemine dik yer değiştirmeler aşınma olarak ölçülmüştür. Önerilen yöntemle, her noktaya ait aşınmaların gösterildiği renk dağılım grafikleri yanı sıra, en büyük, en küçük ve ortalama aşınma, aşınmaların standart sapması, istenen bölgeye ait aşınma hacmi de hesaplanabilmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Dolgu materyali, 3B optik ölçme, in vivo yöntem, aşınma.

**ABSTRACT**  
**Master Thesis**

**ANALYSIS OF MEASURABILITY FOR MEASUREMENT OF DENTAL  
RESTORATION WEAR DURING MASTICATION WITH A THREE  
DIMENSIONAL MEASUREMENT SYSTEM**

Ferhat MAMUR

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI

2006, 61 Pages

Jury:

Assoc. Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI

Assoc. Prof. Dr. Nimet ÜNLÜ

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin İMREK

In this study is studied that usability of opto TOP-HE 3D optical measurement system used to measure wear in restoration materials that occurs during mastication. An in vivo method which can be put in practice is proposed to determine the wear in restoration materials. A simulator designed to be able to specify the wear in restoration materials and teeth during mastication was used in the wear experiments by original teeth from patients.

A stainless steel 3D reference body was designed to register worn and unworn specimens. The vertical differences according to normal of the chewing plane were measured as wear. With the proposed method, as well as color map of all points can be found , the wear volume belongs to the selected region, maximum wear, minimum wear, average wear and standard deviation of wear can be calculated

**Key Words:** Restoration material, 3D optical measurement, in vivo method, wear.

## ÖNSÖZ

Ülkelerin gelişmelerinde en önemli faktörlerden bir tanesi farklı alanlardan farklı disiplinlerin bir araya gelip projelerde ve sorunların çözümünde ortak görevler almasıdır.

Bu fikirden yola çıkarak üniversitemiz Dişhekimliği fakültesi ile beraber bir çalışma yapılmış ve ülkemiz sanayinde yeni kullanılmaya başlanan 3B optik ölçme sisteminin, dişlerde ve dolgu malzemelerinde çigneme süresince oluşan aşınmaların saptanmasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçların alanındaki diğer çalışmalara ışık tutacağı ve sadece Dişhekimliğinde değil, makine sanayinde de genel olarak kalite kontrol amaçlı veya aşınan parçaların aşınmalarının ölçülmesinde de kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Bu çalışmada beni yönlendiren danışmanım Doç. Dr. Selçuk HALKACI' ya, örneklerin hazırlanmasında yardımcı olan Doç. Dr. Nimet ÜNLÜ ve Arş. Grv. Ali Rıza Çetin'e ve hazırlanan örneklerin ölçüm işlemlerini yapan İNFOTRON A.Ş.' ye teşekkürü bir borç bilirim.

Ferhat MAMUR  
Makine Mühendisi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

sayfa

<b>Şekil 3.1</b> Kullanılan aşındırma cihazında üst dişlerin alt dişlere göre eksantrik hareket yapması .....	12
<b>Şekil 3.2</b> Aşındırma cihazı.....	13
<b>Şekil 3.3</b> Hazırlanan örnekler .....	14
<b>Şekil 3.4</b> Sayısallaştırma yöntemlerinin sınıflandırılması .....	15
<b>Şekil 3.5</b> Izgara projeksiyonu .....	16
<b>Şekil 3.6</b> Lazer tarama mekanizmasının şematik görünümü .....	18
<b>Şekil 3.7</b> Fiziksel bir parçanın taranması ile elde edilen emiş türbini ve orijinal CAD referans modeli .....	19
<b>Şekil 3.8</b> Egzoz manifoldunun tersine mühendislik ile elde edilen modeli.....	19
<b>Şekil 3.9</b> Tersine mühendislikte iş akışı .....	20
<b>Şekil 3.10</b> optoTOP-HE 3B optik tarama cihazı.....	21
<b>Şekil 3.11</b> 3B Ölçme işlemi .....	21
<b>Şekil 3.12</b> Referans iğneli örneğin nokta bulutu ve 3B görüntüsü .....	22
<b>Şekil 3.13</b> Diş örneklerinin 3B görüntüleri.....	23
<b>Şekil 3.14</b> Deney cihazında dişlerin birbirine göre hareket ettiği düzleme dik kesit profilinde aşınma tanımı .....	24
<b>Şekil 3.15</b> Tekrarlanabilirliğin ve aşınmaların saptanması için kabuklara uygulanacak işlemler .....	25
<b>Şekil 3.16</b> Hızlı çakıştırma ile kabuklara bir ön çakıştırmanın yapılması.....	26
<b>Şekil 3.17</b> Tam çakıştırmada benzer kabukların birbirlerine çok yaklaşması ....	27
<b>Şekil 3.18</b> Bölgesel çakıştırmada her iki parçada da değişikliğe uğramayan bölgelerin seçilmesi.....	28
<b>Şekil 3.19</b> İşaretle değerlendirilmede sapmaların negatif ve pozitif değerler arasında gösterilmesi .....	29
<b>Şekil 3.20</b> Mutlak değerlendirilmede pozitif sapmaların incelenmesi.....	29
<b>Şekil 3.21</b> Ortalama aşınma ile iz düşüm alanının çarpılarak aşınma hacminin bulunması .....	31

<b>Şekil 3.22</b> Referanssız çakıştırma ile sağlıklı ölçmelerin yapılamadığını gösteren şekil .....	32
<b>Şekil 3.23</b> Dişlerin akrilikten ayrılarak daha sağlıklı çakıştırılmalarının yapılabilmesi .....	33
<b>Şekil 3.24</b> Sadece dolgulara da çakıştırma uygulanabilmesi .....	33
<b>Şekil 3.25</b> Tasarlanan 3B referans gövde .....	34
<b>Şekil 3.26</b> 3B gövde üzerinde referans olarak alınan bölgeler .....	35
<b>Şekil 4.1</b> Doğruluk ve hassasiyet .....	36
<b>Şekil 4.2</b> Kalibrasyonun doğruluğu için kullanılan master.....	37
<b>Şekil 4.3</b> 3B Ölçmeler arasındaki farklar.....	39
<b>Şekil 4.4</b> Oluşturulan referans kutu ve koordinat takımları.....	44
<b>Şekil 4.5</b> Örneklerin xz eksen takımına oturtulması ve aşınmanın dik olarak y yönünde ölçülmesi .....	44
<b>Şekil 4.6</b> Aşınmanın y eksenini doğrultusunda dik olarak ölçülmesi.....	45
<b>Şekil 4.7</b> Aşınmanın, dış kesitleri boyunca da ölçülebilmesi .....	45
<b>Şekil 4.8</b> Dolgu bölgelerinde oluşan aşınmalar .....	46
<b>Şekil 4.9</b> Sprey boyanın etkisi .....	47

## ÇİZELGELER LİSTESİ

### sayfa

<b>Çizelge 4.1</b> Akrilikli dişlerin çakıştırılması durumunda ölçme hassasiyeti .....	40
<b>Çizelge 4.2</b> Sadece dişlerin çakıştırılması durumunda ölçme hassasiyeti .....	40
<b>Çizelge 4.3</b> Dolguların çakıştırılması durumunda ölçme hassasiyeti .....	41
<b>Çizelge 4.4</b> Referans gövdeli dişlerin çakıştırılması durumunda ölçme hassasiyeti .....	41
<b>Çizelge 4.5</b> Sadece dişlerin çakıştırılması durumunda ölçme hassasiyeti .....	42
<b>Çizelge 4.6</b> Sadece dişlerin birleştirilip çakıştırılması durumunda ölçme hassasiyeti .....	42
<b>Çizelge 4.7</b> Sadece dolguların çakıştırılması durumunda ölçme hassasiyeti .....	42

# 1. GİRİŞ

Aşınma, sürtünen yüzeylerde malzemenin mekanik etkenler nedeniyle ve istenilmediği halde kopup ayrılmasıdır. Bu şekilde parçalar ilk şekillerini kaybederler; parçalar arasındaki boşluklar büyür ve amaçlanan fonksiyon yerine getirilemez. Aşınan ve aşındıran malzeme beraberce aşınma çifti olarak tanımlanır. Aşınma çifti arasındaki ara malzeme sert taneli, sıvı, buhar, gaz olabilir. Aşınma parçacıkları da ara malzeme gibi etki yaparak aşınma olayına katılırlar. Aşınma çifti ile ara malzemeye birlikte aşınma kombinasyonu denir. Aşınma çifti arasındaki relatif hareket aşınmanın cinsini belirler. Yük, statik, dinamik veya darbe şeklinde olabilir.

Genellikle aşınmadan dolayı sistemin tamamen durması söz konusu değildir. Aşınma sistemin çalışma kabiliyeti, verim, doğruluk gibi ön karakteristiklerini olumsuz olarak etkileyen bir olaydır. Bundan dolayı aşınmada önemli olan problem, sistemin ön karakteristiklerini belirli bir sınırın altına düşürmeyecek bir aşınma miktarı tayin etmektir. Bu miktar aşınma hacmi veya derinliği olarak bilinir (Akkurt, 1997). Pratikte birçok aşınma tipleri olmakla beraber bunlar genel olarak dört ana gruba ayrılır: Adhezyon aşınması, abrazyon aşınması, korozyon aşınması, yorulma aşınması.

Aşınma olayında genel olarak belli başlı parametreler şunlardır:

- Ana malzeme
- Karşı malzeme
- Aşınma sırasında araya giren maddeler
- Hareket
- Yük

Ayrıca sıcaklık da bu parametrelere eklenebilir. Bunun yanında aşınma birçok şartların etkisi altındadır. Mesela yüklemenin tipi ve hızı, yağlamanın tipi ve miktarı, sertlik, yüzey kalitesi, malzemenin davranışı ve çevresel faktörler (Sonugelen ve ark. 2000).

## 1.1. Dişlerde ve Restorasyonlarda Görülen Aşınmalar

İnsan dişleri ve restorasyonlar, ağız ortamında devamlı olarak mekanik, biyolojik, kimyasal ve ısı etkenleri ile karşı karşıyadır. Bu da aşınma olayının kompleks bir hal almasına neden olur. Fizyolojik hareketler ve çiğneme nedeniyle dişler, mekanik olarak birbirlerinin üzerinde sürtünürler ve buna bağlı olarak diş yüzeylerinden ve dolgularından malzeme kopup ayrılır. Özellikle kompozit yapılı dolgu malzemeleri heterojen yapılarından dolayı orantısız olarak aşınır ve orijinal biçimlerini kaybederler (Gökay ve Türkün 2002).

Bir tribolojik sistemin aşınmasında üç temel element vardır. Bunlar;

- *Yapı*; Temastaki materyalin tipi ve temas geometrisi
- *Etkileşim şartları*; Yük, gerilim ve temasın sürekliliği
- *Yüzey ve çevre şartları*; Yüzeyin kimyasal yapısı, yüzey pürüzlülüğü ve sıcaklık.

Çiğneme esnasında oluşan aşınma olayında iki aşama vardır. İlk aşamada dişler açık pozisyonda iken temas halinde bir pozisyona getirilir. İkinci aşamada kuvvet yiyeceğe uygulanır ve besini parçalama dişlerin lateral yani yatay hareketleri ile olur. İlk aşama boyunca, abraziv partiküller yiyecek emilimi içine harekette serbesttir. İkinci aşamada abraziv partiküller diş yüzeyleri arasında yakalanır ve yüzeyler arasında sürüklenir. Bu şekilde aşınma olayı tamamlanır. Dolgu kayıpları, koparma ve gerilme kuvvetleri etkisinde kalan yüzeylerde, basınç (basma) kuvvetleri etkisindeki yüzeylere göre daha sık olur.

Sistemin parametrelerine bağlı olarak dişlerde ve restorasyonlarda dört farklı aşınma mekanizması görülür (Turssi ve ark. 2003). Çiğneme sırasında dişler birbiri ile temas edince **adezyon aşınması** olur. Burada, ağız boşluğundaki tükürük yağlayıcı rol oynar. Kayan yüzeyler arasında akıcı bir tabaka sağlar. Bu şekilde yüzeyler arasında daha az bir sürtünme meydana gelir. İnsan tükürüğünün oluşturduğu yağlama tipini anlatan özellik, büyük molekül ağırlıklı proteinler ve glikoproteinlere bağlanmıştır. Bu moleküller, partiküllerin üzerinde kayarak güçlü bir film tabakası oluştururlar. Bu özellik sürtünmeyi azaltır ve aşınmanın etkisini hafifletir.

**Abrazyon aşınması;** aşınma türleri içinde en önemlisidir ve ağız içinde farklı yollarla oluşur. Abrazyon aşınması, diş sıkma–gıcırdatma gibi parafonksiyonel aktiviteler nedeniyle restorasyonların temas bölgelerinde materyal kaybına neden olur. Restorasyonlar diş fırçalama ile oluşan abrazyon aşınmasında da tehlike altındadır. Fırçalama sırasında diş veya restorasyon yüzeyleri çizilir, bu da abrazyon aşınmasına neden olur. Restorasyon materyallerinde, abrazyon aşınma mekanizmasının oluşumunun anlaşılmasındaki deneylerde yalnızca kompozit yüzeyler ve abrazivin doğası göz önünde bulundurulmamalıdır. Aşınma yüzeylerinde abraziv partiküllerinin sertlik, şekil, boyut gibi fiziksel karakteristikleri etkilidir. Abraziv partiküllerden daha sert ögeler aşınma kaybının azaltılmasında önemli rol oynar.

Materyalin yorulmasına bağlı gelişen **yorulma aşınması;** tekrarlanan gerilimlerle sonuçlanan aralıklı yükler tarafından oluşturulur ve yüzeyin üzerinde veya altında mikro çatlaklar oluşur. Kayma hareketi, temas eden yüzeylerde basınç alanı oluşturur. Tekrarlanan kayma hareketlerinin bir sonucu olarak da yüzeydeki mikro çatlaklar yayılır. Materyalin yüzeyinin küçük bir bölgesi çatlak ağı ile sarılır ve yüzey çukurcukları oluşabilir. Yorulma aşınması aşınma süresince abrazyon aşınması ile birlikte gerçekleşir.

**Korozyon aşınması;** aşınma çifti ve çevre arasında olan kimyasal reaksiyondan kaynaklanır. Genelde korozyon ilk başta hızlıdır, sonra yavaşlar veya koheziv film tabakası yüzeyde şekillendikten sonra tamamen durabilir. Ağız içinde bu tip aşındırıcı içecekler, yiyecekler, mikroorganizmalar ve enzimler rezin esaslı kompozitlerin ve restorasyonların yumuşama ve pürüzlenme sıkıntısını ortaya çıkarır (Turssi ve ark. 2003).

## **1.2. Diş Dolgularında Oluşan Aşınmaların Saptanması**

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak insanların sağlık ve estetik açıdan isteklerinin karşılanabilmesi için yeni dolgu materyalleri geliştirilmektedir. Bu materyallerin aşınma davranışlarının ve karşı dişteki etkilerinin doğru ve güvenilir olarak saptanması gerekir. Dişhekimliğinde, aşınmaların saptanmasında *in vivo* ve *in vitro* olmak üzere iki genel yöntem kullanılır (Turssi ve ark. 2003).

***In vivo* yöntemler:** Bu yöntemlerde aşınma öncesi ve sonrasında mikroskop, 3B ölçme cihazları ve bilgisayarlar kullanılarak örneklerdeki boyutlar ölçülür ve aşınmalar saptanır. Aşınmayı belirlemek için direkt veya dolaylı olarak uygulanan *in vivo* yöntemler vardır.

Direkt yöntemlerde hastalar üzerinde çok uzun süre ve çok sayıda ölçmeler yaparak dolgu materyallerinin aşınma davranışları üzerinde yargıya varılır. Ancak bu yöntemlerin iki temel eksikliği vardır. Birincisi iyi kalibrasyon gereksinimi, ikincisi de değerlendiriciler arasındaki fikir uyumudur.

Dolaylı *in vivo* yöntemlerde, kalıplara dökülerek üretilen modeller kullanılarak, çoğunlukla kompozit restorasyonların düşey yükseklikleri saptanır. Bu işlem makineler tarafından fiziksel ölçmeler ya da Dişhekimleri tarafından görsel değerlendirmelerle yapılır. Görsel teknikler genellikle çabuk ve ucuzdur. Buna karşın makinalara bağlı teknikler daha fazla zaman alıcı ve pahalıdır, ancak daha doğru sonuçlar verir (Turssi ve ark. 2003).

Görsel *in vivo* yöntemler, standart döküm takımlar kullanılarak, kopya modelin sınıflandırılmasını gerektirir. Modellerin değerlendirilmesi klinik değerlendirmelerden çok daha basit ve hatasızdır. Fakat aşınmada, sadece farklı adımların değerlendirilmesi bu yöntemlerin sakıncasıdır. Bu nedenle bu aşınma değerlendirme teknikleri, iki materyal arasındaki ara yüzdeki madde kaybını değerlendirmeye odaklıdır. Genellikle materyallerden birinin aşınmadan etkilenmediği varsayılır (Turssi ve ark. 2003).

Aşınmaların saptanmasında daha fazla objektiflik sağlamak için, bazı ölçme aletleri kullanılmıştır. Bu niceliksel yöntemlerle, kavite duvarlarının yükselti değerlerinin ölçülmesi olasıdır. Bu ölçme aletleri arasında Stereomikroskoplar, Stereofotogrametri tekniğini kullanan Stereomikroskoplar, interferometreler, mekanik profilometreler, bilgisayara aktarılan 3D ölçüm mikroskopları, lazer profilometreleri ve elektron tarama mikroskopları sayılabilir. *In vivo* aşınma analiz yöntemlerinin başlıca yararları kompozit aşınmasının ne kadar olacağını sayısal olarak belirtmesidir. Buna karşın görsel teknikler düşük çözünürlük ya da hatalı

ölçümlerin fazla olması nedeni ile dental restorasyonların yanlış sorgulanmasına neden olur (Turssi ve ark. 2003).

Diş yüzeylerinin dijital olarak haritalanması restorasyon aşınmasındaki dolaylı analizde en doğru yöntem olarak görülmektedir. Yüksek oranda doğruluk için üç teknik başarıyla kullanılmaktadır. Bunlar dijital haritalama yöntemleri CRA (Clinical Research Associates), Minnesota sistemi ve 3D lazer tarama yöntemidir.

***In vitro* yöntemler:** Bu yöntemler, boyutsal ölçme yerine, örneklerin ağırlıklarının ve sertliklerinin ölçülmesi ile aşınma özellikleri hakkında yargıya varılmaya çalışılan yöntemlerdir. Klinik davranışı tam olarak taklit edilebilen dental materyallerin aşınma testleri için henüz her yerde kabul edilebilir deneysel yöntemler bulunmamaktadır. Çiğneme sırasındaki aşınmayı daha iyi taklit edebilmek için yapılan deneylerin tasarlanmasında iki farklı yaklaşım vardır. Bunlardan birincisi deneysel yöntemlerin ağız şartlarını daha iyi simüle edebilmesi için devamlı araştırılıp geliştirilmesi, ikincisi ise deneysel yaklaşımın basitleştirilmesidir (Turssi ve ark. 2003).

Laboratuvar çalışmalarında rezin kompozitlerin abrazyon direnci profilometrikal izleme, ağırlık kaybı, fotomikrograflar veya 3D lazer tarama ile değerlendirilebilir. Aşınma performansına katkıda bulunduğu kabul edilen kırılma güçlüğü, gerilme direnci, sertlik, yüzey pürüzlüğü ve rezilyans değerleri de laboratuvarlarda test edilmektedir. Bu fiziksel özelliklerin bazıları birbirine bağlıdır. İyi bir denge kurmak ve fiziksel özelliklerden aşınma dayanıklılığını ön görmenin güvenilir yolunu bulmak hemen hemen olanaksızdır. Çünkü, aşındırıcı partiküller ve aşınma materyalleri arası etkileşim yeterince karakterize edilememektedir. Örneğin, yüksek sertlik özelliği olan kompozit rezinler abrasiv aşınmaya karşı mutlaka daha fazla aşınma dayanıklılığı göstermez. Nitekim yapılan bazı araştırmalarda sertlik ile aşınma arasında bağıntı bulunamamıştır (Gökay ve ark. 2002, Yap ve ark. 1999, Yap 2002).

*In vivo* ve *in vitro* yöntemlerde temas bölgelerinde oluşan aşınmayı taklit etmek için farklı aletler kullanılmaktadır. Bu aşınma testlerindeki en önemli zorluk aşındırıcı seçimidir. Eğer aşındırıcı olarak insan diş minesi kullanılırsa örnekler

arasındaki morfoloji ve fiziksel özellikler değişecektir. Bu homojenlik gereksinimini sağlayabilmek için örneklerle karşı paslanmaz çelik kullanılır. Paslanmaz çeliğin mekanik ve kimyasal özellikleri insan minesinden farklıdır. Gerçekte bu materyallerle sağlanan aşınma doğal mineden farklıdır. Bununla beraber doğal mine ve sentetik materyallerin ikisi de gözönünde tutulursa bazı eksikleri olduğu görülür. Aşındırıcı seçimi uygulanan deney çeşidine göre değişebilir. Ayrıca aşındırıcının şekli de önemlidir. Silindirik aşındırıcılar kenarlara fazla yüklenir, dış yüzeylerindeki aşınmayı hızlandırır. Bu nedenle aşındırma mekanizması değişir. Bu tür problemlerden kaçınmak için küresel aşındırıcılar kullanılır. Modellerde insan tükürüğün yağlayıcı özelliği için deionize su kullanılabilir. Su, insan tükürüğünden farklı özelliktedir. Yağlayıcı olarak tükürüğün kullanılmasının suya göre aşınma oranını azalttığı kanıtlanabilir. Bu yüzden su kullanılması durumunda hareket sırasında komşu yüzeyler arasında sürtünme, dolayısıyla aşınma daha fazla olabilir (Turssi ve ark. 2003).

İnsan çiğneme sisteminin biyofiziksel bilgilerine dayalı olarak bazı çiğneme simülörleri önerilmiştir. *In vitro* aşınma testlerinde kullanılan abrasivler, ortalama abrasiv özelliğine sahip olmalıdır. Darı tohumu, haşhaş tohumu ve pirinç malzemeleri tüketilen doğal yiyeceklerin uyumunu ve niteliğini taklit etmek için aşınma ögesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca diş fırçalama simülasyon aletleri de geliştirilmiştir (Turssi ve ark. 2003).

### **1.3. Dolgu Materyalleri**

Yukarıda anlatılan aşınma nedenlerinden dolayı dişlerde madde kayıpları veya oyuklar oluşur. Aşınma türlerine bağlı olarak dişlere dolgu yapılmaktadır. Diş üzerine yapılan dolgular geçici ve sürekli dolgu maddeleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır:

**Geçici dolgu materyalleri**, hastanın hekime geliş gidişi sırasında, dişlerdeki oyukları yani kavileri tedavi etmek için geçici olarak kapatmakta kullanılan materyallerdir. Bunlar çinko fosfat siman, polikarbosilat siman, çinko oksit ösenol siman olarak sayılabilir.

**Sürekli dolgu materyalleri**, kavitelere yerleştirilerek dental restorasyona en kalıcı şeklini veren ve daimi olarak görev yapan dolgu materyalleridir. Kimyasal yapılarına göre asit-baz reaksiyonlu simanlar (cam iyonomer simanlar), polimerize olan dolgu maddeleri (kompozitler), metalik dolgu maddeleri (amalgam) ve seramik gibi malzemeler olmak üzere sınıflandırılabilirler.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde diş dolgusu (restorasyonu) olarak kullanılan çeşitli restorasyon materyallerinin aşınma davranışları ve aşınmaya etki eden fiziksel, kimyasal, mekanik ve çevresel özellikler farklı aşınma testleri ile araştırılmış ve sonuçlar karşılıklı olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucu insan sağlığı için en güvenilir, en uygun ve estetik bakımdan da ihtiyaçlara en iyi cevabı verecek dolgu materyal tipleri belirlenmiştir. Restorasyonların aşınma miktarları ağırlık ölçümü, sertlik belirleme ve tarama sistemleri gibi çeşitli ölçme yöntemleri ile saptanmaktadır. Estetik taleplerdeki artışa bağlı olarak çeşitli materyallerin aşınma ve sertlik özelliklerinin araştırılmasına günümüzde de devam edilmektedir.

Çene hareketlerinin özellikle çiğneme sırasında diş hareketlerinin çok karmaşık bir yapıda olması ve insanların oldukça farklı yeme alışkanlıkları nedeniyle dişlerdeki ve dolgulardaki aşınmalar birbirlerinden çok farklıdır. Ayrıca aşınmalar uzun sürelerde gerçekleştiği için hastalar üzerinde ve gerçek dişlerde aşınma ölçülmesi çok zaman alıcı olmaktadır. Bu nedenlerle genellikle dolgulardaki aşınmaları ve ağız ortamını simüle ederek yeni dolgu materyalleri hakkında kısa sürede yargıya varılmasına çalışılmaktadır. Aşınmayı simüle etmek için biyomat aşındırma simülatörü (Yap ve ark. 1999), Mantasupal aşındırma cihazı (Sonugelen ve ark. 2000), diş fırçalamanın benzetimi için planya tezgahı (Kalıpçılar ve ark. 1989) ve üç boyutlu aşındırma aygıtı (Yap ve ark. 2002) gibi çok çeşitli sistemler kullanılmaktadır. Dolayısıyla aşındırma deney üniteleri üzerinde henüz bir uzlaşma sağlanamamış ve bir standartlaştırma yapılamamıştır (Turssi ve ark. 2003).

Bu nedenle standart deneyler yerine her araştırmacı özel olarak ürettiği aşındırma ünitelerini kullanarak; farklı dolgu materyallerine (Sonugelen ve ark. 2000, Gökay ve Türkün 2002, Adrian ve ark. 2000, Hu ve ark. 1999, Suzuki ve ark. 2002) farklı yük ve/veya çevrimleri (Yap 2002, Suzuki ve ark. 2002) uygulamıştır. Bazı araştırmacılar tek tip dolgu maddesi kullanmış ancak bunların farklı polimerizasyon yani sertleştirme işlemlerinden (Gülhan ve ark. 1996) nasıl etkileneceğini ve restorasyonu oluşturan malzemelerin oranlarının aşınmaya etkilerini (Hu ve ark. 2003) araştırmıştır.

Aşınmaların dolaylı olarak ölçüldüğü *in vitro* yöntemlerde bazı araştırmacılar ağırlık kaybı ile sertlik değişimini ölçerek ve yüzeydeki izleri kalitatif olarak değerlendirerek (Sonugelen ve ark. 2000, Gökay ve Türkün 2002, Kalıpçılar ve ark. 1989, Gülhan ve ark. 1996, Mandikos ve ark. 2001) yargıya varmaya çalışırken bir kısmı da yüzey pürüzlüğü, rezilyans modülü, kırılma dayanımı, yüzey basıncı, (Yap ve ark. 2002) gibi özelliklerle aşınma arasında bir korelasyon olup olmadığını araştırmışlardır. Aşınan hacmin bulunması oldukça zor olduğu için genellikle ağırlık kayıpları ölçülerek aşınma miktarı saptanmaktadır. Araştırmacılar sertlik ölçmede standart sertlik ölçme yöntemlerini kullanırken, diğer *in vitro* yöntemlerde kendi tanımladıkları aşınma faktörleri ile (Adrian ve ark. 2000, Yap ve ark. 2002) dolgu materyallerini sınıflandırmaya ve karşılaştırmaya çalışmaktadırlar.

*In vivo* yöntemlerle aşınmaları ölçen çalışmalarda iki boyutlu profilometreler (Yap ve ark. 1999, Yap 2000, Suzuki ve ark. 2002), üç boyutlu lazer tarayıcı ve 3B modüler mikroskoplar (Söderholm ve ark. 2001, Suzuki ve ark. 2002) kullanılmıştır. 3D modüler mikroskop yönteminde materyallerin bağlı olduğu kalıplarda dört referans noktası ve altı ölçüm noktası belirlenmiştir. 3D lazer tarayıcı yönteminde ise kalıplar 30 cm uzaktan gönderilen lazer ışını ile taranmıştır. Parçalar üzerinde oluşan ışık çizgileri CCD kamerası tarafından kaydedilmiştir. Bu çizgilerin birleştirilmesi ile 3D yüzeyler oluşturulmuştur. Aşınma oranları mikroskop ve lazer değerlendirme yöntemleri arasında benzerlik göstermiştir. Fakat lazer tarama sisteminin mikroskopik ölçme yöntemine göre daha derin ölçümler yapabildiği kaydedilmiştir (Söderholm ve ark. 2001).

Aşınmaların saptanmasında *in vitro* yöntemine göre daha doğru ve kesin sonuçlar veren *in vivo* yöntemlerde kullanılan dijital ölçme sistemlerinin aşınma ölçümlerindeki hassasiyeti ve doğruluğu üzerine testler yapılmıştır. (Hewlett ve ark. 1992, Winkler ve ark. 1996, DeLong ve ark. 2003). Hewlett ve ark. (1992) taranan yüzey üzerindeki bir noktanın eğiminden dolayı oluşan hataları trigonometrik ifadelerle açıklamıştır. Çalışma sonunda test edilen sayısallaştırıcı cihaz için ölçüm hataları ve yüzey eğimi arasında lineer bir ilişki saptamışlardır.

Diğer bir çalışmada dental restorasyonların kenarlarında oluşan aşınmaların ölçümü için diğerlerine göre daha basit bir mekanik teknik geliştirilmiştir (Winkler ve ark. 1996). Bu ölçme sisteminde yaygın olarak kullanılan bir profilometreye bağlanmış lineer değişken diferansiyel algılayıcı kullanılmıştır. Bir motor tarafından otomatik olarak yüzeyden noktalar alınmış ve diş yüzeylerinin eğimlerini belirleyecek bağıntılardan yararlanılmıştır. Geliştirilen teknikle iki türlü değerlendirme yapılmıştır. Bunlardan birincisinde işlenmiş çelik kalıplardan elde edilen 17 adet kopya; diğerinde ise klinik kalıplara döküm yapılarak üretilen 5 adet diş vardır. Tekrarlanabilirlik işlenen çelik kalıplar için 2 µm, diğerleri için de 16 µm olarak saptanmıştır.

DeLong ve ark. (2003) dental yapıların 3B bilgisayar modelleri oluşturulması için Comet 100 optik tarama sisteminin doğruluğu üzerine çalışmış ve ölçüleri bilinen 10 adet kalıbı taramışlardır. Sistemin doğruluğu  $\pm 40$  µm ve çözünürlüğü yani bir noktadan diğer noktaya olan uzaklığı 0.130 mm'dir. Kalıplar çapı  $9.522\pm 0.001$  mm olan 7 adet çelik küreden dişi kalıplar ve erkek kalıplar olacak şekilde elde edilmiştir. Objeler 20 farklı açıdan taranmış ve bu taramaların birleştirilmesi sonucunda 3B yüzeyler elde edilmiştir. Taranan objeler tek görünüş, 20 görünüş ve 20 görünüşün birleştirilmesi sonucunda oluşan görünüş olmak üzere değerlendirilmiştir. Tek görünüş için tarayıcı doğruluğu  $18\pm 0.000$  µm iken birleştirilmiş 20 görünüşte bu değer  $30\pm 1$  µm olmuştur.

Diğer bir çalışmada referanslı ve referansız pozisyonlamalı bir 3B optik tarama sisteminin doğruluğu ve hassasiyeti ele alınmıştır (Mehl ve ark. 1997). Düz bir yüzey üzerine yerleştirilen dişler; yüzeylerinden 250000 nokta alınacak şekilde 45°, 60°, 120° ve 180° lik açılarla taranmıştır. Sonuçlar, sistemin doğruluğunun ve hassasiyetinin taranan yüzeyin eğimine bağlı olduğunu ve 60° lik açıda doğruluğun 6 µm'den; hassasiyetin ise 2 µm'den daha iyi olduğunu göstermiştir.

Bazı çalışmalarda taraması yapılan aşınmamış ve aşınmış diş arasında çeşitli yazılımlar kullanılarak iki bilgi üst üste getirilmiş ve 10 µm'ye kadar aşınmalar saptanabilmiştir (Perry ve ark. 2000). Kompozit restorasyonların yüzeylerini *in vivo* olarak değerlendirirken profilometre kullanılarak ancak 7 µm doğruluk ve 5 µm

hassasiyette ölçümler alınabilmektedir (Igor ve ark. 2000, Pintado ve ark. 1997). Ancak bu çalışmalarda direkt olarak diş profilleri değil de hassas olarak üretilmiş kürelerle bu değerlere ulaşılabilir. Bu çalışmalarda aşınma öncesi ve sonrası diş kesitlerinden alınan profiller karşılaştırılarak çeşitli zaman aralıklarında aşınmalar değerlendirilmiştir.

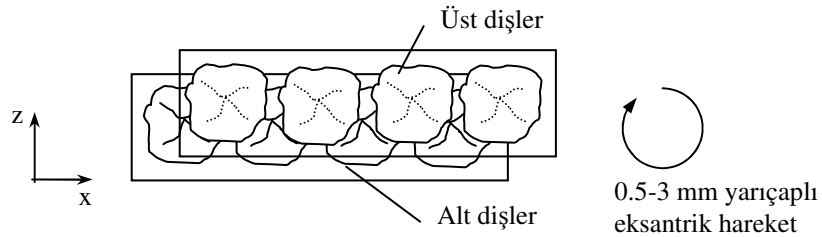
Bu çalışmada çiğneme durumunda dişlerde oluşan aşınmaların sanayide bulunan bir 3B optik tarama cihazı ile ölçülebilirliği araştırılmıştır. Burada asıl amaç kullanılan dolgu materyalinin belirlenen şartlardaki aşınma davranışının saptanması değil; dişlerde ve dolgu malzemelerinde oluşacak aşınmaların mevcut 3B ölçme sistemi ile ölçülebilirliğinin araştırılmasıdır.

### 3. MATERYAL VE METOT

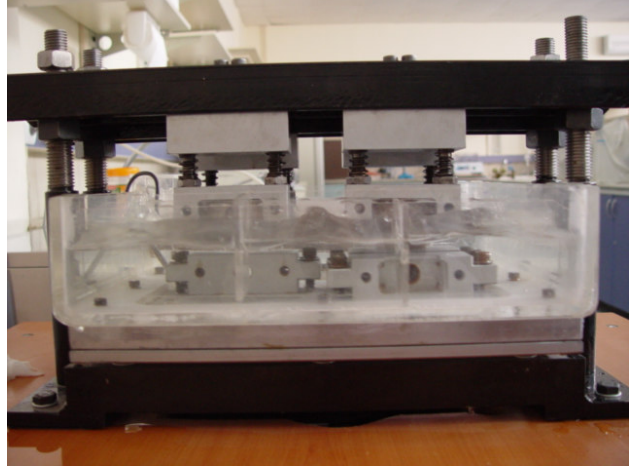
Bu çalışmada kullanılan aşınma simülatörü hastalardan alınan gerçek dişleri kullanarak çiğneme durumunda dişlerde ve dolgularda oluşacak aşınmaları belirleyecek şekilde tasarlanmış bir simülatördür (Şahman ve Dikmen, 2004). Ölçme sisteminin kullanılabilirliği araştırıldığı için, standart geometrik şekiller yerine, simülatörde aşındırılan dişlerden alınan ölçümlerle yöntemin yeterliliği araştırılmıştır.

#### 3.1. Deneylerde Kullanılan Aşındırma Cihazı ve Örnek Dişler

Gülme, konuşma, esneme ve besinleri koparma gibi durumlarda çene üç boyutlu hareket yapmaktadır. Ancak çiğneme sırasında alt ve üst arka dört dişin birbirine göre hareketi, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi iki boyutlu bir eksantrik hareket ile modellenebilir (Şahman ve Dikmen 2004). Kullanılan aşındırma cihazında karşılıklı iki uzvu birbirlerine eşit olan ve üç çubuk mekanizması olarak da tanımlanabilen bir paralel kol mekanizması kullanılmıştır. Bu nedenle dişler çiğneme durumunda arka dört dişin yaptığı hareketi yapar. Cihazda alt dişler sabit tutulup, üst dişlere düşey yönde (-y yönü) uygulanan kuvvetler Şekil 3.2’de görüldüğü gibi ayar somunları ile istenildiği kadar ve hareketin eksantrikliği de 0.5-3 mm aralığında altı kademedede ayarlanabilmektedir.



**Şekil 3.1** Kullanılan aşındırma cihazında üst dişlerin alt dişlere göre eksantrik hareket yapması

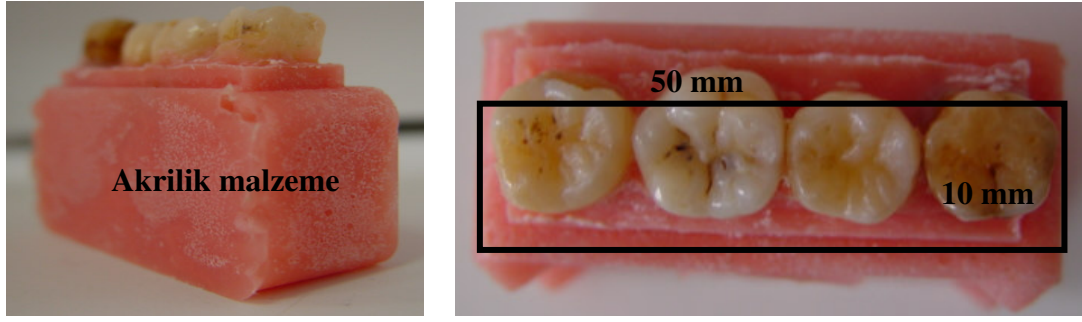


**Şekil 3.2** Aşındırma cihazı

Ağız içerisinde dişlerin etkileneceği ortamı taklit etmek için cihazda pleksiglas bir havuz kullanılmıştır. Bu havuz yapay tükürük, su veya bir başka sıvı ile doldurulabilir ve aşındırılan dişler arasında gerekirse pirinç, darı tohumu gibi aşındırıcı parçalar ilave edilerek farklı ortamlarda aşınmalar incelenebilir. Aşındırma cihazında havuz sıcaklığı termostatlarla kontrol edilerek sıcaklık istenen seviyede tutulabilmektedir. Motor devir sayısı 1-500 dev/dak arasında ayarlanabilmekte ve motorun toplam çevrim sayısı önceden belirlenen bir sayıya ulaştığında sistem kendisi durmaktadır. Aynı anda dört farklı örnek diş çifti aşındırılabilir.

Şekil 3.3'de aşındırma testi için hazırlanan ilk tipteki örneklere ait bir fotoğraf verilmiştir. Çiğneme sırasında alt ve üst arka dört diş etkin rol oynadığından bu çalışmada dört adet diş kullanılmıştır. Dişler tedavi amacıyla hastalardan çekilen dişler olup bunların akrilik kalıplara rijit olacak şekilde sabitlenmesi Selçuk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesinde yapılmıştır.

Dişlerin genellikle dolgu yapılan orta kısımlarına açılan kavitelere Z250 (3H Espe, USA) adı verilen ve dişhekimlerinin, hastaların diş restorasyonlarında dolgu malzemesi olarak yoğun bir şekilde kullandığı bir malzeme ile dolgu yapılmıştır.



**Şekil 3.3** Hazırlanan örnekler

Yapılan aşındırma işleminde dişlerin bulunduğu havuz su ile doldurulmuş ve sıcaklığı 37°C’de tutulmuştur. Cihazın alt kısmına hazırlanan örneklerden biri; üst kısmına da aşındırma testinde beraber çalışacağı farklı bir örnek konulmuştur. Alt ve üst kısımlara konan bu dişler, insan dişlerinin kapanış şeklinin aynısı olacak şekilde Dişhekimliği fakültesinde ayarlanmıştır. Deney düzeneği, gövdelere yerleştirilen dişlerin birbirine göre doğrusal ve açısız olarak hareketine imkan vermekte ve böylece dişlerin kapanış durumları kolayca ayarlanabilmektedir. Aşındırma işlemi için gerekli olan kuvvet 60 N olarak ayarlanmıştır. Motor devri 177 dev/dak ve çevrim sayısı da 20000 olacak şekilde dişler aşındırılmıştır. Bu şartlarda yaklaşık olarak iki saatlik bir aşındırma test süresi oluşmaktadır.

### **3.3. Kullanılan Ölçme Yöntemi**

3B parçalara ait koordinatları ve yüzey görüntülerini elde etmek için bir çok yöntem kullanılmaktadır. Şekil 3.4’de bir parçanın sayısallaştırılmasında genel olarak kullanılan yöntemler gösterilmiştir. Diş örneklerinin aşınma testinden önceki ve sonraki ölçümleri için İnfotron A.Ş. de bulunan Breuckmann 3B optik tarama (sayısallaştırma) sisteminden yararlanılmıştır. Kullanılan sistem Şekil 3.4’deki sınıflandırmada dokunmasız, yansız, optik olan üçgenleme (triangulasyon) ve lazer çizgisi sınıfına girmektedir. Bu sistemin çalışma prensibi ve özellikleri aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.4 Sayısallaştırma yöntemlerinin sınıflandırılması (Görür ve ark. 2005)

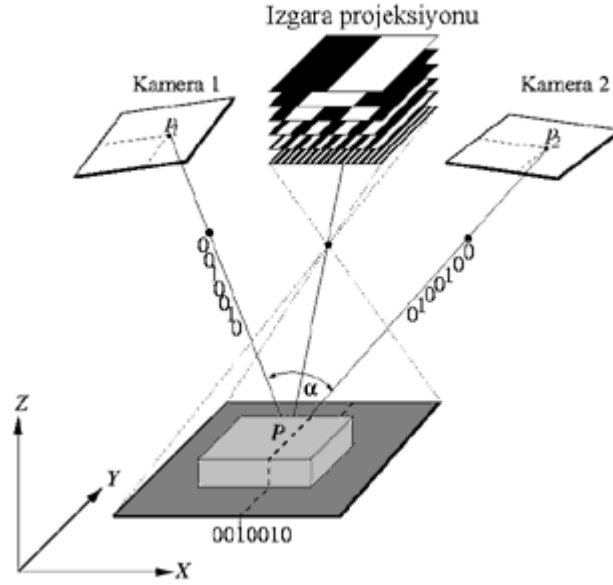
### 3.3.1. Üç boyutlu optik tarama sisteminin temel prensibi

Fotoğraf en geniş anlamı ile üç boyutlu dünyayı iki boyutlu resimlere dönüştürme işlemi olarak düşünülürse, üç boyutlu tarama işlemi de bu işlemin tersi yani iki boyutlu fotoğraflar yardımı ile üç boyutlu görüntü elde edilmesi olarak düşünülebilir. 3B optik tarayıcı, ölçümü yapılan parça veya obje yüzeylerini nokta şeklinde kaydeden bir cihazdır. Fotoğraflama işleminde bu dönüşüm işlemi tamamıyla yapmak imkansızdır. Derinlik gibi bazı bilgilerin kaybolması söz konusu olabilir. Bu nedenle parçaların üç boyutlu görüntüsünü oluşturmak için farklı pozisyonlarda birden fazla fotoğraf çekimi yapmak gerekir. Bu şekilde elde edilen çekimler birleştirilerek nokta bulutu şeklinde parçanın tamamının görüntüsüne ulaşılır.

3B optik taramada kullanılan fotogrametri ve topogrametri yöntemleri, üç boyutlu cisimlerin iki boyutlu fotoğraflarının çekilmesi ve bu fotoğrafların bilgisayar ortamında tekrar üç boyutlu hale dönüştürülmesi işlemi hassas şekilde gerçekleştirir. Bu işlemler için dijital kameralar kullanılır. Bu kameralarda film yerine, lensler arkasında ışık yoğunluğunu elektronik sinyallere çeviren ve bunu bilgisayara transfer edebilen bir *CCD (Charge Coupled Device)* sensör kullanılır. Tüm 3B optik tarama teknikleri *optik üçgenleme (optical triangulation)* prensibini temel alır (Çakır, 2005). Kelime anlamı belli sayıda noktanın konumunu kesin olarak elde edebilmek için, bu noktaları tepe olarak kabul eden bir alanı üçgenlere bölme

işlemi olan üçgenleme (triangulation) tüm 3B ölçme ve tarama tekniklerinde kullanılan bir tekniktir.

3B optik ölçümler *aktif* ve *pasif yöntemler* olmak üzere farklılık gösterir. Aktif yöntemler optik üçgenleme (optical triangulation), ışık kesiti (light section) ve ızgara izdüşümü (Fringe projection) olarak sınıflanır. Optik üçgenlemede bir lazer noktalayıcı ve optik detektör üçgensel bir yapıda düzenlenir. Üzerine lazerle ışık düşürülen noktanın uzaklığı detektör tarafından belirlenir. Işık kesiti tekniği optik üçgenlemenin gelişmiş halidir. Bu teknikte cismin üzerine düşürülen bir çizgi ve optik detektör yardımı ile cismin 3B profili elde edilir. Şekil 3.5’de basit modeli gösterilen ızgara izdüşümü tekniği de ışık kesiti tekniğinin gelişmiş halidir. Çoklu ışık kesitleri başka bir deyişle siyah ve beyaz şeritler halindeki desenler cismin üzerine düşürülerek ve yüksek çözünürlükteki kameralar ile bilgisayar ortamına aktarılarak 3B yüzey bilgisi elde edilir.



Şekil 3.5 Izgara projeksiyonu (Görür ve ark. 2005)

Pasif yöntemler stereometri ve fotogrametridir. Stereometride ölçümü yapılacak cismin yüzeyi üzerine herhangi bir ışık kesiti düşürülmez. Bunun yerine cismin üç boyutlu yüzeyi, iki kameradan alınan ve üst üste binen görüntülerden hesaplanarak elde edilir. Fotogrametri yönteminde taranan obje bir kamera ile farklı

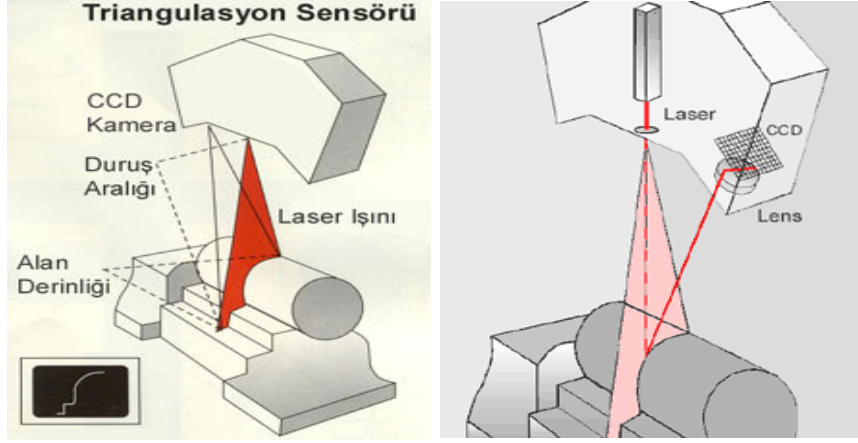
açılardan görüntülenip üzerindeki referanslar yardımı ile bilgisayar ortamında üç boyutlu nokta bulutu halinde elde edilir.

Bu çalışmada aşınmamış ve aşınmış örnekler için ölçümleri yaparken aktif ölçme yönteminin ızgaralı izdüşümü tekniği kullanılmıştır. Ancak Şekil 3.5'den farklı olarak projektörün düşürdüğü ışık kesitleri sistemdeki tek kamera ile görüntülenmiştir.

Deney örneklerini 3B olarak ölçerken dikkat edilecek en önemli konu çözünürlük ve tamlık arasındaki farktır. *Çözünürlük*, CCD sensörün algılayabildiği herhangi bir mesafedeki en küçük değişimdir. Bu da kullanılan lense göre değişmektedir. *Tamlık* ise, taranan objenin optik kalitesini gösterir. Eğer obje mat bir yüzeye sahipse, tamlık ve çözünürlük hemen hemen aynı olacaktır. Eğer obje parlak bir yüzeye sahipse, lazer ışını CCD üzerinde parlayıp titreme oluşturmaktadır. Diğer taraftan parça ışığı emen çok koyu renkte bir yüzeye sahipse bu durumda da sensöre yeterli miktarda ışık dönemeyecektir. Bu dezavantajın ortadan kaldırılması için tarama işlemlerinden önce, objelerin yüzeyleri sprey boyalarla açık gri tonda ve çok ince bir tabaka şeklinde boyanır (Çakır, 2005). Ölçümü yapılan dışların yüzeyleri de aşınma testinden önce ve sonra sprey boya ile kaplanmıştır.

3B tarama sistemlerinde *gri kod* ve *faz kaydırma* teknikleri ile yüksek çözünürlük, daha doğru ölçüm, hızlı veri elde etme ve verilerin analizleri en iyi şekilde sağlanır. Gri kod yönteminde ikili kodlanmış ışık kesiti demeti cisim üzerine düşürülür. Düşürülen bu ışık çizgisi şablonu sayesinde her görüş pozisyonu için gri kod bilgisi üretilir. Sonuç olarak her bir görüntü pozisyonunun ışık demeti düzeni açık bir şekilde elde edilmiş olur. Faz kaydırma, 3B pozisyonların belirlenmesinde kullanılan standart bir yöntemdir. Burada da cisim üzerine sinüzoidal ışın kesiti demetleri düşürülür. Faz kaydırma yöntemi ile ışık kesitlerinin kontrast bilgileri elde edilir ki bu bilgi ölçüm kalitesinin bir göstergesidir. Bu iki yöntemin birleştirilmesi ile doğruluk payı yüksek olan ve güvenilir ışık kesiti (fringe) analizi garanti edilmiş olur. Cismin üzerine düşürülen ışık kesitlerinin bilgileri değerlendirilerek sistemin kamerasında kullanılan lense göre 1 milyona kadar nokta birkaç saniye içinde elde edilmiş olur. Böylece var olan herhangi bir model 3B olarak sayısallaştırılır (Çakır, 2005).

Lazer tarama mekanizmasının şematik görünüşü Şekil 3.6’da verilmektedir. Parça üzerinde taranan noktaların sayısı, parçanın büyüklüğüne ve detaylarına bağlıdır. Çok detaylı parçaları tarif etmek için daha fazla noktaya ihtiyaç duyulmaktadır.



**Şekil 3.6** Lazer tarama mekanizmasının şematik görünümü (Görür ve ark. 2005)

### 3.3.2. Üç boyutlu optik tarama sisteminin kullanım yerleri

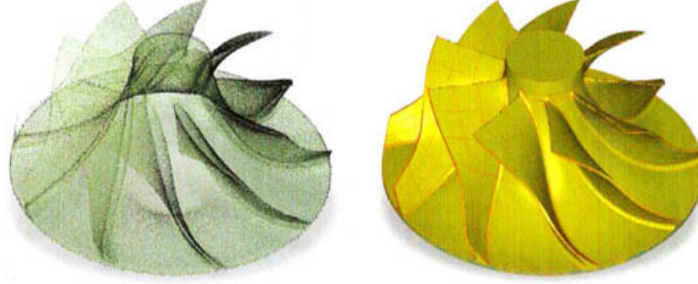
Lazer ile tarama yapmanın birinci avantajı, işlemin dokunmasız, hızlı olması ve yüzeyin direkt olarak taranan obje geometrisi üzerine düşen ışıktan alınmasıdır. Bu özellikler, hassas ve kırılğan parçaların ölçülmesinde, yüzeyler üzerinden eğriler oluşturmada ve CAD/CAM uygulamalarında lazer ile taramanın kullanışlı olmasını sağlamaktadır.

Lazer ışığının yüksek çözünürlüğü ve inceliği mekanik sensörlerin giremeyeceği detaylı yüzey geometrilerinden veri alınmasını sağlamaktadır. Bu nedenle, otomotiv, uzay, tıp, spor ekipmanları ile oyuncak, elektronik ve mücevher sanayinde sıkça kullanılmaktadır (Görür ve ark. 2005).

Lazer tarayıcıları sanayide kalite kontrol ve tersine mühendislik uygulamaları için de kullanılabilir. Özellikle kalıp uygulamalarında, motorlarda ve elektronik ürünlerde kullanımı yaygınlaşmaktadır (Seokbae ve ark. 2002).

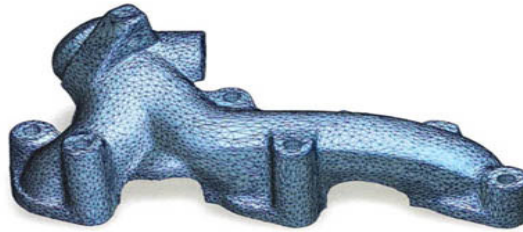
Nesnelerin 3B ölçümleri kalite kontrol uygulamaları için vazgeçilmez bir unsurdur. Parça üzerindeki unsurların paralelliği, dikliği ve boyutsal toleranslarının doğruluğunun kontrol edilmesi bu uygulamalar içerisinde yer alır. 3B optik tarama

sayesinde tasarlanan parçanın CAD modeli ile aynı parçanın imalat sonrası boyutsal özellikleri değerlendirilebilir. Parçanın çarpılması, uzaması gibi boyutlarında oluşabilecek değişiklikler saptanabilir. Şekil 3.7’de bir parçanın CAD modeli ile lazerle taraması sonucu elde edilen modeli gösterilmektedir.



**Şekil 3.7** Fiziksel bir parçanın taraması ile elde edilen emiş türbini ve orijinal CAD referans modeli (Fu, 2005)

Tersine mühendislik ise bunun bir adım ötesidir. Tersine mühendislik bir makinenin veya nesnenin, kopyalanması, geliştirilmesi veya çalışma prensibinin saptanması için parçalara ayrılması; bir nesnenin tasarım bilgilerinin bulunmadığı durumlarda, nesneyi yeniden üretebilmek veya geliştirebilmek amacıyla, ürünün üç boyutlu uzayda tasarım bilgilerinin elde edilmesidir. Bu yönüyle, tersine mühendislik uygulamalarının en önemli elemanlarından bir tanesi bitmiş parçayı elde etmede kullanılan sayısallaştırıcı cihazlardır (Dereli ve ark. 2005). Şekil 3.8’de bir otomobil parçasının tersine mühendislik yöntemi ile elde edilen poligon modeli verilmektedir.

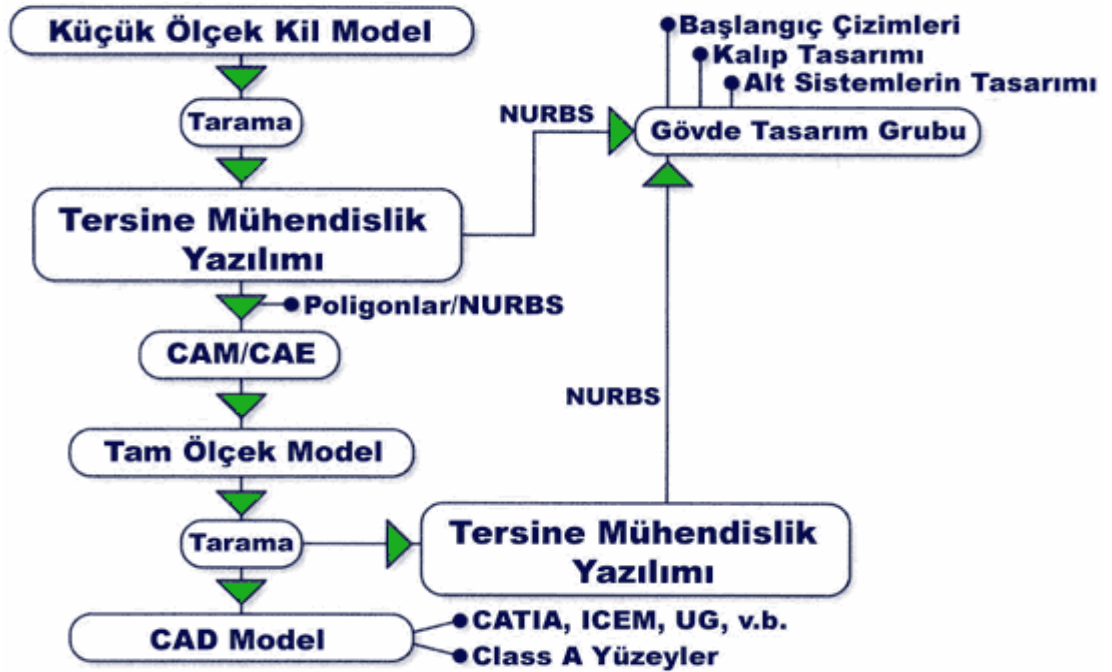


**Şekil 3.8** Egzoz manifoldunun tersine mühendislik ile elde edilen modeli (Fu, 2005)

Geleneksel mühendislik sürecinde herhangi bir parçaya ait tüm prosesler o parçanın tasarımı ile başlarken tersine mühendislikte ürün tasarlanmış ve imalat prosesleri yapılarak son şeklini almıştır. Son şeklini alan parça sayısallaştırma yöntemlerinden herhangi birisiyle 3B olarak bilgisayar ortamına aktarılır ve istenilen tasarım değişiklikleri yapılabilir. Tersine mühendislik yaklaşımı ürün geliştirme zamanını azaltarak eş zamanlı mühendislik imkanı verir.

Serbest ve karmaşık yüzeylere sahip olan parçaların geometrik bilgisinin elde edilmesi tersine mühendisliğin en önemli faydasıdır. Genel olarak tersine mühendisliğin temel uygulamaları yeni bir parçanın veya CAD yazılımlarında modellenmesi zor olan serbest formların oluşturulması, tasarımı, var olan bir parçanın kopyalanması, yıpranmış veya hasar görmüş parçaların kurtarılması, düzeltilmesi ve yeniden tasarlanması, model hassasiyetinin ve doğruluğunun geliştirilmesi ve nümerik modellerin denetlenmesidir. Şekil 3.9’da bir parçanın tersine mühendislik iş akışı görülmektedir.

Poligon modeller mühendislik hesaplamalarında kullanılan çeşitli analiz programlarına veri aktarmak için kullanılırken, NURBS yüzeyler ise CAD/CAM yazılımlarına veri aktarmak için kullanılır.



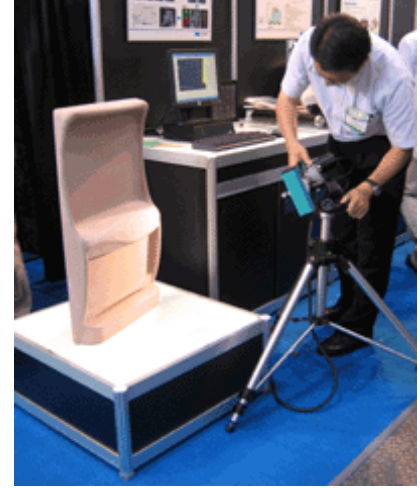
Şekil 3.9 Tersine mühendislikte iş akışı (Fu, 2005)

### 3.4. Örneklerle Ait 3B Nokta Bulutunun Elde Edilmesi

Diş örneklerinin ölçülmesinde Şekil 3.10'da görülen Breuckmann optoTOP-HE 3B optik tarama cihazı kullanılmıştır. Sistem bir kamera ve parça üzerine lazer ışını yansıtan projektörden oluşur. Projektörün dişler üzerine siyah beyaz ızgara desenleri şeklinde ışın demetleri düşürmesi sonucu oluşan yüzey görüntüleri optoCAD ve RapidForm2004 PP2 yazılımları kullanılarak bilgisayar ortamında elde edilmiştir. OptoCAD yazılımında dişlerin farklı pozisyonlardan taranması sonucu elde edilen görüntüler birleştirilmiştir; RapidForm2004 PP2 yazılımında da aşınmış ve aşınmamış örneklerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 3.11'de bir parçaya ait ölçme işleminin optoTOP-HE cihazı ile nasıl yapıldığı görülmektedir.



**Şekil 3.10** OptoTOP-HE 3B  
optik tarama cihazı  
(www.infotron.com)



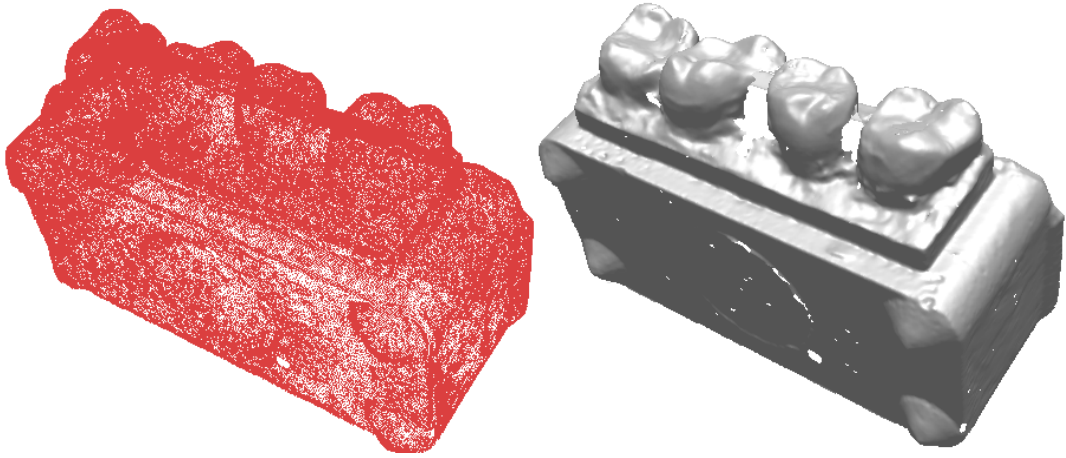
**Şekil 3.11** 3B Ölçme işlemi  
(www.infotron.com)

Bu çalışmada aşınmamış ve aşınmış örnekler 3B optik tarama cihazı ile ölçüldü. Ölçümü yaparken kullanılan lense göre, parçayı oluşturan ~185000 adet veya ~1000000 adet noktaya sahip nokta bulutu elde edildi. Bunun için parça 15~20 defa farklı açılardan tarandı ve elde edilen değişik görüntüler optoCAD programında birleştirilerek dişlerin tam bir görüntüsüne ulaşıldı. Ölçme işleminde ne kadar fazla poz alınır o kadar çok nokta koordinatı elde edilmektedir. Çekilecek poz sayısı parçanın büyüklüğüne ve yüzey düzgünlüğüne göre değişebilmektedir.

Parçaya ait pozlar optoCAD programında birleştirilirken operatör ölçümü yapılan örneğe ait en az üç belirgin noktayı kendisine referans olarak almakta ve

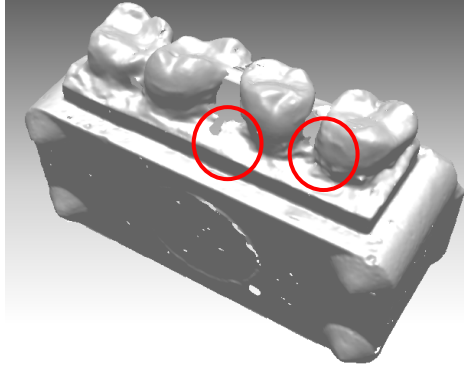
birleştirme işlemini bu noktalar üzerinden yapmaktadır. Birleştirme yaparken çekilen iki poz arasında her zaman ortak noktalar alınamayabilir. Mesela çekilen iki poz birleştirilirken seçilen ortak noktalar arasındaki mesafe, lense göre 2 ile 6 µm olabilmektedir. Bu mesafeyi yazılım birleştirme sırasında gösterebilmektedir. Bunun dışına çıkıldığı zaman program birleştirmeyi yapmamaktadır. Pozları birleştirirken meydana gelen bu olumsuzluğu gidermek için tarama sırasında indeks mark adı verilen ve belli bir çapa sahip olan daire şeklindeki referans etiketleri kullanılmaktadır. Bu etiketler taranacak dişler etrafına belli aralıklarla yapıştırılır. Sistem tarama sırasında indeks markları da tarar ve onları sabit kabul eder. Bu şekilde tarama yapılırken örneğin sabit kalmasına dikkat edilir ve optoTOP-HE cihazı dişler etrafında döndürülür. Dişler hareket etmediğinden ve belli referans noktaları olduğundan daha düzgün görüntüler ortaya çıkar.

Dişlerin taranmasından sonra elde edilen noktaların oluşturduğu nokta bulutu ve 3B görüntüsü Şekil 3.12'deki gibidir.

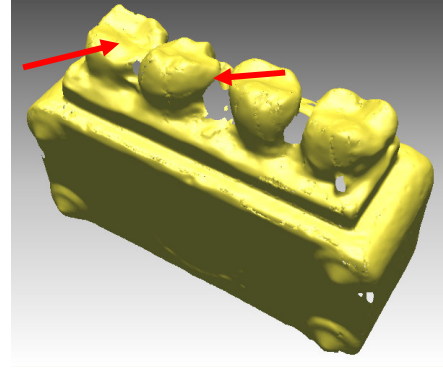


**Şekil 3.12** Referans iğneli örneğin nokta bulutu ve 3B görüntüsü

Şekil 3.13 (a) ve (b) aşınmamış ve aşınan dişin 3B görüntüsünü vermektedir. Burada kırmızı çemberlerle gösterilen bölgeler taramada kullanılan lazer ışınlarının ulaşamadığı ve dolayısıyla kamera tarafından görüntülenemeyen yerlerdir. Bu yerler dişlerin ara bölgeleridir ve aşındırma işleminde hiçbir değişikliğe uğramayacakları için önemsizdir. Burada önemli olan dişler ve dolgu yapılan üst kısımlarıdır.



(a) Aşınmadan önce



(b) Aşınmadan sonra

**Şekil 3.13** Diş örneklerinin 3B görüntüleri

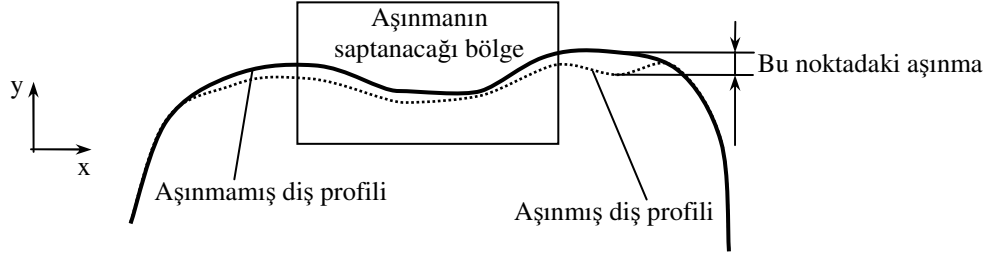
Şekil 3.13 (b)'de kırmızı oklar aşınmamış ve aşınmış dişe ait iki ölçüm arasındaki farkın en belirgin göstergesidir. Aşındırma işlemi sırasında dişlerin birbirine temasından ve geometrilerinden dolayı bu kısımlarda aşınma işlemi için oldukça büyük sayılabilecek 2~3 mm derinliğinde parçalar yok olmuştur. Bu, o bölgelerden parçaların koptuğunu göstermektedir. Dolayısıyla ortalama aşınmanın bulunmasında bu bölgeler hesaplama dışında tutulmalıdır.

### 3.4.1. Aşınmanın tanımı

Diş dolgularında oluşan aşınmalar, in vivo yöntemlerde çeşitli ölçme aletleri ve bilgisayar yazılımları kullanılarak genellikle düşey yöndeki aşınmaların belirlenmesi (Mehl ve ark. 1997, Pintado ve ark. 1997, Yap 2002, Yap ve ark. 2002, Söderholm ve ark. 2001, Igor ve ark. 2000) ile saptanırken; in vitro yöntemlerde ise sertlik (Yap ve ark. 1999, 2002, Sonugelen ve ark. 2000, Gökay ve ark. 2002, Mandikos ve ark. 2001) ve ağırlığın ölçülmesi (Sonugelen ve ark. 2000, Kalıpçılar ve ark. 1989, Gökay ve ark. 2002, Gülhan ve ark. 1996, Mandikos ve ark. 2001, Hu ve ark. 2003) veya yaklaşık olarak aşınan hacmin ve alanın hesaplanması (Pintado ve ark. 1997, Igor ve ark. 2000, Mandikos ve ark. 2001, Hu ve ark. 1999, 2003) ile belirlenir.

Bu çalışmada literatürde olduğu gibi aşınma; aşınmamış ve aşınmış dişlerdeki düşey uzaklık olarak tanımlanmıştır (Şekil 3.14). Bu uzaklık aşındırma cihazında dişlerin birbirlerine göre hareket ettiği xz-düzlemine dik uzaklıktır. Aşınmanın

saptanması istenen bölgeler belirlenerek, bu bölgelerdeki en büyük, en küçük ve ortalama aşınma ile standart sapma değerleri bulunabilmektedir. Ayrıca incelenen bölgenin, xz düzlemine izdüşüm alanı ile ortalama aşınma çarpılarak da aşınan hacim hesaplanabilir. Kullanılan yazılımla farklı aşınma tanımlamalarını da yapmak mümkündür.



**Şekil 3.14** Deney cihazında dişlerin birbirine göre hareket ettiği düzleme dik kesit profilinde aşınma tanımı

Bu çalışmada yazılımın projeksiyon yöntemi parametre seçeneklerinden y eksenini doğrultusundaki sapmalar ve izdüşümü yapılacak noktaların diğer kabuk üzerine iz düşürülemiyor ise bu noktaların değerlendirme dışında tutulması için IGNORE seçeneği seçilmiştir.

### 3.4.2. Dişleri karşılaştırma ve aşınmayı ölçmek için işlem adımları

Ölçülen dişlere ait nokta bulutu öncelikle RapidForm2004 PP2 yazılımı kullanılarak üçgen yüzeylerden oluşan poligon modele dönüştürülür. Bu hali ile diş yüzeyleri RapidForm yazılımı tarafından bir kabuk (Shell) olarak tanınır. Kabuğun alt yüzeyi açıktır. Çünkü bu kısım ölçme sırasında tabla üzerinde bulunmaktadır ve yüzeydeki noktaların koordinatları alınmamıştır. Şekil 3.15’de görüldüğü gibi, ölçülen dişlerde iki türlü karşılaştırma yapılmıştır. Bunlardan birincisinde ölçmelerin tekrarlanabilirliğini belirlemek için aynı örneğe ait farklı ölçmeler değerlendirilmiştir. İkinci tür karşılaştırmada ise aşınma öncesi ve sonrası elde edilen ölçmeler kullanılarak aşınmalar saptanmıştır. Detaylı açıklama ve işlemler sırasında kullanılacak komutlar EK-1 de verilmiştir.

Bu karşılaştırmaların yapılması için kabuklara uygulanacak işlemlerde, yazılıma ait komutların yazar tarafından bulunan Türkçe karşılıkları tırnak içerisinde verilmiştir ve bu komutlar aşağıda detaylıca anlatılacaktır. Projeksiyon parametreleri

yukarıda anlatılmıştır. Çakıştırma ve sapma parametreleri yeri geldikçe komutlarla birlikte açıklanacaktır.

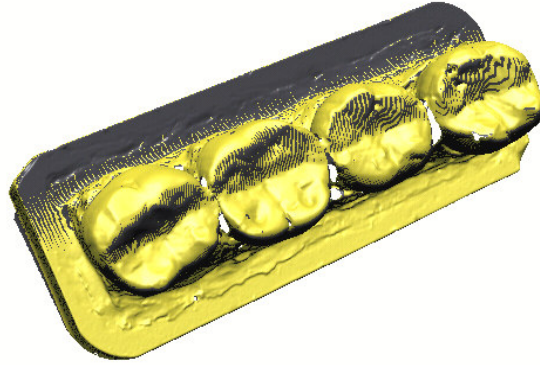


**Şekil 3.15** Tekrarlanabilirliğin ve aşınmaların saptanması için kabuklara uygulanacak işlemler

### 3.4.2.1. Hızlı akıştırma (QUICK REGISTER)

Birbirleri ile karşılaştırılmak istenen iki kabuğa uygulanacak ilk adım ‘‘Hızlı akıştırma’’ komutu kullanılarak kabukların bir n çakıştırma işleminin yapılmasıdır. Bu komut iki kabuğu kabaca inceleyerek daha sonra yapılacak ‘‘Bölgesel akıştırma’’ ve ‘‘Tam akıştırma’’ komutlarının yapacağı denemeleri azaltarak yardımcı olur.

Şekil 3.16’daki aynı örneğe ait iki ölçmenin yapıldığı kabuklara hızlı çakıştırma uygulanarak, kabuklardaki işaretli sapmalar ancak  $-222\sim +231\ \mu\text{m}$  arasında, mutlak sapmalar ise  $0-225\ \mu\text{m}$ , ortalama sapma  $81\ \mu\text{m}$ , standart sapma  $63\ \mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Bu komut uygulanmazsa çoğu zaman tam çakıştırma ve bölgesel çakıştırma komutları ile doğru sonuçlar alınamamaktadır. Düz kısımlardaki renk yığılmalarından da tam çakıştırma olmadığı sonucuna varılabilir.



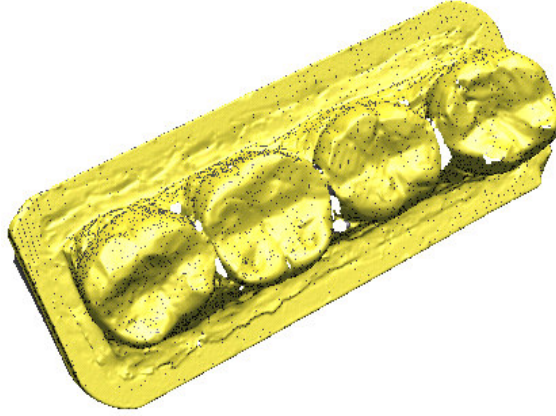
Şekil 3.16 Hızlı akıştırma ile kabuklara bir n çakıştırma yapılması

### 3.4.2.2. Tam akıştırma (WHOLE REGISTER)

Ölçmelerin tekrarlanabilirliğinin araştırılması sırasında aynı örneğe ait farklı ölçmelerin karşılaştırılması durumunda bu komut kullanılmalıdır. Bir parça iki kez ölçüldüğünde her zaman aynı nokta koordinatları elde edilemeyebilir. Tam akıştırma sırasında bir kabuktaki noktaların, diğerkabuk yüzeyine en yakın olacak şekilde birçok alternatif değerlendirilerek, noktalar arasındaki mesafeler önceden belirlenen parametreleri (Set register options) sağlayacak tarzda çakıştırılır. Bu çalışmada en büyük ortalama sapma (Max. average deviation)  $0.01\ \text{mm}$  olarak seçilmiştir. Ayrıca en büyük kenar ve giriş uzunlukları da belirlenebilmektedir. Bu

değerlerin büyük seçilmesi çakırtmayı daha kaba yaparken, gereğinden küçük tutulması da süreyi uzatır.

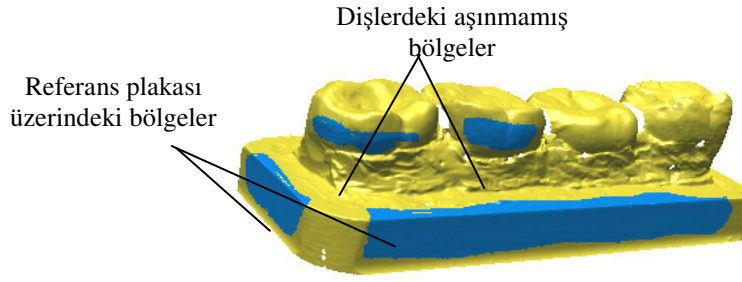
Şekil 3.16'daki kabuklara tam çakırtma uygulandığı zaman işaretli sapmalar  $-227 \sim +149 \mu\text{m}$  arasında olmaktadır. Mutlak sapmalar  $0-13 \mu\text{m}$ , ortalama sapma  $3 \mu\text{m}$ , standart sapma  $3 \mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. Şekil 3.17'de, siyah noktaların homojen dağılmasından, kabukların birbiri ile tam örtüştüğü anlaşılmaktadır.



**Şekil 3.17** Tam çakırtmada benzer kabukların birbirlerine çok yaklaşması

### **3.4.2.3. Bölgesel çakırtma (REGIONAL REGISTER)**

Aşınmanın saptanması için aşınmış ve aşınmamış örneklerin karşılaştırılması gerekir. Bu durumda tam çakırtma uygulamak hatalı sonuçlar verir. Çünkü aşınmamış ve aşınmış bölgeler yazılım tarafından birbirlerine yaklaştırılmaya çalışılır. Bu nedenle sadece aşınmamış bölgelerin çakırtılması için bölgesel çakırtma gereklidir. Değişikliğe uğramayan bölgeler kullanıcı tarafından Şekil 3.18'deki gibi seçilmelidir. Bu çalışmada bölgesel çakırtma iki türlü kullanılmıştır. Birincisinde örneklerin aşınmayan bölgeleri seçilmiştir. Bu bölgelerin seçilmesi zor olduğu için daha sonra geliştirilen paslanmaz çelik saclardan imal edilen referans plakaları bölgesel olarak seçilmiştir.

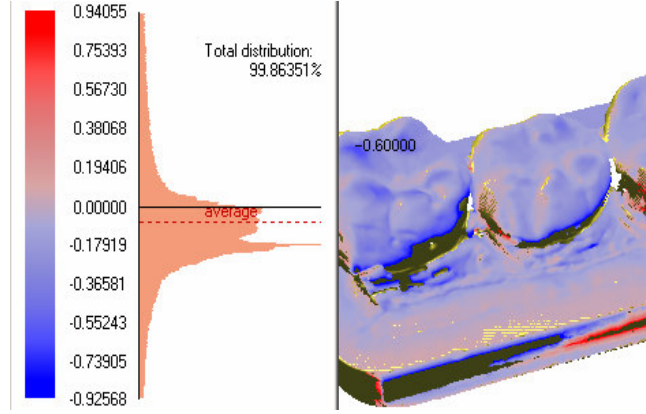


**Şekil 3.18** Bölgesel çakıştırma da her iki parçada da değışikliğe uğramayan bölgelerin seçilmesi

#### **3.4.2.4. Tüm sapma (WHOLE DEVIATION)**

Aşınmamış ve aşınmış örnekler çakıştırıldıktan sonra iki örnek arasındaki sapma değeri bu komut ile belirlenir. Komut kullanılırken aşınmamış örnek referans olarak alınır ve aşınmış örnek üzerindeki sapmalar negatif değlerle gösterilir. Ayrıca çakıştırma sonucunda; en büyük, en küçük ve ortalama aşınma ile aşınmaların standart sapması da bulunur.

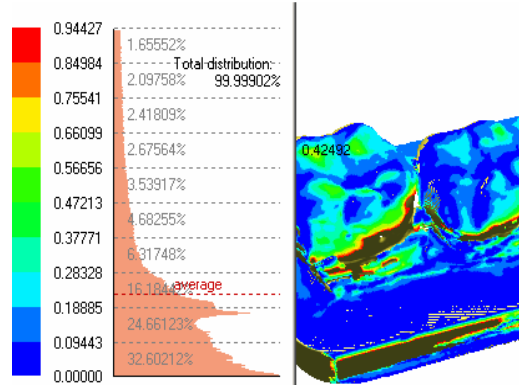
Komut kullanıldığı zaman, incelenen kabuklar arasındaki farkları mutlak değerlendirme, işaretli değerlendirme, yer değıştirme vektörü ve renkli nokta olmak üzere dört farklı şekilde gösterir. Bu çalışmada; aşınmanın saptanması için işaretli değerlendirme, ölçmelerdeki tekrarlanabilirliğin bulunması için de yani aynı örneğe ait farklı ölçümler arasındaki sapmaların tespit amacıyla mutlak değerlendirme kullanılmıştır. İşaretli değerlendirmede karşılaştırılan aşınmamış ve aşınmış kabuk arasındaki sapmalar negatif ve pozitif değler arasında renk haritası şeklinde gösterilir. Negatif değler aşınma olduğunu gösterirken pozitif değler ölçme ve çakıştırma hatası olarak ortaya çıkar. Şekil 3.19'da iki farklı kabuğa işaretli değerlendirme uygulanması sonucu ortaya çıkan sapma değeri görülmektedir. Fare renk haritası üzerinde hareket ettirilirse istenen bir noktadaki sapma değeri bulunabilir. Şekilde örnek olarak gösterilen noktada aşınma -0.60000 mm dir.



**Şekil 3.19** İşaretili değerlendirilmede sapmaların negatif ve pozitif değerler arasında gösterilmesi

Ayrıca renk haritasında gösterilen dağılım üzerinde DISCRETE seçeneği işaretlenerek sapma değerleri arasında, nokta dağılımının yüzde cinsinden değeri görülebilir. Mutlak değerlendirmede sapmalar mutlak değerleri ile hesaplanır ve Şekil 3.20’de görüldüğü gibi negatif sapmaları da pozitif olarak gösterir.

Bu komut tersine mühendislikte kalite kontrol amaçlı olarak ta kullanılabilir. Bu durumda herhangi bir CAD yazılımında tasarlanan 3B model ile aynı modelin imal edilip taranması sonucunda elde edilen kabuk model arasında olabilecek sapmaları yani imalat hatalarını belirlemeye yardımcı olur.



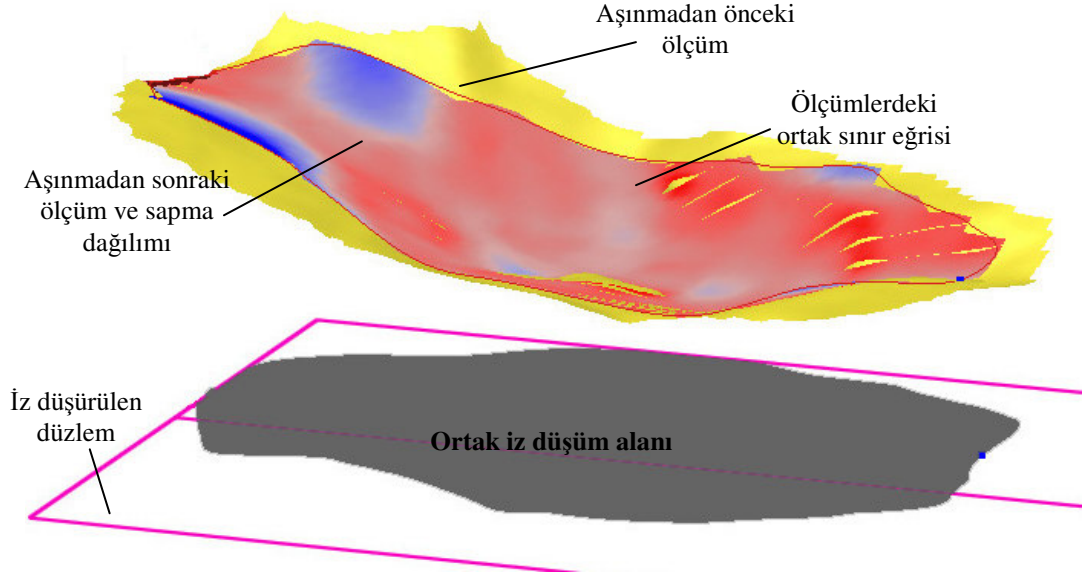
**Şekil 3.20** Mutlak değerlendirilmede pozitif sapmaların incelenmesi

### **3.4.2.5. İzdüşüm alanının ve aşınma hacminin saptanması**

Bazı araştırmacılar (Mandikos ve ark. 2001, Hu ve ark. 1999, 2003) dolgu materyallerindeki aşınmaların saptanmasında, aşınan hacmi de değerlendirme ölçütü olarak ele almışlardır. Bu çalışmalarda aşındırma testinden önce ve sonraki ağırlıkların farkı, dolgu materyalinin yoğunluğuna bölünerek hacim değişimi yani aşınma hacmi saptanmıştır. Pintado ve ark. (1997) kullandıkları AnSur yazılımı ile önceden belirledikleri herhangi bir kesitin, bir düzlem üzerine izdüşüm alanını alarak, dişteki ortalama aşınma ile çarpmış ve aşınan hacmi bu şekilde saptamışlardır.

Bu çalışmada aşınma hacmini saptamak için; dolgu yapılan bölgeler belirlenerek, aşınmış ve aşınmamış yüzeylerin ortak iz düşümleri Şekil 3.1'deki xy düzlemini temsil eden düzleme iz düşürülmüştür. Bu ortak iz düşüm alanının, ortalama aşınma ile çarpılmasıyla da aşınma hacmi bulunmuştur (Şekil 3.21). Hacim hesaplamadaki işlem adımları aşağıda ve bu işlemleri yapmak için kullanılan yazılım komutları ve detaylı açıklamalar da EK-2'de verilmiştir.

1. Aşınmamış ve aşınmış dişlerdeki dolgu bölgelerini belirlenir.
2. İki örneğe ait ortak sınır bölgeleri gösterilir.
3. Sınır bölgelerinde referans eğriler oluşturulur.
4. Oluşturulan eğriler referans düzleme iz düşürülür.
5. İz düşürülen eğriler, referans düzleme dik olacak şekilde oluşturulan referans vektör kullanılarak yükseltilir ve kapalı yüzey halini alır.
6. Bilgi bölümünden iz düşürülen taban alanı öğrenilir.
7. Toplam taban alanı ortalama aşınma ile çarpılarak hacim saptanır.



**Şekil 3.21** Ortalama aşınma ile izdüşüm alanının çarpılarak aşınma hacminin bulunması

### 3.5. Kullanılan ve Önerilen Ölçme ve Değerlendirme Yaklaşımları

Çalışmanın başlangıcında silindirik şekilli referans iğneleri bulunan bir çift diş örneği hazırlanarak aşındırma testinden önce ve sonra ilk ölçmeler yapılmış, ancak bu referanslarla sağlıklı değerlendirmeler yapılamayacağı ortaya çıkmıştır. Referanslar olmadan da özellikle aşınma farkının doğru olarak saptanamayacağı bulunmuştur. Böylece daha iyi ölçmelerin ve karşıtırmaların yapılabileceği paslanmaz çelik sac malzemedен üretilmiş 3B referans gövdeler geliştirilmiştir. Bu aşamalara ait detaylar aşağıda verilmiştir.

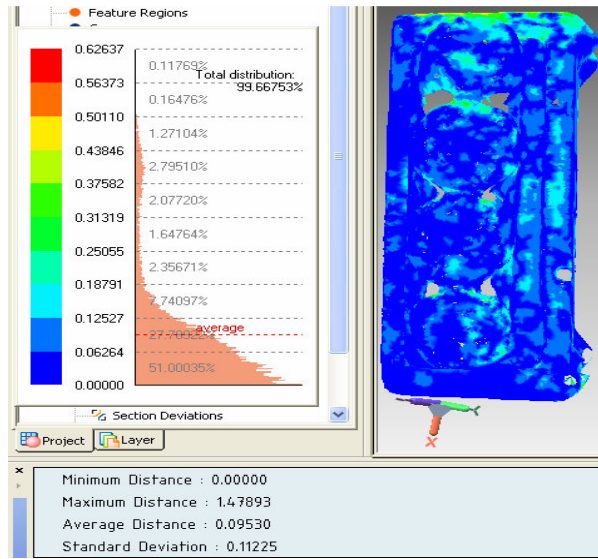
#### 3.5.1. Referans iğneleri ile ölçme

Çalışmanın başlangıcında dişlere yakın bölgelere  $\phi 0,6 \times 15$  mm boyutlarında altı adet paslanmaz silindirik iğneler, yüzeyde 1,5~2 mm kalacak şekilde, akrilik gövdelere sabitlendi. Böylece örneklerin aşınmadan önceki ve sonraki karşıtırmalarında değişmez referanslar elde edildi. Ancak diş diplerine yerleştirilen silindirik iğneler, kamerada kullanılan 175 numaralı lense göre çok küçük çaplı olduğundan tarama işleminde görüntülenememiştir.

### 3.5.2. Referanssız ölçme

Referans iğneli olarak yapılan ölçümlerde, iğneler görüntülenemediği için örneklerin referans kullanılmadan karşılaştırılması üç aşamada araştırılmıştır.

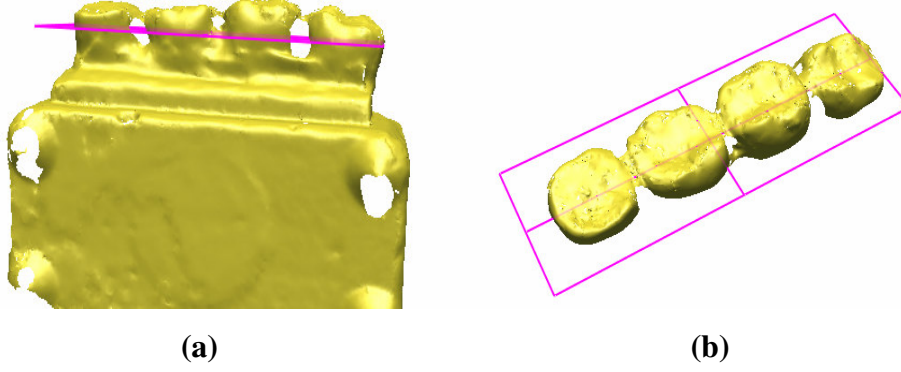
İlk olarak; diş ve akriliklerin tamamı karşılaştırılmıştır. Şekil 3.22’de görüldüğü gibi, bir örneğe ait iki farklı ölçme değerlerinin karşılaştırılması durumunda bile hatalı karşıştırmalar ortaya çıkmıştır. Nokta bulutunun % 35’i 60~185 µm arasında, % 49’u 60 µm den büyük, ortalama sapma 95 µm , standart sapma ise 112 µm olmuştur. Bu da yeterli bir çakışma değildir. Örneklerde gerçek insan dişleri kullanılmış ve bunların da ağız ortamındaki gibi tutulması için daima su içerisinde saklanması gerekmiştir. Bu sırada akriliklerde zamanla çözümler görülmüştür. Ayrıca deney cihazının alt ve üst gövdesine örnekleri takıp çıkarırken akriliklerde kopmalar da olabilmektedir. Bu nedenle örneklerin tamamının karşılaştırılması uygun olmamaktadır.



Şekil 3.22 Referanssız karşılaştırma ile sağlıklı ölçmelerin yapılamadığını gösteren şekil

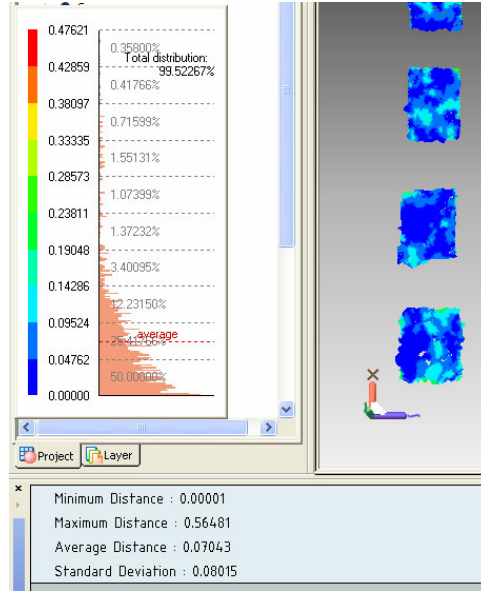
İkinci olarak akrilikler dahil edilmeden sadece dişler dikkate alınarak karşılaştırma yapılması denenmiştir. Bunun için Şekil 3.23 (a)’da görüldüğü gibi sadece dişleri kapsayacak şekilde bir referans düzlem tanımlanarak akrilikten ayrılmış diş kabukları elde edilmiştir (Şekil 3.23 (b)). Şekil 3.22’deki örnek dişlere bu işlem

uygulanarak sadece dişler çakıştırılmış ve standart sapma 85.5  $\mu\text{m}$  ye düşmüştür. Bu daha iyi bir sonuçtur.



**Şekil 3.23** Dişlerin akrilikten ayrılarak daha sağlıklı çakıştırılmalarının yapılabilmesi

Üçüncü olarak; dişlerdeki kırılma gibi olağan üstü durumları da dikkate alarak, dolgulardaki aşınma ile ilgilenildiği için, Şekil 3.24'deki gibi sadece dolguların olduğu bölgelere çakıştırma uygulanmıştır. Bu durumda standart sapma 80  $\mu\text{m}$  ye düşmüştür.

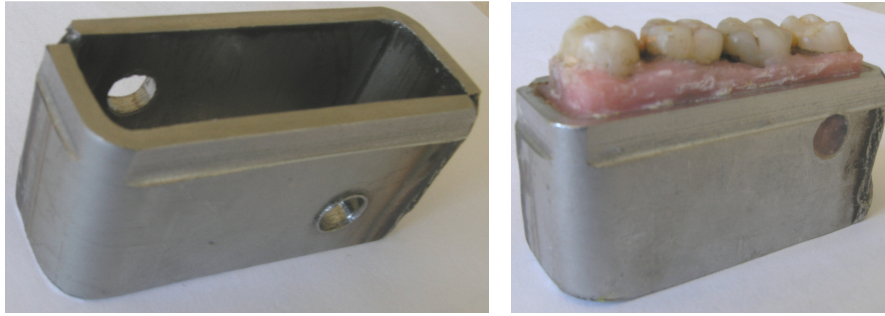


**Şekil 3.24** Sadece dolgulara da çakıştırma uygulanabilmesi

Referanssız karşılaştırma, ölçmelerin tekrarlanabilirliğinin bulunması amacıyla, sadece aynı parçaların farklı ölçümlerinin karşılaştırılmasında kullanılabilir. Aşınmanın saptanması için, aşınmış ve aşınmamış iki dişe referanssız karşılaştırma uygulanırsa hatalı sonuçlar alınacağı açıktır. Çünkü karşılaştırma algoritması gereği aşınan ve aşınmayan noktalar birbirlerine anlamsızca yaklaştırılmaya çalışılacaktır. Bu nedenle 3B referans gövdelerinin kullanılması kaçınılmaz olmuştur.

### 3.5.3. Üç boyutlu referans gövdeler kullanarak ölçme

3 mm kalınlığa sahip paslanmaz çelik sac malzemedен, Şekil 3.25'deki gibi tasarlanarak imal edilen 20x25x52 mm boyutlarında içi boş dikdörtgen gövdelerin referans olarak kullanılacak kısımları,  $R_a = 3\sim 4 \mu\text{m}$  ortalama pürüzlülüğe sahip olacak şekilde (Şen ve Özçilingir, 1999) üst yüzeyin tamamı ve yan yüzeylerden 5 mm derinliğinde frezelenmiştir. Paslanmaz gövdenin, karşılıklı iki yüzeyine bir birlerine çapraz olacak şekilde 6 mm çapında iki delik delinerek akriliklerin suda çözünmesi durumunda bile dişlerin oynaması önlenmiştir. Sıvı akrilik kap halindeki referans gövdenin içine dökülmüş ve deney örnekleri bu şekilde elde edilmiştir. Böylece akriliğin çözünmesinden ve kopmasından kaynaklanan hatalar yok edilmiştir. Ayrıca ölçüm işlemleri indeks marklarla yapıldığından program içinde de ilave olarak referans noktaları kullanılmıştır.

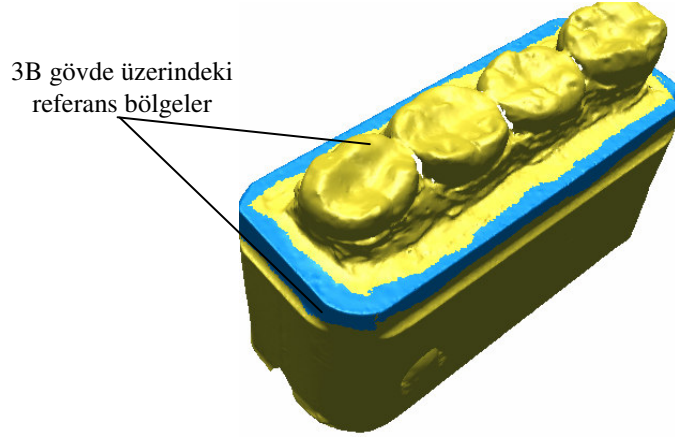


Şekil 3.25 Tasarlanan 3B referans gövde

Aşınmayı saptamak için karşılaştırma işlemi sırasında bölgesel karşılaştırma kullanılmıştır. Bu şekilde örneklerin aşınma test cihazına yerleştirilmesi ve su içinde saklanması sırasında boyutlarında hiç değişiklik olmayacak bölgeler referans olarak kullanılmıştır. Böylece ~150000 adet noktayı içeren hassas ölçme ve karşılaştırmalar

elde edilmiştir. 3B referans gövdede çakıştırma işlemi için referans olarak kullanılan yerler 3.26'de verilmiştir.

Bu tip referans kullanma, dış aşınmalarının ölçülmesi için oldukça başarılı olmuştur.



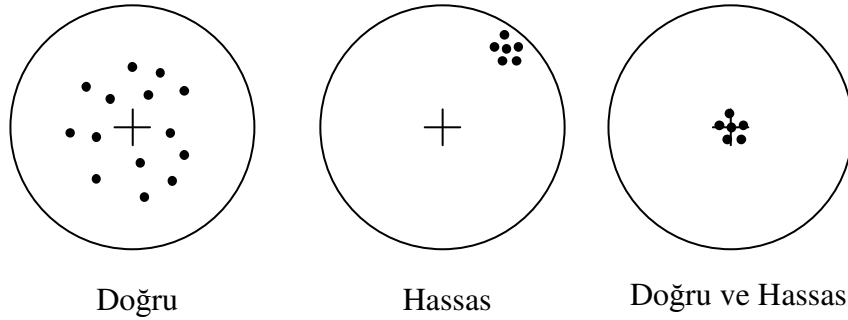
**Şekil 3.26** 3B gövde üzerinde referans olarak alınan bölgeler

## 4. DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada üç çift diş kullanılmıştır. Referans iğnelerinin aşınmaların saptanmasında kullanılabilirliğini araştırmak için birinci çift diş aşınmadan önce ve sonra birer kez ölçülmüştür. Tekrarlanabilirliğin araştırılması için, ikinci çift dişler kullanılmış, aşınmadan önce ve sonra üçer kez ölçüm yapılmıştır. Üç boyutlu referans gövdelerin kullanılmasına karar verildikten sonra da, aşınmadan önce dört kez ölçülen örnekler, aşınma testinden sonra üç kez ölçülmüştür.

Ölçme sisteminin uygun olup olmadığına karar vermek için doğruluk ve hassasiyetin belirlenmesi gerekir. *Doğruluk*, bir parçanın herhangi bir boyutu üzerinde yapılan birkaç ölçümün ortalaması ile parçanın o boyutunun gerçek değeri arasındaki farktır (Griffth, 1996). Dolayısıyla doğruluk, gerçek değerden ne kadar uzaklaşıldığının bir ölçüsüdür (Donna, 2000). Bazen *tekrarlanabilirlik* olarak da adlandırılan *hassasiyet* ise, bir ölçümün tekrarlanması sırasında ölçülen değerlerin bir birlerine ne kadar yakın olduğunun ifadesidir (Donna, 2000) ve ölçme işleminde sonuçların tekrarlanabilirliğini gösterir (Griffth, 1996).

Donna (2000), Şekil 4.1’de görüldüğü gibi doğruluk ve hassasiyet kavramlarını çok iyi açıklamaktadır. Buna göre her hassas ölçüm doğru olmayabilir. Bir ölçüm için doğruluk ve hassasiyetin beraberce olması çok anlamlıdır.



Şekil 4.1 Doğruluk ve hassasiyet (Donna, 2000)

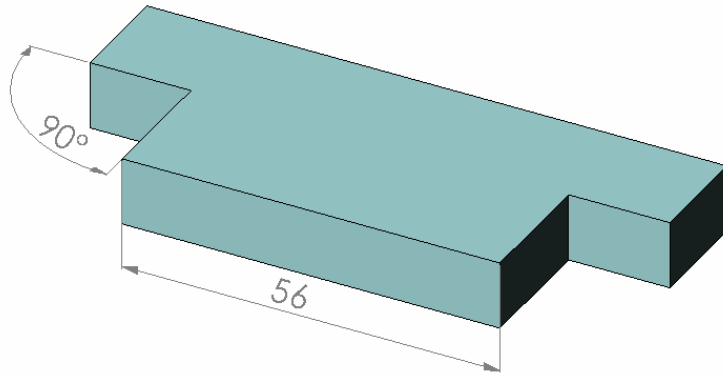
Dolgu materyallerindeki aşınmaların saptanmasında, bu çalışmada kullanılan ölçme yönteminin, uygun olup olmadığına karar vermek için, ölçme yönteminin doğruluğu ve hassasiyeti ile sakıncalı tarafları araştırılarak aşağıda açıklanmıştır.

#### 4.1. Ölçme Sisteminin Doğruluğu

Ölçme işlemi için, İnfotron A.Ş. de bulunan 3B optik tarama cihazının kamerasında, önceleri 175 numaralı lens kullanıldı. Bu lens kullanım kataloguna göre  $\pm 25-30 \mu\text{m}$  doğrulukla ve 0.1 mm çözünürlükle ölçüm yapabilmektedir. Yani nokta koordinatları  $\pm 25-30 \mu\text{m}$  doğrulukla ölçülebilmekte ve yan yana noktalar birbirine  $\sim 0.1$  mm yakın olmaktadır. Ancak farklı pozlarda farklı noktalar ölçülebildiği için noktaların arasındaki mesafe daha da düşebilmektedir. Bu lens referans iğneleri ile ve referanssız ölçümlerde kullanılmıştır.

3B referans gövdeli ölçümleri yaparken, sistemin kamerasında eldeki en hassas lens olan 60 numaralı lens kullanılmıştır. Bu lens yaklaşık  $\pm 15 \mu\text{m}$  doğrulukla ve 0.05 mm çözünürlükle ölçüm yapabilmektedir.

Lenslerin ölçüm doğruluğunu kanıtlamak için Şekil 4.2’de görülen master kullanılmaktadır. Bu master İnfotron A.Ş. tarafından, dik kenarların gönyesi alınacak şekilde CNC tezgahlarda hassas şekilde üretilmiştir. Kamerada kullanılacak lens ölçüm cihazına takıldığı zaman lenslerin ölçüm kalibrasyonları, Breuckmann firmasının tasarladığı levhalarla optoCAD programında yapılmaktadır. Kullanılan lense göre belirli uzaklıklardan levha üzerine düşürülen ışınların kamera tarafından elde edilen görüntüleri kalibrasyonda değerlendirmeye alınır. Kalibrasyonun doğruluğu yazılım tarafından da kontrol edilebilmektedir.



Şekil 4.2 Kalibrasyonun doğruluğu için kullanılan master

Lensin ölçüm doğruluğu için kullanılacak mastar 3B olarak taranır ve Şekil 4.2'de görülen  $56 \pm 0.00$  mm.lik ölçü, yazılımın ölçüm komutları ile kontrol edilir.

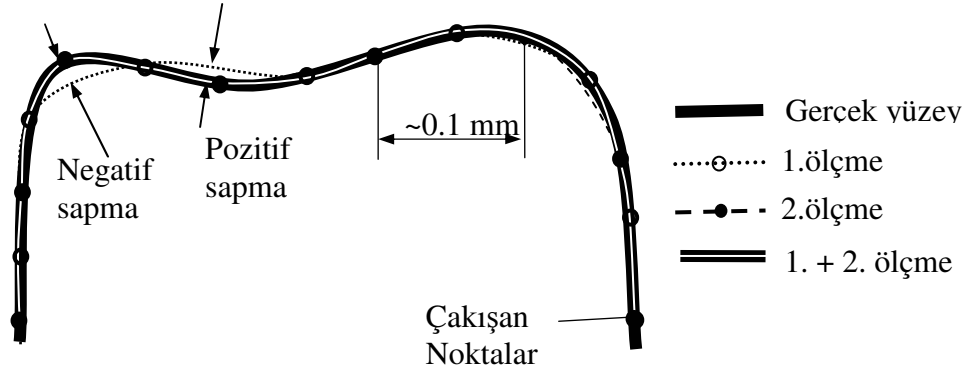
Ölçümler yapılırken 175 numaralı lens ile söz konusu boyut 55.979 mm olarak saptanmıştır. Kamerada kullanılan lenslerin değiştirilmesi ve/veya uzun süreli kullanımlar sırasında sık sık bu kalibrasyon yapılmaktadır.

## **4.2. Ölçme Sisteminin Hassasiyeti (Tekrarlanabilirliği)**

Ölçme sisteminin doğruluğu için bir mastarın kullanılması yeterli olabilir. Ancak farklı tip ve büyüklüklerdeki parçaların ölçülmesi sırasında ölçmelerin hassasiyeti bir birinden farklı olabilir. Çünkü yüzey düzgünlüğü, yüzeylerdeki keskin geçişler, malzemenin rengi ve parlaklığı gibi özellikler ölçmelerin hassasiyetini etkiler. Bu nedenle dişlerin formu, rengi ve yüzey pürüzlülüğü gibi özelliklerinin ölçmeleri nasıl etkilediğini bulmak için aynı parçalar birkaç kez ölçülerek ölçmelerin hassasiyeti araştırılmıştır.

### **4.2.1. 175 numaralı lens için hassasiyet**

175 numaralı lens ile yapılan referanssız ölçümlerde, ölçüm sayısının sonuçları etkileyip etkilemediği üzerinde çalışıldı. Bu amaçla hazırlanan örnek üç defa ölçüldü. Ölçümler, her bir tarama işleminde örnek üzerinden yaklaşık 150000~180000 adet nokta alınarak yapıldı. İdeal olarak bu ölçmelerde elde edilen 3B verilerin birbirleriyle çakışması gerekir. Ancak Şekil 4.3'de görüldüğü gibi ölçme sisteminin doğası gereği her ölçmede, yüzeydeki farklı noktalar ölçülerek farklı koordinat değerleri elde edilebilmektedir. Burada aynı parçaya ait 1. ve 2. ölçme sonucu elde edilen görüntüler karşılaştırılırsa bazı yerlerde pozitif ve/veya negatif sapmalar ortaya çıkabilir. Şekil iki boyutlu çizilmesine karşın üçüncü boyutta da benzer ilişkiler vardır. Tabii ki farklı ölçmelerde birbirleri ile çakışan noktalar da olabilir. Dolayısıyla farklı ölçmeler birleştirilerek (merging) gerçek yüzeye daha yakın değerlerin elde edilmesi beklenir. Birleştirilecek ölçme sayısı ne kadar fazla olursa gerçek yüzeye o kadar yakın veriler elde edilebilir.



Şekil 4.3 3B Ölçmeler arasındaki farklar

Hassasiyetin saptanması için yapılan çakıştırma işlemlerinde örneklerin gereksiz bölgelerindeki noktaların varlığı çakıştırma işleminde hatalara neden olabilir. Örneğin dişleri sabitlemede kullanılan akrilik malzemenin değerlendirmede hiçbir önemi yoktur. Akriliğin taranması mevcut nokta sayısının artmasına neden olur. Bu da parçaya ait birden fazla ölçümde aynı noktaların yakalanma ihtimalini düşürür. Bunu araştırmak için örneklere ilk aşamada Şekil 3.23 (a)'da görüldüğü gibi akrilikle beraber bir bütün olarak, ikinci aşamada sadece dişlerin bulunduğu bölge dikkate alınarak (Şekil 3.23 (b)) ve üçüncü aşamada da sadece dolgu kısımları dikkate alınarak çakıştırma yapıldı (Şekil 3.24).

Akrilikle beraber bir bütün olarak değerlendirmenin yapıldığı Şekil 3.22'deki sapma dağılım grafiğinde toplam noktaların %99,66'sı değerlendirmeye alınmıştır. Grafikte dağılımın, 0,00 mm ile 0,43846 arasında yoğunlaştığı görülmektedir. Burada toplam dağılım %96 civarındadır. Esas değerlendirme bu bölgede yapılmalıdır. 0,43846 mm değerinden sonraki turuncu, sarı ve kırmızı gibi renkler dişlerin dışındaki kısımlarda oluşmuştur ve değerlendirmeye alınmazlar. Üç ölçüme ait sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bu tip ölçmenin hassasiyeti, ortalama mutlak mesafe cinsinden 85  $\mu\text{m}$  iken, yapılan çakıştırma ve karşılaştırmaların standart sapmaları da 115  $\mu\text{m}$  olmaktadır.

**Çizelge 4.1** Akrilikli dişlerin karşılaştırılması durumunda ölçme hassasiyeti

<b>Karşılaştırılan ölçmeler</b>	<b>Minimum Mesafe [mm]</b>	<b>Maksimum Mesafe [mm]</b>	<b>Ortalama Mutlak Mesafe [mm]</b>	<b>Standart Sapma [mm]</b>
1 ile 2	0,00000	1,47893	0,09530	0,11225
1 ile 3	0,00000	1,48781	0,08749	0,11787
2 ile 3	0,00000	1,59043	0,07337	0,11425

Sadece dişlerin karşılaştırma ve değerlendirmeye alındığı durumda Çizelge 4.2'nin ilk üç satırında görüldüğü gibi hassasiyet 87 µm, standart sapmaları da 91 µm olmaktadır. Bu iki çizelgeye göre, ortalama mutlak mesafe fazla değişmese de standart sapmanın düşmesi ile sadece dişlerin değerlendirmeye alınması durumunda daha hassas sonuçlar elde edilmiştir.

**Çizelge 4.2** Sadece dişlerin karşılaştırılması durumunda ölçme hassasiyeti

<b>Karşılaştırılan ölçmeler</b>	<b>Minimum Mesafe [mm]</b>	<b>Maksimum Mesafe [mm]</b>	<b>Ortalama Mutlak Mesafe [mm]</b>	<b>Standart Sapma [mm]</b>
1 ile 2	0,00000	0,66227	0,09400	0,08554
1 ile 3	0,00000	0,91869	0,08866	0,10051
2 ile 3	0,00000	0,90756	0,07722	0,08752
1+3 ile 2	0,00000	0,65849	0,07889	0,07998

Ayrıca Çizelge 4.2'nin son satırından da anlaşılacağı gibi ölçmeler birleştirilerek (merging) hassasiyet 79 µm, standart sapma da 80 µm ye düşebilmektedir.

Sadece dolgulara karşılaştırma ve karşılaştırma uygulanması durumunda ise hassasiyet 70 µm, standart sapma da 80 µm olmaktadır (Çizelge 4.3).

**Çizelge 4.3** Dolguların çakıştırılması durumunda ölçme hassasiyeti

<b>Karşılaştırılan ölçmeler</b>	<b>Minimum Mesafe [mm]</b>	<b>Maksimum Mesafe [mm]</b>	<b>Ortalama Mutlak Mesafe[mm]</b>	<b>Standart Sapma[mm]</b>
1 ile 2	0,00000	0,56481	0,07043	0,08015
1 ile 3	0,00000	0,73003	0,07186	0,07611
2 ile 3	0,00000	0,73296	0,06824	0,08265

#### **4.2.2. 60 numaralı lens için hassasiyet**

3B referans gövde kullanarak hazırlanan örneklerin, aşındırma testinden sonraki ölçümleri için eldeki en hassas lens olan 60 numaralı lens kullanıldı. Bu lensin kullanımı sırasında örnekler üzerinden ~0.05 mm çözünürlükle yaklaşık 1000000 adet nokta tarandı. Örneğe ait yapılan üç adet ölçmenin hassasiyeti referans gövdeli çakıştırma, sadece dişlerin çakıştırılması ve dolguların çakıştırılması durumlarında incelenmiştir. Referans gövdenin tamamını kullanarak yapılan çakıştırma Çizelge 4.4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.4** Referans gövdeli dişlerin çakıştırılması durumunda ölçme hassasiyeti

<b>Karşılaştırılan ölçmeler</b>	<b>Minimum Mesafe [mm]</b>	<b>Maksimum Mesafe [mm]</b>	<b>Ortalama mutlak mesafe [mm]</b>	<b>Standart Sapma [mm]</b>
1 ile 2	0,00000	1,19499	0,01160	0,05959
1 ile 3	0,00000	1,37288	0,01171	0,07396
2 ile 3	0,00000	1,37296	0,01730	0,06987

Buna göre 60 numaralı lens için hassasiyet; referans gövdeli dişlerin çakıştırılması durumunda ortalama mutlak mesafe cinsinden 14 µm iken, yapılan çakıştırma ve karşılaştırmaların standart sapmaları da 68 µm olmaktadır.

Sadece dişlerin çakıştırma ve değerlendirmeye alındığı durumda Çizelge 4.5’de görüldüğü gibi hassasiyet, ortalama mutlak mesafe cinsinden 7 µm, standart sapmaları da 22 µm olmaktadır. Bu iki çizelgeye göre, ortalama mutlak mesafe 14 µm’ den 7 µm’ ye; standart sapma ise 68 µm’ den 22 µm’ ye düşmüştür.

**Çizelge 4.5** Sadece dişlerin karşılaştırılması durumunda ölçme hassasiyeti

<b>Karşılaştırılan ölçmeler</b>	<b>Minimum Mesafe [mm]</b>	<b>Maksimum Mesafe [mm]</b>	<b>Ortalama mutlak mesafe [mm]</b>	<b>Standart Sapma [mm]</b>
1 ile 2	0,00000	0,88403	0,00640	0,02322
1 ile 3	0,00000	0,68426	0,00617	0,01920
2 ile 3	0,00000	0,81699	0,00707	0,02425

Referans düzlemlerle kesilen dişlere ait iki ölçümün kendi aralarında birleştirilip (merging) diğer ölçüm ile karşılaştırma yapıldığı durumda ortalama mutlak mesafe yine 7 µm, standart sapma ise 23 µm olmuştur. (Çizelge 4.6)

**Çizelge 4.6** Sadece dişlerin birleştirilip karşılaştırılması durumunda ölçme hassasiyeti

<b>Karşılaştırılan ölçmeler</b>	<b>Minimum Mesafe [mm]</b>	<b>Maksimum Mesafe [mm]</b>	<b>Ortalama mutlak mesafe [mm]</b>	<b>Standart Sapma [mm]</b>
1 + 2 ile 3	0,00000	0,81699	0,00792	0,02873
1 + 3 ile 2	0,00000	0,80868	0,00876	0,02209
2 + 3 ile 1	0,00000	0,67757	0,00522	0,01825

Sadece dolgulara karşılaştırma ve karşılaştırma uygulanması durumunda ise ortalama mutlak mesafe 8,6 µm, standart sapma da 24 µm olmaktadır (Çizelge 4.7).

**Çizelge 4.7** Sadece dolguların karşılaştırılması durumunda ölçme hassasiyeti

<b>Karşılaştırılan ölçmeler</b>	<b>Minimum Mesafe [mm]</b>	<b>Maksimum Mesafe [mm]</b>	<b>Ortalama mutlak mesafe [mm]</b>	<b>Standart Sapma [mm]</b>
1 ile 2	0,00000	0,57296	0,00982	0,03054
1 ile 3	0,00000	0,64701	0,00837	0,02336
2 ile 3	0,00000	0,64815	0,00783	0,01751

175 numaralı lensi kullanırken hassasiyet; ortalama mutlak mesafe cinsinden 70~80 µm ve standart sapma olarak da 80~112 µm olurken; 60 numaralı lenste hassasiyet ortalama mutlak mesafe cinsinden yine çakıştırma şekline göre 7 ile 15 µm; standart sapma olarak ise 22~68 µm olmaktadır.

Ayrıca dişleri referans gövdeden, dolguları da dişlerden ayırırken aynı bölgelerin alınmasına dikkat edilmelidir. 60 numaralı lens için hassasiyeti saptarken, sadece dişlerin karşılaştırıldığı durumda (Çizelge 4.5 ve 4.6) referans gövdenin üst kısmında üç ölçüm için de bir düzlem oluşturuldu. Bu düzlem 5,5 mm ötelenerek dişlerin bu düzlem boyunca üç ölçümde de aynı yerden ayrılması sağlandı.

### **4.3. Aşınmanın Saptanması**

Bu çalışmada aşınma, Şekil 3.14'de görüldüğü gibi aşınmamış ve aşınmış dişlerde, y eksenini doğrultusundaki düşey uzaklık olarak tanımlanmıştır. Bu uzaklık aşındırma testinde dişlerin birbirlerine göre hareket ettiği xz-düzlemine dik uzaklıktır.

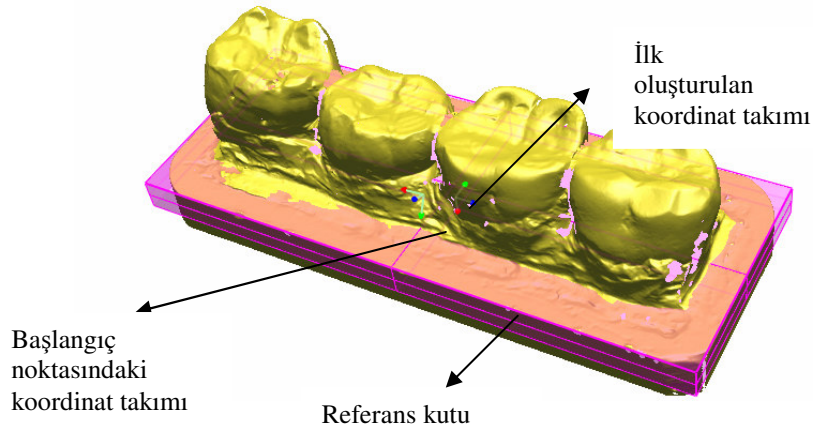
Tanımlanan uzaklığı doğru olarak saptamak için, örneklerin aşınmış ve aşınmamış durumdaki ölçümleri, deney cihazındaki gibi, xz eksen takımlarına yerleştirilir (Şekil 3.1) ve iki ölçümün bölgesel olarak karşılaştırılması ile y eksenini doğrultusundaki konum değişiklikleri dik olarak ölçülür. Bunun için yapılması gereken temel işlemler aşağıda anlatılmıştır. Ayrıca kullanılan yazılım komutlarını kapsayacak şekilde işlem detayları EK-1' de verilmiştir.

**1.** Aşınma olarak y eksenini doğrultusundaki değişimler ölçüleceği için kullanılan yazılımın projeksiyon yöntemi parametre seçeneklerinden y eksenini doğrultusundaki sapmalar seçeneği ve izdüşümü yapılacak noktaların diğer kabuk üzerine iz düşürülemiyor ise bu noktaların değerlendirme dışında tutulması için IGNORE seçeneği işaretlenir.

**2.** 3B referans gövdenin frezelenerek daha düzgün bir yüzey haline getirilen üst bölgesi ve yan kenarları seçilerek Şekil 4.4'deki gibi bir referans kutu oluşturulur Böylece dişler xz düzlemine tam olarak karşılaştırılabilir.

**3.** Referans kutuyu kullanarak, referans koordinat takımı oluşturulur.

4. (0,0,0) koordinatlarında başka bir referans koordinat takımı oluşturulur



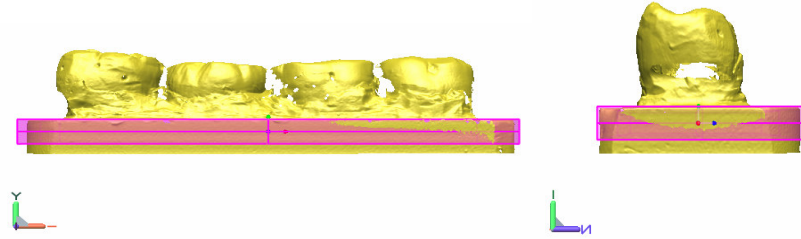
Şekil 4.4 Oluşturulan referans kutu ve koordinat takımları

5. İlk koordinat takımı ile örneğe ait ölçüm kabuğu bir birine bağlanır

6. 1. koordinat takımı 2. koordinat takımına taşınır

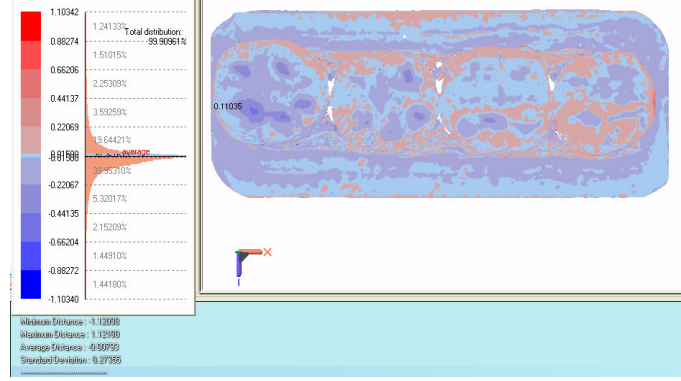
Gerekli referans dönüşümleri yapılarak önden ve sol yandan görünüşler

Şekil 4.5'teki gibi olacak tarzda düzeltilir. Böylece y eksenini doğrudan aşınmanın saptanacağı eksen olur.



Şekil 4.5 Örneklerin xz eksen takımına oturtulması ve aşınmanın dik olarak y yönünde ölçülmesi

Aşınmamış ve aşınmış örnekler arasındaki farkı bulurken yazılımda kullanılan bir başka özellik “kabul edilebilir tolerans” seçeneğidir. Bu komut kullanılan lensin doğruluğunu ifade etmektedir. Bu çalışmada, aşınmış örnekler 60 numaralı lens ile ölçüldüğünden ve kullanılan lensin doğruluğu da  $\pm 15\mu\text{m}$  olduğundan kabul edilebilir tolerans değeri  $15\mu\text{m}$  olarak alındı. Böylece aşınmanın  $\pm 15\mu\text{m}$  arasında olduğu bölgeler dağılım grafiğinde kolaylıkla görülür (Şekil 4.6).

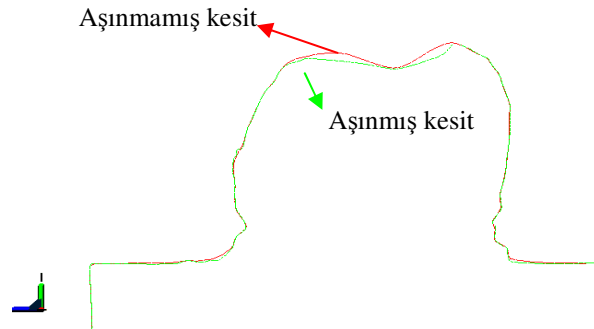


**Şekil 4.6** Aşınma y eksenine doğrultusunda dik olarak ölçülmüştür.

Toplam dağılımın % 21'i  $\pm 15 \mu\text{m}$  arasındadır. Dağılım grafiğinde aşınma negatif sapmalarla gösterildiğinden kabul edilebilir tolerans değeri ile birlikte toplam noktaların yaklaşık %72'si doğru olarak ölçülmüş bölgeleri gösterir. Geri kalan % 28 lik kısım pozitif değerler içerir. Şekilde pembe renkli olan bu kısımlar genellikle dişlerin ölçme yapılmayacak yan kısımları olduğundan dikkate alınmazlar. Dikkat edilirse dağılım esasen  $-0.441$  ile  $0.44137$  arasında yoğunlaşmıştır. Değerlendirme yaparken bu bölgenin dikkate alınması daha doğru olacaktır. Buradaki dağılımda % 92'dir.

Dişlerin geometrilerinden ve kapanış durumlarından dolayı her dişte farklı aşınmalar oluşmuştur. Diş üzerinde en fazla  $\sim 400 \mu\text{m}$ ' lik aşınma oluşmuştur. Bu değere de dişin tepe noktalarında ulaşılmıştır.

Aşınmalar Şekil 4.7'deki gibi herhangi bir yerden alınan kesitler halinde de görülebilir. Kırmızı renkli çizgi aşınmamış diş, yeşil renkli çizgi aşınmış diş göstermektedir. Diş kesitleri arasındaki mesafe dik olarak ölçülebildiği gibi, kesit normalleri boyunca da ölçülebilir.

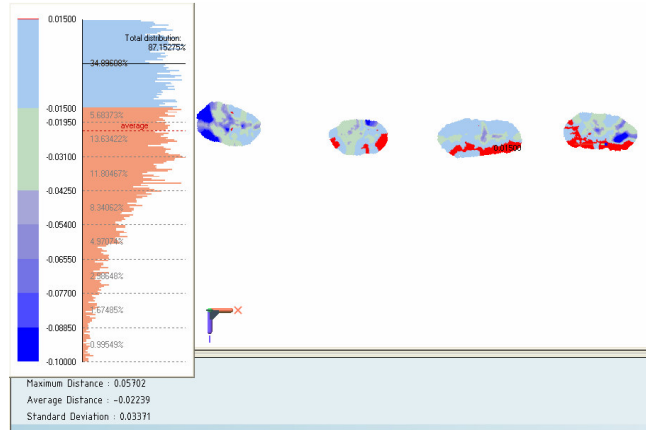


**Şekil 4.7** Aşınma, diş kesitleri boyunca da ölçülebilmektedir.

#### 4.4. Aşınma Alanının ve Hacminin Saptanması

Aşındırma deneyi sonucunda dişlerde ve restorasyonlarda oluşan aşınmaları hesaplamak için kullanılan bir diğer yöntem aşınan bölgenin alanının ve hacminin hesaplanmasıdır.

Dolgu materyalindeki aşınma bölgesinin, alanının ve hacminin nasıl hesaplanacağı daha önce anlatıldı. Buradan hareketle dolgu yapılan bölgelere, kabul edilebilir tolerans değeri  $\pm 15 \mu\text{m}$  alınarak tüm sapma uygulandı ve dağılım grafiği Şekil 4.8'deki gibi elde edildi. Buna göre noktaların % 35'i  $\pm 15 \mu\text{m}$  değerleri arasındaki kısmı, % 87'si ise kabul edilen en fazla toleransa kadar olan kısmı gösterirken sadece % 13'lük bir kısım dağılım grafiğinde kırmızı renkle gösterilmiş ve kabul edilemeyecek kadar pozitif değer almıştır. Dağılımın % 51'i kesinlikle sapmanın negatif olduğu yani aşınmanın ölçülebildiği bölgedir. Ortalama aşınma miktarı ise  $22,2 \mu\text{m}$  olarak saptanmıştır.



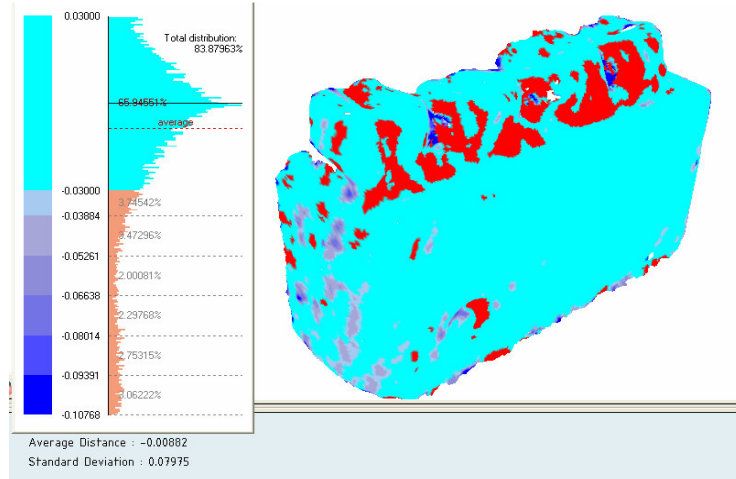
Şekil 4.8 Dolgu bölgelerinde oluşan aşınmalar

Buna göre toplam aşınma iz düşüm alanı incelenen dolgu bölgesi için  $44,86 \text{ mm}^2$  olarak saptanır. Bu alanın ortalama aşınma ile çarpılması ile de aşınma hacmi bulunur. Buradan hareketle aşınma hacmi  $0,98 \text{ mm}^3$  olarak saptanır.

#### 4.5 Yüzeze Kaplanan Sprey Boyanın Etkisi

Hazırlanan diş örnekleri beyaz ve parlak renkli olduğu için aşınmadan önce ve sonra 3B ölçümler yapılırken, örnek yüzeylerine spreylenmiş boya sıkıldı. Sprey boyanın

ölçümleri ne derecede etkilediğini saptamak için aynı örneğin üzerine önce iki kat sonra dört kat sprej boya sıkıldı ve ölçmeler karşılaştırıldı. Tekrarlı boya tabakaları oluşturulurken referans gövdeler kapatılarak bu kısımların boyanması önledi. Ölçümler  $\pm 30$   $\mu\text{m}$  kabul edilebilir tolerans değerine sahip 175 numaralı lens ile yapıldı. Buna göre Şekil 4.9'da görüldüğü gibi noktaların yaklaşık %84'ü değerlendirilmiştir. Dağılımın %66'sı toleranslar içerisinde kalmıştır. Ortalama sapma 9  $\mu\text{m}$ 'dir ve bu da ölçme hassasiyeti içerisinde kalmaktadır. İki ve dört kat boyamalar arasında da kayda değer bir sapma farklılığı görülmemiştir. Esasen hiçbir zaman bu kadar kalın bir tabaka da oluşmamaktadır. Hem aşınma öncesi hem de aşınmadan sonra kaplama yapıldığı için sprej boyanın ölçmeleri etkilemeyeceği düşünülmektedir.



Şekil 4.9 Sprej boyanın etkisi

## 5. TARTIŞMA

Bu çalışmada kullanılan ölçme sistemi, dolgu materyallerindeki aşınmaların saptanmasında pratik olarak kullanılabilir bir yöntemdir. Çünkü dişlerin taranarak ölçülmesi 1.5~2 saat sürmekte, nokta bulutundan poligon yüzeylerin oluşturulması, dişlerin referans geometriler kullanılarak aşınma eksenlerine oturtulması, karşılaştırma işlemleri ve aşınma analizi 1 saat kadar sürmektedir. Bu da kabul edilebilir bir süreçtir.

Doğruluk ve hassasiyet bazı çalışmalarda direkt olarak ölçülen dişlerle değil de hassas olarak üretilmiş geometrik şekilli parçalarla saptanmıştır. Bu durumda 7 µm doğruluk ve 5 µm hassasiyetle ölçümler alınmıştır (Igor ve ark. 2000, Pintado ve ark. 1997). Ancak bu yargı ölçme sistemi için tam doğru sonuçlar vermez. Çünkü taranan parçaların yüzey topografyasına bağlı olarak özellikle ölçme hassasiyeti (tekrarlanabilirlik) değişmektedir. DeLong ve ark. (2003) tarafından Comet 100 optik tarama sistemi kullanılarak diş kalıplarının ölçülerek değerlendirildiği bir çalışmada, sistemin doğruluğu  $\pm 40$  µm ve çözünürlüğü 0.130 mm olarak bildirilmiştir. Burada sunulan çalışmada 3B referans gövdelerle ve 60 numaralı lens kullanıldığı zaman ölçme doğruluğunun  $\pm 15$  µm, ölçme çözünürlüğünün 0.05 mm ve ölçme hassasiyetinin de 7 µm olduğu görülmüştür. Bu da sunulan yöntemin kabul edilebilir bir yöntem olduğunu gösterir.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada dişlere yapılan dolgu materyallerinin çiğneme sırasındaki aşınmalarının ölçülmesi için optoTOP-HE 3B optik ölçme sisteminin kullanılabilirliği üzerinde durulmuştur. Aşındırma için hastalardan alınan gerçek dişleri kullanarak çiğneme durumunda dişlerde ve dolgularda oluşacak aşınmaları belirleyecek şekilde tasarlanmış bir simülatör kullanılmıştır. Aşınma; genellikle literatürde olduğu gibi, çiğneme düzlemine dik düzlemdeki yer değiştirme olarak tanımlanmıştır.

Dolgulardaki aşınmanın saptanması için pratik olarak uygulanabilir bir in vivo yöntem önerilmiştir. Her noktaya ait aşınmaların gösterildiği renk dağılım grafikleri yanı sıra, en büyük, en küçük ve ortalama aşınma, aşınmaların standart sapması, istenen bölgeye ait aşınma hacmi de hesaplanabilmektedir.

Tekrarlanabilirliğin ve aşınmaların ölçülmesi için kullanılacak üç farklı yöntem tartışılmış ve bunlardan paslanmaz çelik sac malzemeden üretilmiş 3B referans gövdelerle ve 60 numaralı lens kullanıldığı zaman ölçme doğruluğunun  $\pm 15 \mu\text{m}$ , çözünürlüğün 0.05 mm ve hassasiyetinin de  $7 \mu\text{m}$  olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar da literatürdeki benzer ölçme yöntemleri ile karşılaştırıldığında ölçme sisteminin dolgu aşınmalarını ölçmek için yeterli olacağı sonucuna varılmıştır.

Noktaları daha iyi belirleyebilmek için, ölçme sırasında örnek yüzeylerine sıkılan mat beyaz boya tabakasının, ölçme sisteminin hassasiyetini etkilemediği görülmüştür.

Araştırmacıların beraberce çalıştıkları diş hekimleri bu ölçme sistemini kullanarak farklı dolgu materyallerinin, farklı aşınma şartlarında ve farklı çevrimlerde nasıl davranacağını araştırabileceklerdir. Ayrıca hasta ağızından alınacak ölçülerle klinik çalışmalar yapılarak gerçek dişlerdeki aşınmaların ölçülmesi için yeni yöntemler de geliştirilebilir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda, 3B referans gövdelerindeki referans yüzeylerinin bu çalışmada olduğu gibi ince frezeleme ile değil de taşlama ile yapılması durumunda yüzey pürüzlüğünün bozucu etkileri daha da azaltılmış olacaktır.

Ülkemizde henüz kullanılmayan 50 numaralı lens kullanılarak da daha hassas ve doğru ölçmeler yapılabilecektir.

## **KAYNAKLAR**

- Adrian, U., Teoh, S. and Tan, K.,** Influence of Water Exposure on Three-Body Wear of Composite Restoratives, *2000 John Willey&Sons, Inc. J Biomed Mater Res.*, **53**, 547-553, 2000.
- Akkurt, M.,** Makine Konstrüksiyonunda Güvenilirlik, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1997.
- Çakır, A.,** 3D Optik Taramanın Temel Prensibi, Optik Üçgenleme (Optical Triangulation), *Kalıp Dünyası, Kasım-Aralık 2005.*
- Donna, C. S.,** Quality, R.R. Donneley&Sons Company Press, New Jersey, 2000.
- DeLong, R., Heinzen, M., Hodges, J.S., Ko, C.C. and Douglas, W.H.,** Accuracy of a System For Creating 3D Computer Models of Dental Arches, *J Dent Res.*, **82**, 438-442, 2003.
- Dereli, T. ve Baykasoğlu, A.,** Tersine Mühendislik, *www.turkcadcam.net, Nisan, 2005.*
- Fu, P.,** Otomotiv Endüstrisinde Tersine Mühendislik Uygulamaları, *Kalıp Dünyası, Kasım-Aralık 2005.*
- Gökay, N. ve Türkün, Ş.,** Farklı Kompozit Resin Materyallerin Aşınma ve Sertlik Özelliklerinin Karşılıklı Olarak İncelenmesi, *A.Ü. Diş Hek. Fak. Der.*, **28**, 263-270, 2002.
- Görür, B., Akdoğan, A. ve Yurci, M.,** Optik Ölçme Yöntemlerinin Sac ve Plastik Parçaların İmalatındaki Sayısallaştırma, Tersine Mühendislik ve Muayene Prosesleri, *www.turkcadcam.net, Aralık, 2005.*
- Griffth, G.,** The Quality Techician's Handbook, Quebecor Printing/Book Press, New Jersey, 1996.

- Gülhan, A., Aykut, A., Seymen, F. ve Araman. A.,** Reçine Katkılı Cam İyonomer Simanların Aşınmaya Karşı Dirençlerinin Geleneksel Cam İyonomer Simanlarla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, *İ.Ü. Diş Hek. Fak. Der.*, **30**, 206-210, 1996.
- Hewlett, E.R., Orro, M.E. and Clark, G.T.,** Accuracy Testing of Three-Dimensional Digitizing Systems, *Dent Mater.*, **8**, 49–53, 1992.
- Hu, X., Marquis, P. and Shortall, A.,** Two-body In vitro Wear Study of Some Current Dental Composites and Amalgams, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, **82**, 214-20, 1999.
- Hu, X. and Marquis, P.,** Influence of Filler Loading on the Two-body Wear of a Dental Composite, *Journal of Oral Rehabilitation*, **30**, 729-737, 2003.
- Igor, J.P., Anthony, K.O., James, S.H. and Gary, C.A.,** In Vivo Evaluation of The Surface of Posterior Resin Composite Restorations: A Pilot Study, *J Prosthet Dent.*, **84**, 353-359, 2000.
- Kalıpçılar, B., Karaağaçloğlu, L., Hasanreisioğlu, U. ve Denli, N.,** Sabit Protezlerde Kullanılan Bazı Estetik Materyallerin Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, *G.Ü. Diş Hek. Fak. Der. Cilt 6, Sayı 1*, Sayfa 131-146, 1989.
- Mandikos, M., Davis, E., and Carter, M.,** A Comparison of the Wear Resistance and Hardness of Indirect Composite Resins, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, **85**, 386-95, 2001.
- Mehl, A., Gloger, W., Kunzelmann, K.H. and Hickel, R.,** A New Optical 3D Device for the Detection of Wear, *J Dent Res.*, **76**, 1799-1807, 1997.
- Perry, R., Kugel, G., Kunzelmann, K.H., Flessa, H.P. and Estafan, D.,** Composite Restoration Wear Analysis: Conventional Methods vs. Three-dimensional Laser Digitizer, *J Am Dent Assoc.*, **131**, 1472-1477, 2000.

- Pintado, M.R., Anderson, G.C., DeLong, R. and Gouglass, W.** Variation in Tooth Wear in Young Adults over a Two Year Period, *J Prosthet Dent.*, **77**, 313-320, 1997.
- Seokbae, S., Hyunpug, P. and Kwan, L.,** Automated Laser Scanning System for Reverse Engineering and Inspection, *International Journal of Machine Tools*, **42**, 889-897, 2002.
- Sonugelen, M., Artunç, C. ve Güngör, M.,** Farklı Yöntemlerle Polimerize Edilen Estetik Restoratif Materyallerde Aşınma ve Sertliğin İncelenmesi, *E.Ü. Diş Hek. Fak. Der.* , **21**, 1-10, 2000.
- Söderholm, K., Lambrechts, P. and Willems, G.,** Clinical Wear Performance of Eight Experimental Dental Composites Over Three Years Determined By Two Measuring Methods , *Eur J Oral Sci.*, **109**, 273-281, 2001.
- Suzuki, S., Nagai, E. and Taira, Y.,** In vitro Wear of Indirect Composite Restoratives, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, **88**, 431-6, 2002.
- Şahman, S. ve Dikmen, D.,** Çiğneme Sırasında Dişlerdeki Aşınmayı Simüle Eden Deney Ünitesi Tasarım ve İmalatı, *T.C. Selçuk Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Makina Mühendisliği Uygulamaları*, Konya 2004.
- Şen, Z. ve Özçilingir, N.,** Temel Teknik Resim, Ders Kitapları Anonim Şirketi Yayınevi, İstanbul, 1999.
- Turssi, C., Serra, M. and Purquerio, M.,** Wear of Dental Resin Composites: Insights Into Underlying Processes and Assessment Methods – A Review, *2003 Wiley Periodicals, Inc. J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater*, **65B**, 280-285, 2003.

**Winkler, M.M., Lautenschlager, E.P., Boghosian, A. and Greener, E.H.,** An Accurate and Simple Method for the Measurement of Dental Composite Wear, *Journal Of Oral Rehabilitation*, **23**, 486-493, 1996.

**Yap, A., Hastings, W. and Teoh, S.,** Comparative Wear Ranking of Dental Restoratives With The Biomat Wear Simulator, *Journal of Oral Rehabilitation*, **26**, 228-235, 1991.

**Yap, A., Chew, C. and Teoh., S.,** Environmental Damage and Occlusal Contact Area Wear of Composite Restoratives, *Journal of Oral Rehabilitation*, **29**, 87-97, 2002.

**Yap, A.,** Occlusal Contact Area Wear of Two New Composite Restoratives, *Journal of Oral Rehabilitation*, **29**, 194-200, 2002.

## **EKLER**

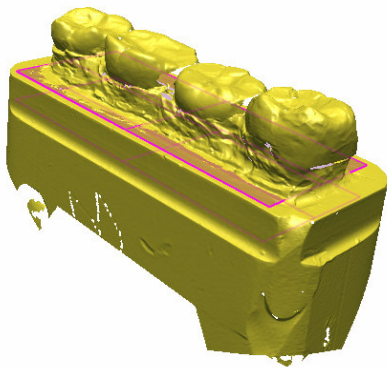
### EK-1 Aşınmayı saptamak için örneklere uygulanan işlem adımları

Bu bölümde aşındırma testi sonucu dişlerde oluşan aşınmaların 3B referans gövde kullanılarak nasıl saptanacağı adım adım verilmiştir. Böylece Breuckmann 3B optik tarama sistemini ve RapidForm yazılımını kullanarak benzer çalışmalar yapacak olan diğer araştırmacılara kolaylık sağlanması amaçlanmıştır. Buna göre incelenen yöntemle aşınmaların saptanması için gerekli olan yazılım komutları ve parametreleri şu şekildedir:

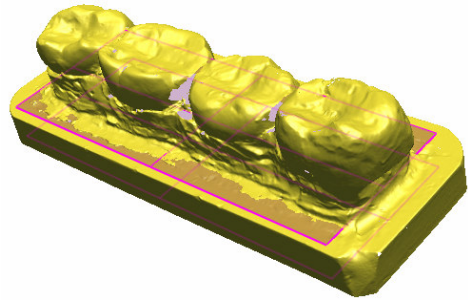
1. Aynı örneğin aşınmamış ve aşınmış durumdaki ölçümleri yazılıma alınır (**FILE → IMPORT**).

2. Referans gövdelerin üst yüzeyinde nokta şeklinde seçimler yapılarak referans bir düzlem oluşturulur (**REF. GOOMETRY → CREATE → PLANE → PICK POINTS**). Oluşturulan referans düzlem gövdeye doğru belli bir mesafede ötelenir (**REF. GOOMETRY → CREATE → PLANE → OFFSET PLANE**). Öteleme mesafesinin gövdenin referans olması için frezelenen yan yüzeylerini aşmamasına dikkat edilir. Çünkü bu bölgeler aşınmaların saptanmasında kullanılacak bölgesel çakıştırma komutunda işaretlenerek seçilecektir (Şekil EK-1.1.(a)).

Bu aşamadan sonra referans bölgelerinin ve dişlerin, paslanmaz çelik gövdeden ayrılması gerekir. Bunun için **TOOL → DIVIDE/MIRROR** komutu kullanılır ve dişler Şekil EK-1.1.b'deki gibi gövdeden ayrılmış duruma gelir.



(a) Oluşturulan referans düzlemler

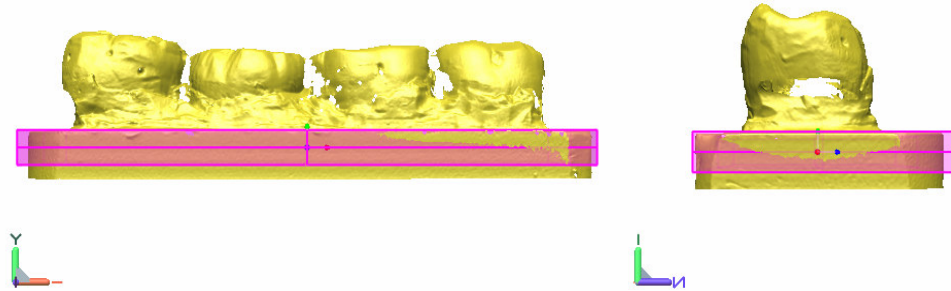


(b) Dişler gövdeden ayrılır

**Şekil EK 1.** Değerlendirmeye alınmayacak kısımlar atılmalıdır.

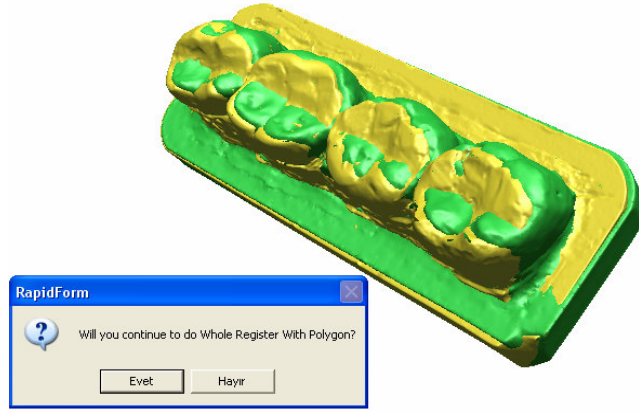
3. Aşınmış örneğin frezelenen yüzeylerini nokta şeklinde seçerek referans bir kutu oluşturulur (**REF. GEOMETRY → CREATE → BOX → PICK BOUNDARY POINTS**). Oluşturulan kutudan yararlanarak referans bir koordinat takımı kabuk üzerine yerleştirilir (**REF. GEOMETRY → CREATE → COORDINATE → FROM REF. BOX**). Bundan sonra (0,0,0) noktalarında başka bir koordinat takımı oluşturulur (**REFERANS GEOMETRY – CREATE – COORDINATE – INPUT ORIGIN&ROTATION**). İlk oluşturulan koordinat takımı ve aşınmış kabuk **REF. GEOMETRY → BIND TO SHELL** komutu ile birbirine bağlanır. Birinci koordinat takımı, (0,0,0) noktasındaki koordinat takımına taşınır (**REFERANS GEOMETRY → TRANSFORM → COORDINATE → ALIGN COORDINATE**).

Gerekli referans dönüşümleri yapılarak önden ve sol yandan görünüşler Şekil EK-1.2'deki gibi olacak tarzda düzeltilir. Böylece y eksenini doğrudan aşınmanın saptanacağı eksen olur.



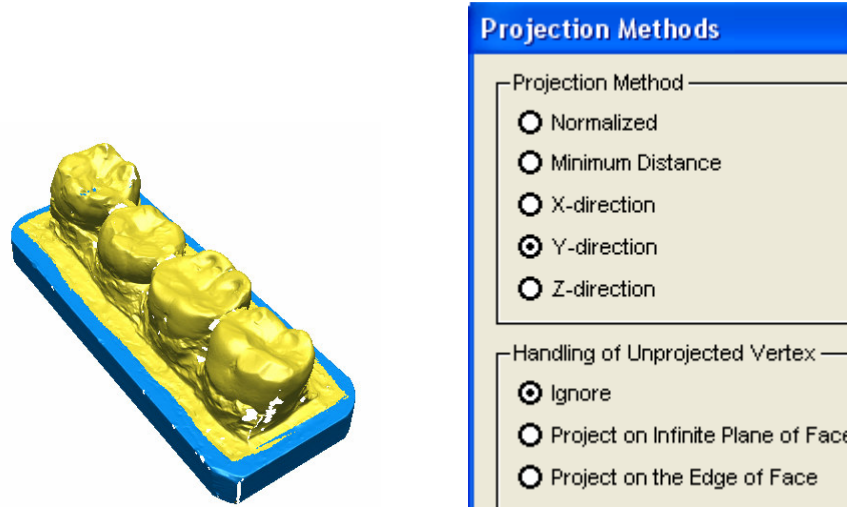
**Şekil EK-1.2.** Aşınma direkt olarak y ekseninde ölçülebilir.

4. İlk önce aşınmış örnek seçilmek şartıyla, aşınmamış ve aşınmış örnek kendi aralarında hızlı çakıştırılarak kabaca birleştirilir (**INSPECTION → REGISTER → QUICK REGISTER**). Bu aşamada tam çakıştırmaya devam etmemek için mesaj kutusunda hayır seçeneği tıklanır (Şekil EK-1.3).



Şekil EK-1.3. Hızlı çakıştırma sonrası tam çakışmaya geçilmemelidir.

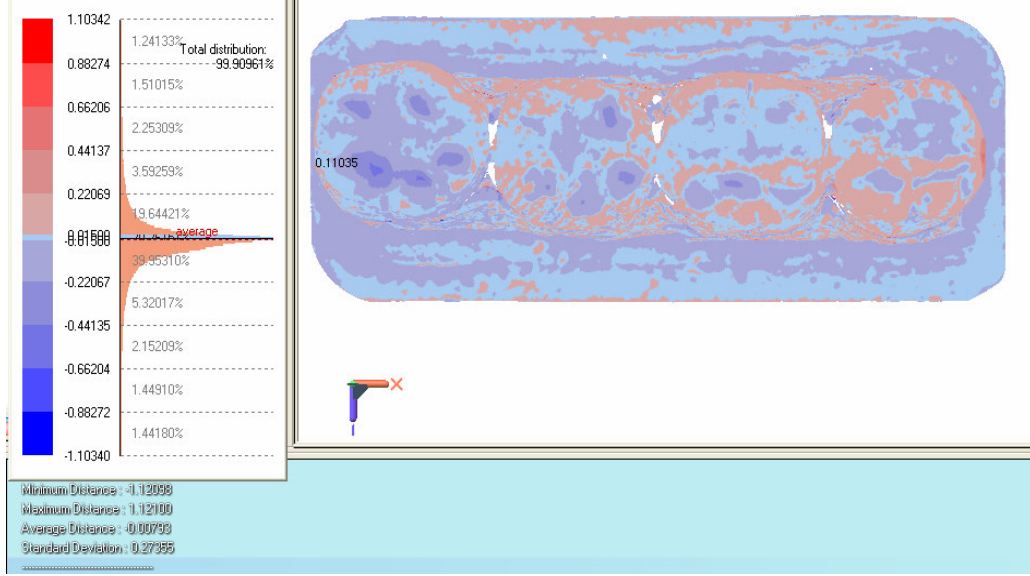
5. Hızlı çakıştırma sonrası paslanmaz gövdenin frezelenen yüzeylerinin bölgesel çakıştırmada referans olarak kullanılabilmesi için **BUILD** → **REGISTER** → **2 SHELLS** → **REGIONAL** komutları uygulanır (Şekil EK-1.4.a). Aşınmanın y eksenini doğrultusunda dik olarak ölçülebilmesi için **INSPECTION** → **SET PROJECTION** parametre seçeneğinde y yönü seçilir (Şekil EK-1.4.b).



(a) Referans yüzeyler seçilmeli (b) Projeksiyon yöntem seçenekleri

Şekil EK-1.4. Bölgesel çakıştırmada işlemler

6. Son adım bölgesel olarak çakışan örnekler arasındaki sapmaların tespit edilmesidir. Bunun için örneklere **INSPECTION** → **WHOLE DEVIATION** → **CREATE WITH POLYGON** komutları uygulanır. Burada dikkat edilecek nokta aşınmış örneğin önceden seçilip aşınmaların Şekil EK-1.5'deki gibi negatif olarak görülebilmesidir.



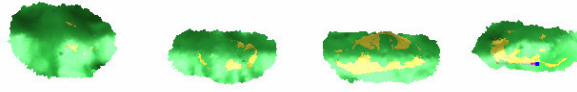
**Şekil EK-1.5.** Aşınmalar negatif sapmalar şeklinde görülebilir

Örnekler arasındaki sapmaları tespit ederken ortaya çıkan sapma seçenekleri parametreleri penceresinde MAXIMUM EDGE LENGTH değeri en hassas çakıştırmanın yapıldığı değer olan 0.1 olarak seçilir. ACCEPTABLE TOLERANCE bölümü kullanılan lensin doğruluğu ile ilgilidir. Bu çalışmada kullanılan 60 numaralı lensin doğruluğu  $\pm 15 \mu\text{m}$  olduğundan bu bölüm  $15 \mu\text{m}$  olarak ayarlandı. Toplam dağılımın bu tolerans değerleri arasında kalan kısmı Şekil EK-1.5'deki gibi sapma dağılım grafiğinde görülebilir.

## EK-2 Aşınma alanının ve hacmin saptanması için uygulanan işlem adımları

Aşınma hacminin saptanması için;

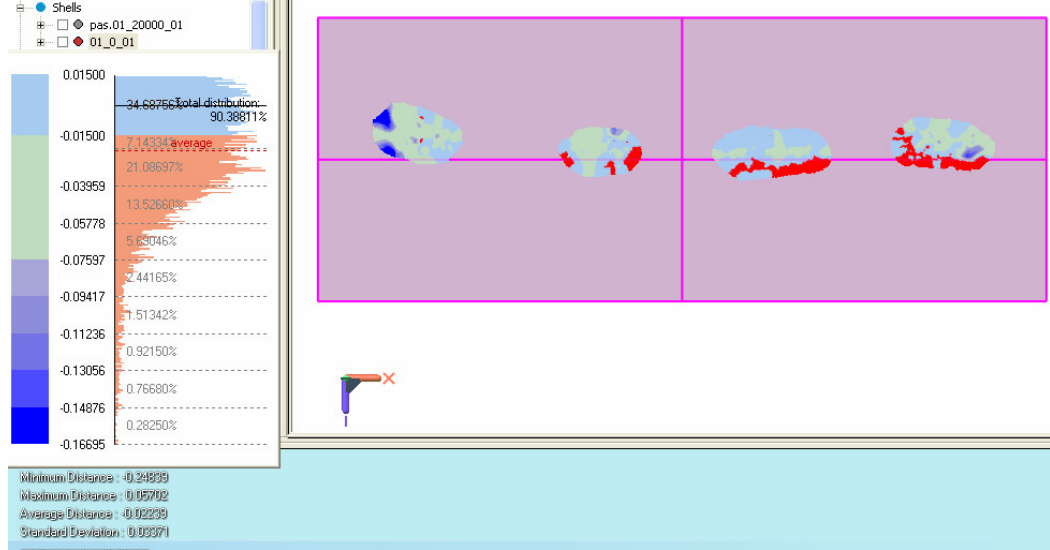
1. Aşınma hacminin bulunması istenen dolgu bölgesi dış yüzeylerinden **SELECT** → **ENTITIES** → **FACE** komutu ile ayrılır (Şekil EK-2.1)



Şekil EK-2.1 Dolgu bölgeleri seçilmeli

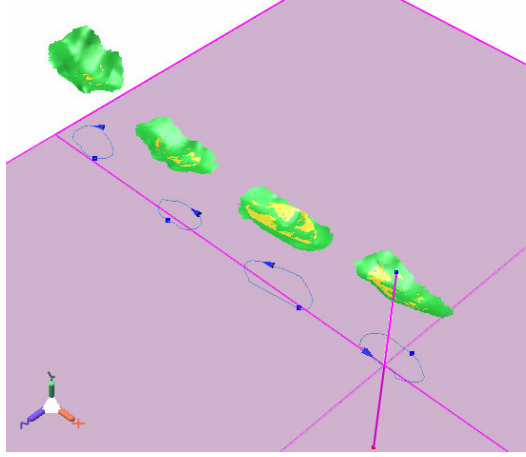
Burada yeşil renkli dolgu aşınmamış örneğe, sarı olan ise aşınmış örneğe ait dolgu bölgeleridir.

2. Dolgulara da tüm sapma uygulanır ve ortalama aşınma saptılır (Şekil EK-2.2).



Şekil EK-2.2 Ortalama aşınma komut penceresinden okunur

3. Dolgu bölgelerinin ortak sınır bölgeleri **SHOW BOUNDARIES** ile gösterilir ve bu bölgelerde **CURVE** → **CREATE** → **FIT BOUNDARY** ile referans eğriler oluşturulur. Oluşturulan eğriler **CURVE** → **CREATE** → **PROJECT TO REFERENCE PLANE** komutu ile iz düşürülür (Şekil EK-2.3).



Şekil EK-2.3 Sınır eğrileri referans düzleme iz düşürülür.

4. İz düşürülen eğriler referans vektör kullanılarak **SURFACE** → **CREATE** → **EXTRUDE** komutu ile yükseltilir ve oluşan yüzeylerin taban alanı **INFORMATION** → **SURFACE** komutundan bulunur.

5. Diş üzerindeki her bir bölgenin alanı toplanır ve dört dişte ele alınan dolgu bölgelerinin toplam alanı saptanır. Toplam alan ortalama aşınma ile çarpılarak aşınma hacmi hesaplanır.