

# Diş Hekimliğinde Yeni Dönem Dijital Çağ: CAI/CAD/CAM Teknolojisi

Münir Demirel<sup>1</sup>

## Özet

Başlangıçta endüstriyel sektörlerde kullanılan bilgisayar destekli teknolojiler, diş hekimliğinde 1980'lerden itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Dental restorasyonların üretiminde etkin bir rol oynamaktadır. Bu teknolojik süreç yeni teknolojilerin gelişmesiyle üç aşamadan oluşur. İlk aşama, dişleri ve destek dokuları dijital olarak tarayan bir cihaz olan Bilgisayar Destekli Ölçü ile başlar. İkinci aşama, restorasyonun bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak planlandığı ve tasarlandığı Bilgisayar Destekli Tasarım sürecidir. Son aşama ise, tasarlanan restorasyonun Bilgisayar Destekli Üretim ile gerçekleştirilerek fiziksel bir ürüne dönüştürülmesidir.

Bilgisayar destekli dental sistemler, diş hekimliği uygulamalarında birçok avantaj sağlamaktadır. Bu sistemler sayesinde restorasyonların kalitesi artmakta, zaman açısından verimlilik sağlanmakta ve hataların azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca, ölçü malzemelerine olan ihtiyaç azalmakta ve birçok durumda aynı gün içinde biten restorasyon hastaya teslim edilebilmektedir. Bilgisayar destekli teknoloji kullanımı aynı zamanda malzeme israfını azaltmakta ve enerji tüketimini düşürmektedir.

Dijitalizasyonun diş hekimliğindeki rolü giderek artmaktadır. İleri teknolojilerin ve uygulamaların dijital platformlara entegrasyonu, dental alandaki çalışmaları hızlandırmakta ve optimize etmektedir. Bu sayede daha etkili bir tedavi süreci sağlanmakta ve hasta memnuniyeti artırılmaktadır. Dijitalizasyon, veri aktarımını kolaylaştırarak iş akışını hızlandırırken, diş hekimlerine daha hassas ölçümler ve daha doğru sonuçlar elde etme imkanı sunmaktadır.

Sonuç olarak, CAI/CAD/CAM teknolojisi ile diş hekimliği alanında önemli bir dönüşüm sağlamıştır. Bu teknolojilerin kullanımıyla beraber dental restorasyonların kalitesi ve hassasiyeti artmış, iş süreçleri daha verimli hale gelmiştir. Dijitalizasyon ise diş hekimliği pratiğinde büyük bir değişim yaratmış ve daha ileri teknolojilerin kullanımını teşvik etmiştir.

1 Dr Öğretim Üyesi, Ağız ve Diş Sağlığı Programı, Meslek Yüksekokulu, Biruni Üniversitesi, munirdemirel@biruni.edu.tr, Orcid: (0000-0002-1487-6834)

## 1. Dijitale Giriş

Dijitalizasyon, diş hekimliği alanında hızla yayılan ve büyük bir etki yaratan bir dönüşüm sürecidir. Bilgisayar Destekli Ölçü (Computer-Aided Impression - CAI), Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer-Aided Design - CAD), Bilgisayar Destekli Üretim (Computer-Aided Manufacturing - CAM) teknolojisi, başlangıçta endüstriyel sektörlerde modelleme, tasarım ve üretim süreçlerinde kullanılmıştır. Ancak, diş hekimliği alanında da 1980'lerden bu yana kullanılmaktadır ve son yıllarda giderek popülerlik kazanmıştır. Dental CAI/CAD/CAM sistemleri, ağız içerisindeki sert ve yumuşak dokuları tarama işlemi ile dijital bir ortama alınmasıyla verileri işleyen yazılım, bu verilerin üzerine yapılan restorasyon veya model tasarım işlemi, tasarlanan restorasyon veya modeli gerçeğe dönüştüren bir üretim sistemi olmak üzere üç temel bileşenden oluşur (1-3).

Dijital iş akışı, diş hekimlerinin diş hazırlığını gözden geçirmesine ve değerlendirmesine, ayrıca amaçlanan tedavi planını karşılayan bir restorasyon tasarlamasına olanak tanır. Bu süreç, geleneksel yöntemlere göre daha verimli bir şekilde gerçekleştirilebilir ve ölçü malzemelerine olan ihtiyacı ortadan kaldırır. Ayrıca, çoğu durumda nihai ürün aynı gün ve randevuda hastaya teslim edilebilir, böylece tedavi süreci hızlanır(4).

Dental alanda dijitalizasyonun hızla yayılmasının nedeni, ileri teknolojilerin ve uygulamaların günlük pratiğe entegre edilmesiyle beraber, diş hekimlerine bir dizi avantaj sunmasıdır. Dijital ölçüm alımı, daha hassas ve doğru sonuçlar elde edilmesine olanak sağlar, restorasyonların mükemmel uyum ve estetikle üretilmesini sağlar. Ayrıca, bu teknolojiler sayesinde diş hekimleri daha önce mümkün olmayan hızda çalışabilirler ve tedavi sürecini daha etkili bir şekilde yönetebilirler (2,4).

Bu yazıda, diş hekimliği alanında dijitalizasyonun önemi ve kullanım alanları üzerinde durularak Bilgisayar Destekli Muayene (CAI), Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ve Bilgisayar Destekli Üretim (CAM) olmak üzere üç ana aşamadan oluşan CAI/CAD/CAM teknolojisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, diş hekimliğinde dijitalizasyonun tarihçesi içerisindeki gelişmeler üzerine, diş hekimliğinde sağladığı avantajlar ve gelecekteki potansiyeli de ele alınmıştır (5).

## 2. Dijitalizasyonun Diş Hekimliğindeki Önemli Avantajları:

### 2.1. Dijital Ölçü Alımı ve Modelleme

Geleneksel ölçü alım yöntemleri zaman alıcı ve rahatsızlık verici olabilirken, dijital tarayıcılar kullanılarak ağızdan hassas ölçümler almak mümkün hale gelmiştir. Bu dijital ölçümler, üç boyutlu dijital modellere dönüştürülebilir ve restorasyonların tasarımı için kullanılabilir. Bu yöntemle hasta, özelleştirilmiş ve hassas restorasyonlar elde edebilirken, daha az rahatsızlık yaşar.

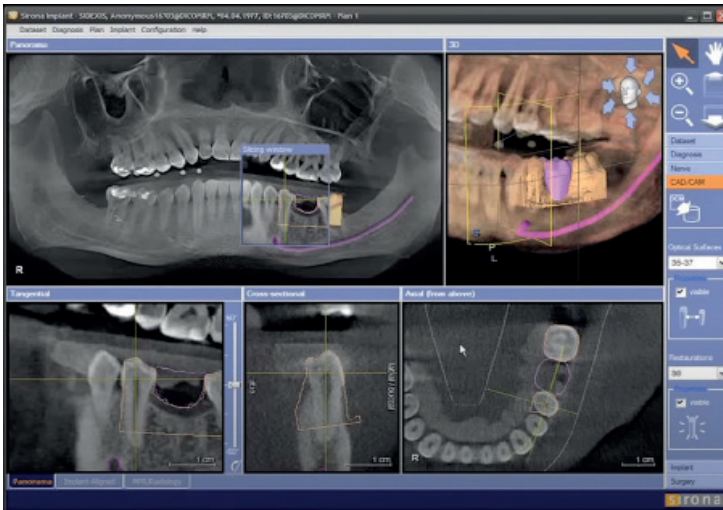
### 2.2. CAI/CAD/CAM Teknolojisi

Dental CAI/CAD/CAM sistemleri, diş hekimlerine ve laboratuvar teknisyenlerine restorasyonların dijital olarak tasarlanmasını ve üretilmesini sağlar. Bu sistemler, dijital ölçümleri kullanarak restorasyonların tasarımını gerçekleştirir ve bu tasarımları doğrudan freze makineleri veya 3D yazıcılarla üretir. Bu sayede, restorasyonlar daha hızlı bir şekilde üretilir ve hasta randevuları daha verimli bir şekilde yönetilebilir (5).

### 2.3. Tedavi Planlama ve Simülasyon

Dijital teknolojiler, diş hekimlerine tedavi planlaması ve simülasyonunda önemli avantajlar sunar. Örneğin, implant tedavilerinde dijital implant planlama yazılımları kullanılarak implantların doğru konumlandırılması ve restorasyonların önceden simülasyonu yapılabilir. Bu, tedavi sürecinin daha önceden planlanmasını ve daha öngörülebilir sonuçlar elde edilmesini sağlar.

**Şekil 1: Üç boyutlu tomografi görüntüsünde protetik diş planlaması ve simülasyonu**



## 2.4. İletişim ve İşbirliği

Dijitalizasyon, diş hekimleri, laboratuvarlar ve diğer sağlık profesyonelleri arasındaki iletişimi ve işbirliğini kolaylaştırır. Dijital verilerin kolayca paylaşılabilmesi, tedavi ekiplerinin daha iyi bir şekilde birlikte çalışmasını sağlar. Örneğin, diş hekimleri dijital ölçümleri laboratuvarlara hızlı bir şekilde iletebilir ve restorasyonların dijital olarak tasarımı üzerinde birlikte çalışabilirler.

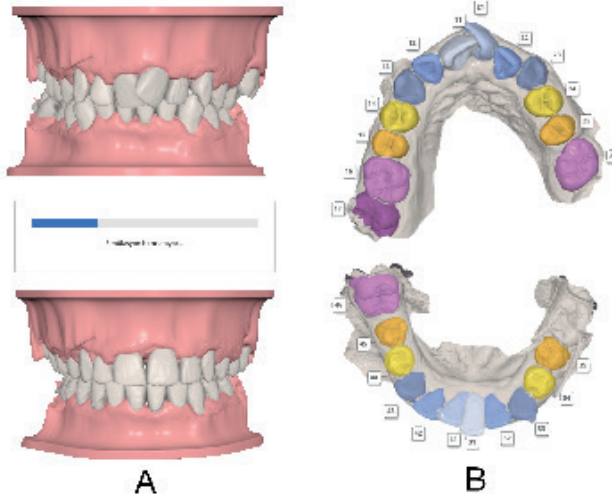
Şekil 2 : Dijital laboratuvar iş kâğıdı

15080166		Birim Üniversitesi	demo demo
Anamnez		Ünvan: Doçent	100
<p>Order</p> <p>Order ID: 15080166</p> <p>Order Date: 04/08/2023</p>		<p>Restoration</p> <p>Item: 1 Impression</p>	<p>Instructions</p>
<p>Practice</p> <p>Name: Birim Üniversitesi</p> <p>Address: Zeytinolu</p>		<p>Additional Files</p>	<p>Comments</p> <p>15080166</p>
<p>Patient</p> <p>Name: Ahmet Akın</p> <p>Phone: 010211630</p> <p>Email: info@birim.edu.tr</p> <p>Gender: Male</p>			

## 2.5. Hastaların Bilinçlendirilmesi

Dijital teknolojiler, hastaların tedavi süreçlerine daha aktif katılmalarını sağlar. Dijital görüntüler ve simülasyonlar, hastalara tedavi seçeneklerini daha iyi anlamaları için görsel bir referans sağlar. Bu da hasta memnuniyetini artırır ve tedavi kararlarının daha iyi bir şekilde alınmasına yardımcı olur.

**Şekil 3 : Tedavi simülasyonu Görseli (Medit Link 3.0.6) A. Yukarıdan aşağıya tedavi öncesi ve sonrası simülasyon olarak görseli B. Tedaviye dahil edilen ve edilemeyen dişlerin seçimi görseli**



Sonuç olarak, dijitalizasyon diş hekimliği pratiğinde büyük bir dönüşüm sağlamıştır. Dijital ölçü alımı, CAI/CAD/CAM teknolojisi, tedavi planlama ve iletişimdeki gelişmeler, daha hızlı, daha hassas ve daha öngörülebilir tedavi sonuçları elde etmemizi sağlamıştır. Dijital teknolojilerin diş hekimliğindeki kullanımı giderek artmaktadır ve gelecekte daha da gelişmesi ve yaygınlaşması beklenmektedir.

### 3. Dijital Diş Hekimliğine Tarihine Kısa Bir Bakış

CAI/CAD/CAM teknolojisinin diş hekimliğindeki kullanımı, savunma sektöründe geliştirilen sistemlerin dental uygulamalara adapte edilmesiyle başlamıştır. 1950'lerde Amerika Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri, uçak ve otomotiv endüstrisinde kullanılmak üzere CAD/CAM sistemlerini geliştirmiştir (6).

Diş hekimliğinde CAI/CAD/CAM sistemlerinin kullanımı ise François Duret tarafından geliştirilen bir dental cihazla başlamıştır. Bu cihaz, dayanak dişin optik ölçümünü yapabilen ve sayısal olarak kontrol edilebilen bir frezeleme makinesini içeriyordu. Ancak, bu teknolojinin diş hekimliğinde uygulanması uzun bir süreç gerektirmiştir.

İlk dijital restorasyon örneği, 1983 yılında üretilmiş ve 1985 yılında Fransız Dişhekimleri Birliği'nin uluslararası kongresinde sergilenmiştir. Werner Mormann, Dentsply Sirona tarafından üretilen CEREC adlı ilk ticari CAD/

CAM sisteminin kurucusudur. Bu sistemin kullanımıyla birlikte diş hekimliğinde dijital restorasyonlar üretmek daha yaygın hale gelmiştir (3,7,8).

Son 25 yılda CAI/CAD/CAM sistemleri önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Hem kliniklerde hem de laboratuvarlarda kullanılan yeni cihazlar ve yazılımlar geliştirilmiştir. Bu gelişmeler, diş hekimlerinin daha hızlı, daha hassas ve daha estetik restorasyonlar üretmelerini sağlamaktadır (9).

Dijital teknoloji, diş hekimliğinde restorasyonların tasarımı ve üretimi süreçlerinde büyük bir kolaylık ve verimlilik sağlamıştır. Dijital ölçüm alımı, restorasyonların doğru bir şekilde planlanması ve üretilmesi için önemli bir adımdır. Bu sayede hastalar daha kısa sürede tedavi alabilirken, daha doğru ve dayanıklı restorasyonlar elde edilmektedir.

Günümüzde kullanılan dental dijital sistemlerin gelişiminde üç kişi öncü rol oynamış ve dijitalizasyonun bir dönüm noktası olmasını sağlamışlardır. Duret ve Preston, dijital sistemi dental alanda kullanmışlardır. İntraoral olarak alınan dijital ölçülerle fonksiyonel şekle sahip kuronlar Duret ve Preston tarafından üretilmiştir (10). Moermann ve Brandestini'nin çalışmaları, CEREC sisteminin gelişimine katkıda bulunmuştur. Ağız içinde taranan kavitenin restorasyon tasarımının tamamlanması için klinikte bulunan bir kazıyıcı sistemi kullanarak seramik bloktan inleyler üretilmiştir. Bu sistem, aynı gün içinde restorasyon yapmayı mümkün kılarak gerçek bir yenilik olmuştur (12, 13). Anderson, dökümün zor olduğu 1980'lerde, spark erozyon ile kopingler üretmiştir. Restorasyon hazırlığı sürecine CAI/CAD/CAM teknolojisini dahil etme girişiminde bulunmuştur (14). Daha sonra bu sistem, dünya çapında birbirine internet üzerinden bağlı tam seramik restorasyon üretimi için bir merkez haline gelmiştir (15).

#### **4. Dijital Ölçü Teknikleri ve Aralarındaki Farklar**

Dijital ölçü teknikleri, yarı dijital ve tam dijital olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır(16).

##### **4.1. Yarı Dijital Ölçü Yöntemi:**

Yarı dijital ölçü yönteminde, geleneksel ölçü yöntemleri kullanılarak hastanın ağız içindeki ölçüsü alınır. Bu geleneksel ölçüler daha sonra masaüstü veya laboratuvar tarayıcı sistemleri kullanılarak dijitalize edilir. Alternatif olarak, ağız içinde elde edilen ölçüler doğrudan taranabilir ve 3 boyutlu bir model elde edilebilir. Bu 3 boyutlu model üzerinde istenilen restorasyon tasarımı yapılabilir (17).

#### 4.2. Tam Dijital Ölçü Yöntemi:

Tam dijital ölçü yönteminde ise geleneksel ölçü ekipmanları tamamen ortadan kaldırılmıştır . Restorasyon planlanan dişler, ağız içi görüntüleme sistemleri kullanılarak dijitalize edilir. Bu sistemler, genellikle intraoral taramacılar veya diş hekimliği için özel olarak tasarlanmış kameralardır. Bu sayede dijital olarak elde edilen veriler doğrudan kullanılarak restorasyonun tasarımı ve üretimi gerçekleştirilir (18).

Tam dijital ölçü yöntemi, yarı dijital yöntemle göre daha doğru ve hassas sonuçlar verir. Yarı dijital yöntemde kullanılan geleneksel ölçü materyalleri ve ekipmanlarıyla alınan ölçülerde doğruluk kaybı yaşanabilir. Ölçü materyallerinin boyutsal stabilitesi, saklama koşulları, dezenfeksiyon süreci gibi faktörler, ölçü alımında ve sonuçta olumsuz etkilere neden olabilir. Bu nedenle, tam dijital ölçü yöntemi, daha güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar elde etmek için tercih edilebilir (19).

Marjin ve iç uyum, restorasyonların uyumu ve dayanıklılığı için kritik öneme sahiptir. Marjin uyumsuzlukları, periodontal rahatsızlıklara, çürük oluşumuna, plak birikimine, simantasyon materyalinin çözünmesine ve restorasyonun renk değiştirmesine neden olabilir(20,21). Okluzal ve aksiyal duvarlardaki uyumsuzluklar ise restorasyonların dayanıklılığını azaltabilir ve kırılmaya yol açabilir. Klinik olarak kabul edilebilir marjin açıklığı genellikle 150 ila 100 mikron arasında kabul edilirken, siman payının 70 mikrondan fazla olması durumunda restorasyonun dayanıklılığının azaldığı belirtilmektedir (22-24).

Dijital ölçü teknikleri, doğru ve tekrarlanabilir sonuçlar elde etmek, hastaya daha az rahatsızlık vermek ve laboratuvar işbirliğini kolaylaştırmak gibi avantajlar sunar. Ancak her iki yöntemde de, teknolojik bilgi ve becerilerin doğru bir şekilde uygulanması önemlidir.

#### 5. Dijital Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları

Dijital sistemlerin birçok avantajı vardır. Bunlar arasında hassasiyet ve süreklilik, öngörülebilirlik, daha az hekim ziyareti ve tedavi süresi, daha kısa sürede tedavi imkânı, daha yüksek kalitede restorasyonlar, daha az laboratuvar maliyeti, kolay ve hızlı ağız içi tarama, alçı model ve diğer aşamaların ortadan kalkması, daha az internal defektlere sahip olma, dijital verilerin saklanabilmesi ve hasta takibinin kolay olması gibi faktörler bulunmaktadır.

Ancak dijital sistemlerin dezavantajları da vardır. Bunlar arasında ekipman ve yazılım maliyetinin yüksek olması, başlangıçta kullanımının zor ol-



ması ve deneyim gerektirmesi, prefabrike blokların renk seçiminde kısıtlılık gibi faktörler sayılabilir.

Dijital sistemlerin birçok endikasyonu bulunmaktadır. Bunlar arasında kuronlar, köprüler, laminate veneerlar, inleyler, onleyler, overleyler, implant planlama ve cerrahi rehberler, geçici kuron uygulamaları, diagnostik wax-uplar, gülüş tasarımları, post-core uygulamaları, hareketli ve tam bölümlü protezler, kişisel dayanak üretimi, ortodontik apareyler, oklüzal splintler gibi uygulamalar yer almaktadır. Dijital sistemler, dental alanda giderek daha yaygın hale gelmekte ve birçok avantaj sunmaktadır. Ancak her bir sistem ve yöntemin kendine özgü özellikleri ve sınırlamaları olduğunu unutmamak önemlidir (26).

## 6. Dijital İş Akışının Endikasyonları

Günümüzde dijital ölçü yöntemleri, diş destekli sabit protezlerin hemen hemen tüm endikasyonlarında kullanılabilir. Ancak tam ark restorasyonlarda, özellikle total dişsizlik durumunda, durum daha da zorlaşmaktadır. Çünkü tam ark restorasyonunda bir araya getirilmesi gereken diş sayısı fazladır ve bu nedenle tam ark dijital ölçü tarama görüntülerinde bozulma olabilir. Bu sorunu çözmek ve tam ark restorasyonlarında dijital iş akışını sağlamak için hala çeşitli çalışmalar devam etmektedir. Tam ark restorasyonlarında dişlerin dijitalleştirilmesi için ağız içi tarayıcılar kullanılmaktadır ve bu prosedürde antagonist dişlerin konumlandırılabilmesi için bir kapanış kaydının alınması gerekmektedir. Kısmen dişsiz hastalarda, mevcut dişler genellikle stabil bir oklüzal kapanış sağlayabilir ve bu dişlerle bukkal tarama (üst ve alt dişlerin oklüzyonda taranması) yapılabilir. Bu şekilde sanal model oluşturulabilir ve başka karşıt dişler olmadığında bile doğru bir şekilde konumlandırılabilir. Dijital kapanış kaydının daha doğru olmasının bir diğer avantajı da kayıt sırasında antagonist dişler arasında herhangi bir kayıt malzemesine ihtiyaç duyulmamasıdır (27).

Ancak bu düşünceler varsayımsal olup, bu argümanları desteklemek için klinik çalışmalara ihtiyaç vardır. Tamamen dişsiz vakaları dijital ölçü protokollerine dahil etmek hala zorlu bir süreçtir ve daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

## 7. Dosya Kayıt Türü

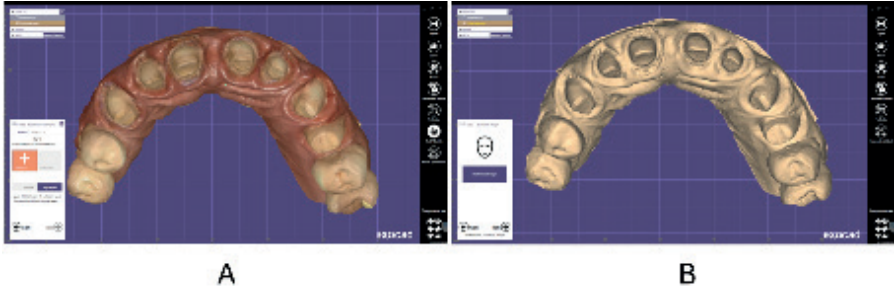
Hastanın ağız içi görüntüsünün dijital ortama aktarılmasıyla elde edilen modeller, 3 boyutlu yazıcılara aktarılırken “Standard Transformation Language” olarak bilinen STL formatında bulunurlar. STL formatı, 3 boyutlu tasarlanan modelin yüzeyini temsil etmek için kullanılan bir formattır. Bu



formatta, modelin yüzeyi, geometrik 3 noktanın üçgenlere dönüştürülerek haritalandığı ve bu üçgenlerin birleştirilmesiyle oluşan sanal bir görüntüdür. Her üçgen, üç nokta arasındaki bağlantıları temsil eder. Noktaların ve üçgenlerin sayısı arttıkça, üç boyutlu modelin detay seviyesi de artar. STL formatı, birçok 3 boyutlu yazıcı ve dijital modelleme yazılımı tarafından desteklenir ve yaygın olarak kullanılır. Bu format, dijital modellerin kolayca paylaşılmasını ve işlenmesini sağlar. 3 boyutlu yazıcılar, STL formatındaki verileri okuyarak ve katman katman malzeme biriktirerek gerçek nesnelere oluştururlar (28).

Hastanın ağız içi görüntüsünün dijital ortama aktarılmasıyla elde edilen modeller, 3 boyutlu yazıcılara aktarılırken “Standard Transformation Language” olarak bilinen STL formatında bulunurlar. STL formatı, 3 boyutlu tasarlanan modelin yüzeyini temsil etmek için kullanılan bir formattır. Bu formatta, modelin yüzeyi, geometrik 3 noktanın üçgenlere dönüştürülerek haritalandığı ve bu üçgenlerin birleştirilmesiyle oluşan sanal bir görüntüdür. Her üçgen, üç nokta arasındaki bağlantıları temsil eder. Noktaların ve üçgenlerin sayısı arttıkça, üç boyutlu modelin detay seviyesi de artar. STL formatı, birçok 3 boyutlu yazıcı ve dijital modelleme yazılımı tarafından desteklenir ve yaygın olarak kullanılır. Bu format, dijital modellerin kolayca paylaşılmasını ve işlenmesini sağlar. 3 boyutlu yazıcılar, STL formatındaki verileri okuyarak ve katman katman malzeme biriktirerek gerçek nesnelere oluştururlar (29).

**Şekil 4 : STL VE PLY Arasındaki Farkın Görseli A:PLY, B :STL**



## 8. Dental Pratikte Sık Kullanılan Ağız İçi Tarayıcı Örnekleri

8.1. Cerec (Dentsply Sirona Dental Systems; Bensheim, Almanya) ‘CEREC’ kelimesi, aslında ‘CEramic REConstruction’ın kısaltmasıdır. 1980 yılında Mörmann ve Brandestini tarafından geliştirilen CEREC sisteminin başlıca amacı seramik restorasyonları hastalara tek bir seansta teslim etmektir. 1985 yılında Mörmann ve Brandestini’nin (Brains, Zürih) görüntüleme

sistemi kullanarak iki boyutlu tarayıcı ve aynı şekilde hastanın yanında ilk defa inley/onley restorasyon üretimi gerçekleştirmesi, diş hekimliği alanında önemli bir ilerleme olarak kabul edilmiştir (29). 1985 yılından sonra piyasaya sunulan CEREC 1 modeliyle birlikte, onley, inley, kuron ve laminate veneer gibi protetik restorasyonların üretimi mümkün hale gelmiştir (30). Tam kuron üretimi ise 1994 yılında Siemens firmasının CEREC 2 modelini geliştirmesiyle mümkün olmuştur, ancak hala üç boyutlu tarama yapılamamaktadır (31).

CEREC 3 sistemi, Sirona firması tarafından 2000 yılında piyasaya sürülerek ilk kez ağız içi tarayıcıyı bu sisteme entegre etmiştir (32). Üç boyutlu tasarım ise 2003 yılında bu programa dahil edilmiştir. Böylece, tasarım yapılan bölgedeki dişler, karşıt oklüzyon ve fonksiyon sırasında kayıtlar sanal ortamda üç boyutlu olarak görüntülenebilmektedir (33). 2005 yılında antagonist tool özelliği ile oklüzyonun otomatik olarak yazılım tarafından ayarlanması da sisteme eklenmiştir (34). Aynı yılda masüstü model tarayıcı cihazı 'In Eos' piyasaya sürülmüş ve laboratuvarlar için büyük kolaylık sağlamıştır. Bu sistem sayesinde hassas bir şekilde model veya ölçü tarama işlemleri gerçekleştirilebilmiştir (35). 2009 yılında ise Sirona, Charlotte, NC tarafından desteklenen en yeni model olan CEREC AC piyasaya sürülmüştür (36). Tarama hassasiyetinin karşılaştırıldığı bir araştırmada, kısa mesafe için yalnızca Primescan (Sirona Dental Systems; Bensheim, Almanya) geleneksel ölçüleme yöntemlerinden daha iyi sonuçlar göstermiştir. Diğer tüm farklı mesafeler için incelenen dijital ölçüleme yöntemleri, geleneksel ölçüleme yöntemlerine göre anlamlı bir şekilde daha iyi sonuçlar göstermemiştir ( $p < 0.05$ ) (37).

## **8.2. Trios (3Shape, Kopenhag, Danimarka)**

Trios ölçü sistemi, 3Shape tarafından geliştirilen bir dijital ölçü sistemi olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemde, tarama aşamasında titanyum oksit tozuna ihtiyaç duyulmadan direkt olarak ağız içi kamera kullanılarak ölçü alınabilmektedir. Alınan ağız içi görüntülerle oluşturulan 3 boyutlu sanal model, laboratuvar ortamında CAI/CAD/CAM sistemleri kullanılarak üretilmektedir (38).

Trios teknolojisi, geleneksel video kameralardan 100 kat daha hızlı bir şekilde yüksek sayıda 2 boyutlu görüntü yakalayabilme özelliğine sahiptir. Yüzlerce veya binlerce resmi birleştirerek yapay yüzeyler yerine gerçek verilere dayalı nihai 3 boyutlu dijital izlenimi oluşturur. Tarama sırasında belirli bir mesafede veya açıda tarayıcıyı tutmaya ihtiyaç olmadığı için klinisyenler tarayıcıyı rahatlıkla kullanabilirler. Trios, inley/onleyler, kuronlar, köprüler, geçici

restorasyonlar, diagnostik mum modelleri, veneerler ve implant vakaları gibi birçok dental endikasyon için optimize edilmiş bir tarama sağlar. Trios kullanılarak yapılan bir klinik çalışmada, dijital ölçülerin konfor, harcanan zaman, bulantı refleksi gibi parametreler açısından geleneksel ölçülere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (39).

Trios ölçü sistemi, diş hekimlerine daha hızlı, daha hassas ve daha konforlu bir ölçü alma deneyimi sunmaktadır. Dijital ölçü almanın avantajları arasında daha doğru sonuçlar, daha az invazivlik ve daha hızlı tedavi süreçleri bulunmaktadır.

### 8.3. E4D Ölçü Sistemi (D4D Technologies, Richardson)

E4D ölçü sistemi, D4D (Dream, Design, Develop, Deliver) Technologies LLC tarafından üretilen bir CAI/CAD/CAM sistemidir. Bu sistem, tasarım modülü (yazılım ve donanım), tarayıcı ünitesi ve üretim için kazıma makinesi içermektedir. E4D sistemi, ağız içi tarayıcı (Intra Oral Digitizer) adı verilen bir tarayıcıya sahiptir ve bu tarayıcı, küçük boyutu sayesinde ağız açma kısıtlılığı olan hastalarda kullanımı daha rahat hale getirmektedir. Ayrıca, görüntü elde etmek için herhangi bir yansıtma engelleyici sprey veya ürün kullanımı gerektirmemektedir (40).

E4D sistemi, geleneksel ölçü teknikleriyle elde edilen modelden veya hastadan alınan ölçülerin yüzeyinden tarama yaparak sanal bir model oluşturabilme yeteneğine sahiptir. Bunun yanı sıra, sistemde bulunan ağız içi dijitize edici modülü sayesinde doğrudan hastanın ağız içi görüntüsü de alınabilmektedir. Elde edilen dijital görüntü, tasarım programına aktarılarak üretim için freze ünitesine gönderilir ve istenen restorasyonun üretimi tamamlanır(41).

E4D ölçü sistemi, diş hekimlerine hızlı ve etkili bir şekilde dijital ölçü alma, tasarlama ve üretme imkanı sunmaktadır. Ağız içi tarayıcının kullanımıyla birlikte daha kolay ve konforlu bir ölçü alma deneyimi sağlanırken, yüksek hassasiyet ve doğruluk da elde edilmektedir. Bu sistem, dental restorasyonların hızlı bir şekilde üretilebilmesini sağlayarak tedavi sürecini hızlandırırken, hastalar için de daha konforlu bir deneyim sunmaktadır (42).

### 8.4. iTero (Cadent iTero; Cadent Ltd)

iTero Ölçü Sistemi, kendine özgü ağız içi tarayıcı kullanarak dijital modeller oluşturabilen bir sistemdir. Bu sistem, tarama yapmak için 1/3 saniyede 100 bin kırmızı ışık huzmesi kullanır ve dijital sanal modeli oluşturur. iTero, diğer sistemlerde kullanılan yansıtma engelleyici ürünlere ihtiyaç duy-

madan tarama yapabilme özelliği sunar. Ayrıca, sistemin sesli komut özelliği ile hekime tarama sırasında yardımcı olur.

iTero, diğer sistemlerden farklı olarak paralel eş odaklı beyaz ışık ve lazer ışığı kamerasını kullanarak 3D model oluşturur. Görüntü alma işlemi tamamlandıktan sonra, sert plastik bir model elde edilir ve istenilen restorasyon bu model üzerinde tamamlanabilir. Modelin ve die'ların hassasiyetini sağlamak için endüstriyel bir 5 eksenli freze makinesi kullanılır.

## 9. Tarama Stratejileri

Tarama stratejileri, dijital ölçü sistemlerinde kullanılan farklı yöntemlerdir. İki yaygın tarama stratejisi tek yönlü tarama ve okluzal-palatal taramadır. Tek yönlü tarama stratejisinde, vestibüler (dış yüz), oklüzal (ısıрма yüzeyi) ve lingual (dil yüzü) yüzeyler tarama işlemine dahil edilir. Bu strateji genellikle bir dizi doğrusal hareketle gerçekleştirilir (43).

Oklüzal-palatal tarama stratejisinde ise öncelikle oklüzal-palatal yüzeylere doğrusal bir hareketle tarama yapılır, ardından bukkal (yanak) yüzeyler tarama yapılır. Bu strateji daha karmaşık restorasyonlarda kullanılabilir(44).

Tarama sırasında bazı sistemlerde, kameranın gönderdiği ışık yüzeye geri döndüğünde o bölgeyi tarayamama sorunu yaşanabilir. Bu nedenle bazı sistemlerde yansımayı önlemek ve daha iyi tarama yapabilmek için tozlama işlemi yapılır. Tozlama, dişleri pürüzlü hale getirerek ışık difüzyonunu artırır(45).

Scan Spray sistemleri, birçok sistemin opak yüzeylere ihtiyaç duyduğu hasta başı CAI/CAD/CAM cihazları için kullanılan standartlaştırılmış sprey sistemleridir. Willershausen ve arkadaşları, ScanDry, Scan Spray Luer Classic ve CEREC Optispray adlı 3 farklı sprey sistemini insan diyeti fibroblastları üzerinde test etmişlerdir. Bu in vitro çalışmada, tarama spreyi partiküllerinin fibroblastlar üzerinde herhangi bir toksik etkiye neden olmadığı ve adenilat kinaz (ADK) salınımında artışa yol açmadığı görülmüştür (46).

## 10. Eklemeli üretim

Dijital üretim teknikleri, dental CAI/CAD/CAM sürecinin son aşaması olan üretimi kapsar. İki temel dijital üretim yöntemi bulunmaktadır: eksiltmeli üretim ve eklemeli üretim(50).

Eksiltmeli üretim, bir nesne oluşturmak için malzemeden gereksiz kısımların çıkarılmasını içeren bir yöntemdir. Bu yöntemde, konvansiyonel veya konvansiyonel olmayan yöntemler kullanılarak malzeme bloktan çıkarılır(51). Diş hekimliğindeki CAI/CAD/CAM teknolojisi, genellikle eksilt-

meli üretim sürecine dayanır. Bu süreçte, bilgisayar tarafından sayısal olarak kontrol edilen takım tezgâhları ve kesici aletler kullanılarak malzeme mekanik olarak kesilir. Eksiltmeli üretim yöntemi, ince ayrıntılar ve karmaşık iç geometriler oluşturma yeteneği ile dikkat çeker (52). Ancak, bu yöntemde kullanılan malzeme miktarı, nihai üründe kullanılan malzemeden daha fazladır. Dental CAI/CAD/CAM sistemlerinde tek seferde üretilebilecek kuron ve köprü miktarının sınırlı olması dezavantaj olarak kabul edilir (53).

**Şekil 5 : Eklemeli Üretim Tekniği Görseli A. Formlabs 3 üç boyutlu yazıcı görseli B. Üç boyutlu yazıcıya ait yazılım görseli**



A



B

Eklemeli üretim ise malzemelerin katman katman eklenerek parçaların oluşturulduğu bir yöntemdir. Bu yöntemde, bilgisayarla kontrol edilen 3 boyutlu modellere dayalı olarak malzemeler eklenir. Diş hekimliğinde eklemeli üretim sistemleri, cerrahi rehberler, geçici restorasyonlar, çalışma modelleri, splinterler, plaklar ve ortodontik materyaller gibi birçok parçanın üretilmesine olanak tanır. Eklemeli üretim, malzeme israfını azaltır, enerji tüketimini düşürür ve karmaşık üretim süreçlerinde hata olasılığını azaltır. Ayrıca, aynı anda birden fazla malzeme kullanarak üretim yapabilme yeteneği sunar (54).

Eklemeli üretimin avantajları şunlardır:

- Malzeme israfını azaltır ve enerji tüketimini düşürür.
- Az adımda nihai ürüne ulaşmayı sağlar ve insan müdahalesini azaltır.
- Karmaşık ve ayrıntılı üretimi tahmin edilebilir maliyetlerle mümkün kılar.

Dental CAI/CAD/CAM teknolojisi, eksiltmeli ve eklemeli üretim yöntemleriyle birlikte kullanılarak dental restorasyonların kalitesini artırmış ve üretim süreçlerini daha verimli hale getirmiştir. Bu teknolojiler, yüksek has-

sasiyetle seramikler ve titanyum gibi materyallerin işlenmesini mümkün kılmıştır. Ayrıca, diş laboratuvarlarını modern bilgisayarlı üretim merkezlerine dönüştürerek rekabetçi bir ortam oluşturmuştur (55).

## Referanslar

1. Fasbinder DJ. Digital dentistry: innovation for restorative treatment. *Compend Contin Educ Dent*. 2010;31 Spec No 4:2-11; quiz 2.
2. Zandparsa R. Digital imaging and fabrication. *Dent Clin North Am*. 2014;58(1):135-58.
3. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater*. 2012;28(1):3-12.
4. Sulaiman TA. Materials in digital dentistry-A review. *J Esthet Restor Dent*. 2020;32(2):171-81.
5. Rekow D. Computer-aided design and manufacturing in dentistry: a review of the state of the art. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 1987;58(4):512-6.
6. Duret F, Blouin JL, Duret B. CAD-CAM in dentistry. *J Am Dent Assoc*. 1988;117(6):715-20.
7. Miyazaki T, Hotta Y. CAI/CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J*. 2011;56 Suppl 1:97-106.
8. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAI/CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am*. 2011;55(3):559-70, ix.
9. Çelik G, Tuğrul S, Üşümez A. Bilgisayar destekli diş hekimliği ve güncel CAI/CAD/CAM sistemleri. *Cumhuriyet Dental Journal*. 2013;16(1):74-82.
10. Duret F, Preston J. CAI/CAD/CAM imaging in dentistry. *Current opinion in dentistry*. 1991;1(2):150-4.
11. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dental materials journal*. 2009;28(1):44-56.
12. Mörmann W, Brandestini M, Lutz F. The Cerec system: computer-assisted preparation of direct ceramic inlays in I setting. *Die Quintessenz*. 1987;38(3):457-70.
13. Mormann W. Chairside computer-aided direct ceramic inlays. *Quintessence Int*. 1989;20:329-39.
14. Andersson M, Odén A. A new all-ceramic crown: a dense-sintered, high-purity alumina coping with porcelain. *Acta Odontologica Scandinavica*. 1993;51(1):59-64.
15. Andersson M, Carlsson L, Persson M, Bergman B. Accuracy of machine milling and spark erosion with a CAI/CAD/CAM system. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1996;76(2):187-93.



16. Ersu B, Yüzüğüllü B, Canay Ş. Sabit restorasyonlarda CAI/CAD/CAM uygulamaları. Hacettepe üniversitesi diş hekimliği fakültesi dergisi. 2008;32(2):58-72.
17. Strub JR, Rekow ED, Witkowski S. Computer-aided design and fabrication of dental restorations: current systems and future possibilities. The Journal of the American Dental Association. 2006;137(9):1289-96.
18. Christensen GJ. Is now the time to purchase an in-office CAI/CAD/CAM device? Journal of the American Dental Association (1939). 2006;137(2):235.
19. Güth J-F, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. Clinical oral investigations. 2013;17(4):1201-8.
20. Karlsson S. The fit of Procera titanium crowns: an in vitro and clinical study. Acta Odontologica Scandinavica. 1993;51(3):129-34.
21. Sulaiman F, Chai J, Wozniak WT. A comparison of the marginal fit of In-Ceram, IPS Empress, and Procera crowns. International Journal of Prosthodontics. 1997;10(5).
22. Beschnidt S, Strub J. Evaluation of the marginal accuracy of different all-ceramic crown systems after simulation in the artificial mouth. Journal of oral rehabilitation. 1999;26(7):582-93.
23. Colpani JT, Borba M, Della Bona Á. Evaluation of marginal and internal fit of ceramic crown copings. Dental Materials. 2013;29(2):174-80.
24. Kokubo Y, Ohkubo C, Tsumita M, Miyashita A, Vult von Steyern P, Fukushima S. Clinical marginal and internal gaps of Procera AllCeram crowns. Journal of oral rehabilitation. 2005;32(7):526-30.
25. Syrek A, Reich G, Ranftl D, Klein C, Cerny B, Brodesser J. Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. Journal of dentistry. 2010;38(7):553-9.
26. Derksen W, Wismeijer D, Hanssen S, Tahmaseb A, editors. Dental technician of the future. Forum Implantol; 2015.
27. Derksen W, Wismeijer D, Hanssen S, Tahmaseb A, editors. Dental technician of the future. Forum Implantologicum; 2015.
28. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAI/CAD/CAM generated restorations. Br Dent J. 2008;204(9):505-11.
29. YönDeM AGİ, AYKenT E. Bilgisayar Desteği İle Hazırlanan Dental Seramikler (CAD/CAM). Hacettepe Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi. 2008;32(3):79-86.

30. Mörmann WH, Bindl A. All-ceramic, chair-side computer-aided design/computer-aided machining restorations. *Dental Clinics of North America*. 2002;46(2):405-26, viii.
31. Bindl A, Mörmann WH. Clinical and SEM evaluation of all-ceramic chair-side CAD/CAM-generated partial crowns. *European journal of oral sciences*. 2003;111(2):163-9.
32. Mörmann WH, Brandestini M. The fundamental inventive principles of CEREC CAD/CAM. *State of the art of CAI/CAD/CAM restorations*. 2006;20:1-8.
33. Aykent F, İlbay S. İnlay ve onlay restorasyon-ların Cerec Sistemi ile tek seansta uygulanması. *Diş Hekimliğinde Klinik*. 1993;6:85-8.
34. Fasbinder DJ. Predictable CEREC occlusal relationships. *State of the art of CAI/CAD/CAM restorations*. 2006;20:93-100.
35. Mörmann WH, Bindl A. The new creativity in ceramic restorations: Dental CAD-CIM. *Quintessence International*. 1996;27(12).
36. Fasbinder D. Using digital technology to enhance restorative dentistry. *Compend Contin Educ Dent*. 2012;33(9):666-8, 70, 72 passim.
37. Nedelcu R, Olsson P, Nyström I, Rydén J, Thor A. Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: A novel in vivo analysis method. *Journal of dentistry*. 2018;69:110-8.
38. Endera A, Mehl A. Full arch scans: conventional versus digital impressions—an in-vitro study Ganzkieferaufnahmen: konventionelle versus digitale Abformtechnik—eine In-vitro-Untersuchung. *International journal of computerized dentistry*. 2011;14:11-21.
39. Sfondrini MF, Gandini P, Malfatto M, Di Corato F, Trovati F, Scribante A. Computerized casts for orthodontic purpose using powder-free intraoral scanners: accuracy, execution time, and patient feedback. *BioMed Research International*. 2018;2018.
40. Birnbaum NS, Aaronson HB. Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. *Compend contin educ dent*. 2008;29(8):494-6.
41. COS LCOS. 3M ESPE Technical Datasheet. 2009.
42. e Silva JSA, Erdelt K, Edelhoff D, Araújo É, Stimmelmayer M, Vieira LCC, et al. Marginal and internal fit of four-unit zirconia fixed dental prostheses based on digital and conventional impression techniques. *Clinical oral investigations*. 2014;18(2):515-23.
43. Garvey P. The dental assistant's role in integrating digital impression technology in the dental practice. *Dental Assistant*. 2007;76(6):12.

44. Birnbaum NS, Aaronson HB, Stevens C, Cohen B. 3D digital scanners: a high-tech approach to more accurate dental impressions. *Inside Dentistry*. 2009;5(4):70-4.
45. Nayar S, Mahadevan R. A Paradigm shift in the concept for making dental impressions. *J Pharm Bioallied Sci*. 2015;7(Suppl 1):S213-5.
46. van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. *PLoS One*. 2012;7(8):e43312.
47. Schlenz MA, Vogler J, Schmidt A, Rehmann P, Wöstmann B. New Intraoral Scanner-Based Chairside Measurement Method to Investigate the Internal Fit of Crowns: A Clinical Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(7):2182.
48. Seelbach P, Brueckel C, Wöstmann B. Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. *Clinical oral investigations*. 2013;17(7):1759-64.
49. Willershausen I, Lehmann KM, Roß A, Ghanaati S, Willershausen B. Influence of three scan spray systems on human gingival fibroblasts. *Quintessence Int*. 2012;43(6):e67-72.
50. Bártolo P, Bidanda B. *Bio-materials and prototyping applications in medicine*: Springer; 2008.
51. Silva NR, Witek L, Coelho PG, Thompson VP, Rekow ED, Smay J. Additive CAI/CAD/CAM process for dental prostheses. *J Prosthodont*. 2011;20(2):93-6.
52. Van Roekel NB. Electrical discharge machining in dentistry. *Int J Prosthodont*. 1992;5(2):114-21.
53. Abduo J, Lyons K, Bennamoun M. Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: a review of the available streams. *Int J Dent*. 2014;2014:783948.
54. Huang SH, Liu P, Mokasdar A, Hou L. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2013;67(5):1191-203.
55. Azari A, Nikzad S. The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review. *Rapid Prototyping Journal*. 2009.