

PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ALANINDA AKADEMİK TARTIŞMALAR

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Beşar İZZETAĞA

yaz
yayınları

Protetik Diş Tedavisi Alanında Akademik Tartışmalar

Editör

Dr.Öğr.Üyesi Beşar İZZETAĞA

yaz
yayınları

2026

Protetik Diş Tedavisi Alanında Akademik Tartışmalar

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Beşar İZZETAĞA

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-8996-95-1

Haziran 2026 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

**Konuşma Bilimi ve Protetik Diş Tedavisi Arakesitinde
Fonetik Değerlendirme: Otomatik Konuşma Tanıma
(ASR) Sistemleri Üzerine Yaklaşımlar.....1**

Hasan DEMİR, Mehmet Veysi BABAYİĞİT

**Hareketli Protezlerin Dijital İş Akışı ve Üç Boyutlu
Baskı Teknolojileri.....23**

Sema AYTAÇ, Selda Gökçe ERDAL, Ayşegül KÖROĞLU

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

KONUŞMA BİLİMİ VE PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ARAKESİTİNDE FONETİK DEĞERLENDİRME: OTOMATİK KONUŞMA TANIMA (ASR) SİSTEMLERİ ÜZERİNE YAKLAŞIMLAR

Hasan DEMİR¹

Mehmet Veysi BABAYİĞİT²

1. GİRİŞ

Protetik diş hekimliğinin temel amacı, kaybedilmiş oral dokuların çiğneme, estetik ve konuşma fonksiyonlarını yeniden kazandırarak hastanın yaşam kalitesini artırmaktır (Nidzelsky ve ark., 2019). Başarılı bir protetik tedavi yalnızca çiğneme etkinliğinin ve yüz estetiğinin yeniden kazandırılmasıyla sınırlı olmayıp; aynı zamanda hastanın konuşma fonksiyonunun da korunmasını veya iyileştirilmesini gerektirmektedir. Bir protetik tedavide nihai başarı; mekanik, estetik ve fonetik (akustik) gerekliliklerin hassas bir denge içinde sentezlenmesine bağlıdır (Budalā ve ark., 2023). Ancak klinik uygulamalarda, çiğneme ve estetik rehabilitasyonun aksine, fonetik iyileşmenin sıklıkla yeterince anlaşılmadığı ve literatürde “ikincil” bir öneme sahip olduğu gözlemlenmektedir (Stoykov ve ark., 2020). Bu fonetik iyileşme konuşma ve dişlerin etkin kullanılmasında önemli roller oynar.

¹ Öğr. Gör, Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Dişçilik Hizmetleri Bölümü, Mardin, TÜRKİYE, ORCID: 0000-0001-5838-472X.

² Doç. Dr, Batman Üniversitesi, Yabancı Diller Yüksekokulu, Yabancı Diller Bölümü, Batman, Türkiye, ORCID:0000-0003-4136-7434.

Konuşma; solunum, fonasyon, rezonans ve artikülasyon sistemlerinin koordineli çalışması sonucu ortaya çıkan, oldukça gelişmiş bir sinir sistemi ve işitsel algı gerektiren karmaşık bir biyomekanik süreçtir (Budalâ ve ark., 2023). Dişler, dil, dudaklar ve damak gibi oral yapılar konuşmanın şekillenmesinde kritik rol oynadığından, bu yapılarda gerçekleştirilen protetik değişiklikler konuşma performansını doğrudan etkileyebilmektedir (Nidzelsky ve ark., 2019). Konuşma problemleri özellikle total protez kullanan bireylerde tedavi sonrası dönemde sık karşılaşılan klinik sorunlardan biridir. Protez kaidesinin damak anatomisini değiştirmesi ve oklüzal dikey boyuttaki değişimler, artikülasyon süreçlerini etkileyerek belirli fonemlerin üretiminde güçlük oluşturabilmektedir.

Geleneksel klinik yaklaşımlarda fonetik değerlendirme, büyük oranda hekimin öznel algısına, fonetik testlere ve hasta memnuniyet anketlerine dayanmaktadır. Bu durum, ölçümlerin tekrarlanabilirliğini sınırlandıran temel bir kısıt oluşturmaktadır (Stoykov ve ark., 2020). Son yıllarda dijital teknolojilerin ve yapay zekânın diş hekimliğine entegrasyonu, bu alanda objektif değerlendirme yöntemlerine duyulan ihtiyacı karşılamaya başlamıştır (Bernauer ve ark., 2021). İlk olarak insan-bilgisayar etkileşimini kolaylaştırmak amacıyla geliştirilen ASR (Automatic Speech Recognition) sistemleri, günümüzde konuşma verisini objektif, nicel ve tekrarlanabilir bir formatta analiz ederek klinisyene rehberlik etmektedir (Stelzle ve ark., 2010). Bu rehberlikten elde edilen veriler birçok araştırmacının odak noktası olmuştur. Stelzle ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, ASR tabanlı değerlendirmelerin uzman dinleyici panelleriyle yüksek korelasyon gösterdiğini doğrulamıştır. Günümüz çalışmaları protetik diş ekseninde sonucunda ortaya çıkan birçok kelime ya da telaffuza yönelik söylem analizlerini gerçekleştiren araştırmacılara da yer vermektedir ve bu alanın gelişmesine katkı sağlamaktadır.

2. KONUŞMANIN FİZYOLOJİK VE FONETİK TEMELLERİ

Konuşma üretimi, merkezi sinir sistemi tarafından hiyerarşik olarak yönetilen ve stomatognatik sistemin tüm bileşenlerinin senkronize katılımını gerektiren, insan vücudundaki en karmaşık biyomekanik süreçlerden biridir. Stomatognatik sistem; kemik yapılar, diş dizileri, temporomandibular eklem ve nöromusküler mekanizmaların oluşturduğu fonksiyonel bir birimdir (Gedrange ve ark., 2017). Merkezi sinir sistemi (MSS), bu yapıları koordine ederek oral boşluğu dinamik bir akustik enstrümana dönüştürür (Chen ve ark., 2023). Klinik bir perspektiften, başarılı bir protetik rehabilitasyon için sadece mekanik stabilite ve estetik form yeterli değildir; Budalã ve ark. tarafından tanımlanan “fonetik triad” (mekanik, estetik ve akustik/fonetik denge) kavramı, tedavinin biyofonetik başarısı için temel teşkil eder.

Bu yaklaşıma göre protez, artikülatör yapıların (dil, dudak, damak) hareket alanını kısıtlamamalı ve nöromusküler adaptasyonu bozmayacak şekilde tasarlanmalıdır (Budalã ve ark., 2023; Felix ve ark., 2023). Konuşma üretimi literatürde; Solunum, Fonasyon, Rezonans ve Artikülasyon olmak üzere dört temel seviyede analiz edilmektedir (Sternborg ve ark., 2019). Bu dört bileşen birbirleriyle etkileşim hâlinde çalışmakta olup, herhangi bir seviyede meydana gelen anatomik veya fonksiyonel değişiklik konuşmanın akustik çıktısını doğrudan etkileyebilmektedir. Özellikle protetik rehabilitasyon süreçlerinde oral kavite morfolojisinde meydana gelen değişimler, artikülatör yapıların koordinasyonunu ve ses üretim mekanizmalarını yeniden şekillendirmektedir. Bu nedenle konuşmanın fizyolojik ve fonetik temellerinin anlaşılması, protetik tedavilerin konuşma üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde ve fonetik açıdan başarılı restorasyonların planlanmasında önemli bir kuramsal çerçeve sunmaktadır.

2.1. Solunum Sistemi

Konuşmanın primer enerji kaynağı, akciğerlerden gelen kontrollü ve kesintisiz hava akımıdır (ekspirasyon). MSS tarafından düzenlenen bu hava akımı, konuşma sırasında vokal yollara doğru yönlendirilir (Chen ve ark., 2023). Diş kayıpları ve alveolar ark deformiteleri solunumun temel mekaniğini doğrudan etkilemese de oral kavite morfolojisindeki değişimler hava akımının çıkış yollarında aerodinamik engeller oluşturabilir. Hatalı protez tasarımları veya anatomik boşluklar, ekspiratuar havanın çıkışı sırasında istenmeyen direnç paternlerine ve hava türbülansına neden olarak ses kalitesinde “hışırta” benzeri bozulmalara yol açabilir. Özellikle damak konturunun, anterior diş pozisyonunun ve protez kalınlığının konuşma sırasında hava akımının yönlendirilmesinde kritik rol oynadığı, bu yapıların fonetik performansı doğrudan etkilediği bildirilmiştir (Runte ve ark., 2001). Konuşma sırasında hava akımının miktarı, yönü ve hızı seslerin doğru üretimi ve akustik netlik için belirleyici olup, oral kavitedeki morfolojik değişiklikler özellikle sürtünmeli ve sibilant seslerde hava akımı kontrolünü bozabileceğinden protetik rehabilitasyonda protez tasarımı hem anatomik uyum hem de fonetik kriterler açısından değerlendirilmelidir.

2.2. Fonasyon

Fonasyon, larenkste vokal kordların kontrollü titreşimiyle hava akımının periyodik ses dalgalarına dönüştürülmesi sürecidir. Üretilen bu ham sesin kalitesi, oral kavitedeki akustik ortamın bütünlüğüne bağlıdır. Milkov ve ark. (2019), diş kaybı ve ileri düzey alveolar kemik rezorpsiyonunun ağız boşluğundaki akustik yansımaları olumsuz etkileyerek ses üretiminde değişikliklere yol açabileceğini vurgulamaktadır. İdeal bir protezde fonasyonun korunması için protez kaide kalınlığı, dişlerin mezio-distal ve vestibülo-lingual dizilimi ile dil için ayrılan fonksiyonel alanın (tongue space) hassas bir şekilde ayarlanması gerekir. Yetersiz dil

alanı, dilin serbest hareketini engelleyerek sesin fundamental frekansında ve tınısında sapmalara neden olur (Bhat ve ark., 2021). Fonasyonun kalitesi yalnızca larengeal yapıların sağlıklı işleyişine değil, aynı zamanda ses dalgalarının ilerlediği supraglottik boşlukların anatomik özelliklerine de bağlıdır. Bu nedenle protetik rehabilitasyon sırasında oral kavitenin hacminde ve geometrisinde meydana gelen değişiklikler, sesin akustik özelliklerini etkileyerek konuşma kalitesinde farklılıklara neden olabilmektedir. Özellikle total protez kullanan bireylerde dil hareketlerinin kısıtlanması veya oral boşluğun daralması, fonasyon ve artikülasyon süreçlerini birlikte etkileyerek konuşmanın doğal akışını bozabilmektedir.

2.3. Rezonans

Larenkste üretilen temel ses dalgaları; yutak, ağız ve burun boşluklarında titreşerek güçlenir ve karakteristik tınısını (rezonans) kazanır. Protez tasarımı, bu rezonans odalarının (özellikle oral kavite) hacmini ve geometrisini doğrudan değiştirir. Özellikle üst protezlerde palatal bölgenin aşırı kalın tutulması veya ruga yapılarının kopyalanmaması, oral kavite hacmini daraltarak akustik ortamın bozulmasına ve seslerin "formant" yapısında (hava titreşim frekansları) değişimlere yol açar (Andryas ve ark., 2025). Bu durum, özellikle linguo-palatal seslerin (/d/, /t/, /l/) formant değerlerini etkileyerek konuşmanın netliğini ve anlaşılabilirliğini düşürür (Andryas ve ark., 2025). Rezonans, konuşmanın bireye özgü akustik karakterini belirleyen temel bileşenlerden biridir. Oral kavitenin hacminde veya şeklinde meydana gelen küçük değişiklikler dahi ses spektrumunda ölçülebilir farklılıklara neden olabilmektedir. Bu nedenle protetik rehabilitasyon sırasında yalnızca anatomik restorasyonun sağlanması değil, aynı zamanda doğal rezonans özelliklerinin korunması da fonetik başarının önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir.

2.4. Artikülasyon ve Ses Üretim Mekanizmaları

Artikülasyon, konuşma seslerinin dudaklar, dil, damak ve dişlerin koordineli hareketleri ile şekillendirilerek fonemlere dönüştürüldüğü aşamadır. Dişler ve çevre dokular, hava akımını yönlendiren ve frikasyon (sürtünme) yaratan temel artikülatörlerdir (Bhat ve ark., 2021). Konuşmanın anlaşılabilirliği büyük ölçüde artikülatör organların doğru konumlanmasına ve hareket koordinasyonuna bağlıdır. Bu nedenle oral kavitede meydana gelen anatomik değişiklikler, fonemlerin akustik özelliklerinde ve algılanabilirliğinde önemli farklılıklara neden olabilmektedir.

Linguo-palatal Sesler (/d/, /t/, /l/): Dil ucunun üst kesici dişlerin palatal yüzeyine veya alveolar krete temasıyla oluşur. Protezin palatal bölgesindeki morfolojik hatalar, dilin temas noktasını bulmasını zorlaştırarak bu seslerin bozulmasına neden olur (Andryas ve ark., 2025). Özellikle palatal yüzeydeki hacimsel değişiklikler, dil temasının zamanlamasını ve temas alanını etkileyerek bu seslerin akustik özelliklerinde sapmalara yol açabilmektedir.

Labiodental Sesler (/f/, /v/): Üst kesici dişlerin insizal kenarlarının alt dudağın vermilyon hattına hafifçe temasıyla üretilir. Dişlerin çok uzun veya çok kısa dizilmesi, bu seslerin üretiminde hava sızıntısına veya aşırı sürtünmeye yol açar (Petrović, 1985). Bu nedenle anterior dişlerin konumu, yalnızca estetik açıdan değil, labiodental fonemlerin doğru üretimi açısından da kritik bir klinik parametre olarak değerlendirilmektedir.

Sürtünmeli Sesler (/s/, /z/): Dilin alveolar krete çok yakın konumlanarak dar bir kanal oluşturması ve hava akımının alt kesici dişlerin kesici kenarlarına çarpmasıyla oluşur. Protez kaidesindeki kalınlık artışı veya diş dizimindeki hatalar, bu hassas kanalın geometrisini bozarak ıslık benzeri seslere (sigmatizm)

veya sesin boğuklaşmasına neden olur (Fonteyne ve ark., 2021). Sibilant olarak adlandırılan bu sesler, protetik tedavilerin fonetik başarısının değerlendirilmesinde en hassas göstergelerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle /s/ ve /z/ fonemleri, hem klinik fonetik değerlendirmelerde hem de ASR tabanlı konuşma analizlerinde sıklıkla referans sesler olarak kullanılmaktadır.

Artikülasyon süreci, konuşmanın işitsel olarak algılanan son aşamasını oluşturduğundan, protetik rehabilitasyonun fonetik başarısı çoğu zaman artikülatuar performans üzerinden değerlendirilmektedir. Bu bağlamda protez tasarımı ile konuşma üretimi arasındaki ilişkinin anlaşılması, hasta memnuniyetinin artırılması ve fonetik açıdan daha başarılı restorasyonların geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

3. PROTETİK TEDAVİLERİN KONUŞMA ÜZERİNE ETKİLERİ

Protetik rehabilitasyon, oral kavitenin anatomik sınırlarını ve oklüzal ilişkileri yeniden yapılandırarak konuşmanın fonetik ve akustik çıktısını doğrudan modüle eder. Bu biyomekanik değişimler, artikülatör organların hareket alanını ve hava akımı direncini değiştirerek hastanın fonetik performansını ve ses kalitesini etkilemektedir (Stereborg ve ark., 2019). Tedavi sürecinde mekanik, estetik ve fonetik dengenin (fonetik triad) sağlanması, hastanın nöromüsküler adaptasyonunu hızlandırmak için kritiktir.

Dilbilimsel olarak; konuşma, artikülasyonun ötesinde fonetik ve fonolojik düzeyde organize edilen çok katmanlı bir yapıdır. Bu nedenle protetik müdahaleler yalnızca biyomekanik üretimi değil, aynı zamanda fonemlerin akustik gerçekleşmesini ve algısal ayrışmasını da doğrudan etkiler.

3.1. Total Protezler

Total dişsizlik, ses üretiminde ve artikülasyon hassasiyetinde önemli bozulmalara yol açmaktadır. Klinik çalışmalar, tam protez rehabilitasyonunun konuşma anlaşılabilirliğini anlamlı düzeyde artırdığını kanıtlamaktadır; bu bağlamda, Automatic Speech Recognition teknolojisi ile yapılan nicel analizlerde, dişsiz bireylerde protez öncesi $55,42 \pm 13,1$ olan kelime doğruluğunun, protez sonrası $60,00 \pm 15,6$ seviyesine yükseldiği belirlenmiştir; ancak bu oranlar hala doğal dişlenmeye sahip bireylerin ($69,79 \pm 10,6$) gerisindedir (Stelzle ve ark., 2010). Yapılan bir çalışmada; güncel bir çalışmada ise total protez kullanan bireylerde konuşma anlaşılabilirliğinin $54,63$ düzeyinde olduğu saptanmış, bu durumun sabit veya hibrit çözümlere göre daha düşük palatal stabiliteden kaynaklanabileceği vurgulanmıştır (Gupta ve ark., 2026).

Bu bulgular, konuşma çıktısının yalnızca anatomik restorasyonla değil, aynı zamanda dilin fonetik hedeflere ulaşma başarısı ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu durum, özellikle frikatif ve sibilant seslerde akustik varyasyonların belirginleşmesine neden olmaktadır.

3.2. Oklüzal Dikey Boyut (OVD)

Oklüzal dikey boyut, alt çenenin fonksiyonel hareket sınırlarını ve interoklüzal boşluğu belirler. Sibilant (/s/, /z/) seslerin OVD tespiti için fonetik bir test olarak kullanılması yaygın bir klinik pratik olsa da, Rivera-Morales bu yöntemin bireysel varyasyonlar nedeniyle tek başına yeterli olmadığını belirtmektedir (Rivera-Morales ve ark., 1997). Yeni bir protez uygulaması sonrası, /m/ sesinin üretimindeki interoklüzal mesafenin stabilize olması ve hastanın yeni dikey boyuta fonetik olarak uyum sağlaması yaklaşık altı aylık bir adaptasyon süreci gerektirir. Tam rehabilitasyon uygulanan hastalarda başlangıçtaki fonetik değişimlerin ardından 29 ile 68 arasında değişen bir

“rebound” etkisi gözlemlenmiş, bu da konuşmanın dinamik ve adaptif doğasını kanıtlamıştır (Stereborg ve ark., 2019). Hussein (2020) tarafından yürütülen anket çalışması, diş hekimlerinin %93,80’inin OVD’nin konuşma artikülasyonu üzerindeki doğrudan etkisini kabul ettiğini göstermiştir.

Fonetik açıdan OVD değişimleri, özellikle vokal ve nazal rezonans dengesi üzerinde mikro düzeyde akustik kaymalara neden olabilmektedir. Bu durum, konuşmanın prosodik yapısında da algısal farklılıklar oluşturabilir.

3.3. Diş Pozisyonu ve Dizimi

Anterior dişlerin vestibülo-lingual konumu ve insizal kenar seviyeleri, hava akışının yönlendirilmesinde ve sesin frikasyon karakterinin belirlenmesinde kritik rol oynar. Özellikle /f/ ve /v/ gibi labiodental seslerin üretiminde dişlerin konumu temel referans noktasıdır (Stereborg ve ark., 2019). Ayrıca, diş hekimlerinin %94,80’i diş dizimindeki hataların konuşma fonksiyonunu kompanse edilemez şekilde bozabileceğini ifade etmiştir (Hussein, 2020). Dinamik palatografi çalışmaları, dilin dişlere temas ettiği “linguopalatal temas” alanlarının her fonem için spesifik bir patern sergilediğini; dişlerin ark formundan sapacak şekilde dizilmesinin bu temas paternlerini bozarak fonetik adaptasyonu zorlaştırdığını ortaya koymaktadır (Kochetov ve ark., 2018).

Bu durum, fonem üretiminin sabit bir motor hareketten ziyade, çevresel anatomik koşullara duyarlı bir artikülasyon sistemi olduğunu göstermektedir.

3.4. İmplant Destekli Protezler

İmplant destekli protezler, total protezlere göre daha yüksek stabilite sunsa da, tasarım özelliklerine bağlı olarak spesifik fonetik zorluklar yaratabilir. Yapılan araştırmalarda, implant üstü protez kullanan hastaların %84’ünde telaffuz

güçlüğü bildirilmiş, özellikle sibilant /s/ sesinde %50'den fazla bozulma saptanmıştır (Van Lierde ve ark., 2012). Ayrıca, hibrit protezler konuşma anlaşılabilirliğini %70,13 seviyesine taşıyarak total protezlere göre anlamlı bir üstünlük sergilemektedir (Gupta ve ark., 2026). Yapılan bir çalışmada; 3 yıllık uzun dönemli takipte, artikülasyon bozukluğu sayısının zamanla 1,00'den 0,55'e gerilediği, ancak hastaların %37,5'inde /s/ sesi bozulmalarının adaptasyon sürecine rağmen kalıcı olduğu rapor edilmiştir (Fonteyne ve ark., 2021).

Bu bulgular, implant destekli sistemlerde bile fonetik adaptasyonun tamamen ortadan kalkmadığını, aksine zamanla kısmi nöromusküler yeniden organizasyon gerektirdiğini göstermektedir.

3.5. Maksillofasiyal Protezler

Maksillektomi vakalarında, cerrahi defektin kapatılması için kullanılan obturatörler rezonans dengesini sağlamada hayati öneme sahiptir. Kalıcı obturatör kullanımı, hastaların %82,6'sında konuşma anlaşılabilirliğini anlamlı düzeyde iyileştirir (Hattori ve ark., 2013). Akustik analizler, bu protezlerin nazal kaçıışı (hipernazalite) engelleyerek ünlü harf formant değerlerini (F2-F1) stabilize ettiğini ve sesin spektral özelliklerini koruduğunu kanıtlamaktadır (Priya ve ark., 2024). ASR tabanlı değerlendirmeler, obturatör tasarımıındaki mikro değişimlerin bile kelime doğruluk oranlarında ölçülebilir farklar yarattığını göstermektedir (Hattori ve ark., 2013).

Bu durum, maksillofasiyal rehabilitasyonun yalnızca anatomik kapanma değil, aynı zamanda akustik rezonans mühendisliği olarak da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

3.6. Palatal Morfoloji

Protezlerin palatal yüzeyinin düz bir kaide yerine, doğal palatal ruga morfolojisini taklit edecek şekilde tasarlanması, dilin artikülasyon sırasında doğru temas noktalarını tanımasını kolaylaştırır (Priya ve ark., 2024). Yapılan klinik çalışmalar, ruga deseni içeren palatal tasarımların; /s/, /z/, /t/, /d/ ve /l/ gibi linguo-palatal seslerin telaffuzunda düz yüzeyli protezlere göre istatistiksel olarak daha üstün performans sergilediğini saptanmıştır (Meenakshi ve ark., 2021). Bu iyileşme, ruga kopyalanması sayesinde elde edilen daha doğal spektral ve temporal parametreler ile açıklanmaktadır. Özellikle /s/ ve /t/ gibi seslerde ruga yapısının bulunması, hava akışının dar bir kanalda stabilize edilmesini sağlayarak ses netliğini artırmaktadır (Rimmy, 2017).

Dilbilimsel perspektiften bakıldığında bu durum, fonetik üretimde “öğrenilmiş artikülasyon kalıplarının” çevresel anatomik ipuçlarıyla yeniden eşleşmesi olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle palatal morfoloji, yalnızca protez uyumu değil, aynı zamanda fonetik hafızanın yeniden yapılandırılması açısından da önem taşımaktadır.

4. ASR TABANLI KONUŞMA ANALİZİ PARAMETRELERİ

Protetik diş hekimliğinde konuşma analizinin başarısı, nicel metriklerle desteklenen objektif verilere dayanmaktadır. ASR sistemleri, geleneksel sübjektif değerlendirmelerin ötesine geçerek, protezlerin fonetik performansını sayısal ve tekrarlanabilir parametrelerle ölçmeyi mümkün kılar. Bu yaklaşım, konuşma verisinin yalnızca algısal değil, aynı zamanda ölçülebilir akustik bir veri seti olarak ele alınmasını sağlamaktadır. Aşağıda protetik rehabilitasyon süreçlerinde

kullanılan temel ASR parametreleri fonetik ve akustik bağlamda ele alınmaktadır.

4.1. Kelime Anlaşılabilirlik Skoru

Kelime anlaşılabilirlik skoru, ASR sisteminin doğru tanıdığı kelimelerin toplam kelime sayısına oranını ifade eder ve hastanın konuşma performansının en temel göstergesidir. Protetik diş hekimliğinde bu skor, protez öncesi ve sonrası konuşma kalitesindeki değişimi ölçmek için kullanılır (Godbole ve ark., 2016). Yapılan çalışmalarda, total dişsiz hastaların kelime doğruluk oranları $55,42 \pm 13,1$ iken, tam protez uygulaması sonrası bu oranın anlamlı bir artışla $60,00 \pm 15,6$ seviyelerine yükseldiği, doğal dişlere sahip kontrol grubunda ise $69,79 \pm 10,6$ olduğu saptanmıştır (Stelzle ve ark., 2010). ASR tabanlı bu skorlar, uzman dinleyicilerin değerlendirmeleriyle yüksek korelasyon ($r = 0,71 - 0,729$) göstererek, klinik ortamda dinleme prosedürlerine gerek kalmadan objektif bir değerlendirme sunar (Hattori ve ark., 2013). Dilbilimsel açıdan kelime anlaşılabilirlik skoru, fonetik üretim ile fonolojik algı arasındaki ilişkiyi nicel olarak görünür kılmaktadır. Bu durum, konuşmanın yalnızca üretimsel bir süreç değil, aynı zamanda algısal doğruluk gerektiren bilişsel bir sistem olduğunu göstermektedir.

4.2. Fonem Doğruluk Analizi

Fonem doğruluğu, özellikle diş ve dil arasındaki ilişkinin kritik olduğu frikatif (sürtünmeli) seslerin (/s/, /ş/, /f/, /v/) ve oklüzif (patlamalı) seslerin (/t/, /d/) analizinde hayati öneme sahiptir. ASR sistemleri, "Mahalanobis" mesafesi gibi metrikleri kullanarak hatalı üretilen sesin hedef fonemden ne kadar uzaklaştığını belirleyebilir (Forrest ve ark., 1988). Klinik uygulamalarda, örneğin bir hastanın mandibulectomy sonrası /sa/ fonemini üretmekte zorluk yaşaması durumunda, akustik analiz yazılımları ve ASR modelleri aracılığıyla protezin lingual yüzeyinde yapılan hassas düzenlemelerin konuşma netliğini nasıl

geri kazandırdığı objektif olarak doğrulanabilmektedir (Hattori ve ark., 2025). Bu bağlamda fonem doğruluk analizi, fonetik düzeydeki mikro değişimlerin akustik çıktıya nasıl yansıdığını göstermesi açısından klinik fonetik ile akustik fonoloji arasında köprü kurmaktadır.

4.3. Word Error Rate

Word Error Rate, ASR çıktısındaki kelime hatalarını (yer değiştirme, ekleme, silme) ölçen standart bir metriktir. Protetik diş hekimliği ve tıbbi dokümantasyon bağlamında, genel kelimelerden ziyade klinik terimlerin doğruluğu kritik olduğundan “Alan Bazlı Kelime Hata Oranı” ön plana çıkmaktadır (Rachagoudar ve ark., 2025; Ruairi ve ark., 2025). Dilbilimsel açıdan WER, yalnızca teknik bir hata oranı değil, aynı zamanda konuşma akışındaki segmentasyon ve kelime sınırı algısının doğruluğunu ölçen bir göstergedir. Bu gösterge çerçevesinde kelime hata düzey oranının tespit edilmesi kolaylaşmaktadır ve alan uzmanlara analizler sunmaktadır.

4.4. Konuşma Hızı

Konuşma hızı, birim zamanda üretilen kelime veya hece sayısını ifade eder. Dişsizlik durumu, artikülasyon zorlukları nedeniyle genellikle konuşma hızında bir yavaşlamaya neden olur. 60–75 yaş aralığındaki geriatrik hastalar üzerinde yapılan araştırmalar, tam protez inserksiyonu sonrası ortalama konuşma hızının arttığını ve bu artışın genel kelime anlaşılabilirliği ile pozitif ilişkili olduğunu göstermiştir ve ASR sistemleri, “motor speech profile” programları aracılığıyla bu hızı otomatik olarak hesaplayarak rehabilitasyonun fonksiyonel başarısını takip ettiği tespit edilmiştir (Kaur ve ark., 2019). Konuşma hızı aynı zamanda prosodik yapı ile ilişkili olup, bireyin motor planlama ve artikülasyon zamanlamasındaki değişimleri yansıtan önemli bir dilbilimsel parametre olarak değerlendirilmektedir.

4.5. Akustik Parametreler

Akustik analiz, ses sinyalinin fiziksel özelliklerini inceleyerek protez konumunun konuşma üzerindeki etkisini mikroskobik düzeyde değerlendirir.

Spektral Analiz: Protezlerin konumlandırılmasındaki hataları tespit etmek için "minimum varyans spektral tahmini" yöntemi kullanılmaktadır (Bereteu ve ark., 2011). Ayrıca MVDR (Minimum Variance Distortionless Response) tabanlı "all-pole" modelleme yöntemleri, sesli ve sessiz harflerin spektral zarfını yüksek çözünürlükte modelleyerek ses bozulmalarını sayısal olarak tanımlar (Murthi & Rao, 2000).

Fiziksel Metrikler: Analizlerde temel frekans, enerji dağılımı, sürtünmeli ses süresi, ortalama yoğunluk, ağırlık merkezi ve gürültü tepe noktası gibi parametreler kullanılır (Gunasekar ve ark., 2017; Liu ve ark., 2023). Bu parametreler, özellikle estetik restorasyonlar sonrası kesici dişlerin konumunun /s/ sesi gibi hassas sesler üzerindeki etkisini belirlemek için kritik öneme sahiptir.

Bu akustik metrikler, konuşmayı yalnızca dilsel bir çıktı değil, aynı zamanda ölçülebilir bir biyofiziksel sinyal olarak ele almayı mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım, protetik diş hekimliği ile konuşma bilimi arasında disiplinlerarası bir analiz zemini oluşturmaktadır.

5. SONUÇ

Protetik diş hekimliğinde fonksiyonel rehabilitasyonun başarısı, yalnızca çiğneme kapasitesi ve estetik görünümün yeniden sağlanmasıyla değil, aynı zamanda hastanın konuşma fonksiyonunun korunması ve geliştirilmesiyle de doğrudan ilişkilidir. Konuşma, oral yapıların anatomik ve fonksiyonel bütünlüğüne duyarlı karmaşık bir süreç olduğundan, protetik

restorasyonlarda fonetik gerekliliklerin tedavi planlamasının ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle total protezler, palatal kontur değişiklikleri ve oklüzal dikey boyut farklılıkları gibi faktörler, artikülasyon ve akustik özelliklerde değişikliklere neden olabilmekte ve hastaların yaşam kalitesini etkileyebilmektedir. Bu durum, konuşmanın yalnızca periferik bir motor üretim süreci olmadığını; aynı zamanda fonetik, fonolojik ve akustik düzeylerde örgütlenen çok katmanlı bir dil sistemi olduğunu göstermektedir. Bu nedenle protetik müdahaleler, yalnızca anatomik restorasyon değil, aynı zamanda dilsel üretim sisteminin yeniden yapılandırılması olarak değerlendirilmelidir.

Geleneksel fonetik değerlendirme yöntemleri klinik açıdan değerli olmakla birlikte, subjektif değerlendirmelere bağımlılıkları nedeniyle objektif, standartlaştırılmış ve tekrarlanabilir ölçümlere olan ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda ASR (Automatic Speech Recognition) tabanlı konuşma analiz sistemleri; konuşma verilerini sayısal parametrelere dönüştürerek protetik tedavilerin fonetik sonuçlarının daha güvenilir biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Yapay zekâ destekli bu teknolojiler, yalnızca mevcut konuşma bozukluklarının belirlenmesinde değil, aynı zamanda protez tasarımı, kişiselleştirilmiş palatal kontur optimizasyonu ve tedavi sonrası fonksiyonel takibin gerçekleştirilmesinde de önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu yaklaşım, konuşma verisini klinik karar verme süreçlerinde kullanılabilir bir biyometrik veri setine dönüştürmekte ve protetik diş hekimliğinde kanıta dayalı dijital değerlendirme paradigmasını güçlendirmektedir.

Gelecekte ASR sistemlerinin klinik protokollere entegrasyonu ile birlikte, protetik rehabilitasyon süreçlerinde hekimin deneyimine dayalı subjektif değerlendirmelerin desteklenmesi ve daha hassas, veri temelli karar süreçlerinin oluşturulması mümkün olacaktır. Bununla birlikte, farklı protez

tipleri, farklı hasta grupları ve farklı diller için doğrulama çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca, dilin fonetik envanteri ile protez tasarım parametreleri arasındaki etkileşimin daha ayrıntılı incelenmesi, bu sistemlerin kültürlerarası ve dillerarası genellenebilirliğini artıracaktır.

Sonuç olarak, ASR ve yapay zekâ tabanlı konuşma analizleri, dijital protetik diş hekimliğinin gelişen alanlarından biri olarak fonetik değerlendirmeyi daha objektif, ölçülebilir ve hasta odaklı bir yaklaşıma dönüştürme potansiyeline sahiptir.

KAYNAKÇA

- Andryas, I., Syarfina, T., Tanti, I., Hong, G., & Kusdhany, L. S. (2025). Comparison of formant scores between complete denture users and subjects with complete dentition: A preliminary study. *Padjadjaran Journal of Dentistry*, 37(1), 78–86. <https://doi.org/10.24198/pjd.vol37no1.59201>.
- Bereteu, L., Drăgănescu, G. E., Stănescu, D., & Sinescu, C. (2011). Quantitative measurement of speech sound distortions with the aid of minimum variance spectral estimation method for dentistry use. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 14(12), 1097-1104. <https://doi.org/10.1080/10255842.2010.512866>
- Bernauer, S. A., Zitzmann, N. U., & Joda, T. (2021). The use and performance of artificial intelligence in prosthodontics: A systematic review. *Sensors*, 21(19), 6628. <https://doi.org/10.3390/s21196628>.
- Bhat, J. T., Kumar, N., Singh, K., & Tanvir, H. (2021). Phonetics in prosthodontics: Its clinical implications in designing of prosthesis. *International Journal of Applied Dental Sciences*, 7(2), 84–93. <https://doi.org/10.22271/oral.2021.v7.i2b.1193>.
- Budală, D. G., Lupu, C. I., Vasluianu, R. I., Ioanid, N., Butnaru, O. M., & Baciuc, E.-R. (2023). A contemporary review of clinical factors involved in speech: Perspectives from a prosthodontist point of view. *Medicina*, 59(7), 1322. <https://doi.org/10.3390/medicina59071322>.
- Chen, J. P., Wang, J., Guo, J. Q., & Guo, C. B. (2023). Research progress in multi-body system dynamics modeling in

- stomatology. *Chinese Journal of Stomatology*, 58(4), 374–379.
- Felix, K. T. C., Silva, C. M. A., Nascimento, S. L., & Sales, T. H. F. (2023). Biomecânica de próteses implanto-suportada: Uma breve revisão [Biomechanics of implant-supported prosthesis: A brief review]. *Research, Society and Development*, 12(14), e06121444383. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i14.44383>.
- Fonteyne, E., Burms, E., Matthys, C., Van Lierde, K., & De Bruyn, H. (2021). Four-implant-supported overdenture treatment in the maxilla. Part II: Speech- and oral health-related quality of life in patients with implant-supported overdentures in the maxilla- A prospective 3-year follow-up. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 23(5), 680–691. <https://doi.org/10.1111/cid.13034>.
- Forrest, K., Weismer, G., Milenkovic, P., & Dougall, R. N. (1988). Statistical analysis of word-initial voiceless obstruents: Preliminary data. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 84(1), 115–123. <https://doi.org/10.1121/1.396977>.
- Gedrange, T., Kunert-Keil, C., Heinemann, F., & Dominiak, M. (2017). Tissue engineering and oral rehabilitation in the stomatognathic system. *BioMed Research International*, 2017, Article 4519568. <https://doi.org/10.1155/2017/4519568>.
- Godbole, S., Jaiswal, P., Gotoorkar, S., Kulkarni, K., & Madhup, A. (2016). Influence of the complete denture treatment on patients speech intelligibility. *Indian Journal of Multidisciplinary Dentistry*, 6(2).
- Gunasekar, C., Sabrigirinathan, C., Vinayagavel, K., & Ramkumar, K. (2017). The acoustic parameters for

- analysing speech with complete dentures. *International Journal of Dental Research*, 5(2), 115–120. <https://doi.org/10.14419/ijdr.v5i2.7789>.
- Gupta, A., Patel, N., Mante, F., Lee, J. D., & Chang, M. B. (2026). Investigating the maximum bite force and speech intelligibility in patients requiring prosthetic rehabilitation. *Journal of Prosthodontics*. 1–9. <https://doi.org/10.1111/jopr.70156>.
- Hattori, M., Sumita, Y. I., & Taniguchi, H. (2013). Automatic evaluation of speech impairment caused by wearing a dental appliance. *Open Journal of Stomatology*, 3(7), 365–369. <https://doi.org/10.4236/ojst.2013.37062>.
- Hussein, M. (2020). Impact of the vertical dimension of occlusion and arrangement of teeth on speech articulation (questionnaire study). *Journal of IMAB – Annual Proceeding (Scientific Papers)*, 26(2), 3198–3202. <https://doi.org/10.5272/jimab.2020262.3198>.
- Kaur, P., Devadiga, D. N., Bhat, J. S., Shetty, T. B., & Shenoy, V. K. (2019). Effect of complete denture prosthesis on speaking rate in edentulous individuals. *Indian Journal of Public Health Research & Development*, 10(5), 136–141. <https://doi.org/10.5958/0976-5506.2019.00984.7>.
- Kochetov, A. (2018). Linguopalatal contact contrasts in the production of Japanese consonants: Electropalatographic data from five speakers. *Acoustical Science and Technology*, 39(2), 84–91. <https://doi.org/10.1250/ast.39.84>.
- Liu, R., Hu, A., Wu, L., Niu, L., & Zhou, Q. (2023). Analysis of /s/ sound acoustic characteristics and mandibular speech movements in aesthetic restoration: A case series

evaluation. *Research Square*.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2631828/v1>.

- Meenakshi, S., Thammaiah, I., Kumar, A. G., & Sahana, K. (2021). Articulatory evaluation of lingua palatal sounds in denture wearers: Pre- and post-comparison. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, 12(1), 774–785. <https://doi.org/10.26452/ijrps.v12i1.4181>.
- Milkov, M., Milev, M., & Peneva, S. (2019). Changes in voice characteristics in dental prosthetics. In *Varna Medical Forum* (Vol. 8, pp. 31-36).
- Murthi, M. N., & Rao, B. D. (2000). All-pole modeling of speech based on the minimum variance distortionless response spectrum. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 8(3), 221-239.
- Nidzelsky, M., Chikor, V., & Tsvetkova, N. (2019). Phonetic rehabilitation for removable dental prosthetics. *Ukrainian Dental Almanac*, (2), 44–48. <https://doi.org/10.31718/2409-0255.2.2019.09>.
- Rachagoudar, A., Gebise, A., Solapure, L., Shirahatti, P., & Bagewadi, S. (2025, September). Vox2Brief: Summarizing Conversational Medical Narratives. In *2025 IEEE 4th International Conference for Advancement in Technology (ICONAT)* (pp. 1-7). IEEE.
- Petrović, A. (1985). Speech sound distortions caused by changes in complete denture morphology. *Journal of Oral Rehabilitation*, 12(1), 69–79. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1985.tb00622.x>
- Priya, M., Dubey, S. A., & Gorripati, J. P. (2024). Comparative evaluation of speech quality before and after functional palatal recontouring in complete dentures using artificial

- intelligence: A study protocol. *Cureus*, 16(9), e69127.
<https://doi.org/10.7759/cureus.69127>.
- Rimmy, T., Prasad, K. D., & Takvani, A. (2017). An In vivo study to compare the difference in speech sounds observed with conventional and customized palatal contour dentures. *Journal of International Oral Health*, 9(2), 49-54.
- Rivera-Morales, W. C., & Goldman, B. M. (1997). Are speech-based techniques for determination of occlusal vertical dimension reliable?. *Compendium of Continuing Education in Dentistry (Jamesburg, NJ: 1995)*, 18(12), 1214-5.
- Runte, C., Lawerino, M., Dirksen, D., Bollmann, F., Lamprecht-Dinnesen, A., & Seifert, E. (2001). The influence of maxillary central incisor position in complete dentures on/sound production. *The journal of prosthetic dentistry*, 85(5), 485-495.
- Stelzle, F., Ugrinovic, B., Knipfer, C., Bocklet, T., Nöth, E., Schuster, M., Eitner, S., Seiss, M., & Nkenke, E. (2010). Automatic, computer-based speech assessment on edentulous patients with and without complete dentures: Preliminary results. *Journal of Oral Rehabilitation*, 37(3), 209–216.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2009.02047.x>.
- Sterenberg, B. A. M. M., Kalaykova, S. I., Knuijt, S., Loomans, B. A. C., & Huysmans, M.-C. D. N. J. M. (2020). Speech changes in patients with a full rehabilitation for severe tooth wear, a first evaluation study. *Clinical Oral Investigations*, 24(9), 3061–3067.
<https://doi.org/10.1007/s00784-019-03174-7>.

- Stoykov, M., Milkov, M., & Peev, S. (2020). Methods for assessment of vocal characteristics in dental treatment. *International Bulletin of Otorhinolaryngology*, 16(3), 39–42. <https://doi.org/10.14748/orl.v16i3.7257>.
- Van Lierde, K., Browaeys, H., Corthals, P., Mussche, P., Van Kerkhoven, E., & De Bruyn, H. (2012). Comparison of speech intelligibility, articulation and oromyofunctional behaviour in subjects with single-tooth implants, fixed implant prosthetics or conventional removable prostheses. *Journal of Oral Rehabilitation*, 39(4), 285–293. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2011.02282.x>.

HAREKETLİ PROTEZLERİN DİJİTAL İŞ AKIŞI VE ÜÇ BOYUTLU BASKI TEKNOLOJİLERİ

Sema AYTAÇ¹

Selda Gökçe ERDAL²

Ayşegül KÖROĞLU³

1. GİRİŞ

Günümüzde ortalama yaşam süresinin uzaması ve yaşlı nüfusun giderek artması, diş kaybı nedeniyle protetik tedavi gereksinimi duyan birey sayısında artışa neden olmaktadır. Diş eksiklikleri; çiğneme, konuşma ve estetik gibi temel oral fonksiyonların bozulmasına neden olmanın yanı sıra, bireylerin sosyal yaşamı üzerinde de önemli olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Diş eksikliklerinin tedavisinde implant destekli sabit protezler yaygın olarak tercih edilse de anatomik, sistemik ve ekonomik nedenlerle hareketli protezler hala önemli bir tedavi seçeneği olmaya devam etmektedir (Alqutaibi et al., 2025; Atılgan et al., 2024).

Hareketli bölümlü protezlerin (RPD) uzun dönem başarısında iskelet altyapısının ağız içindeki destek dokularla uyumu temel faktörlerden biridir. Bu yapının uyum göstermemesi ile destek dişler üzerinde olumsuz etkiler

¹ Arş. Gör., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0002-3862-3740.

² Doç Dr., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, ORCID: 0009-0009-5141-9067.

³ Prof. Dr., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, ORCID: 000-0002-0288-6357.

oluşturularak diş hareketlerine ve diş kayıplarına sebep olabileceği bilinmektedir (Bajunaid et al., 2019).

Geleneksel RPD iskelet altyapılarının üretimi; ölçü alınması, alçı model elde edilmesi, doku stopları hazırlanması, modelin refrakter modele aktarılması ve altyapı tasarımının refrakter model üzerinde şekillendirilmesi gibi birçok laboratuvar aşamasını kapsamaktadır. Bu işlemlerin ardından kobalt-krom (Co-Cr) alaşımı kullanılarak metal iskelet altyapı elde edilmektedir. Günümüzde bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim (CAD/CAM) teknolojilerinin gelişmesiyle hareketli bölümlü protezlerin tasarım ve üretim süreçleri dijital ortama taşınabilmektedir. CAD yazılımları, protez altyapısını oluşturan bileşenlerin hastanın diş anatomisi ve yumuşak doku yapılarıyla uyumlu olacak şekilde hassas biçimde planlanmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca üretim sürecinde farklı protez bileşenlerinin kesit kalınlıkları sürekli olarak değerlendirilebilmekte, böylece mekanik özellikler kontrol altında tutulurken estetik açıdan daha kabul edilebilir tasarımlar oluşturulabilmektedir. (Grymak et al., 2023; Maryod, 2019).

2. HAREKETLİ BÖLÜMLÜ PROTEZLERDE DİJİTAL ÜRETİM TEKNİKLERİ

Dijital üretim teknolojilerinin RPD'in üretiminde kullanılması, geleneksel yöntemlere kıyasla birçok avantaj sağlamaktadır. Dijital iş akışları sayesinde laboratuvar aşamalarının sayısı azalmakta, üretim süreci hızlanmakta ve manuel işlem basamaklarından kaynaklanan hata riski önemli ölçüde düşmektedir. Bunun yanı sıra dijital üretim yöntemleri materyal kullanım verimliliğini artırmakta, hasta ve teknisyen açısından daha öngörülebilir sonuçlar elde edilmesine katkı sağlamakta ve PEEK gibi yeni nesil biyouyumlu materyallerin

kullanımını desteklemektedir (Negm et al., 2019; Williams et al., 2006; Ye et al., 2017).

Dijital RPD üretim sistemlerinin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu teknolojilerin uygulanabilmesi için gerekli olan tarayıcılar, tasarım yazılımları ve üretim cihazları önemli yatırım maliyetleri gerektirmektedir. Ayrıca dijital iş akışlarının etkin şekilde kullanılabilmesi için klinisyen ve teknisyenlerin yazılım ve ekipman kullanımına yönelik eğitim almaları gerekmektedir. Özellikle eklemeli üretim tekniklerinde yüzey pürüzlülüğünün yüksek olması nedeniyle üretim sonrasında ilave bitirme ve polisaj işlemlerine ihtiyaç duyulabilmektedir.(Baradee & Spies, 2025)

CAD/CAM teknolojisi kullanılarak RPD iskelet altyapılarının üretimi eksiltmeli üretim (subtractive manufacturing) ve eklemeli üretim (additive manufacturing) olmak üzere iki temel yaklaşımla gerçekleştirilmektedir (Conceição et al., 2021)

Tablo 1. Hareketli Bölümlü Protezlerde Kullanılan Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması (Yoon et al., 2025)

Özellik	Geleneksel Üretim	Eksiltmeli Üretim (CAD/CAM)	Eklemeli Üretim (3B Baskı)
İş Akışı	Analog	Kısmi/Tam dijital	Tam dijital
Üretim Prensipleri	Döküm	Frezeleme	Katmanlı üretim
Üretim Süresi	Uzun	Orta	Kısa
Operatör Bağımlılığı	Yüksek	Orta	Düşük
Boyutsal Doğruluk	Orta	Yüksek	Yüksek
Karmaşık Geometrilerin Üretimi	Sınırlı	Kısmen sınırlı	Başarılı
Malzeme Kaybı	Orta	Yüksek	Düşük
Tekrarlanabilirlik	Düşük	Yüksek	Yüksek
Başlıca Avantaj	Düşük başlangıç maliyeti	Yüksek hassasiyet ve standardizasyon	Tasarım özgürlüğü ve yüksek malzeme verimliliği
Başlıca Dezavantaj	Çok aşamalı laboratuvar süreci	Yüksek materyal kaybı	Yüksek ekipman maliyeti

2.1. Eksiltmeli Üretim Prensibine Dayalı Yöntemler

Protetik diş hekimliğinde dijital üretim teknolojileri kapsamında eksiltmeli üretim yöntemleri yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu yaklaşımda, bilgisayar ortamında tasarlanan restorasyon veya protez altyapısı prefabrike materyal bloklarından kontrollü madde uzaklaştırılması yoluyla elde edilmektedir. Üretim sırasında bilgisayar destekli numerik kontrol (CNC) sistemleri tarafından yönlendirilen frezler, drilller ya da elmas diskler kullanılarak blok materyal işlenmekte ve hedeflenen forma dönüştürülmektedir. Eksiltmeli üretim sürecinde sıklıkla kullanılan ön polimerize PMMA bloklar, STL formatındaki dijital tasarım verileri esas alınarak 5 eksenli freze cihazlarında işlenmekte ve böylece istenen geometrik yapı oluşturulmaktadır. Bu üretim yaklaşımı temel olarak kopya frezeleme ve kıvılcım erozyon teknikleri olmak üzere iki farklı yöntem altında incelenmektedir. Eksiltmeli üretimle elde edilen restorasyonlar, düşük distorsiyon göstermeleri, gözenekliliğin az olması ve homojen materyal yapısına sahip olmaları nedeniyle önemli avantajlar sunmaktadır. Buna karşın karmaşık geometrik tasarımların üretimindeki teknik güçlükler, işlem sırasında oluşan materyal kaybı, aşınmalar ve nispeten yüksek üretim maliyetleri bu yöntemin başlıca dezavantajları arasında yer almaktadır (Azeez, Gheyath Munadhil; Çekiç Nagaş, 2017; Holban et al., 2025; İşler Kaya et al., 2025).

2.1.1. Kopya-Frezeleme Yöntemi

Kopya-frezeleme (copy milling), dijital CAD/CAM sistemlerinin yaygınlaşmasından önce geliştirilen ve günümüzde kullanılan bilgisayar destekli üretim teknolojilerinin temelini oluşturan eksiltmeli üretim yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde restorasyon veya protez bileşeni doğrudan dijital ortamda tasarlanmamakta, öncelikle teknisyen tarafından mum, kompozit, rezin veya benzeri

materyaller kullanılarak fiziksel olarak hazırlanan bir model referans alınmaktadır. Hazırlanan bu model mekanik veya optik tarama sistemleri aracılığıyla algılanmakta ve elde edilen bilgiler doğrultusunda frezeleme ünitesindeki kesici uçlar hareket ederek hedef materyalden istenen yapıyı oluşturmaktadır. Bazı sistemlerde büyütme veya küçültme oranları uygulanabilmekte, böylece sinterleme veya işleme sırasında meydana gelebilecek boyutsal değişiklikler kompanse edilebilmektedir. Bu nedenle kopya frezeleme yöntemi, geleneksel laboratuvar teknikleri ile tam dijital CAD/CAM sistemleri arasında bir geçiş teknolojisi olarak değerlendirilmektedir(Alghauli et al., 2025; Moussaoui et al., 2018; Wu, 2025).

2.1.2. Kıvılcım Erozyon Yöntemi

Kıvılcım (spark) erozyon veya elektriksel deşarj işleme (Electrical Discharge Machining, EDM), elektriksel olarak iletken iki yüzey arasında oluşturulan kontrollü kıvılcım boşalımları yardımıyla materyalin aşındırılması esasına dayanan bir üretim yöntemidir. İşlem sırasında elektrot dielektrik sıvı içerisinde tutulmakta, oluşturulan yüksek enerjili kıvılcımlar sayesinde metal yüzeyden mikron düzeyinde materyal uzaklaştırılmaktadır. Bu teknoloji temelde kablo tipi ve prob tipi olmak üzere iki farklı uygulama biçimine sahiptir. Diş hekimliğinde daha çok prob tipi sistemler kullanılmakta olup hassas bağlantılı hareketli bölümlü protezler, sabit protezler, titanyum kronlar, teleskopik protezler, implant destekli overdenture protezler ve metal-rezin bağlantılarının iyileştirilmesi gibi çeşitli uygulama alanlarına sahiptir. Bu teknik ile üretilen restorasyonlarda pasif uyumun sağlanabilmesi, distorsiyon oluşmaması ve üretim sürecinin hızlı ilerlemesi önemli avantajlar arasında yer almaktadır. Buna karşın, yöntemin yüksek yatırım maliyeti gerektirmesi ve uygulama için deneyimli personel ile özel laboratuvar

donanımına ihtiyaç duyulması başlıca sınırlılıkları olarak değerlendirilmektedir(Holban et al., 2025; İşler Kaya et al., 2025; Sikri & Sikri, 2024).

2.2. Eklemeli Üretim Prensibine Dayalı Yöntemler

Geleneksel döküm yöntemi ve eksiltmeli üretim tekniklerinin bazı sınırlılıkları nedeniyle eklemeli üretim yöntemleri RPD iskelet altyapılarının üretiminde daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Eklemeli üretim yöntemleri, restorasyonun veya protez bileşeninin dijital ortamda oluşturulan üç boyutlu tasarım verileri doğrultusunda katmanlar halinde üretilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu yaklaşım, karmaşık geometrilerin yüksek hassasiyetle üretilebilmesine olanak sağlamakta ve geleneksel yöntemlerde karşılaşılan birçok laboratuvar aşamasını ortadan kaldırmaktadır (Eggbeer et al., 2005; Tregerman et al., 2019). Ayrıca karmaşık altyapı tasarımlarının, ince bağlantı elemanlarının ve detaylı retansiyon yüzeylerinin yüksek doğrulukla üretilebilmesine olanak sağlamaktadır. (Soltanzadeh et al., 2019; Ye et al., 2017).

Eklemeli üretim sistemleri genel olarak stereolitografi (SLA), malzeme püskürtme, eriyik biriktirme (FDM), sıvı kristal işleme (LCD), selektif lazer sinterleme (SLS) ve selektif lazer eritme (SLM) gibi farklı teknolojileri kapsamaktadır. Bu yöntemlerin her biri farklı çalışma prensiplerine sahip olmakla birlikte, temel amaç dijital tasarım verilerinin fiziksel bir yapıya dönüştürülmesidir. RPD üretiminde özellikle metal iskeletlerin doğrudan üretilebilmesi nedeniyle SLM ve benzeri lazer tabanlı teknolojiler ön plana çıkmaktadır (Aided et al., n.d., 2024; Tregerman et al., 2019; Ye et al., 2017).

Tablo 2. Hareketli Protez Üretiminde Kullanılan Dijital Üretim Teknikleri (İşler Kaya et al., 2025)

Ana Üretim Yöntemi	Alt Üretim Tekniği
Eksiltmeli Üretim (Subtractive Manufacturing)	Kopya-Frezeleme (Kopya Milleme) Yöntemi
	Kıvılcım (spark) Erozyon (Electrical Discharge Machining, EDM) Yöntemi
Eklemeli Üretim (Additive Manufacturing)	Stereolitografi (SLA)
	Malzeme Püskürtme (Material Jetting)
	Eriyik Biriktirme Modelleme (FDM)
	Sıvı Kristal İşleme (LCD)
	Selektif Lazer Sinterleme (SLS)
	Selektif Lazer Eritme (SLM)

2.2.1. Stereolitografi

Stereolitografi (SLA), diş hekimliğinde kullanılan ilk eklemeli üretim teknolojilerinden biridir. Bu yöntemde fotopolimerize olabilen sıvı reçineler, ultraviyole lazer ışını yardımıyla katman katman sertleştirilerek üç boyutlu yapı elde edilmektedir. Üretim platformu her katmandan sonra belirli bir mesafe hareket etmekte ve yeni reçine tabakası üzerine lazer uygulanarak üretim tamamlanmaktadır (Tregerman et al., 2019).

SLA teknolojisi yüksek çözünürlük ve hassasiyet sağlaması nedeniyle dental modellerin, cerrahi rehberlerin, geçici restorasyonların ve dökülebilir rezin iskelet modellerinin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hareketli bölümlü protez üretiminde ise çoğunlukla metal döküm için kullanılacak rezin modellerin hazırlanmasında tercih edilmektedir. Elde edilen modeller geleneksel kayıp mum tekniğine benzer şekilde revetman içerisine alınarak metal döküm işlemine tabi tutulmaktadır (Lee et al., 2017; Tregerman et al., 2019).

SLA teknolojisinin en önemli avantajları yüksek yüzey kalitesi, hassas detay üretimi ve karmaşık geometrilerin başarıyla oluşturulabilmesidir. Bununla birlikte kullanılan reçinelerin maliyeti, üretim sonrasında gerekli olan temizleme ve post-polimerizasyon işlemleri ile materyallerin mekanik özelliklerinin sınırlı olması yöntemin dezavantajları arasında gösterilmektedir (Tregerman et al., 2019).

2.2.2. Dijital Işık İşleme

Dijital ışık işleme (Digital Light Processing) (DLP) teknolojisi stereolitografi sistemlerine benzer çalışma prensibine sahip olmakla birlikte lazer ışını yerine dijital projektör kullanmaktadır. Bu yöntemde her katman tek bir ışık yansıması ile polimerize edildiğinden üretim süresi stereolitografi sistemlerine göre daha kısa olabilmektedir. DLP sistemlerinde tüm katmanın aynı anda sertleştirilmesi üretim verimliliğini artırmakta ve seri üretim açısından avantaj sağlamaktadır. Ancak kullanılan fotopolimer reçinelerin uzun dönem mekanik dayanıklılığının sınırlı olması ve üretim sonrası işlemlerin gerekliliği yöntem açısından bazı kısıtlamalar oluşturmaktadır (Tregerman et al., 2019).

DLP teknolojisi dental modeller, geçici restorasyonlar, hareketli protez kaideleri ve dökülebilir rezin kalıpların üretiminde kullanılmaktadır. Özellikle hareketli protez laboratuvarlarında üretim hızının yüksek olması nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. (Y. Chen et al., 2025; Deswal, 2025; Tregerman et al., 2019).

2.2.3. Eriyik Biriktirme

Füzyon biriktirme modelleme (Fused Deposition Modeling) (FDM), termoplastik filamentlerin kontrollü şekilde eritilip katmanlar halinde biriktirilmesi esasına dayanan eklemeli üretim yöntemlerinden biridir. Üretim sırasında termoplastik materyal ısıtılmış ekstrüzyon ünitesi aracılığıyla

eritilmekte ve bilgisayar ortamında oluşturulan tasarım doğrultusunda katman katman uygulanmaktadır. Katmanların üst üste eklenmesiyle üç boyutlu yapı elde edilmektedir (Ye et al., 2017).

FDM sistemleri diğer eklemeli üretim teknolojilerine kıyasla daha ekonomik olmaları nedeniyle eğitim amaçlı modellerin, teşhis modellerinin ve bazı prototip çalışmaların hazırlanmasında kullanılmaktadır. Ancak üretim hassasiyetinin stereolitografi ve lazer tabanlı sistemlere göre daha düşük olması, yüzey pürüzlülüğünün fazla olması ve ince detayların üretiminde yetersiz kalabilmesi nedeniyle hareketli bölümlü protez iskeletlerinin doğrudan üretiminde yaygın kullanım alanı bulamamıştır (Atılğan et al., 2024; Ye et al., 2017).

2.2.4. Selektif Lazer Sinterleme

Selektif lazer sinterleme (Selective Laser Sintering) (SLS) teknolojisi, toz halindeki materyallerin yüksek enerjili lazer ışını kullanılarak katmanlar halinde birleştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemde üretim platformu üzerine yayılan ince toz tabakası belirlenen bölgelerde lazer etkisiyle sinterlenmekte, ardından yeni bir toz tabakası serilmektedir. Her katmanın tamamlanmasının ardından yeni bir toz tabakası uygulanmakta ve işlem tekrarlanarak üç boyutlu yapı oluşturulmaktadır. (H. Chen et al., 2019; Ye et al., 2017).

SLS teknolojisi özellikle polimer ve seramik esaslı materyallerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Karmaşık geometrilerin üretilebilmesi, materyal kaybının düşük olması ve destek yapılarının gerekmemesi yöntemin önemli avantajları arasında yer almaktadır. Bununla birlikte elde edilen yapıların yüzey pürüzlülüğünün nispeten yüksek olması ve bazı durumlarda ek yüzey işlemlerinin gerekli olması dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Diş hekimliğinde SLS teknolojisi tanı modelleri, cerrahi rehberler, geçici restorasyonlar ve bazı

hareketli protez bileşenlerinin üretiminde kullanılmaktadır (Jeong & Ark., 2023; Soltanzadeh et al., 2019; Ye et al., 2017).

2.2.5. Selektif Lazer Eritme

Selektif lazer eritme (Selective Laser Melting (SLM), günümüzde hareketli bölümlü protezlerin dijital üretiminde en yaygın kullanılan eklemeli üretim yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde metal alaşım tozları yüksek enerjili lazer ışını yardımıyla tamamen eritilerek katmanlar halinde birleştirilmektedir. Böylece geleneksel döküm işlemlerine ihtiyaç duyulmadan nihai metal iskelet altyapı doğrudan üretilmektedir (Bajunaid et al., 2019; Soltanzadeh et al., 2019).

SLM teknolojisinin en önemli avantajlarından biri üretim aşamalarının az olmasıdır. Geleneksel yöntemde ölçü alma, model elde edilmesi, duplikasyon, refrakter model hazırlığı, mum modelaj ve döküm gibi çok sayıda laboratuvar aşaması bulunurken, SLM sistemlerinde dijital tasarım sonrasında doğrudan metal üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Yüksek yatırım maliyeti, üretim sırasında özel ekipman gereksinimi ve üretim sonrasında destek yapılarının uzaklaştırılması ise sistemin dezavantajlarından. Ayrıca lazer parametreleri, katman kalınlığı ve toz özellikleri gibi üretim değişkenleri nihai ürünün kalitesini doğrudan etkileyebilmektedir (Bajunaid et al., 2019; Williams et al., 2006; Ye et al., 2017).

SLM teknolojisinde üretim süreci, dijital modelin yazılım ortamında katmanlara ayrılması ile başlamaktadır. Üretim platformuna yayılan metal toz tabakası lazer ışını tarafından seçici olarak eritilmekte ve katılaştırılmaktadır. Her katmanın tamamlanmasının ardından yeni bir toz tabakası serilmekte ve işlem tasarım tamamlanıncaya kadar tekrarlanmaktadır. Bu süreç sonucunda yüksek yoğunlukta ve

karmaşık geometrilere sahip metal yapılar elde edilebilmektedir. Bu sistemin en büyük avantajı ise Cp-Titanyum, Ti-6Al-4V ve Co-Cr gibi metal alaşımlarında oldukça gözenekli yapılar oluşturma kabiliyetidir (İşler Kaya et al., 2025; Soltanzadeh et al., 2019).

2.2.6. Sıvı Kristal İşleme

Sıvı Kristal İşleme (LCD), DLP ve LCD tabanlı üç boyutlu baskı teknolojileri benzer çalışma prensibine sahip olmakla birlikte temel farklılık ışığın reçine yüzeyine iletilme biçiminden kaynaklanmaktadır. LCD sistemlerde ışık kaynağının yönlendirilmesi için yüksek çözünürlüklü sıvı kristal ekranlar kullanılmakta ve her piksel bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Bu özellik baskı sürecinde daha yüksek ayrıntı düzeyi ve hassasiyet elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Buna karşılık DLP teknolojisinde görüntü bir projektör aracılığıyla oluşturulmakta olup, katmanların tek seferde sertleştirilebilmesi sayesinde üretim süresi genellikle daha kısa olmaktadır. Bu nedenle LCD sistemler yüksek çözünürlük avantajı sunarken DLP sistemleri baskı hızı açısından daha avantajlı kabul edilmektedir (Atılğan et al., 2024).

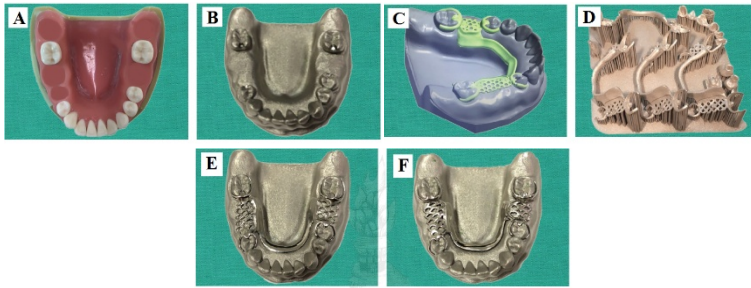
3. DİJİTAL PARALELOMETRE ANALİZİ VE SANAL BLOKAJ

Hareketli bölümlü protez tasarımının en önemli aşamalarından biri paralelometre analiz işlemidir. Geleneksel yöntemde bu işlem fiziksel paralelometre kullanılarak gerçekleştirilirken dijital iş akışında analiz işlemi yazılım ortamında yapılmaktadır. Dijital analiz sayesinde giriş yolu belirlenebilmekte, retansiyon alanları ölçülebilmekte ve istenmeyen retantif bölgeleri sanal olarak bloke edilebilmektedir (Eggbeer et al., 2005; Lee et al., 2017).

Dijital analiz sistemleri klasik yöntemlere göre daha objektif sonuçlar sunabilmektedir. Yazılım tarafından belirlenen giriş yolu farklı açılardan değerlendirilebilmekte ve retantif alanlar renk kodlarıyla görüntülenebilmektedir. Böylece kroşe uçlarının konumlandırılması, rehber yüzeylerin oluşturulması ve blokaj işlemleri daha hassas şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Holban et al., 2025; İşler Kaya et al., 2025).

4. METAL İSKELETLERİN DİJİTAL ÜRETİM PROSEDÜRLERİ

Doğrudan metal üretiminde tasarım verileri STL formatında üretim cihazına aktarılmakta ve metal tozları lazer enerjisi yardımıyla eritilerek iskelet oluşturulmaktadır. Üretim tamamlandıktan sonra destek yapıları uzaklaştırılmakta, yüzey düzeltmeleri yapılmakta ve son polisaj işlemleri gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşım özellikle karmaşık kroşe sistemleri ve ince bağlantı elemanlarının üretiminde yüksek doğruluk sağlamaktadır (Şekil 1) (Conceição et al., 2021; Singh et al., 2024).



Şekil 1. Hareketli bölümlü protezlerde dijital iş akışı (Bajunaid et al., 2019)

A: Destek dişlerde oklüzal dayanak yuvalarının hazırlanması. **B:** Tüm hareketli bölümlü protez iskeletlerinin uyumunun değerlendirilmesinde kullanılan kobalt-krom referans model. **C:** Hareketli bölümlü protez iskelet altyapılarının sanal analiz ve tasarım işlemleri. **D:** Kobalt-krom tozu ve hızlı prototipleme cihazı kullanılarak üretilen nihai iskelet altyapılar. **E:** Geleneksel kayıp mum tekniği (CLW) ile üretilen hareketli bölümlü protez iskeletinin referans model üzerindeki görünümü. **F:** Seçatif lazer eritme (SLM) yöntemi ile üretilen hareketli bölümlü protez iskeletinin referans model üzerindeki görünümü.

5. HAREKETLİ BÖLÜMLÜ PROTEZLERİN ÜRETİMİNDE DİJİTAL VE KONVANSİYONEL YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

RPD uzun dönem başarısında, protez altyapısı ile destek dişler ve yumuşak dokular arasındaki uyum büyük önem taşımaktadır. İskelet altyapısının destek dişlere tam olarak adapte olmaması, oklüzal kuvvetlerin dengesiz dağılımına, retansiyon kaybına, hasta konforunun azalmasına ve zaman içerisinde biyolojik komplikasyonların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Lee et al., 2017; Soltanzadeh et al., 2019).

Dijital yöntemler iş akışını sadeleştirerek birçok ara basamağı ortadan kaldırmaktadır. Ancak tam dijital iş akışı sonucu geniş dişsiz bölgelerde sabit anatomik referans noktalarının yetersiz olması ve hareketli mukozanın taranması sırasında oluşabilecek sapmalar nedeniyle ağız içi tarayıcılarla elde edilen dijital ölçülerin doğruluğu azalabilmektedir. Bu durum dijital modellerde boyutsal hatalara neden olarak hareketli bölümlü protez altyapılarının uyumunu olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle geniş dişsiz alanların bulunduğu olgularda konvansiyonel ölçü yöntemleri ile dijital tekniklerin birlikte kullanıldığı hibrit iş akışları önerilmektedir. Günümüzde birçok klinikte hibrit yaklaşım uygulanmakta, geleneksel ölçü teknikleri ile elde edilen modeller dijital ortama aktarılarak tasarım ve üretim işlemleri dijital sistemlerle gerçekleştirilmektedir (Atılgan et al., 2024; Baradee & Spies, 2025; Petre et al., 2026).

Dijital üretim tekniklerinin gelişmesiyle birlikte adaptasyonunun değerlendirilmesinde yeni yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel çalışmalarda silikon replikalar veya kesit analizleri tercih edilirken günümüzde STL verilerinin üst üste çakıştırılması ve renk haritalama yöntemleri

yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler sayesinde iskelet altyapı ile referans model arasındaki sapmalar üç boyutlu olarak değerlendirilebilmekte ve belirli bölgelerdeki uyumsuzluklar ayrıntılı şekilde analiz edilebilmektedir (Negm et al., 2019; Soltanzadeh et al., 2019).

Conceição ve ark. (2025) tarafından yürütülen klinik çalışmada doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS) yöntemi ile üretilen kobalt-krom RPD iskeletleri ile geleneksel kayıp mum tekniği kullanılarak üretilen iskeletler karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, iki üretim yöntemi arasında genel klinik kabul edilebilirlik ve uyum doğruluğu açısından anlamlı farklılık bulunmadığını göstermiştir. Bununla birlikte DMLS yöntemi ile üretilen iskeletlerde laboratuvar tekrarlarının ortadan kalktığı ve resiprokal kol bölgelerinde daha iyi uyum elde edildiği bildirilmiştir. (Conceição et al., 2025).

Dijital yaklaşımlarda PEEK'in yanı sıra yüksek performanslı polimerler ve fiberle güçlendirilmiş kompozit materyaller de kullanılabilmektedir. Bu materyaller arasında Trinia (Bicon LLC, Boston, MA, ABD) ve Trilor (Bioloren S.r.l., Sesto Fiorentino, Floransa, İtalya) gibi materyaller öne çıkmaktadır. Ancak söz konusu materyaller daha çok implant destekli hibrit protezler ve sabit restorasyon altyapılarında tercih edilmekte olup hareketli bölümlü protez iskeletlerinde kullanımları sınırlıdır.(Alfaer et al., 2023; Cevik et al., n.d.,2022)

6. PEEK MATERYALİ VE YENİ NESİL DİJİTAL YAKLAŞIMLAR

Kobalt-krom alaşımlarının yüksek sertlikleri, metalik görünüm oluşturmaları, galvanik reaksiyonlara neden olabilmeleri ve bazı bireylerde alerjik reaksiyon oluşturmaları alternatif materyal arayışlarını hızlandırmıştır.

Bu doğrultuda günümüzde polietereeterketon (PEEK) esaslı yüksek performanslı polimerler dikkat çekmeye başlamıştır.(Negm et al., 2019)

PEEK materyali yüksek biyouyumluluk göstermesi, düşük ağırlığa sahip olması, kimyasal stabilitesi ve estetik avantajları nedeniyle hareketli bölümlü protezlerde alternatif bir iskelet materyali olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca elastik modülünün kemik dokusuna daha yakın olması nedeniyle destek dişler üzerinde oluşan streslerin azaltılmasına katkı sağlayabileceği bildirilmektedir (Negm et al., 2019).

Negm ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada doğrudan frezeleme yöntemiyle üretilen PEEK iskeletler ile geleneksel işlemlerin birlikte kullanıldığı dolaylı CAD/CAM yöntemi karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçları, doğrudan frezelenen iskeletlerin genel doğruluk ve gerçeklik değerlerinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte her iki yöntemin de klinik açıdan kabul edilebilir uyum değerleri sunduğu belirtilmiştir (Negm et al., 2019).

PEEK kroşeler klinik olarak kabul edilebilir retansiyon değerleri sağlayabilse de kobalt-krom kroşelere kıyasla daha düşük retansiyon kuvvetleri göstermektedir. Materyalin yüksek esnekliği nedeniyle uzun dönem kullanım ve termomekanik yaşlandırma sonrasında retansiyon kuvvetlerinde azalma meydana gelebilmekte, bu durum protezin stabilitesi ve adaptasyonunu etkileyebilmektedir.(Mayinger et al., 2021)

7. SONUÇ

Dijital teknolojiler hareketli bölümlü protezlerin tasarım ve üretim süreçlerinde önemli değişikliklere yol açmıştır. Dijital üretim teknolojileri sayesinde daha standart, tekrarlanabilir, işlem basamaklarının azaldığı ve öngörülebilir üretim süreçleri

mümkün hale gelmiştir. Güncel çalışmalar dijital yöntemlerle üretilen hareketli bölümlü protezlerin klinik açıdan kabul edilebilir uyum doğruluğuna sahip olduğunu göstermektedir.

Mevcut veriler dijital sistemlerin tüm konvansiyonel yöntemlerin yerini tamamen aldığını göstermemektedir. Özellikle geniş dişsiz alanların kaydı, yüksek ekipman maliyetleri ve üretim teknolojilerine özgü sınırlamalar nedeniyle geleneksel ve dijital yöntemlerin birlikte kullanıldığı hibrit yaklaşımlar günümüzde yaygınlığını korumaktadır. Gelecekte tarama teknolojilerinin gelişmesi, yapay zekâ destekli tasarım sistemlerinin yaygınlaşması ve yeni biyomateryallerin kullanıma girmesiyle dijital hareketli bölümlü protez üretiminin daha da gelişmesi beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Aided, C., Manufacturing, D. A., Aral, M., Kesk, Y., Kelimeler, A., Yard, B., Di, P., & Ad, T. (n.d.). *Diş Hekimliğinde 3 Boyutlu - Eklemeli Üretim : Derleme 3D - Additive Manufacturing in Dentistry : A Review*. 1–11.
- Alfaer, A. S., Aljabri, Y. S., Alameer, A. S., Abu Illah, M. J., Thubab, H. A., Thubab, A. Y., Naseeb, W. R., Ageel, S. E., Juraybi, A. K., Marwahi, W. M., & Khawaji, A. H. (2023). Applications, benefits, and limitations of fiber-reinforced composites in fixed prosthodontics. *International Journal of Community Medicine and Public Health*, 10(11), 4462–4467. <https://doi.org/10.18203/2394-6040.ijcmph20233495>
- Alghauli, M. A., Almutairi, S., Aljohani, R., Aljohani, W., & Alqutaibi, A. Y. (2025). Advanced Subtractive Manufacturing, Micromilling, and Laser Micromachinery in Dentistry: Current Applications, Limitations, and Future Perspectives. *Biomaterials Connect*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.69709/biomatc.2025.138037>
- Alqutaibi, A. Y., Al-Gabri, R. S., Al-Zaghruri, A. S., Farghal, A. E., Alnazzawi, A. A., & Alghauli, M. A. (2025). Clinical performance, accuracy, and physical-mechanical properties of 3D-printed removable partial denture metal frameworks compared with conventionally and partially digitally produced frameworks: A systematic review. *Journal of Prosthodontic Research*, 70(2), 206–223. https://doi.org/10.2186/jpr.jpr_d_25_00028
- Arnold, C., Hey, J., Schweyen, R., & Setz, J. M. (2018). Accuracy of CAD-CAM-fabricated removable partial dentures. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(4), 586–592. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.04.017>

- Atılğan, B., Ünalın, F., & Bural Alan, C. (2024). ıstanbul kent university journal of health sciences derleme / review hareketli protezlerde dijital üretim tekniklerinin güncel durumu current status of digital production techniques in removable prostheses. *J Health Sciences*, 3(2), 20–27.
- Azeez, Gheyath Munadhil; Çekiç Nagaş, I. (2017). Protetik diş hekimliğinde kullanılan metal üretim tekniklerinde güncel gelişmeler. *International Archives of Dental Sciences*, 38(3), 128–139. <https://doi.org/10.5505/eudfd.2017.35220>
- Bajunaid, S. O., Altwaim, B., Alhassan, M., & Alammari, R. (2019). The fit accuracy of removable partial denture metal frameworks using conventional and 3D printed techniques: An in vitro study. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 20(4), 476–481. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2542>
- Baradee, A. A., & Spies, B. C. (2025). Are Conventional Impressions Obsolete? A Narrative Review on the Applicability of Intraoral Scanners. *Australian Dental Journal*, 70(S1), S93–S104. <https://doi.org/10.1111/adj.70015>
- Cevik, P., Schimmel, M., & Yilmaz, B. (n.d.). New generation CAD-CAM materials for implant-supported definitive frameworks fabricated by using subtractive technologies. *BioMed Research International*, 2022, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2022/3074182>
- Chen, H., Li, H., Zhao, Y., Zhang, X., Wang, Y., & Lyu, P. (2019). Adaptation of removable partial denture frameworks fabricated by selective laser melting. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 122(3), 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.11.010>
- Chen, Y., Li, X., Zhang, H., & Ark., V. (2025). Application of 3D

- Printing Technology in Dentistry: A Review. *Polymers*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/polym17070886>
- Conceição, P. R., Franco, M., Alves, N., Portugal, J., & Neves, C. B. (2021). Fit accuracy of removable partial denture metal frameworks produced by CAD-CAM - a clinical study. *Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentaria e Cirurgia Maxilofacial*, 62(4), 194–200. <https://doi.org/10.24873/J.RPEMD.2021.12.851>
- Conceição, P. R., Franco, M., Alves, N., Portugal, J., & Neves, C. B. (2025). Fit accuracy assessment of removable partial denture frameworks produced by direct metal laser sintering – a clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 29(5). <https://doi.org/10.1007/s00784-025-06336-y>
- Deswal, A. (2025). Applications of 3D Printing in Dentistry: Present and Future Perspectives. *International Journal of Technology, Health and Sustainability*, 1(1), 31–36.
- Eggbeer, D., Bibb, R., & Williams, R. (2005). The computer-aided design and rapid prototyping fabrication of removable partial denture frameworks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 219(3), 195–202. <https://doi.org/10.1243/095441105X9372>
- Grymak, A., Badarneh, A., Ma, S., & Choi, J. J. E. (2023). Effect of various printing parameters on the accuracy (trueness and precision) of 3D-printed partial denture framework. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 140(October 2022), 105688. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2023.105688>
- Holban, C. C., Mocanu, R. C., Vasilache, A., Ghergic, D. L., & Moldovan, M. (2025). Three-Dimensional Printing and CAD/CAM Milling in Prosthodontics: A Scoping

Review. *Journal of Functional Biomaterials*, 16(7), 394.
<https://doi.org/10.3390/jfb16070394>

- İşler Kaya, S., Begüm Türker Hareketli Bölümlü Protezlerde Dijital İş Akışı Uygulamaları, Ş., & Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, M. (2025). Hareketli Bölümlü Protezlerde Dijital İş Akışı Uygulamaları. *European Journal of Research in Dentistry*, 9(2), 134–141.
- Jeong, M., & Ark., V. (2023). Materials and Applications of 3D Printing Technology in Dentistry. *Materials*.
- Lee, J. W., Park, J. M., Park, E. J., Heo, S. J., Koak, J. Y., & Kim, S. K. (2017). Accuracy of a digital removable partial denture fabricated by casting a rapid prototyped pattern: A clinical study. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 118(4), 468–474. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.12.007>
- Maryod, W. H. (2019). Retention of Removable Partial Denture Fabricated by Digital Designing and 3D Printing Technology - A Cross Over Study. *Advances in Dentistry & Oral Health*, 10(3), 101–106. <https://doi.org/10.19080/adoh.2019.10.555789>
- Mayinger, F., Micovic, D., Schleich, A., Roos, M., Eichberger, M., & Stawarczyk, B. (2021). Retention force of polyetheretherketone and cobalt-chrome-molybdenum removable dental prosthesis clasps after artificial aging. *Clinical Oral Investigations*, 25, 3141–3149. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03642-5>
- Moussaoui, H., El Mesbahi, N., & Andoh, A. (2018). Manual copy-milling, an alternative to CAD/CAM method for zirconia restorations. *International Journal of Current Research*, 10(11), 75766–75769.

- Negm, E. E., Aboutaleb, F. A., & Alam-Eldein, A. M. (2019). Virtual Evaluation of the Accuracy of Fit and Trueness in Maxillary Poly(etheretherketone) Removable Partial Denture Frameworks Fabricated by Direct and Indirect CAD/CAM Techniques. *Journal of Prosthodontics*, 28(7), 804–810. <https://doi.org/10.1111/jopr.13075>
- Petre, A. E., Drafta, S., & Macris, A. (2026). Chairside digital workflow to obtain an optimized 3D model of a partially edentulous mandible. *Frontiers in Oral Health*, 6(January), 1–12. <https://doi.org/10.3389/froh.2025.1712600>
- Sikri, A., & Sikri, J. (2024). *Cronicon Spark Erosion in Implantology: Editorial*. 11, 1–3.
- Singh, R., Mistry, G., Choudhary, M., Parab, S., Ansari, R., & Sachdev, S. S. (2024). An update on CAD-CAM usage for removable partial denture fabrication: A systematic review. *Bioinformation*, 20(12), 1794–1799. <https://doi.org/10.6026/9732063002001794>
- Soltanzadeh, P., Suprono, M. S., Kattadiyil, M. T., Goodacre, C., & Gregorius, W. (2019). An In Vitro Investigation of Accuracy and Fit of Conventional and CAD/CAM Removable Partial Denture Frameworks. *Journal of Prosthodontics*, 28(5), 547–555. <https://doi.org/10.1111/jopr.12997>
- Tregerman, I., Renne, W., Kelly, A., & Wilson, D. (2019). Evaluation of removable partial denture frameworks fabricated using 3 different techniques. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 122(4), 390–395. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.10.013>
- Williams, R. J., Bibb, R., Eggbeer, D., & Collis, J. (2006). Use of CAD/CAM technology to fabricate a removable partial

- denture framework. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 96(2), 96–99.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2006.05.029>
- Wu, C. J. (2025). CAD/CAM Technology in Dentistry: A Comparative Analysis of Milling and 3D Printing Techniques. *MedScien*, 1(3).
<https://doi.org/10.61173/4bserq28>
- Ye, H., Ning, J., Li, M., Niu, L., Yang, J., Sun, Y., & Zhou, Y. (2017). Preliminary Clinical Application of Removable Partial Denture Frameworks Fabricated Using Computer-Aided Design and Rapid Prototyping Techniques. *The International Journal of Prosthodontics*, 30(4), 348–353.
<https://doi.org/10.11607/ijp.5270>
- Yoon, M. A., Sun, M., Jeon, J., Kang, Y. J., & Hwan Kim, J. (2025). Comparison of the accuracy of removable partial denture frameworks fabricated using conventional and digital impressions: a clinical study. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 17(5), 269–278.
<https://doi.org/10.4047/jap.2025.17.5.269>

PROTETİK DİŞ TEDAVİSİ ALANINDA
AKADEMİK TARTIŞMALAR

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com