



Yeni Üretim Teknolojileriyle Birlikte Daha Ulaşılabilir

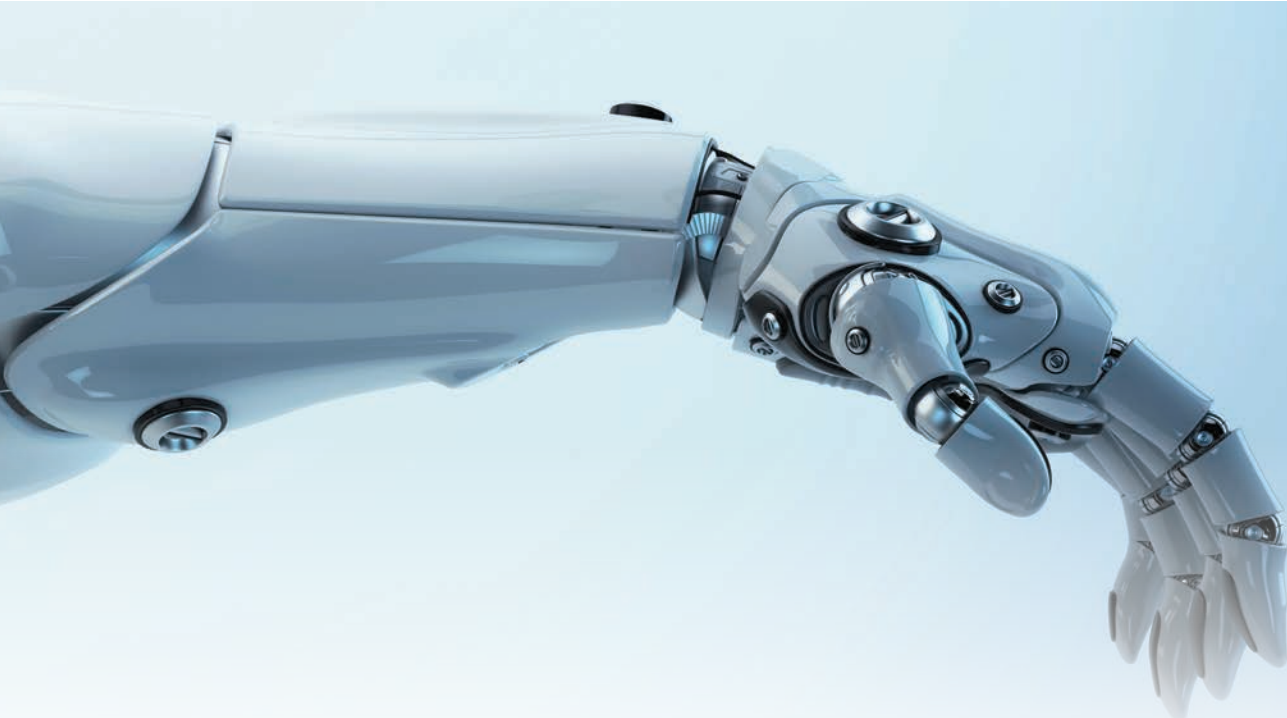
Protezler ve Ortezler

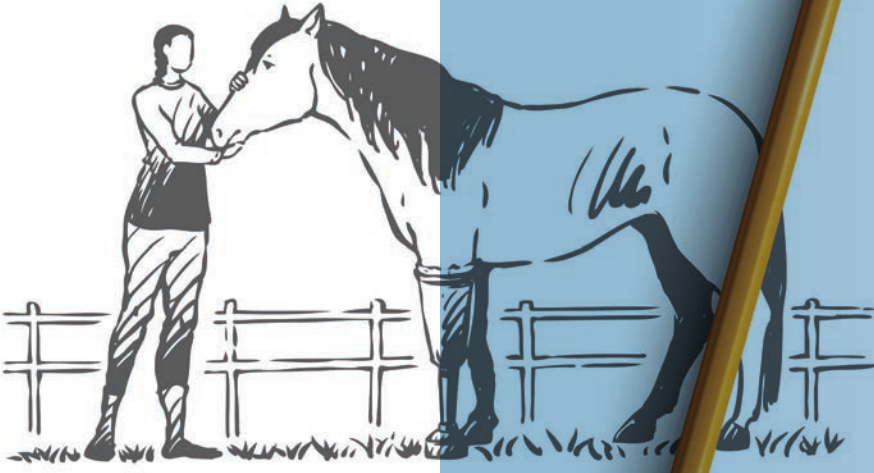




Dr. Tuncay Baydemir [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Dünya Sağlık Örgütüne göre protez ve ortezler, fiziksel engelli veya işlevsel kısıtlılıkları olan kişilere yardımcı olmak, işlevselliğini iyileştirmek; sağlıklı, üretken ve bağımsız bir hayat yaşama potansiyellerini artırmak için harici olarak uygulanan araç ve ürünler olarak tanımlanıyor. Pek çok canlı belli dönemlerde çok çeşitli sebeplerden dolayı protez veya ortez gibi yardımcı araçlara ihtiyaç duyabiliyor. Geliştirilen yeni malzemeler ve üretim teknolojileri bu ihtiyacın en iyi düzeyde karşılanmasına yardımcı oluyor.





Protezler ve ortezler, engelli kişilerin ve giderek artan kullanımlarıyla diğer canlıların biyomekanik ihtiyaçlarını karşılamalarına yardımcı olan yaygın yardımcı araçlara deniyor. “Protezler” eksik vücut uzuvlarını taklit edecek ve onların yerini dolduracak şekilde yapıyor. Uzun bir bölümünün ya da tamamının yerini alan protezler normal hareket kabiliyetine geri dönmeye yardımcı oluyor.

İşlevlerini kısmen veya tamamen yitirmiş uzuvların performanslarını ve işlevlerini artırmak, etkilenen bölgeleri stabilize etmek, bu bölgelere koruma sağlamak ve zayıf kasları desteklemek ve iyileşme sürecini hızlandırmak amacıyla vücuda takılan tıbbi araçlara ise “ortez” deniyor. Bu tür araçlar kontrollü bir aralıkta korumalı hareketi destekleyerek olası

yaralanmaların önüne geçiyor veya ağrı şiddetini azaltıyor. Ayrıca denge ve ayakta durma kabiliyetini stabilize ederek hareket kabiliyetinin artırılmasını sağlıyor.

Protezler ve ortezler, kullanıcının hareket kabiliyetini iyileştirmek, ağrıyı hafifletmek, doğal görünüm sağlamak, eklemleri korumak, deformasyonları önlemek/düzeltilmek ve ikincil bozuklukları önlemek gibi amaçlar taşıyor. Çoğu protez ve ortez uzun süreli kullanıma sahip olabileceği gibi bazı durumlarda sınırlı süreli kullanım yeterli olabiliyor. Bu yardımcı tıbbi cihazlar aynı zamanda görme, işitme, iletişim, biliş ve çevreyi iyileştirmeye yönelik ürünleri de içeriyor. Tekerlekli sandalyeler, koltuk değnekleri ve yürüme çerçeveleri gibi araçlar da bunların arasında sayılıyor.

Küresel ölçekte yaklaşık 35-40 milyon kişi protez ve ortez kullanmaya ihtiyaç duyuyor. Dünya nüfusunun artması ve yaşlı nüfus oranının yükselmesi, çeşitli hastalıklar, bu hastalıklara bağlı yüksek amputasyon oranları, kazalar, çatışmalar, savaşlar gibi çok çeşitli nedenlerle bu sayı sürekli artıyor.

Protez veya ortez kullanımı, resmi sağlık bakımı, destek hizmetleri, uzun süreli bakım ve bakıcılara olan ihtiyacı azaltmakta önemli rol oynuyor. Protezlere ve ortezlere erişimi kısıtlı kişilerin hastalık ve sakatlık olasılığı artıyor. Ayrıca bu kişiler toplumdan dışlanabiliyorlar. Dünya Sağlık Örgütü, tam bir protez ve ortez hizmetinin protez ve ortezin takılması, kullanıcı eğitimi, rehabilitasyon, toplum desteği ve bakım/onarım aşamalarını içeren bütüncül bir yaklaşımla verilmesi gerektiğini belirtiyor.

Birleşmiş Milletlerin Engelli Kişilerin Haklarına İlişkin Sözleşmesi (CRPD) ile tüm taraf ülkeler engelli kişilere mümkün olan en büyük bağımsızlığı sağlayacak etkili tedbirler almayı, protezler ve ortezler de dâhil olmak üzere yardımcı araç ve teknolojilerin herkes tarafından ulaşılabilir olmasını sağlamayı taahhüt ediyor. 2006 yılından beri 170’den fazla ülke bu sözleşmeyi imzaladı.

Dünya Sağlık Örgütü, yüksek maliyetler, farkındalık, ulaşılabilirlik, eğitimli personel, politika ve finansman eksikliği gibi nedenlerle ihti-

yaç sahibi her on kişiden sadece birinin protezler ve ortezler dâhil olmak üzere yardımcı ürünlere erişebildiğini belirtiyor. Bu nedenle, yüksek kaliteli ve uygun fiyatlı yardımcı ürünlere erişimi iyileştirmek için “Yardımcı Teknolojiler Küresel İşbirliği (GATE)” girişimini koordine ediyor. Dünya Sağlık Örgütü 2014-2021 Eylem Planı ile üye ülkelerden protez ve ortezler dâhil olmak üzere yardımcı ürünlerin ihtiyacı olan herkes için erişilebilir olması yönünde finansman ve tedarik politikaları geliştirmelerini talep ediyor.

Tarihin Tozlu Sayfalarından Modern Teknolojilere...

Heredot’un MÖ 484 yılına ait kayıtlarına göre ilk amputasyon bir Pers askerinin kendi ayağını amputesiyle gerçekleşti ve bu askere ağaçtan yapılmış bir protez takıldı. Savaşlar amputasyon cerrahisi kadar protez gelişiminde de önemli rol oynadı. Yıllar içerisinde tıp alanındaki gelişmeler amputasyon işlemlerinin başarısını artırdı ve gelişmiş malzemelerle üretilen protezler ihtiyaçlara daha iyi yanıt vermeye başladı.

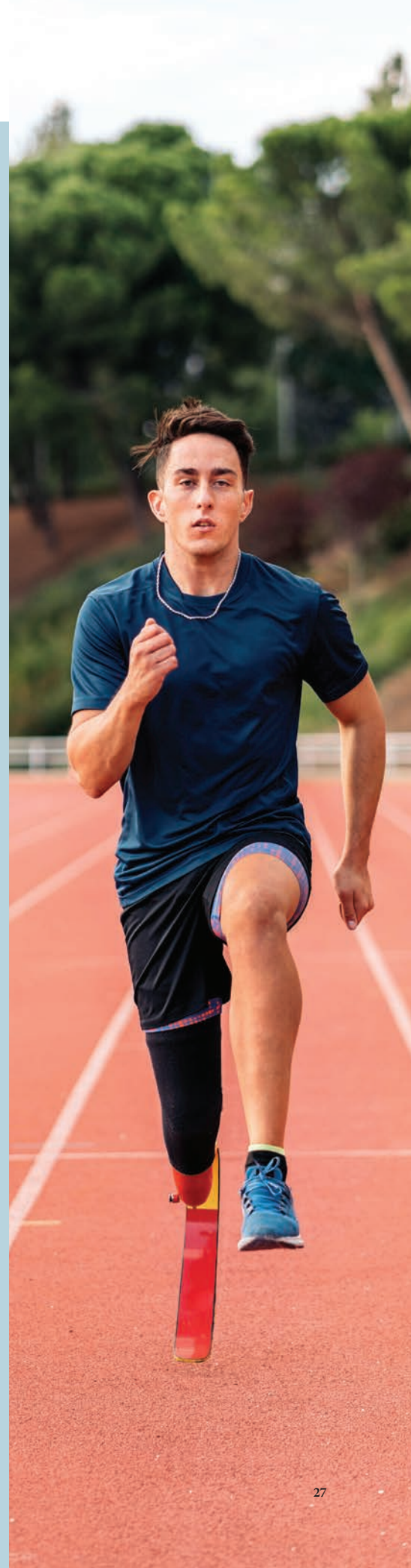
Yapılan arkeolojik kazılar sonucunda ilk ortez örneklerinin ise MÖ 2750’li yıllarda kırık ekstremitelere uygulandığı biliniyor. İlk kapalı redüksiyon ve ortez kullanımı ile ilgi-

li bilgiler ise Hipokrat tarafından verildi (MÖ 370). Skolyoz ve kifoz gibi omurga hastalıkları için ilk korse uygulaması ise MÖ 131-201 yıllarında Galen tarafından gerçekleştirildi. Eskiden kullanılan ortezlerin prensipleri genel anlamda günümüzdekilerle örtüşse de eski ortezlerin ağır malzemelerden yapıldığı ve estetikten uzak olduğu söylenebilir.

Yıllar içerisinde protez ve ortezlerin tıp bilimindeki yerinin anlaşılması hız kazandı. Savaşlar sonucunda bu alanda hızlı gelişmeler oldu ve gelişen teknolojilerle birlikte hafif malzemelerden estetik protezler ve ortezler üreilmeye başlandı.

Protez ve ortez alanında standartlaşmanın sağlanması için 1970 yılında Uluslararası Protez Ortez Derneğinin (ISPO) kurulmasıyla ilk önemli adım atıldı. Danimarka’da kurulan dernek pek çok üye ülkenin katılımıyla gerçekleştirilen seminer, toplantı, sempozyum ve kurslarla alanın bilimsel gelişimine büyük katkılar sağlamaya devam ediyor.

Gelişen teknoloji ile birlikte kişilerin gereksinimleri doğrultusunda anatomik, fizyolojik ve mekanik prensiplere bağlı olarak protez ve ortez üretimleri gerçekleştiriliyor. Bu konuda yardıma muhtaç kişilerin yaşama katılmasındaki başarı oranının tıbbi müdahalelere olduğu kadar protez-ortez uygulama aşaması ile buna eşlik eden rehabilitasyon sürecine de bağlı olduğu kabul ediliyor.





Kimler Kullanıyor?

Protez ve ortez kullanıcıları hayatının herhangi bir döneminde fiziksel engellere ve işlevsel sınırlamalara sahip olan kişiler olarak sayılabilir. Bulaşıcı olan ve olmayan hastalıklar, düşme, çarpma, iş kazaları, doğal afetler, savaş ve çatışma kaynaklı yaralanmalar, uzuvlardaki bozulmalar ve doğuştan gelen anomaliler gibi pek çok nedenle protez ve ortez kullanımını gerekli olabiliyor.

Çoğu kullanıcı uzuv amputasyonu, felç, omurilik yaralanması veya yapısal deformasyonlar gibi uzun süreli sağlık sorunları yaşayabiliyor. Bu kişiler protezler ve ortezleri de içeren ya-

şam boyu bakıma ihtiyaç duyuyor. Yaralanma, kemik kırılması, erken skolyoz gibi durumlarda iyileşmeyi desteklemek için orta ve kısa vadeli kullanımlar çoğu zaman yeterli olabiliyor.

Uzun süreli protez ve ortez kullanımı durumunda kullanıcının fiziksel ve fizyolojik değişimine, aktiflik düzeyine ve çevre koşullarına bağlı olarak bu araçların belirli aralıklarla onarım, ayarlama ve modifikasyon işlemlerinin yapılmasına ya da yenileriyle değiştirilmesine gerek duyuluyor. Örnek vermek gerekirse çocuklukta protez kullanmaya başlayan birinin yaşamı boyunca geçirdiği fiziksel ve fizyolojik değişikliklere bağlı olarak mevcut protezinin bakım ve onarım gereksinimlerinin yanında yaklaşık 25-30 kez protez değiştirmesi gerekebilir.

Dünya nüfusunun yaklaşık %0,5'i protez ve ortez hizmetlerine ihtiyaç duyuyor. Ortetik, yani ortezle ilgili tedavi hizmetlerinin sayısının protez tedavilerinin iki ila dört katı arasında olduğu tahmin ediliyor. Önümüzdeki yıllarda hem dünya nüfusunun hem de ortalama yaşam süresinin artmasına bağlı olarak protez ve ortez ihtiyacının da artacağı öngörülüyor. Kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, diyabet ve felç gibi bulaşıcı olmayan durumların bu artışta önemli bir paya sahip olacağı ve yaşadığımız yüzyılın ortalarına doğru protez ve ortez kullanımına ihtiyaç duyanların oranının dünya nüfusunun %1'ine yaklaşacağı tahmin ediliyor.

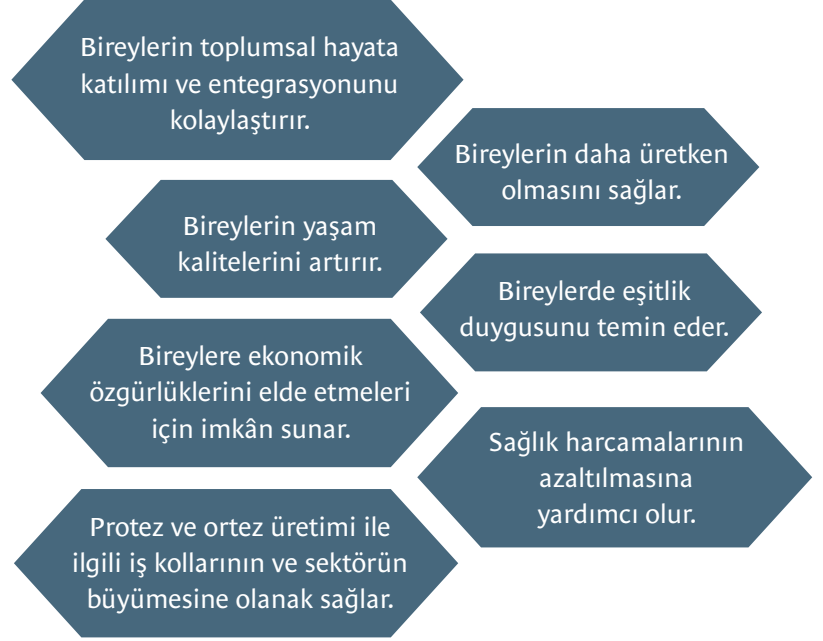
Standartlar

Dünya Sağlık Örgütü'nün "Protez ve Ortez Standartları" belgesi, üye ülkelerin vatandaşlarına yüksek kaliteli ve çözüm odaklı protez ve ortez hizmetleri erişimi sağlanması için kılavuz niteliği taşıyor. Kimsenin bu hizmetlerden mahrum bırakılmamasının amaçlandığı bu standartlar ile protez ve ortez ihtiyacı duyan bireylerin topluma entegrasyonunun eksiksiz olarak sağlanması hedefleniyor.

Standartların etkin olarak uygulanması için pek çok paydaş grubunun katkısı gerekiyor. Bunlar arasında;

- ▶ Protez-ortez kullanıcıları, kullanıcıların aileleri ve bakım görevlileri,
 - ▶ Kullanıcıların oluşturduğu grup ve topluluklar,
 - ▶ Sivil toplum kuruluşları,
 - ▶ Protez ve ortez hizmeti sağlayan kamu kurumları ve özel kurumlar,
 - ▶ Sağlık hizmeti personeli (rehabilitasyon hizmetleri sağlayanlar da dâhil),
 - ▶ Eğitim kurumları ve akademik kurumlar,
 - ▶ Profesyonel kuruluşlar,
 - ▶ Malzeme üretici ve tedarikçileri,
 - ▶ Uluslararası kuruluşlar ve iş birlikleri,
 - ▶ Finansman ve fonlama kuruluşları
- sayılabilir.

Protez ve ortez hizmet ve tedavilerinin faydaları



Protez ve Ortez Çeşitleri

Protezler vücutta tamamen veya kısmen eksik olan uzvun yerini alan araçlardır. Uzvun kesik bölgelerinin seviyesine göre farklı isimlendirilen protezler genel olarak dirsek üstü, dirsek altı, diz üstü ve diz altı protezler olarak sınıflandırılıyor. Gerekli durumlarda bu protezlerin kombinasyonları da üretilebiliyor.

Vücutta organ kaybının olmadığı ancak organın anatomik, fizyolojik ve mekanik yapısında bozukluğun olduğu durumlarda söz konusu bölgeyi düzeltmek, desteklemek, hareketsiz konuma getirmek veya fonksiyon kazandırmak amacıyla

kullanılan medikal ürünler olan ortezlerin ise kişiye özel olarak tasarlanmaları gerekiyor.

Ortezler kullanıldıkları vücut bölgesine göre üst ekstremitede (uzuv), alt ekstremitede ve spinal (gövde) ortezleri olarak sınıflandırılıyor. Üst ekstremitede ortezleri kol, ön kol, el, el bileği ve parmak; alt ekstremitede ortezleri ise diz, kalça, ayak, ayak bileği ve bacak tedavisinde kullanılıyorlar. Omurga, boyun ve gövdenin tedavisi için kullanılan spinal ortezler ise kullanıldıkları bölgenin hareketini kısmen veya tamamen engellemeye yarıyorlar. Bazı durumlarda ortezlerin kombinasyonları da kullanılabilir. El-bilek ortezleri ile diz-ayak bileği-ayak ortezleri bu türlere örnektir.

Kullanılan ortezler dinamik veya statik yapıda olabilir. Statik ortezler uygulandığı eklem hareketini kısıtlamak için kullanılırken dinamik ortezler ise uygulama bölgesinin işlevselliğini artırmaya yarıyor. Çeşitli türdeki ortezler felç, serebral palsi, romatizmal hastalıklar ve deformitelerin engellenmesi gibi durumlarda yaygın olarak kullanılıyor.

Ne Tür Malzemeler Kullanılıyor?

İlkel protezlerin üretiminde genellikle ahşap, metal, kumaş, bal mumu ve reçineler gibi doğal malzemeler yaygın olarak kullanıldı. Binlerce yıl boyunca kullanılan malzemeler çok fazla çeşitlilik göstermedi. Metaller şekil verilip kalıplanabilmeleri nedeniyle 19. yüzyıl boyunca temel malzeme olarak tercih edildi. 20. yüzyılda ise eşsiz özellikleriyle birlikte sentetik polimerler protez ve ortez üretimi için birincil malzeme konumuna yükseldiler.

Daha yakın zamanlarda, üç boyutlu baskı teknolojilerindeki yenilikler istenilen mekanik ve görsel özelliklerin sağlanmasını kolaylaştırdı. Bu yeniliklerin büyük kısmı üç boyutlu yazıcı üreticilerinden kaynaklandı. Günümüzde alanın önde gelen şirketleri istenilen özelliklere sahip son ürünleri üç boyutlu baskı teknolojisi ile yüzden fazla farklı polimer malzeme kullanarak gerçekleştirebiliyor.



Protez ve Orteler Nasıl Olmalı?

1) Kullanıcı Dostu

Protez ve orteler yürüyüş rehabilitasyonunda önemli rol oynuyor. Cerrahi müdahaleler, fizik tedavi ve psikolojik destek faktörleri yürüyüş rehabilitasyonunu etkilese de kişiye özel tasarlanmış, yüksek kaliteli, rahat ve kullanıcı dostu protez ve orteler önemini korumaya devam ediyor.

Bu tür araçların yüksek mukavemet ve yük taşıma kapasitesine sahip olacak şekilde üretilmesi, konfor ve güvenlik sağlaması ve günlük aktivitelerde kullanıcıya destek olması gerekiyor. Kullanıcının farklı koşullardaki kullanımına bağlı olarak fiziksel ve işlevsel ihtiyaçlarının doğru analizi ile üretilen araçlar rahatlık ve azami hareketlilik sağlamaya yardımcı oluyor.

2) Uyarlanabilir ve Sağlam

Protez ve orteler her türlü arazi koşullarında yüksek performans sağlayacak şekilde tasarlanıp üretilmesi gerekiyor. Araçlar derli toplu bir yapıda olmalı ve vücudun parçası hissiyatı uyandırmalıdır. Ayrıca zorlu ve değişen hava koşullarına dayanıklı olmaları ve uzun süreler boyunca kusursuz bir şekilde işlev görmeleri protez ve ortelerinin sahip olması gereken özellikler arasında gösteriliyor.

3) Dayanıklı, Bakım ve Tamiri Kolay

Kullanıcılar dayanıklı ve estetik ürünleri tercih ediyor. Bunun yanında basit tasarlanmış protez ve ortelerinin bakımı ve tamiri de oldukça kolay bir şekilde gerçekleştirilebiliyor. Ayrıca bu araçların kolay temizlenebilmesi de aranan bir özellik olarak karşımıza çıkıyor.

4) Uygun Maliyetli ve Ulaşılabilir

Kişiye ihtiyaç duyduğu uygun protez ve ortezin takılıp takılmayacağına dair belki de en önemli faktör bu araçların maliyetidir. Kişilerin yaşam kalitelerinin yükselmesi uygun protez ve ortezlere düşük maliyetlerle sahip olabilmelerine bağlı. Ayrıca bakım ve onarım masraflarının da asgari seviyede olması gerekiyor.

Bu konuda yapılan çalışmalar en iyi protez ve ortezlerin herkes için erişilebilir olmasının yolunu açıyor. Teknolojideki ve malzeme bilimlerindeki gelişmeler sayesinde yüksek kalitede araçlar oldukça kısa sürelerde ve uygun maliyetlerde üretilebiliyor. Ulusal ve uluslararası politikalar ve iş birliği de bu sürecin hızlanmasına yardımcı oluyor.

Geleneksel Yöntemlerden Üç Boyutlu Baskı Teknolojileri ve Katmanlı Üretime Geçiş

Protez ve ortezler yüzyıllar boyunca çeşitli yöntem ve malzemelerle üretildi. Önceleri daha kolay ulaşılabilir malzemeler ve el işçiliğiyle üretilen bu araçlar günümüzde kişiye tam uyumlu olacak şekilde gelişmiş teknolojiler ve teknolojik malzemelerle üretilebiliyor. Gelişmiş üretim devriminin etkisi ile birlikte döküm ve el işçiliğini içeren, yoğun emek gerektiren geleneksel yaklaşımların yerini üç bo-

yutlu tarama, bilgisayar modelleme ve çok malzemeli üç boyutlu baskı teknolojileri alıyor.

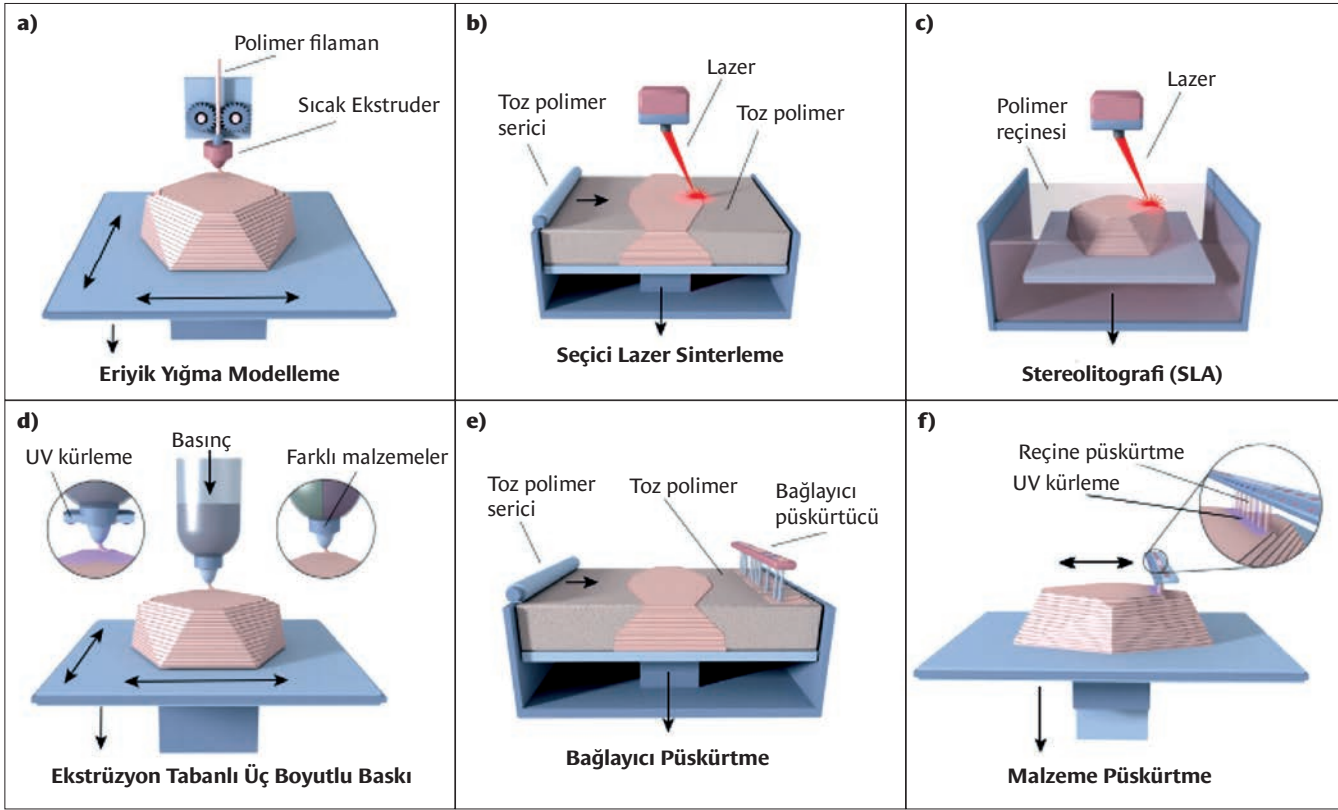
Geleneksel üretim sürecinde protez veya ortez ihtiyacı olan hastanın prostetist (protez uzmanı) veya ortotist (ortez uzmanı) tarafından ilgili ölçümleri alınıyor.

Vücudun ilgili kısmının etrafına alçı bandajlar sarılarak döküm bir kalıp elde ediliyor. Elde edilen bu negatif döküm kalıptan alçı dökülerek pozitif bir kalıp elde ediliyor. Daha sonra, protez veya orteze son hâlini vermek üzere, termoplastik (genellikle polipropilen veya polietilen) levhalar, soğumaya bırakılan ve ardından doğru şekle getirilen pozitif alçı kalıp üzerinde ısıtılıp vakumla şekillendiriliyor.

İnsan vücudunun hassas ve taşıyıcı bölgelerindeki yüklemeye bağlı olarak alçı kalıbın modifikasyonu yapılabiliyor veya kalıba ilave bir bileşen eklenebiliyor. Daha sonra gerekli aksesuarlar ve kayışlar ekleniyor. Tüm bu işlemlerden sonra protez veya ortez kişiye uygulanıyor. Ürünün rahatlığını ve işlevselliğini tam olarak sağlamak için çoğu durumda daha fazla ayar yapılması gerekebiliyor.

Geleneksel prosedür genel olarak daha fazla malzeme kullanılmasına neden oluyor. Ayrıca üretim daha uzun sürelerde ve daha yüksek işçilik maliyetleriyle gerçekleşiyor. Üstelik son ürünlerin kalitesi ve kişiye uygunluğu prostetist veya ortotistin beceri ve deneyimine bağlı oluyor.





Powell, S. K. ve ark., "Past, Present, an Future of Soft-Tissue Prosthetics: Advanced Polymers and Advanced Manufacturing", *Advanced Materials*, 32, 2001122, 2020.

Yaygın olarak kullanılan üç boyutlu baskı teknolojileriyle nesnelere katmanlar hâlinde oluşturuluyor.

- a) "Eriyik Yığıma Modelleme" ile polimer filaman ısıtmış bir bölgeden geçerken akışkan bir hâl alıyor ve baskının gerçekleşeceği bölgede katmanlar hâlinde biriktirilerek ürün elde ediliyor.
- b) "Seçici Lazer Sinterleme" yönteminde polimer tozu serilmiş tabakanın seçili bölgelerinde lazer kullanılarak istenilen katman oluşturuluyor. Ardından yeni bir toz tabakası seriliyor ve işlem son ürün elde edilinceye kadar tekrarlanıyor.
- c) "Stereolitografi" ile haznedeki polimer reçinesini zeminde polimerleştirmek için UV lazer ya da iki boyutlu ışık uygulanıyor. Bir katman polimerleştirdikten sonra zemin aşağı iniyor ve aynı işlemler tekrarlanarak son ürün katmanlar hâlinde üretiliyor.
- d) "Ekstrüzyon Tabanlı Üç Boyutlu Baskı" ile sıvı polimer bir uç vasıtasıyla istenilen bölgeye püskürtülüyor. Polimer bu işlem sonucunda katılaşır ve katman katman işlenerek son ürün elde ediliyor. Bazı uygulamalarda UV lambalar kullanılarak polimerin sertleşmesi sağlanıyor.
- e) "Bağlayıcı Püskürtme" yönteminde toz katmanının üzerine bağlayıcı madde püskürtülüyor ve yeni toz katmanı serilerek işlem tekrarlanıyor.
- f) "Malzeme Püskürtme" tekniğinde yazıcı başlıktan polimer reçine püskürtülüyor ve UV lambaları kullanılarak malzemenin sertleşmesi sağlanıyor. Yerleşik katman alçaltılarak işlem tekrarlanıyor. Daha gelişmiş uygulamalarda farklı malzemeleri bir arada kullanarak da üretim yapılabilir.

Dolayısıyla geleneksel yöntemlerle tekrarlanabilir sonuçlar üretmek son derece zor.

1970'lerde, protez ve ortez araçlara kauçuk esaslı renkli plastik film uygulanarak görünümlerinin ve sağlanan konforun iyileştirilmesine olanak tanıyan yeni teknikler geliştirildi.

1980'lerin başında ise üç boyutlu baskı teknolojileri olarak da bilinen katmanlı üretim teknolojilerinin yükselişi, UV lazer ile foto po-

limer reçinesinden üç boyutlu modellerin üretilmesi ile başladı. İlerleyen yıllarda, eriyik yığıma modelleme (FDM), lamine nesne imalatı (LOM), seçici lazer sinterleme (SLS), üç boyutlu baskılama ve polyjet teknolojisi gibi diğer katmanlı üretim teknolojileri de geliştirildi.

Üç boyutlu baskı teknolojilerindeki gelişmeler protez ve ortez üretiminde yeni bir dönemin başlama-suna yol açtı. Yeni tıbbi araçlar üretmek için çok çeşitli olanaklar su-

nan üç boyutlu baskı teknikleri ile bilgisayarda tasarlanan üç boyutlu şekil oldukça kısa sürelerde ürün hâline getirilebiliyor.

Üç boyutlu baskı teknolojileri zaman ve maliyetler açısından da tasarruf sağlıyor. Bu yöntemler sayesinde kişinin bireysel özellikleri ön plana çıkarılarak oldukça karmaşık yapıdaki üretimler gerçekleştirilebiliyor. Ayrıca mevcut ürünlerin bire bir kopyalarının oldukça hassas ölçülerde elde edilmesi mümkün oluyor.

Yüksek teknoloji malzeme çeşitliliği bilgisayar destekli üretim kalitesiyle birleşince kişinin bu ürünleri hiçbir rahatsızlık hissetmeden kullanmasına olanak sağlıyor.

Çeşitli malzemeler kullanılmasına izin veren üç boyutlu baskı ile herhangi bir üretim yöntemi ile tek seferde yapılması mümkün olmayan karmaşık şekilli ürünler saatler içerisinde kolaylıkla üretilebiliyor. Ayrıca birden fazla parçadan oluşan ve birbirine bağlı hareketli yapıların da bu teknikle üretimi mümkün.

Üç boyutlu baskı ile protez ve ortezler kişiye özel üretilebiliyor ve bu üretimler geleneksel yöntemlere göre daha düşük maliyette gerçekleştiriliyor. Protez ve ortez kullanan kişilerin yaşamları boyunca fiziksel gelişimlerine ya da kullanılan malzemelerin zamanla aşınma ve bozulmalarına bağlı olarak onlarca kez protez veya ortezlerini değiştirme gereksinimi duyması üretim kolaylığını ve maliyetlerini daha önemli hâle getiriyor.

Katmanlı üretim teknolojileri ile protez ve ortez üretilmesi için ilk önce lazer, optik veya tomografik tara-

malarla elde edilen üç boyutlu modeller bilgisayar ortamına aktarılıyor. Bilgisayar yazılımları kullanılarak aracın dijital modeli son hâline getiriliyor. Daha sonra uygun üretim tekniği ve baskı malzemeleri ile standartlara göre üç boyutlu baskısı gerçekleştirilen protez veya ortez son kontrol ve tamamlayıcı işlemlere tabi tutuluyor. Son olarak kullanıcı üzerinde son ayarlamalar ve düzeltmeler gerçekleştiriliyor.

Yeni Nesil Protezler ve Özel Tasarımlar

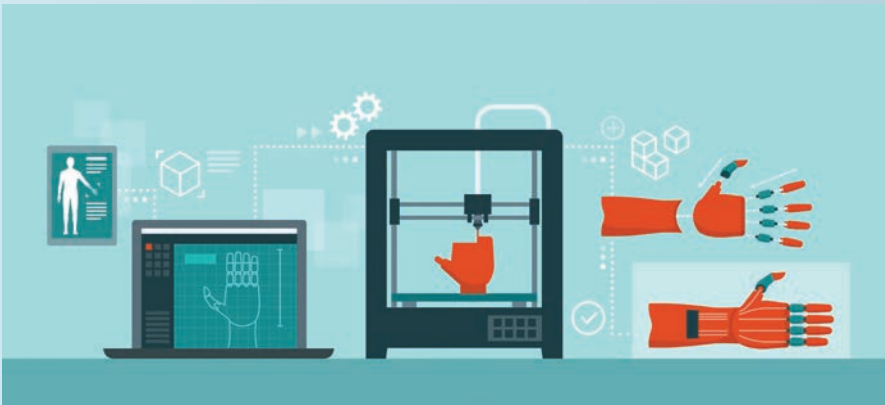
Genel kullanımda bulunan protezler temel olarak üç farklı kategoride sınıflandırılabilir: mekanik olarak pasif araçlar, mikroişlemci kontrollü pasif cihazlar ve harici güç kaynağıyla çalışan cihazlar. Geleneksel pasif protezlerle kıyaslandığında işlemcili protezler daha az enerjiyle daha fazla hareket özgürlüğü ve daha konforlu hareket koşulları sağlıyor.



Güç kaynağı ve/veya mikroişlemci yardımıyla çalışan aktif protez sistemleri ise toplanan fizyolojik sinyaller aracılığıyla kullanıcılar tarafından kontrol ediliyor. Üst ekstremitte protezlerinde en yaygın sinyal toplama yöntemi olarak kasların ve onları kontrol eden sinirlerin yanı sıra duyu (his) ve otomatik sinir liflerinin işlevlerini de algılayan elektromiyografi (EMG) kullanılıyor. Mikroişlemci kontrollü alt ekstremitte protezleri ise sensörler aracılığıyla toplanan kuvvet ve denge verilerini kullanıyor.

EMG, güç beslemeli üst ekstremitte protez sistemlerini kontrol etmek için kullanılan standart yöntem. Kullanıcı, kaslarını uyararak socketler içindeki sensörler sayesinde protezi kontrol edebiliyor. Mikroişlemci kontrollü protezler alt ekstremitte bölgesi için çok yaygın olarak kullanılsa da son zamanlarda bu protezlerde de EMG kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılıyor.

Son yıllarda yüksek teknoloji protezleri sezgisel olarak kontrol etmek veya minimum bilişsel yük ile kullanım modları arasında geçiş yapmak için büyük çabalar har-



candı. Bu amaçla daha basit kontrol mekanizmalarından örüntü tanıma, makine öğrenmesi ve beyin makine arayüzleri gibi teknolojiler ön plana çıkmaya başladı.

Örüntü algılama sistemleri, kullanıcının kas aktivasyon modellerini öğrenerek doğal el hareket ve pozisyonlarını taklit ediyor. Olumlu klinik testler olmasına rağmen, bu sistemlerde sezgisel kontrolün iyileştirilmesi ve kalibrasyona ihtiyaç duymayan algoritmalar geliştirilmesi için çalışmalar yapılması gerekiyor.

Çift yönlü beyin makine arayüzleri beyindeki nöral (sinirsel) aktivite sayesinde protezleri kontrol etmeyi sağlıyor ve beyne duyuşal geri bildirimde bulunuyor. Bu alanda pek çok başarılı çalışma gerçekleştirildi. Örneğin, felçli bir hasta motor korteksi nöral aktivitesi ile protez uzuvlarını hareket ettirebildi. Beyin makine arayüzleri kullanılarak daha karmaşık yapıdaki protezlerin nöral aktivite ile kontrol edilebilmesi hem protez kullanıcıları için hem de hareket kabiliyetini kaybetmiş kişiler için son derece önemli. Gelinecek nokta heyecan verici olmasına rağmen

araştırmacıların beyin makine arayüzleri ile ilgili daha fazla çalışması gerekiyor.

Tüm bu ilerlemeler üst ekstremité protezleri ile kavrama ve tutma hareketlerinin daha iyi bir şekilde gerçekleştirilmesini ve alt ekstremité protezleri ile kişinin niyetine bağlı olarak oturma, ayakta durma, yürüme ve merdiven çıkma gibi farklı görevler arasındaki geçişlerinin kolaylaşmasını sağladı. Ayrıca teknolojiye ilerlemeler sayesinde ıslak ve jel elektrotlardan kuru elektrotlara geçiş, uzvun kalan kısmından sinyal toplama işlemini daha güvenilir ve kolay bir hâle getirdi.

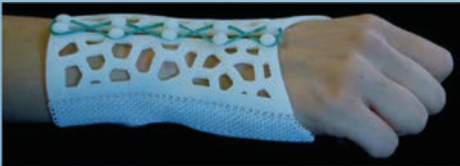
Diğer yandan, protezlerin benimsenmesini ve kullanımını kısıtlayan önemli faktörlerden birisi protez socketinin konforlu olup olmaması. Protezle uzuv arasında bağlantı işlevi gören socketlerin konforunu ve performansını artırmak için üç boyutlu baskı teknolojisi ile üretimler yapılıyor. Böylece protezin kişiye tam uyumlu hâle getirilmesi ve kullanımda herhangi bir rahatsızlığa sebep olmaması sağlanıyor. Ayrıca kişiye özel olacak şekilde üretilen bu kısımlara

sensörler yerleştiriliyor ve bu sensörler sayesinde uzvun kalan bölümünün sağlık durumu izlenebiliyor. Sıcaklık, basınç ve metabolit sensörleri sayesinde, kişi uzuv sağlığı ile ilgili sorun olduğunda bilgilendiriliyor.

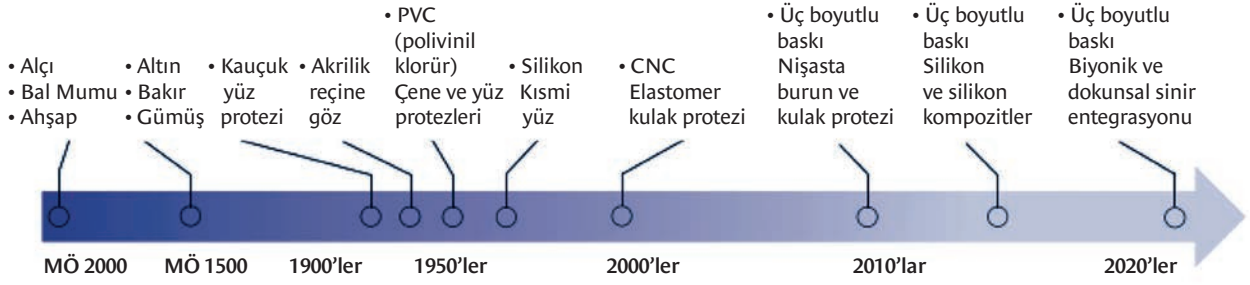
Bunun yanında, çeşitli spor dallarında veya özel faaliyetlerde kullanılmak üzere özel tasarım protez, ortez ve/veya aksesuarlar da tasarlanıp üretiliyor. Atletizm sporlarında kullanılmak üzere geliştirilen özel ayak-bacak protezleri, hockey paten adaptörleri ve ağırlık kaldırmak için tasarlanan protez aksesuarları bunlara örnek olarak gösterilebilir.

Yumuşak Doku Protezleri

Yeni üretim yaklaşımları, kulak, burun, yüz, göz, göğüs ve el gibi bölgelerde estetik restorasyon gereken durumlarda yumuşak doku protezleri üretmek için de kullanılıyor. Klinik araştırmalardan uygulama aşamasına geçerken bu gelişmiş üretim teknikleri ile üretilen



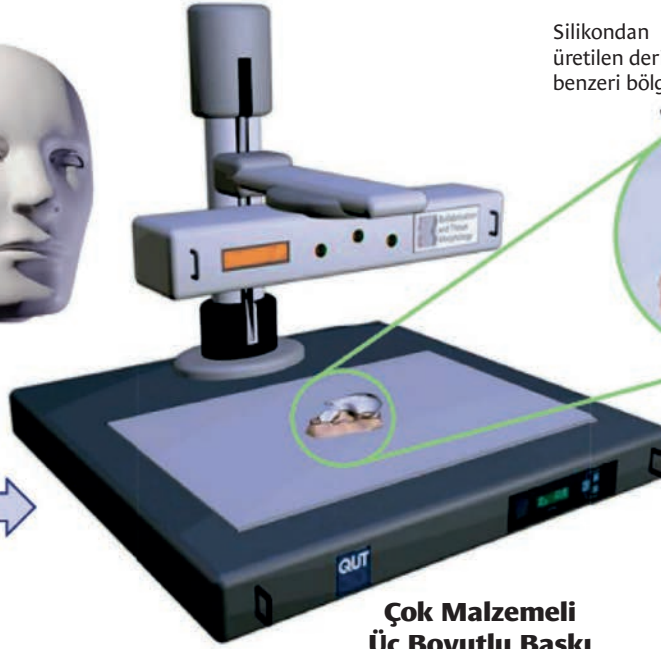
Protez yapımında kullanılan malzemelerin tarihsel gelişimi



Üç Boyutlu Tarama



Üç Boyutlu Modelleme



Çok Malzemeli Üç Boyutlu Baskı

Silikondan üretilen deri benzeri bölge
Elastomer kullanılarak üretilen kıkırdak benzeri bölge



Kompozit Protez

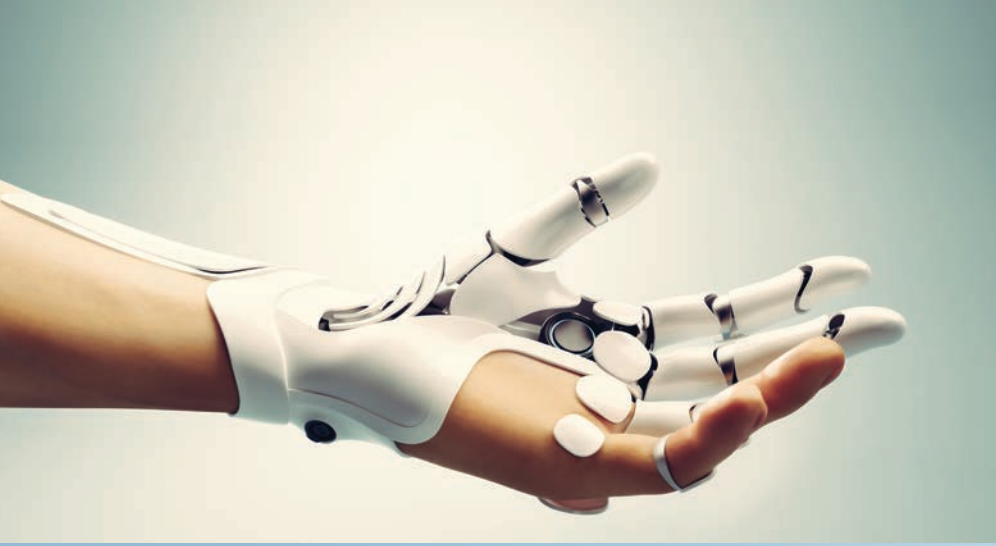
len protezler, doku kaybı ve fiziksel görünüm bozukluğu yaşayan kişilerin yaşam kalitesini iyileştirmek anlamında çok önemli rol oynuyor.

Mısır'da bulunan mumyalarda, çeşitli doğal malzemeler ile göz ve burun gibi çeşitli organların alçılama teknikleriyle yeniden inşa edildiğine rastlanması protez kullanımının en eski kanıtlarından sayılıyor. Zaman içerisinde ahşap, kumaş, bal mumu, reçine ve metal gibi malzemeler ilkel protezler için sıklıkla kullanıldı. Yeni geliştirilen sente-

tik malzemeler, özellikle polimerler, protez yapımında kullanılan malzemelerdeki alışkanlıkları tamamen değiştirdi.

Protez yapımında ilk kullanılan polimer malzemelerden bir tanesi olan PMMA (polimetil metakrilat) zamanının en yaygın kullanılan protez malzemesi oldu ve günümüzde hâlâ yapay göz ve protez altyapılarında kullanılıyor. 20. yüzyılda polimer malzemelerdeki gelişmeler devam etti ve viniller, kopolimerler, plastisoller ve si-

likon gibi birçok yeni polimer çeşidi üretilerek protezlerde kullanıldı. 1900'lerin başında Fredrick Kipping tarafından keşfedilen silikonun protez yapımında ilk kullanımı George W. Barnhart tarafından 1960'da gerçekleştirildi. Günümüzde hâlâ birincil yumuşak doku protez malzemesi olarak kullanılan silikon, yumuşak doku özelliklerine yakın özellikler taşıyor. Kimyasal maddelerle oldukça düşük tepkinirliğe sahip olması ise uzun yıllar boyunca kararlı bir yapıda kalmasını sağlıyor.



Üç boyutlu baskı teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte bu alandaki ihtiyaçlara uygun yeni özel malzeme karışımları geliştirilerek son ürünlerin istenilen dayanıklılık ve görsel özellikleri taşıması sağlandı. Bu gelişmelere üç boyutlu baskı teknolojisi geliştiren ve üreten firmalar da büyük katkılar sağladı. Bu sayede eksik veya hasar görmüş dokunun özelliklerini oldukça iyi şekilde taklit edebilen yumuşak doku protezlerinin hızlı ve kusursuz bir şekilde üretilip kullanılması mümkün hâle geldi.

Üç boyutlu baskı teknolojileri ile protez ve ortezlerdeki tüm bölgelerde sertlik ve mukavemet kontrol edilebiliyor. Böylece destekleme görevi yapacak bölgeler için daha sert, daha fazla konfor istenen diğer bölgeler içinse daha esnek yapıda yardımcı araçlar üretilebiliyor. Bu yöntemlerle üretilen protez ve ortezler çok daha hafif olmalarından dolayı kullanım kolaylığı da sağlıyor. Bilgisayar destekli tasarımlar ve katmanlı imalat ile kişiye özel protez ve ortezler çok hızlı bir şekilde üretilebiliyor. Bir diğer önemli avantaj ise arızalı parçaların yenile-

rini üç boyutlu baskı ile hızlı bir şekilde üretmenin ve proteze/orteze uygulanmanın son derece kolay olması.

Diğer Canlılarda Protez ve Ortez Kullanımı

Protez ve ortezlerin veterinerlikte kullanımı veterinerlik biliminin gelişmesi ile doğru orantılı olarak hızla artıyor. Günümüzde hayvanlarda uzuv kaybı ve uzuv fonksiyon kaybı gibi durumlarda biyomekanik teknolojilerden faydalanma yoluna sıklıkla gidiliyor.

Veterinerlikte protez ve ortez endüstrisi büyük ölçüde insanlar için uygun protez ve ortez geliştirilmesini hedefleyen endüstriye bağlı. Ancak kullanılan malzeme ve üretim teknolojileri büyük oranda benzerlik gösterse de tasarım ve uygulama aşamalarında canlı çeşitlerinin hareket

ve vücut mekanizmaları ile rehabilitasyon süreçlerinin iyi analiz edilmesi şart. Canlılardaki hareket veya işlev bozukluğunun büyük ölçüde giderilmesi için teşhis, uygun araç belirleme, araç üretim/uygulama ve sonrasında rehabilitasyon süreçlerinin doğru bir şekilde yürütülmesi gerekiyor. Tüm bu süreçlerin veteriner kontrolünde gerçekleştirilmesi başarılı sonuçlar alınmasına büyük katkı sağlıyor.

Veterinerlikte Kullanılan Protez ve Ortezler

Son teknoloji veterinerlik sağlık hizmetleri artık protez ve ortez endüstrisini de içeriyor. Geçtiğimiz yüzyıl içerisindeki teknolojik gelişmeler veterinerlikte de önemli ilerlemelere yol açtı. Evcil hayvanların değerinin ve öneminin artması hayvanların sağlık hizmetlerine yapılan yatırımların da büyük ölçüde artmasına yol açtı.



İnsanlarda kullanılan protez ve ortezlerin geliştirilmesine yönelik teknik ve malzemeler veterinerlik protez ve ortezlerinin de temelini oluşturuyor. Ancak hayvanlardaki anatomik yapı çeşitlilikleri ek tasarımlarla birlikte farklı üretim yöntemleri ve bileşenler gerektirebiliyor. Son yıllarda bilgisayar destekli tasarımların üç boyutlu baskı gibi katmanlı üretim teknolojileri sayesinde oldukça hızlı ve ucuz bir şekilde üretilmesi, protez ve ortez konusunda başarılı veterinerlik uygulamalarının sayısının artmasını sağladı.

Diş hekimliği, eklem yenileme, kemoterapi, radyoterapi gibi alanlardaki gelişme ve yeniliklerin veterinerlikte de uygulamalar bulmasına benzer şekilde, uzuv fonksiyon kaybı ya da uzuv kaybı gibi durumlarda da gelişmiş biyomekanik teknolojiler kullanılmaya başlandı. Üretilen teknolojik protez ve ortezler önceden imal edilen el yapımı ve doğaçlama olanlara kıyasla daha üstün özellikler sergiliyor. Bunlar arasında fonksiyonel bozukluklara bağlı ağrı kaynaklarının iyileştirilmesi, daha fazla hareket kabiliyetinin sağlanması, ikincil ağrıların azaltılması, aktif yaşama dönüşün kolaylaştırılması, obezite ve ilişkili hastalıkların azaltılması, yaşam kalitesinin artırılması ve bağımsız hareket edebilmenin sağlanması sayılabilir. Daha önceden mevcut olmayan tüm bu tedavi seçeneklerinin günümüzde sunulabiliyor olması bu konuda sorun yaşayan hayvanların öldürülmesine yol açacak ötanazi kararlarının alınmasının da önüne geçmeyi sağlıyor.



Yardımcı protez ve ortezler nörolojik ya da ortopedik bozuklukları olan hayvanların işlevsel yeteneklerini ve yaşam kalitelerini artırmakta önemli bir role sahip olabiliyor. Hayvanların bağımsız bir şekilde hareket edebilmesi de hayvan sahiplerinin bakım işlerini kolaylaştırıyor.

Ne Tür Uygulamalar Bulunuyor?

Hayvanlarda yaygın olarak kullanılan araçlar arasında botlar, askılar, yürüteçler ve protezler yer alıyor.

Botlar veya patikler, nörolojik sorunları nedeniyle bileklerini kıvrıran ya da ayaklarını çevirdiği için üst yüzeye baskı uygulayarak yü-

rüyen hayvanların ayaklarını korumak için kullanılıyor. Çorap gibi bir örtme görevi gören bu araçlar kayışlarla sabitlenerek ayağın zarar görmesini engelliyor. Ayrıca dış unsurlardan koruma ve kaymayı önleme gibi fonksiyonları da bulunan botlar kolay temizlenebilir ve su geçirmez özellikte üretiliyor. Botların düzgün bir şekilde ve veteriner tarafından önerilen zaman aralıklarında giydirilmesi, zaman zaman çıkarılarak hayvanın deri bakımının gerçekleştirilmesi ve önerilen egzersizlerin yaptırılması gerekiyor.

Çeşitli şekil ve boyutlarda geliştirilen taşıyıcı askılar, hayvanı vücudunun çeşitli bölgelerinden sarak onu ayakta durma pozisyonuna geçirmeye yardımcı oluyor. Askıların kişi tarafından rahat tutulabilecek şekilde tasarlanmış sapları hayvana hareketinde destek olmayı ve

olası kazaları engellemeyi sağlıyor. Yatalak veya tedavi sonrası iyileşme sürecinde olan hayvanlarda yaygın olarak kullanılan bu araçların deriye zarar vermeyecek yapıda üretilmesi ve kolay temizlenebilir olması gerekiyor. Ayrıca hasta hayvanın güvenliği ve konforu için uygun boyut ve türde askı seçmek büyük önem taşıyor.

Hayvanlarda vücudu desteklemek ve yatak yaralarını engellemek amacıyla yürüteçler kullanılabilir. Engelli hayvanlar için iki ya da dört tekerlekli gibi çeşitli formlarda tasarlanabilen yürüteçlere hayvanlar kolaylıkla yerleştirilebilir. Çeşitli arazi koşullarında kullanıma uygun olan bu araçlar tedavi amaçlı egzersiz yaptırılması için de kullanılıyor. Diğer yardımcı araçlarla birlikte kullanılabilirleri yürüteçlerin bir diğer olumlu yönü olarak değerlendiriliyor. Ancak veteriner tavsiyesi ile birlikte kullanım sürelerinin kısa tutulması ve bu süreçte hayvanın sürekli gözetilmesi oluşabilecek kazaları ve uzun süre yürüteç kullanmaya bağlı rahatsızlıkları önlemek için gerekli görülüyor.

Hayvanlarda ortez kullanımına dinlenme, hareketsiz hâle getirme, eklem koruması, kontrol, hareket desteği ve düzeltme amaçlarıyla başvuruluyor. Harekete destek olmak için kullanılan ortezler olduğu gibi, acıyı azaltmak amacıyla hareketi kısıtlayan ya da ameliyattan sonra belli bir bölgeyi koruyan türleri de bulunuyor.

Ortez kullanımında derinin ve altındaki dokuların hassaslığının göz önünde bulundurulması gerekiyor. Özellikle uzun süreli kullanımlarda derinin hava alması sağlanmalı. Hastanın durumundaki değişiklikler sürekli gözlemlenmeli ve buna göre ortezde tedaviye yönelik gerekli değişiklikler yapılmalıdır.

Kedi ve köpeklerdeki amputasyonların büyük çoğunluğu travma ya da tümör kaynaklı olarak gerçekleşiyor. Osteomyelit (kemik iltihabı) gibi kronik enfeksiyonlar ve çalışmayan uzuvdaki sinir hasarları da amputasyon sebebi olabiliyor. Dört ayaklı hayvanların genel olarak üç ayakla yürümeye kolay alışmaları sebebiyle protez kullanımına gerek duyulmayabiliyor. Çift taraflı amputasyon gibi özel durumlarda ise protez kullanılması gerekli görülüyor. Veteriner hekimlikte çok yakın zamana kadar fazla kullanılmayan protezler giderek daha fazla önem kazanıyor. Araştırmacıların bu nedenle hayvanlarda kullanılacak protezler, üretim malzemeleri ve rehabilitasyon süreçleri gibi konular üzerine daha fazla çalışma yapmaları gerekiyor.



Hayvanlar için Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim

Protez ve ortez yapımının kökeni demir ustalarına, marangozlara ve deri zanaatkarlarına dayanıyor. Günümüzde bilgisayar destekli tasarım/modelleme ve yüksek teknoloji üretilen teknikleri/malzemeleri kullanarak kullanıcıya has son ürünler elde edilebiliyor. Üretimler çok hızlı bir şekilde gerçekleştirilebildiği gibi aynı zamanda tekrarlanabilir özellik taşıyor. Biyomekanik hesaplamalar sonucunda amaca uygun protez ve ortezler çeşitli teknolojik malzemeler kullanılarak üretiliyor ve kullanıcının hizmetine sunuluyor.

Genel Değerlendirme

Hayvanlarda kullanılan protez ve ortezlerin biyomekanik olarak uygun ve işlevsel olmaları amaçlanıyor. Bu tür araçların kullanımı olumlu sonuçlar verebileceği gibi yanlış teşhis ve uygulamalar sonucunda zarar verici de olabiliyor ve tedavinin uzamasına yol açabiliyor. Bu nedenle başarılı uygulamalar için veteriner hekimlerce konacak teşhis ve uygulananacak tedavilere sıkı bir şekilde bağlı kalmak gerekiyor. Veteriner hekimlerin hayvan protez ve ortez uygulamaları üzerine tecrübe sahibi olmaları da başarı oranını artırıyor. Uygun protez ve ortez üretimi anatomi, kinematik, kinetik ve biyomekanik bilgiye sahip olmayı gerektiriyor. İdeal uygulamalar için veteriner hekimin tasarım/modelleme ve kalıplama/üretim gibi kritik aşamaları takip etmesi öneriliyor.

Günümüzde üç boyutlu baskı teknolojileri kullanarak protez ve ortezler kolaylıkla üretilebiliyor ve ihtiyaç göre özel tasarlanabilen bu ürünler geleneksel yöntemlerle üretilenlerden daha az maliyetli oluyor. Ayrıca kişinin veya hayvanın kendine has özellikleri dikkate alınarak üretilen protez ve ortezler hastanın vücuduna daha iyi uyum sağlıyor, bu da kullanıcı memnuniyetini sağlamanın yanında kullanıma bağlı oluşabilecek kaza ve hasar risklerini en aza indiriyor. Üç boyutlu baskı teknolojileri ile üretilen protez ve ortezlerle hayvanlara daha iyi bir yaşam şansı vermek mümkün oluyor.

Önceden uygulanan protezler hayvanlara fayda sağlayabildiği gibi zarar da verebiliyordu. Çoğu durumda uygun protezi üretmek ol-

dukça maliyetliydi ve bu nedenle hayvanlar üzerinde fazla uygulama gerçekleştirilmiyordu. Pahalı kalıplar ya da maliyeti yüksek el işçiliği gerektirmeyen üç boyutlu baskı ile sadece evcil hayvanlar için değil, aynı zamanda yabani hayvanlar için de protez ve ortezler hızlı bir şekilde üretilebiliyor. Veterinerlerin iş yükü de doğal olarak azalıyor.

Yüzyıllar boyunca protez ve ortez üretim teknolojilerinde önemli mesafeler katedildi. Günümüzde el işçiliğine dayalı üretimlerin yerini artık daha gelişmiş ve daha teknolojik üretim modelleri alıyor. Tüm bu ilerlemeler çeşitli nedenlerle protez ve ortez kullanması gereken tüm canlıların yaşam kalitesini artırma hedefine daha çok yaklaşmamızı sağlıyor. ■

Kaynaklar

- Chadwell, A., Diment, L. ve ark., "Technology for monitoring everyday prosthesis use: a systematic review", *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 17:93, 2020.
- Keerthana, R. ve ark., "A Review on Prosthetics and Orthotics for Amputees and Disabled", *Journal of Critical Reviews*, Cilt 7, Sayı 15, 2020.
- Barrios-Muriel, J. ve ark., "Advances in Orthotic and Prosthetic Manufacturing: A Technology Review", *Materials*, 13,295, 2020.
- Alsancak, S., "Ortez ve Protez Tarihi", *Ankara Üniversitesi Dikimevi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokul Yıllığı*, Cilt 1, Sayı 1, 2000.
- Kobak, C., Ali, Y. A., Iştan, A., "Türkiye'de Ortez Protez, Kullanımı ve Üretim Aşamaları", *SETSCI Conference Proceedings*, 4(1), 411-415, 2019.
- Golovin, M. A. ve ark., "Use of 3D Printing in Orthopedic Prosthetics Industry", *Biomedical Engineering*, cilt 52, sayı 2, 2018.
- Powell, S. K. ve ark., "Past, Present, an Future of Soft-Tissue Prosthetics: Advanced Polymers and Advanced Manufacturing", *Advanced Materials*, 32, 2001122, 2020.
- Tuteski, O., Kocov, A., "The Application of Additive Manufacturing in Developing 3D Printed Prosthetics and Orthotic Devices", *International Scientific Journal "Industry 4.0"*, Yıl 5, Sayı 1, 23-26, 2020.
- Chen, R.K., ve ark., "Additive Manufacturing of custom orthoses and prosthesis - A review", *Additive Manufacturing*, 12, 77-89, 2016.
- Wang, Y., Tan, Q. ve ark., "A Review of the Application of Additive Manufacturing in Prosthetic and Orthotic Clinics from a Biomedical Perspective", *Engineering*, 6, 1258-1266, 2020.
- Liacouras, P.C. ve ark., "Using Computed tomography and 3D printing to construct custom prosthetics attachments and devices", *3D Printing in Medicine*, 3:8, 2017.
- Wolf, E.J. ve ark., "Advanced technologies for intuitive control and sensation of prosthetics", *Biomedical Engineering Letters*, 10:119-128, 2020.
- Adamson, C. ve ark., "Assistive Devices, Orthotics and Prosthetics", *Veterinary Clinics Small Animal Practice*, 35, 1441-1451, 2005.
- Mich, P.M., Kaufmann, M., (2018) 'Veterinary Orthotics and Prosthetics', in Zinc, C. ve Van Dyke, J.B. (ed.), *Canine Sports and Rehabilitation*, Second Edition, John Wiley&Sons, 265-293.
- WHO standards for prosthetics and orthotics. Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.