

# ALT VE ÜST EKSTREMİTE PROTEZLERİNDE ÖLÇÜ ALMA VE ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Öğr. Gör. Yük. Müh. Haydar ALTINKAYNAK\*

## Ölçü Alma

Ayak bileği, diz, kalça, dirsek, omuz eklemleri gibi eklemler zincirinden oluşan protezler bir yandan statik açıdan emniyetli olması ve diğer yandan yürüme, tutma ve kavrama işlevlerinin dinamiğine izin vermesi ya da desteklemesi bakımından her protez “üç boyutlu” yapı kriterlerine dayandırılıp mekanik yasalara uygun olarak yapılandırılır.

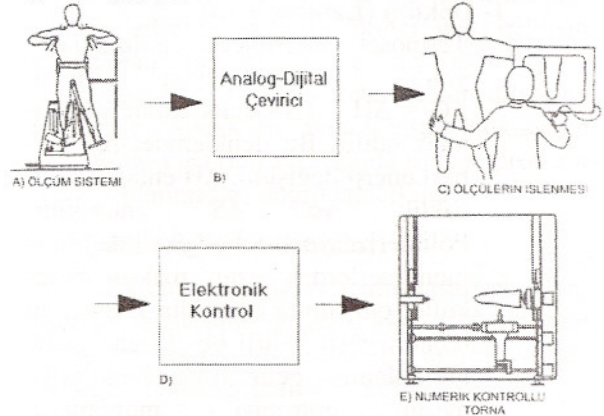
Kuvvetlerin ve hareketlerin doğrudan ve kayba uğramadan iletimi, protezin başarısı ve hastanın fonksiyonel rehabilitasyonu için önemli bir şarttır. Hasta ile protez arasında bağlantı elemanı olan soket mevcut kumanda hareketlerini doğrudan ve kayıpsız olarak iletmek zorundadır. Soketin güdükteki tutunması ne denli sıkı, sağlam ve kayıpsız ise bu amaca o kadar yaklaşılır. Ekstremitte protezlerinin soketleri hangi yöntemle üretilirse üretilsin kaliteyi belirleyici olan güdükten alınan ölçümün güdükle olan bütünlük derecesidir.

**Ölçü:** Bilinen bir değerle bilinmeyen bir değer (uzunluk, hacim, ağırlık v.b.) karşılaştırılması olarak tanımlanır. Protez ölçüleri anma ölçüleri denen (en, boy, yükseklik gibi) sonradan telafisi olan ölçüler ve soket oluşturmak için güdükten alınan negatif hacim ölçüsü gibi telafisi olmayan ölçüler olarak iki grupta toplanabilir. Güdükten alınan ölçülerin tarihi gelişimine bakıldığında görsel yeteneklere dayanılarak alınan ölçülerin deneme yanılma yöntemi ile kalıcılığının sağlanması başlangıcı oluşturmaktadır.

Ölçü alma amacıyla yük taşıyabilecek veya taşıyamayacak yerler ile eksen ve kemik çıkıntıları işaretlenerek alçı sargı sarılmış güdüğe, elle elastik malzemelerle ve vakumla basınç uygulanarak alınan ölçüler statik, geçici protezler ve çeşitli plastik jeller yardımı ile hasta yürürken elde edilen negatif ölçüler yarı dinamik, geçici bir protezin soketine basınç

algılayıcıların yerleştirilmesi ve protez ile hastanın değişik fiziki ortamlarda uzun süre yürütülmesi neticesinde elde edilen ölçüler ise dinamik ölçülerdir. Negatif olarak elde edilen bu ölçüler pozitifte çevrilirken ölçü malzemesine bağlı genleşme ve çekme faktörleri ölçülerin korunması bakımından dikkate alınır.

Her üç ölçü alma yöntemi de günümüzde kullanılmakta ve bu yöntemlerde bilgisayar desteğinin kullanılması büyük kolaylıklar ve avantajlar sağlamaktadır. Bilgisayar destekli ölçü alma yönteminde lazer tarayıcılar ve bioskaliptörler ile üç boyutlu olarak taranan güdük ölçüleri bilgisayara aktarılıp işlendikten sonra pozitif model malzemesi bağlı CNC (nümerik kontrollü torna tezgahı) kesicilerine gönderilerek pozitif model oluşturulur. Bu yöntemde pozitif model malzemesinin katılaştıktan sonra işlenmesi genleşme ve çekme faktörlerinin olumsuz etkisini ortadan kaldırır (Şekil 1) (1,2).



Şekil 1. Bilgisayar Destekli Ölçü Alma ve Pozitif Model İşleme Sistemi.

## Alt Ekstremitte Protezlerinin Üretim Çeşitleri

Her gruptaki protezler değişik temel yapı elemanlarından oluşurlar. Bu elemanlar; soket, destek elemanları, ayar ve tespit elemanları ve vücuda tutunma elemanlarıdır. Protezlerin bu birbirinden tamamen değişik

\* Ankara Üniversitesi Dikimevi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Protez-Ortez Programı, Ankara.

parçaların bazıları demir çelik ve metal alaşımları, bazıları petrokimya ürünü, bazılarının ise deri ve tekstil ürünü olması nedeniyle çok değişik üretim teknolojilerinin bilinmesi ve uygulanabilmesi gerekir ayrıca; ekstremitte protezlerini hastaya uygulamak için anatomi, fizyoloji, kinezyoloji ve nöromusküler hastalıklar konusunda tıbbi bilgiye ve bu alanda özel eğitilmiş kişilere her zaman ihtiyaç duyulmaktadır (3-5).

Alt ekstremitelerdeki her seviyede amputasyon için yapılan protezler üç grupta üretilir:

- 1- Kozmetik amaçlı (pasif) protezler,
- 2- Klasik (konvansiyonel) protezler ve
- 3- Modüler pylon protezler.

### Ekstremitte Protezleri İçin Soket Üretim Yöntemleri

Parçalarının yapısal farklılıklarından dolayı bir sistem diyebileceğimiz protezler için üretilecek soketler; ölçüm, modelaj, laminasyon veya derin çekme aşamalarından oluşur. Her hasta için farklı olmakla birlikte genelde bütün soketler iki yöntemle üretilir.

#### 1- Döküm (Laminasyon)

Termoset plastiklerin polimerizasyonu: Polimerizasyon işlemi;  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$  denkleminde göre analiz edilir. Bu denklemde,  $\Delta G$  serbest enerji değişimi,  $\Delta H$  entalpi,  $T$  sıcaklık ve  $\Delta S$  entropidir. Polimerizasyon, gelişi güzel dağılmış monomerlerden uzun makro moleküller oluşturma işlemidir. Esasen bu monomerleri belirli bir düzene getirme anlamına gelir. Bu nedenle polimerin entropisi, monomerin entropisinden daha küçük olacak ve denkleme göre polimerizasyon teşvik edilecektir. Termoset plastiklerin polimerizasyonu plastik reaktöründe başlar; sıvı haldeki termoset reçinesinin katalizörler (*sertleştirici*: Kobaltnaftanant, *hızlandırıcı*: Katonperoksit) yardımı ile pozitif model üzerinde katılaştırılır ve polimerizasyon burada sonlanır.

#### 2- Derin Çekme

Termoplastiklerin kalıplanması: Polimerizasyonu plastik reaktörlerinde tamamlanmış çok çeşitli mekanik özelliklere sahip levha halindeki termoplastiklerin ısı ve basınç yardımı ile pozitif model üzerine çekilerek kalıplanması şeklinde bir üretimdir. Protetik ve ortetik amaçlar için sıkça kullanılan bir yöntemdir (6).

#### Alt ekstremitte protezlerinin soketleri:

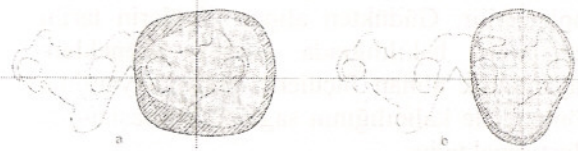
Transtibial amputasyon protezleri için;

- P.T.B. (Patellar Tendon Bearing)
- P.T.S. (Patellar Tendon Supra Kondüler)
- K.B.M. (Kondüler Bettung Munster) tipinde

Transfemoral amputasyon protezleri için ise;

- Quadrilateral (Dört Duvarlı)
- CAT-CAM (Contoured Adducted Trochanteric-Controlled Alignment Method)
- ISNY (Icelandic-Swedish-New York)
- NSNA (Normal Shape Normal Alignment)

gibi isimlerle çok çeşitli olarak üretilse de aslında transfemoral amputasyon protez soketleri enine oval soketler ve boyuna oval soketler olmak üzere iki çeşittir (Şekil 2). Soket tipini; güdük boyu kontraktürler, deformiteler yumuşak doku kaybı gibi hastaya ait bulgular belirler.



Şekil 2a. Enine oval transfemoral soket.  
b. Boyuna oval transfemoral soket.

Alt ekstremitte protezlerinde soket;

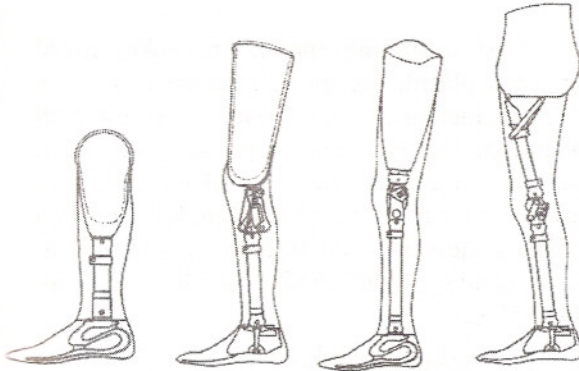
- Güdük hacmini tam olarak içine alır
- Protezin güdüğe güvenilir şekilde tutunmasını sağlar
- Ağırlık ve kuvvet aktarımını destekler

Dezartikülasyon protezleri;

- Ayak bileği, diz ve kalça eklemlerinin dezartikülasyonundan sonra yapılan protezler de diğer alt ekstremitte protezlerinde olduğu gibi modüler pylon veya klasik tarzda üretilmektedir. Bu protezlerin soketlerinde; güdüğün distalde yük taşıma, yumuşak doku ve yüklenme dayanıklılığına bağlı olarak (uzun, kısa, "ischial" destekli, "ischial" desteksiz vb.) modifikasyonlar yapılabilmektedir.

### Destek ve Ayar Tespit Elemanları

Dökme, talaş kaldırma, elastik ve plastik biçimlendirme yöntemleri ile yarı mamül olarak fabrikalarda üretilen bu parçalar; protezin bütün parçalarının birbirine bağlanmasını, diğer ekstremitteye göre gerekli açısal eğimlerin ve düzlemsel kaydırmalar ile rotasyonların yapılabilmesini sağlayan ve gerektiğinde boy uzatılması, bozuk bölümlerin değiştirilebilmesi gibi birçok avantaj sağlayan modüler yapıda elemanlardır (Şekil 3). Modüler pylon protez parçalarının önceden standardize edilmeleri ve hafifletilmeleri mümkün olabilmektedir. Bugün tamamı ithal olan bu parçalar küçük girişimcilerimiz tarafından az da olsa üretilmeye başlanmıştır. Klasik protezlerin destek ve ayar tespit elemanları; ayak ve bağlantı vidası hariç pedilen köpük, ahşap, mantar, polyester, macun polyester gibi dolgu maddelerinden oluşmaktadır. Bu nedenle standardı zordur. Bire bir işçilik gerektirir. Bitişi yapıldıktan sonra uzatma, kısaltma, döndürme, kaydırma gibi işlemlere izin vermez.



Şekil 3. Çeşitli Seviyelerdeki Alt Ekstremitte Protezlerinin Destek ve Ayar Tespit Elemanları.

Klasik ve modüler pylon tip protezlerin her ikisinde de aynı tip protez ayaklar kullanılabilmektedir. Protez ayakların bazıları normal ayak eklem hareketlerini izleyebilirken bazıları sadece topuk ve metatars hareketliliği sağlar.

### Tutunma Elemanları

Protezlerin güdük üzerine tutunmaları negatif basınç, elastik soketler, bandaj ve kemerler, elastik çoraplar, silikon çoraplar gibi yardımcı araçlarla sağlanmaktadır.

Güdük tarafından proteze aktarılan hidrostatik, elastikiyet ve adale basıncı bu tutunmaya yardım ederse de protezin kütesinin emniyetli bir şekilde tutunma elemanları tarafından yenilmesi gerekir. En sık kullanılan tutunma elemanları:

- Uyluk bandı (suprakondiller cuff),
- Bel kemeri ve Y bandı
- Uyluk korsesi
- Negatif basınç
- Suprakondiller kama
- Sekiz şeklinde suprapatellar band
- Pelvik kemer
- Silesian kemer
- Silikon soketlerdir.

Bu elemanlar gerekli olduğunda kullanılır. Protezlerin rutin parçaları değildir. Tutunma elemanlarının protezlere montajları önceden belirlenen kurallara uygun olarak yerleştirilmelidir. Bu durum her hasta için farklı olabilir. Örneğin başlangıç noktası "trochanter" major seviyesinde soketin lateral duvarına tutturulan silesian kemerin ikinci ucu pelvisin arkasından "iliak crista" ve kalça eklemi arasından geçerek diz üstü soketinin ön duvarına tutturulur. Ancak bu ikinci tespit noktasının içte, dışta, yukarıda ve aşağıda olması protezin pozisyonlanmasını doğrudan etkiler.

### Eklem Mekanizmaları

Eklem mekanizmalarının tasarımları yapılırken, anatomik veriler dikkate alınır (Şekil 4). Ancak teknolojik imkanlar, ağırlık ve maliyet gibi faktörler belirleyici olur.

Protez diz eklemleri iki grupta üretilmektedir:

- 1- Monosentrik diz eklem mekanizmaları ve
- 2- Polisentrik diz eklem mekanizmaları.

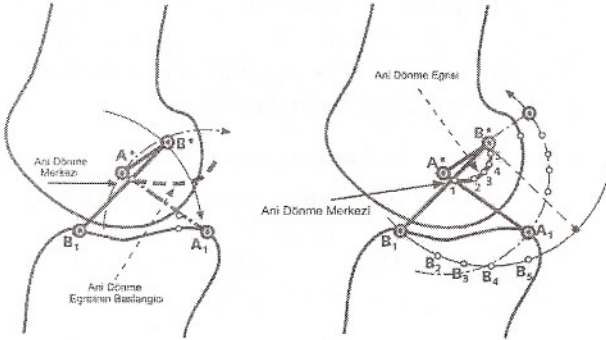
Monosentrik diz eklemleri: Diz eklemi transvers eksenini merkez olmak üzere tek bir dönme noktası bulunur. Fleksiyon-ekstansiyon yapar ve tek eklem eksenine sahiptir. Polisentrik diz eklemleri ise eksen merkezleri ile aynı olmak zorunda olmayan çok

sayıda dönme merkezine sahiptir. Her bir mekanik eksen fleksiyon ya da ekstansiyon hareketi sırasında kendi eksen merkezi etrafında döner (7,8).

Polisentriklik kavramı diz eklemine bir bütün olarak ele alır. Eklemün üst kısmı soket tarafından; eklemün alt kısmı baldır tarafından bir dönme merkezi etrafında doğal hareket sürecini devam ettirir. Bir protez diz eklemünün dönme noktası, anatomik diz ekleminden farklılık yaratsa da destek fazında diz eklemünün emniyete alınması için mümkün olduğunca posterior ve superiorıda (geride ve yukarıda) olarak düzenlenir.

Dört-beş-altı uzuvlu polisentrik eklem mekanizmaları transfemoral amputasyon ve diz dezartikülasyonu geçirmiş hastalara daha iyi bir kozmetik ile daha uygun duruş ve hızlanma fazı özellikleri sağlar. Her faz hidrolik pnömatik ve elektronik sistemlerle kontrol edilebilir. Ağır ve pahalı olması dezavantaj olarak kabul edilir.

Ayak-ayak bileği, diz ve kalça eklem mekanizmalarının; konumlarının, hareket aralıklarının, fleksiyon, ekstansiyon dirençlerinin ve hızlarının mekanik, hidrolik, pnömatik, elektronik sistemlerle kontrol edilmesi hastaya harmonik bir yürüyüş konforu sağlamaktadır (9,10).



Şekil 4. Anatomik Diz Eklemi Mekanik ve Muhtemel Dönme Noktaları.

#### Monosentrik veya Polisentrik Olarak Üretilen Eklem Mekanizmaları

- Serbest hareketli diz eklemleri
- Manuel bloklamalı serbest hareket eden diz eklemleri
- Sürtünme frenli diz eklemleri

- Yüke bağlı destek fazı kumandalı diz eklemleri
- Yüke bağlı bloklanmış diz eklemleri
- Mekanik hızlanma fazı kumandalı diz eklemleri
- Pnömatik hızlanma fazı kumandalı diz eklemleri
- Hidrolik hızlanma fazı kumandalı diz eklemleri
- Elektronik hızlanma fazı kumandalı diz eklemleri
- Mekanik hızlanma ve destek fazı kumandalı diz eklemleri
- Pnömatik hızlanma ve destek fazı kumandalı diz eklemleri
- Hidrolik hızlanma ve destek fazı kumandalı diz eklemleri
- Elektronik hızlanma ve destek fazı kumandalı diz eklemleri

#### Üst Ekstremité Protezleri

Üst ekstremité protezleri yapısal olarak bir parmak amputasyonunun kozmetik amaçlı pasif bir protezle tamamlanmasından; birden fazla eklemün motorsal hareketini içeren, harici kuvvetle işletilen kas aksiyon potansiyeliyle kumanda edilen fonksiyonel bir omuz dezartikülasyon protezine kadar uzanır. Ağır-lıklı olarak kozmetik (estetik) amaçlı pasif protezler ve fonksiyonel amaçlı aktif protezler olarak iki gruba ayrılırlar.

Üst ekstremité protezleri; soket metal tüp veya plastik tüp gibi birleştirici ayar ve tespit elemanları, omuz, dirsek ve el bileği-el eklemleri, terminal ucu oluşturan çeşitli pasif mekanik veya elektronik el mekanizmaları ve bunları kaplayan kozmetik amaçlı oldukça gelişmiş eldivenler ile tutunma ve kontrol amaçlı bandaj sistemlerinden oluşurlar. Üretim çeşitleri ise;

- Pasif (Kozmetik amaçlı) üst ekstremité protezleri
- Klasik (Mekanik fonksiyonel) üst ekstremité protezleri
- Modüler pylon (Mekanik fonksiyonel) üst ekstremité protezleri

- MYO elektrik kontrollü (Elektro mekanik fonksiyonel) üst ekstremitte protezleri

olarak dört çeşittir.

Pasif üst ekstremitte protezleri hiçbir tutma/kavrama fonksiyonuna sahip değildirler veya diğer el ile başlatılan ve sonlandırılan bir tutma fonksiyonuna sahip olabilirler. Pasif protezler kavrama fonksiyonuna sahip olmalarına rağmen ampute için büyük önem taşırlar. Çünkü ekstremitenin kaybı şeklinde gerçekleştirilmiş bir vücut engeli olayındaki belirginlik bu protezlerle ortadan kalkmaktadır. Özellikle bayan hastalar ve halka yönelik meslek sahipleri (enformasyon, memur, kapıcı vs.) için psikik denge açısından gözden kaçırılmayacak öneme sahiptir.

Kol protezleri yukarıda sayılan psikososyal görevlerin yanısıra vücut ağırlığını dengeleme amacını da yerine getirir. Protez kullanmayan amputelerde bir süre sonra amputasyonlu taraftaki omuzda bir yükselme ve omurgada bir bükülme görülür (11).

Adım siklusunda protezin hızlanma kütlesi omuz ile pelvisin münavebeli rotasyonunun sağlanmasında önemli bir görev üstlenir.

Protez kullanmayan amputelerde fizyolojik pelvis hızlanması yoktur ve yürüyüş tabloları "sert" ve fazla enerjiye ihtiyaç gösterir niteliktedir. Protez uygulaması lehindeki tüm bu argümanlara rağmen, hasta eğer kendisi aktif bir protez talep etmiyorsa ya da uygulama ile ilgili olarak kayıtsız kalıyorsa hastaya kozmetik bir protez uygulamak mantıklı olacaktır.

### Fonksiyonel Üst Ekstremitte Protezleri

Aktif üst ekstremitte protezleri modüler veya klasik yapıda olabilir. Bu protezlerin işletilmesinde hastanın kendi enerjisi (dahili enerji) kullanılır. Dahili enerji ile işletilen bu protezler tek ve çift çekmeli kablolar ile kavrama organını devreye sokarlar. Kavrama organı protez elin kavrama fonksiyonunu başparmak ile işaret parmağı ve orta parmak arasında gerçekleştirir. Ayrıca "HOOK" (Kanca) el olarak adlandırılan uçları arasında çok yönlü kavrama tutma ve çekme yapabilen üniversal iş elleri de kullanılmaktadır. Dirsek altı protezlerinde terminal ucu oluşturan protez elin açılıp kapanması için tek çekmeli kablo; dirsek üstü pro-

tezlerinde ise, buna ilave olarak dirsek eklemi kilidini açmak ve kapatmak için ikinci bir çekme kablosu aracılığıyla doğrudan hasta tarafından aktif olarak omuz bandajları vasıtasıyla yönetilir.

Hastalar bu tür protezler ve iş elleriyle aktif olarak kavrayabilir, tutabilir, kucaklayabilir ve yemek yeme araçlarını ağızına götürebilir. Bu protezler "otonom" çalıştırılabildiğinden ve sağlam ele bağımlı olmadığından fonksiyonel kazanç çok büyüktür. Ayrıca, salt protezli tarafta bir tutma veya pozisyon değişikliği yapabilmek için sağlıklı elin iletme, tutma ve kontrol işlevi zedelenmemiş olmaktadır.

### MYO Elektrik Kontrollü Üst Ekstremitte Protezleri

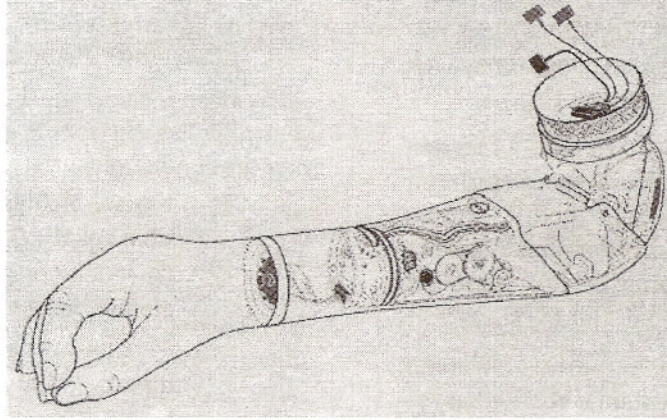
Harici enerji ile çalışan MYO elektrik kontrollü üst ekstremitte protezleri üç değişik yapı grubundan oluşurlar.

- 1- Kişisel ölçülere uygun olarak üretilen soketler,
- 2- Önceden üretilmiş mekanik yapı elemanları,
  - Mekanik veya elektro-mekanik dirsek eklemi
  - Mekanik veya elektro-mekanik pronasyon ve supinasyon eklemi
  - Elektro-mekanik el
- 3- Önceden üretilmiş elektrikli ve elektronik yapı elemanları,
  - Enerji deposu (pil, akü)
  - Kumanda elektrotları
  - Elektrik ve elektronik işlem devreleri
  - Eklemleri işleten motorlar ve hareket aktarıcı "coplinler".

### Çalışma Prensipleri:

Soket üretim prensiplerine uygun ve kişisel olarak yapılan soket içine; önceden tespit edilmiş motor noktaların üzerine gelecek şekilde yerleştirilmiş elektrotlar ile kas aksiyon potansiyelleri alınarak protezin kumanda elektronisine iletilir. Bu kas aksiyon potansiyelleri kas gruplarının istemli olarak gerilmesi ile oluşurlar ve yeterli hassasiyette cihazlarla mikrovolt düzeyinde cilt yüzeyinden ölçülebi-

lirler. Fleksör ya da ekstansörlerin kontrollü gerilimleri neticesinde elde edilen bu potansiyel; elektro-mekanik elin açılması ve kapanması, pronasyon ve supinasyon yapması elektro-mekanik bir dirsek eklemine fleksiyon ve ekstansiyon yapması gibi çalışmaların kontrol impulsu olarak kullanılır. Kısaca MYO elektrikli protezler manüplatörler veya şalterlerle değil kas aksiyon impulsu ile çalıştırılır. Bu protezlerin sinir sistemi vasıtasıyla yönetildiği için iradi olarak çalıştığı söylenebilir. Elektrotlar tarafından alınan sinyal, çalışacak protez motoruna bir elektronik devre kademesi vasıtasıyla istenilen işletme konumuna getiren güçlendiricilere iletilir ( Şekil 5 ).



Şekil 5. MYO elektrik kontrollü altı kanallı dirsek üstü protezi.

## KAYNAKLAR

1. **Charles M, Fryes, BS, John W, Michael M:** Upper-Limb Prosthetics, In : Bowker J. H., Michael JW Eds. Atlas of Limb Prosthetics, 2<sup>nd</sup> ed. Mosby Year Book, St. Louis, 1992: 107-174.
2. **Susan Kapp, Donald Cummings:** Prosthetic Management, In: Bowker J. H., Michael JW Eds. Atlas of Limb Prosthetics, 2<sup>nd</sup> ed. Mosby Year Book St. Louis, 1992: 453-478.
3. **Erdem H:** Ekstremitte Protezleri, Ankara, 1996.
4. **Alsancak S:** Dizde Ortezler ve Protezler. In: Diz Sorunları. Ege R. Ed. Ankara, 1998.
5. **Şener G, Erbahçeci F:** Protezler, Ankara, 2001.
6. **Nader M, Blohmke F:** Alt Ekstremitte İçin Protezler, 1993.
7. **Savcı MN:** Computer Aided Design of Mechanisms ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, 1985.
8. **Pasın F, Gürgöze M, Tascan S:** Mekanizma Tekniği. İTÜ Vakfı Yayını, İstanbul, 1987.
9. **Pritham CH:** Emerging Trends in Lower-Limb Prosthetics: Research and Development. In : Bowker J. H., Michael JW Eds. Atlas of Limb Prosthetics, 2<sup>nd</sup> ed. Mosby Year Book, St. Louis, 1992: 655-706.
10. **Solomonidis SE:** Gait Analysis of the Lower Limb, In: Boenick U. Ed. Amputee-The Effectif Alignment International Symposium, Berlin, 1990.
11. **Nader M, Blohmke F:** Üst Ekstremitte İçin Protezler, 1993.