

MALZEME, ERGONOMİ VE BİYOMEKANİK İLİŞKİSİ

Mehmet Çalışkan ⁽¹⁾ , Fehim Fındık ^(1,2)

1. Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Esentepe Kampüsü, 54187 Sakarya, Türkiye
2. International University of Sarajevo, Mechanical Eng Dept, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina

ÖZET

Mühendislerin ve teknik elemanların üretim yapmak için kullandıkları her çeşit araç gerece malzeme adı verilir. Günümüzde toplam 160 binden fazla endüstriyel malzeme türünün kullanıldığından söz edilmektedir. Bunun % 70 ini demir esaslı malzemeler oluşturmakta, geriye kalan %30 içerisinde ise bakır, nikel, krom, titanyum gibi demir dışı metaller ile plastikler, seramikler ve kompozitler yer almaktadır.

Ergonomi, bir sistemin elemanları ile insanlar arasındaki etkileşimi anlamaya çalışan ve bütün sistem performansını ve insanın refahını optimum kılacak teori, prensip, bilgi ve yöntemleri uygulayan bilimsel bir disiplin, bir uğraşı alanıdır. İş ve günlük yaşamdaki durumların tasarımında ergonominin odağı insandır. Sağlık, güvenlik ve rahatlık açısından ergonomi insanın refahına katkıda bulunabilir. İşyeri ve günlük yaşamdaki bazı durumlar insan sağlığına zararlı olabilir. Birçok ülkede kas-iskelet sistemi hastalıkları ve strese bağlı psikolojik rahatsızlıklar meydana gelmektedir. Bu durumlar; kısmen donanım, teknik sistemler ve işyerinin kötü tasarımından kaynaklanmaktadır. Ergonomi çalışma şartlarını iyileştirerek bu sorunların azaltılmasına yardımcı olabilir. Bu nedenle, çeşitli ülkelerde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili kanunlar düzenlenmiştir.

Biyomekanik, kas iskelet sistemi ve biyolojik sistemlerin hareket fonksiyonları ve yapıları ile ilgilenir. Biyomekanik, bir süre sonra mühendislik mekaniğinin bir parçası olabilecektir. Çünkü insan vücudunun bazı kısımları çeşitli makina parçalarına benzerlikler göstermektedir. Örneğin, uzun kemiklerde yapılan bazı gerilme analizleri, bunların uzun makina parçalarında olduğu gibi önemli eğilme momentlerine maruz kaldığını göstermiştir. Bu basınç ve çekme kuvvetlerini iletmek gerekir. Kas-iskelet sistemi aracılığı ile bu handicap aşılmalıdır. Bu çalışmada, malzeme, ergonomi ve biyomekanik ayrı ayrı incelendikten sonra, aralarındaki ilişki gözden geçirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Malzeme secimi, ergonomi, biyomekanik, antropometri.

ABSTRACT

All devices used for production by engineers and technical personnel are defined as materials. There are 160 thousands different materials used in the present industry. In these materials, 70% is iron based materials and the rest of 30% is nonferrous materials such as copper, nickel, chromium, titanium as well as polymers, ceramics and composites. Ergonomics is a scientific discipline and field of occupation dealing with applying the theory, principles, knowledge and methods to optimize the human prosperity and the all system performance, and trying to understand the interaction between the human being with the other elements of a system. The focus of ergonomics is human being in the cases for design of work and daily life. Ergonomics can contribute to the human prosperity in the view of health, security and easiness. Some conditions can be harmful for the human life in workplace and daily life. In various countries, muscle-skeleton system illnesses and some psychological problems occur depending on stress. These problematic cases occur due to partly equipment, technical systems and bad design of the workplace. Ergonomics can assist the system to decrease this kind of problems via healing the working conditions. For this reason, some laws are prepared related to the work health and safety in various countries. Biomechanics deals with the muscle skeleton system, and the functions and structure of movement functions of biological systems. Biomechanics can be a part of

engineering mechanics after for a while. Because, some part of a human being shows similarities to various machine parts. For example, some stress analysis performed on long bones, shows that they exposed to significant bending moments similar to extended machine parts. It is needed to convey this kind of compression and tensile forces. This handicap is overcome by means of muscle-skeleton system. In this review, materials, ergonomics and biomechanics are individually investigated and then bilateral interactions of those stated three segments are evaluated.

Keywords: Selection of materials, ergonomics, biomechanics, anthropometry.

1. GİRİŞ

Son bir asırdır hızla artan bilgi birikiminin uygulama alanlarına yayılması ile teknolojiye büyük gelişmeler kaydedilmektedir. Özellikle bu uygulamaların insan vücudunda yapılabilmesi, zaman zaman kazalar ya da diğer afetler nedeni ile çok gerekli olmakta ve elde edilen kazanımlar insanları son derece sevindirmekte ve yaşam alanlarını kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmada malzeme, ergonomi ve biyomekanik ayrı ayrı incelenerek, öncelikle malzeme kavramı tanımlanmış ve gruplara ayrılmıştır. Ardından malzeme seçim şartları irdelenmesi ve seçimdeki püf noktaları incelenmiştir. İkinci olarak, ergonomi ele alınmıştır. Burada önce ergonomi tanımlanmış ve ergonominin sosyal değeri tartışılmıştır. Ardından antropometri ve ölçüm metotları irdelenmiştir. Son olarak da, biyomekaniğin tanımı yapılmış ve insanlarda mekanik işi etkileyen çeşitli faktörler üzerinde durulmuştur. Yukarıda belirtilen bu noktalar bir sonraki bölümlerde detaylandırılmıştır.

2. MALZEME

2.1 Tanım

Malzeme genel anlamda, ihtiyaç duyulan maddelerin tümü olarak ifade edilebilir. Bu tanımı biraz daha özelleştirerek teknik açıdan olaya bakılırsa *Malzeme, mühendislik yapılarının gerçekleştirilebilmesi için gerekli maddeler olarak tanımlanabilir.*

Malzemeler atomların farklı düzenlerde bir araya gelmesiyle meydana gelirler. Atomların farklı düzenlerde ve yapılarla birbirleriyle bağlanmalarına göre malzemeleri metal, seramik, polimer veya yarı iletken olarak sınıflandırılırlar. Atomik yapının özelliklerine bağlı olarak malzemelerin mekanik, elektrik, ısı, yalıtkanlık, manyetik davranış ve optik özellikleri de belirlenir [1].

2.2 Sınıflandırma

Malzemelerin sınıflandırılması çeşitli şekillerde yapılabilir. Örneğin en genel anlamda malzemeleri metalik ve metal olmayan malzemeler diye ikiye ayırabiliriz. Ancak mühendislik açısından daha uygun olabilecek bir sınıflandırma şekli aşağıda verilmiştir:

Metal malzemeler: Demir, alüminyum, bakır, çinko vb. saf metaller veya genellikle bir metalin diğer elementlerle oluşturduğu çelik (Fe-C) ve pirinç (Cu-Zn) gibi alaşımlardır. Kristal yapıda olup genellikle kolay şekillendirilebilen özelliğe sahiptirler. Ayrıca mukavemet, ısı ve elektrik iletim kabiliyetleri yüksektir.

Seramik malzemeler: Genellikle metallerle ve metal olmayan elementlerin oluşturduğu Al_2O_3 , MgO, SiO_2 ve SiC gibi inorganik bileşikler veya bunların cam, tuğla, beton ve porselen gibi ticari adlar taşıyan karışımlarıdır. Seramik malzemeler, ısıyı ve elektriği iletmezler, ergime sıcaklıkları ve aşınma dayanımları da yüksektir.

Organik malzemeler: Karbonun başta hidrojen olmak üzere oksijen, azot ve klor gibi metal olmayan elementlerle oluşturduğu büyük moleküllü organik bileşiklerdir. Doğal ve yapay olarak ikiye ayrılırlar. Doğal organiklere ağaç, deri vb. örnek verilebilir; yapay organik malzemelere ise kısaca polimerler adı verilir ve polyster, polietilen, nylon v.b örnek verilebilir. Bu malzemelerin yoğunlukları ve ergime dereceleri düşüktür ve yalıtkan malzeme olarak kullanılırlar.

Kompozitler: Yukarıdaki üç ana grubun çok farklı özelliklerini bir ölçüde tek malzemede toplamak amacıyla, değişik gruptan malzemelerin biraraya getirilmesiyle oluşturulurlar. Betonarme (beton+çelik) ve CTP (camfiber+plastik) bu gruba örnek verilebilir.

Yarı iletkenler: Elektrik iletkenliği bakımından, iletken ile yalıtkan arasında kalan maddelerdir. Normal durumda yalıtkan olan bu maddeler ısı, ışık, manyetik etki ve ya elektriksel gerilim gibi dış etkiler uygulandığında bir miktar değerlik elektronlarını serbest hale geçirerek iletken duruma gelirler. Uygulanan bu dış etki veya etkiler ortadan kaldırıldığında ise yalıtkan duruma geri dönerler [2].

2.3 Seçim Şartları

Tablo1 de, malzeme seçiminde göz önüne alınacak genel kriterler verilmiştir. Bununla birlikte, birçok uygulama bütün bu faktörleri gerektirmez. Ancak bazı uygulamalarda ek faktörlerin de göz önüne alınması gereken durumlar olabilir.

Tablo 1. Malzeme seçimi için genel yaklaşım [3].

	Kriterler
1	Mukavemet
2	Süneklik
3	Kararlılık
4	İmal edilebilirlik
5	Elde edilebilirlik
6	Korozyon direnci
7	Yorulma ömrü
8	Maliyet

Sıcaklık, çevresel koşullar, uygulanan gerilmenin derecesi ve diğer faktörleri de içine alan imalat ve çalışma koşullarını bilmedikçe ve anlamadıkça uygun malzemeyi seçmek zor olacaktır. Eğer malzemelerin çalışma koşulları ve özellikleri hakkında yeterli derecede bilgimiz ve geçmiş deneyimlerimiz varsa, tatmin edici bir çalışma ömrü elde etmek için karşılaşılan zorluklar ve riskler hakkında doğru bir tahmin yürütülebilir [4].

Mukavemet: Malzeme seçiminde genellikle sorulan bir soru da malzemenin çalışma sırasında uygulanan gerilmelere dayanıp dayanamayacağı sorusudur. Genellikle birinci seçim kriteri mukavemet iken, sertlik, korozyon dayanımı, elektriksel iletkenlik, manyetik karakteristikler, ısıl iletkenlik, özgül ağırlık mukavemet-ağırlık oranı veya başka özellikler de öne çıkabilir. Örneğin evlerde düşük su basıncılı kullanımda daha dayanıksız ve pahalı olan bakır borular, düşük tesisat masrafı nedeniyle çok daha dayanıklı çelik borulardan daha iyi bir seçim olabilir. Görülmektedir ki, malzeme seçiminde kullanılan kriterler sadece bir tek özellikle kısıtlı olmayıp bazı kimyasal, fiziksel, mekanik ve ekonomik özelliklerin bir kombinasyonudur.

Süneklik: Süneklik problemi mukavemet problemine bağlıdır. Yeterli süneklik genellikle mukavemetten fedakârlık yapılarak elde edilir. Genellikle gibi bir miktar süneklik her zaman istenir ve büyük mukavemet kayıpları olmaksızın ne kadar çok süneklik elde edilebilirse o kadar iyidir.

Kararlılık: Çalışma halindeki bir malzemenin kararlılığı doğrudan doğruya sıcaklığa, sıcaklıktaki dalgalanmalara ve sıcaklıkta zaman uzunluğuna bağlıdır. Genellikle birçok ekipmanın, arızaya meydan vermeyecek özelliklere sahip olması istenir. Kararlılığın diğer bir yönü ise, olası hatanın ciddiyet derecesidir. Örneğin bir çaydanlıktaki çatlak basit bir derttir, ancak yanıcı veya radyoaktif akışkanla dolu bir kaptaki çatlak çok daha ciddi bir olaydır.

İmal edilebilirlik: İmal edilebilirlik ya da üretilebilirlik, elde edilebilirlik ile sıkı sıkıya bağlantılıdır. Bir malzeme ticari olarak, istenilen imalat türünde elde edilemeyebilir, ancak küçük boyutlarda sıralı geliştirme işlemlerinden geçirilecek istenilen form kazandırılabilir. Ancak genellikle standart yöntemlerle imalat yapılabilecek malzemeler tercih edilir.

Elde edilebilirlik: Eğer malzeme kolay elde edilebilir değilse bir tasarım yapmak mantıklı değildir. Sadece dökümle elde edilebilen bir malzeme kesinlikle haddeme, tel çekme veya değişik imalat biçimlerinde kullanılamaz. Ayrıca bir sistemin parçası olarak tasarlanan ekipman için materyal yurt dışından geliyorsa bu her zaman risklidir. Özellikle savaş zamanlarında ambargo konabilir ve bu şekilde malzemenin kullanımı aksayabilir. Onun için her zaman kullanılan malzemenin yurt içinden temini konusunda çalışma yapılmalıdır.

Korozyon direnci: Bir malzeme arzu edilen çalışma koşullarına bağlı olarak korozyona dirençli veya dirençsiz olabilir. Korozyon direnci için üç kriter göz önüne alınabilir: 1) *Kirden koruma*, 2) *Kapalı kaplarda ve kanallarda çatlakları engelleme*, 3) *Korozif saldırı sırasında mukavemetin ve diğer özelliklerin etkilenmesi*. Bazı durumlarda, periyodik değiştirmeler gerektiren daha kötü bir malzeme kullanmak daha elverişli olabilir çünkü bu durum pahalı bir malzeme kullanılmasından daha ekonomiktir. Bununla birlikte başka durumlarda bu yaklaşım hayati tehlike ihtimali veya başka sebeplerden dolayı uygun olmayabilir.

Yorulma ömrü: Tasarımda malzeme seçimi mukavemet ve sünekliğe sıkı sıkıya bağlıdır. Aynı zamanda çalışma sırasındaki bozulmaların büyük bir çoğunluğunun yorulma yüzünden oluştuğu anlaşılmıştır. Önde gelen bir otomotiv mühendisi J.O Almen [5] şöyle söylemiştir: “Çalışma sırasında veya laboratuvar ve yol testindeyken oluşan yorulmanın %90’ı dizayn ve üretim hatalarından oluşur ve yalnızca geri kalan % 10 malzeme hatası, malzeme özelliği ve ısıl işlem hataları olarak metalurjistlerin sorumluluğudur.”

Maliyet: Genellikle, malzeme seçim kararları bazı ödünlere vermeyi gerektirir. Bazı uygulamalarda bizi nispeten daha az malzeme içinden seçim yapmaya zorlayan özel koşullar vardır. O halde daha önce tartışılan ve birbiri ile çelişen faktörler arasında bile ödün vermek söz konusudur. Hemen hemen bütün örneklerde verilen ödün ve seçimde son karar ekonomik nedenleri göz önüne almayı gerektirir. Tablo 2’deki değer biçme testleri, Amerikan Deniz Kuvvetleri tarafından ekonomik nedenlere uygun olarak geliştirilmiştir. Bu tablodaki sorulardan (ve belki başka benzer sorulardan) herhangi birinin cevabı ‘evet’ olursa seçme işlemi bitmemiş demektir.

Tablo 2. Değer biçme testi [6] (Her malzeme, her parça ve her işlem bu testlerden geçmelidir)

	Sorular (<i>Herhangi birinin cevabı ‘evet’ ise seçim net değil.</i>)
1	Bu olmadan yapabilir miyiz?
2	İstenilenden daha fazla özellikleri var mı?
3	Değerinden daha pahalı mı?
4	İşi yapmak için daha iyi bir olasılık var mı?
5	Daha ucuz bir metotla yapılabilir mi?
6	Standart bir madde kullanılabilir mi?
7	Kullanılacak miktara bağlı olarak, daha düşük maliyetli bir işleme metodu kullanılabilir mi?
8	Maliyeti işçilik, sabit masraflar, malzeme ve karın toplamından daha fazla mı?
9	Bir başkası aynı malzemeyi güvenilirliğine zarar vermeden daha ucuza temin edebilir mi?
10	Paranız olmasına rağmen, çok pahalı olduğu için bu maddeyi almayı reddeder miydiniz?

3. ERGONOMİ

3.1 Tanım

Ergonomi kelimesi Yunanca ergon (iş) ve nomos (yasa) kelimelerinden türemiştir. Birçok ülkede ‘insan faktörleri’ terimi de kullanılmaktadır. Kısaca ergonomi; araç gereç, teknik sistemler ve işlerin insan sağlığı, güvenliği, rahatlığı ve performansını artıracak şekilde tasarlanması olarak ifade edilebilir. Ergonominin ‘Uluslararası Ergonomi Birliği (IEA) tarafından onaylanan resmi tanımı ise şu şekildedir: *Ergonomi (veya insan faktörleri) bir sistemin diğer elemanları ile insanlar arasındaki etkileşimini anlamaya çalışan, bütün sistem performansını ve insanın refahını optimum kılacak teori, prensip, bilgi ve yöntemleri uygulayan bilimsel bir disiplin, bir uğraşı alanıdır.* İş ve günlük yaşamdaki durumların tasarımında ergonominin odağı insandır [7].

3.2 Ergonominin sosyal değeri

Sağlık, güvenlik ve rahatlık açısından ergonomi insanın refahına katkıda bulunabilir. İş yerinde, trafikte ve evdeki kazalar ya da vinç, uçak ve nükleer enerji istasyonları ile ilgili felaketler çoğu kez insan hatasına bağlanabilir. Bu hataların birçoğu operatörlerin hatalarından meydana gelmektedir. Sanayi tesisleri, uçak ve nükleer enerji üretim

santralleri gibi karmaşık teknik tesislerin tasarımında operatör hatalarının azaltılması açısından ergonomi, önemli tasarım faktörlerinden biri haline gelmiştir. İşyeri ve günlük yaşamdaki çoğu durum insan sağlığına zararlıdır. Birçok ülkede kas-iskelet sistemi hastalıkları (bel ağrıları gibi) ve strese bağlı psikolojik rahatsızlıklar meydana gelmektedir. Bu durumlar; kısmen ekipman, teknik sistemler ve işyerinin kötü tasarımlarından kaynaklanmaktadır. Ergonomi çalışma şartlarını iyileştirerek bu sorunların azaltılmasına yardımcı olabilir. Bu nedenle, çeşitli ülkelerde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili kanunlar düzenlenmiştir [7].

3.3 Antropometri

Yunanca 'antropos' (insan) ve 'metron' (ölçme) kelimelerinin birleşiminden meydana gelmiştir. *Antropometri, kelime olarak insanların fiziksel boyutlarının ölçülmesi anlamına gelir. Başka bir ifade ile Antropometri insanların fiziksel değişimlerini anlama ve aletlerin tasarımını buna göre yapmada kullanılır.* Günümüzde antropometri, ürünleri optimize etmek için, insanların boyutlarını istatistiki olarak inceleyerek, endüstriyel tasarım, giysi tasarımı, ergonomi ve mimaride çok önemli bir rol oynamaktadır [8]. İnsanların kullandıkları çeşitli aletlerin tasarımında insan boyutlarına dikkat edilmesi ve tasarımın buna göre yapılması ile hem konfor sağlanmış ve hem de kullanım sırasında insanların performansı artırılmış olur. Örneğin, bir çocuğun ergen insanın boyutlarına göre dizayn edilmiş bir bisikleti kullanması veya bir ergen insanın da bir çocuk bisikletini kullanması 'konfor' açısından hiç de uygun değildir. Kişi ilgili aracı ya kullanamaz veya kısa bir süre zorlukla kullansa bile, bütün kaslarında ağrı ve yorgunluk hisseder.

Antropometride vücut boyutlarının ölçümü ikiye ayrılır: a) yapısal vücut boyutları, b) fonksiyonel vücut boyutları. Örneğin, bir kulak telefonunun tasarımında kulağın ölçüleri veya bir kol saati zinciri tasarımında kolun ölçülerinin alınması, yapısal vücut ölçülerine birer örnektir. Belediye otobüsünde ayaktaki yolcuların tutunabileceği metal çubukların veya deri askıların yükseklikleri de kolun yukarıya uzatılması ile erişebileceği mesafeye konmaktadır. Bu da, fonksiyonel vücut boyutlarına bir örnek teşkil eder.

Mekanik sistemler antropometrik veriler kullanılarak 3 şekilde tasarlanır: i) aşırılar (en uzun veya en kısa) için tasarım, ii) ayarlanabilir oran için tasarım, iii) ortalama oran için tasarım. Aşırılar için yapılan tasarımda, en uzun veya en kısa kişiler düşünülerek hareket edilir. Yani, bu kişilerin boylarına göre örneğin bir çeşmenin yüksekliği, bir masanın yüksekliği, bir kapık yüksekliği vs. nin tasarlanması söz konusudur. Bu insanlar, toplumun %5 gibi az bir kısmını teşkil etmesine rağmen, bazen bu şekilde özel bir tasarım yapılabilir.

Aşırılar için tasarım, insanların çok azını içine aldığı için makul değildir. Onun için, toplumun %50 sini içine alan ortalama nüfus düşünülerek tasarım yapmak daha isabetlidir. Bunu için yukarıda sözü edilen aletlerin yanında transport araçları (örneğin otomobil) boyutları, ortalama insan boyutları esas alınarak yapılır ve bu tasarımlardan pek çok insan ziyadesi ile memnun olur ve rahatlıkla kullanır. Son olarak yapılan ayarlanabilir oran için tasarımda ise, kullanılan alet-edevatın boyutları ayarlanabilir şekilde yapılmıştır.

4 BİYOMEKANİK

4.1 Tanım

Biyomekanik kas iskelet sistemi ve biyolojik sistemlerin hareket fonksiyonları ve yapıları ile ilgilendir. Biyomekanik, bir süre sonra mühendislik mekaniğinin bir parçası olabilecektir. Çünkü insan vücudunun bazı kısımları çeşitli makina parçalarına benzerlikler göstermektedir. Örneğin, uzun kemiklerde yapılan bazı gerilme analizleri, bunların uzun makina parçalarında olduğu gibi önemli eğilme momentlerine maruz kaldığını göstermiştir [9].

4.2. İnsanlarda mekanik işi etkileyen faktörler

4.2.1 Denge

Eğer insan vücuduna etki eden bütün kuvvetlerin ve momentlerin toplamı sıfır ise, insan vücudu, statik dengede kalır.

$$\sum F = 0 \text{ (Newton)}, \quad \sum M = 0 \text{ (Joule)}$$

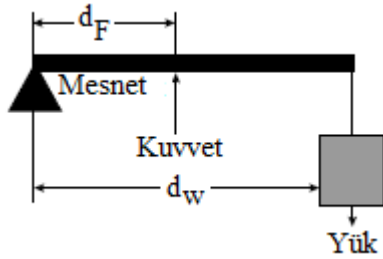
Dengesiz kuvvetler doğrusal hızlanmaya sebep olurken, dengesiz bir moment ise dönme ivmelenmesine neden olur [10]. Güreş, halter ve eskrim gibi bazı spor aktiviteleri stabilite gerektirir; halbuki koşma, atlama ve dalma gibi diğer aktivitelerde ise dengesizlik yok ise bu işlevler başarılabilir. Değişken vücut pozisyonu, uygun kontrole izin verir. Vücut kütlesi Tablo 3'deki gibi dağıtılır ve kütle merkezi insan boyunun yaklaşık %56 sında, kenardan kenara ve önden arkaya doğru ortada yerleştirilmiştir. Kütle merkezi, kollar, bacaklar veya gövde bükülerek kaydırılabilir.

Tablo 3. Vücudun çeşitli kısımlarının vücudu kontrol etme oranı.

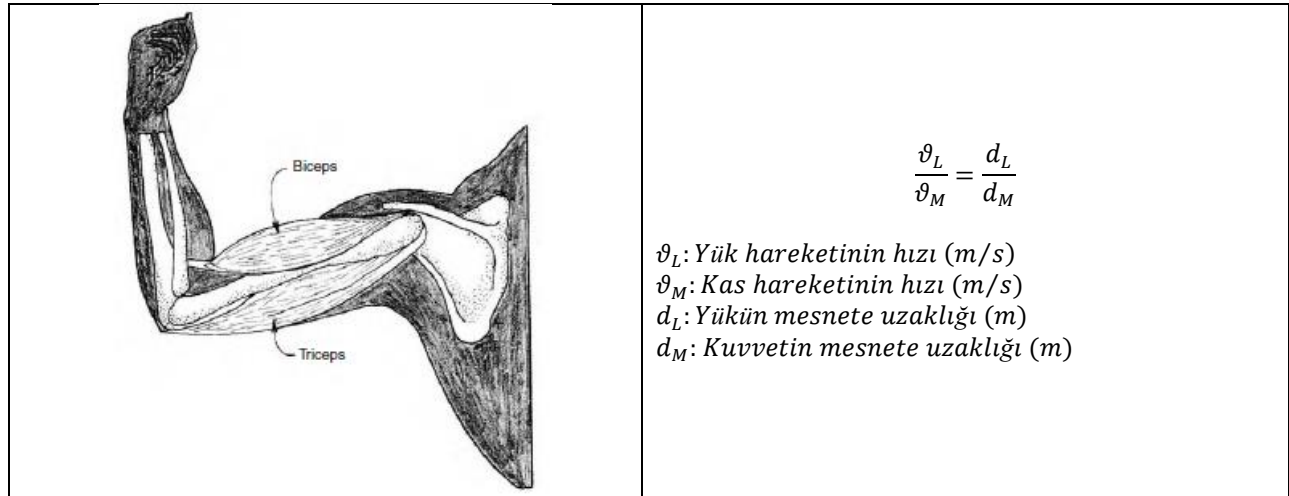
Vücut kısmı	Oran (%)
Baş ve boyun	7
Gövde	43
Üst kollar	7
Alt kollar ve eller	6
Kalçalar	23
Bacaklar ve ayaklar	14
Toplam	100

4.2.2 Kas hareketi

Mekanik hareket, iki ucu kemiklere bağlı olan ve birbirine göre izafi olarak hareket eden kasların büzülmesine sebep olur. Bu birleşme şekli, bir bağlantının (eklemin) mesnet olarak işlev gördüğü kaldıraç olarak bilinir (Şekil 1-2), diğer kemik ise yük olarak etki eder ve kas mesnet ve yük arasındaki kuvveti sağlar. Bu düzenlemeye göre kas kuvvetinin yükten büyük olması gerekir, fakat kasın hareket mesafesi çok küçük kalır. Bu karakteristikler kas kabiliyetleri ile iyi uyur. Kaslar 7×10^5 N/m² kadar bir gerilim üretir, fakat uzağa hareket edemez. Mesafe küçük olduğu için, eğer kuvvet ve yük arasındaki düzenleme farklı ise, büzülen bir kasın kısalma hızı, olması gerektiğinden daha küçüktür.



Şekil 1. Mesnet ve yük arasında kuvvet uygulayan bir kaldıraç gösterimi, pek çok kasın çalışma sistemine uymaktadır.



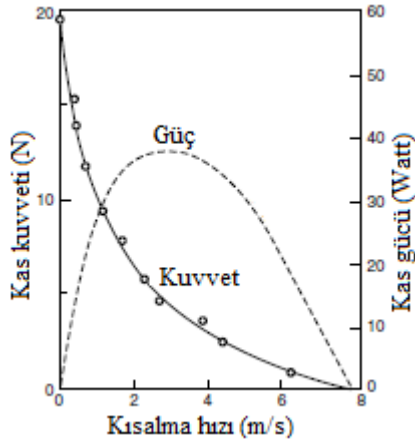
Şekil 2. Kolun başlıca iki kası, kaldıraç sistemi gibi çalışır. Yük, el ve dirsekteki mesnede yerleştirilir.

4.2.3 Kas verimi

Verim, üretilen harici iş ve tüketilen toplam kimyasal enerji ile ilgilidir. Oransal olarak;

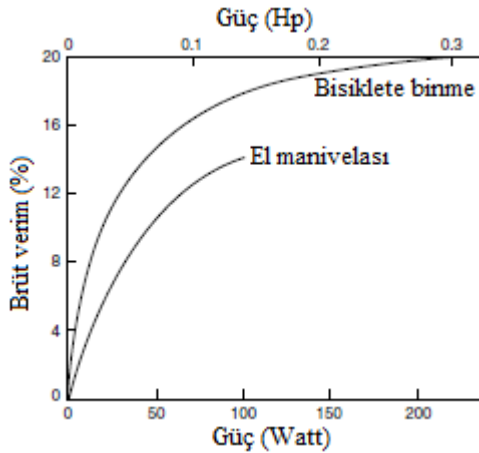
$$\text{Verim } (\eta) = \frac{\text{Üretilen harici iş}}{\text{Tüketilen kimyasal enerji}}$$

Yukarıdaki gibi ifade edilebilir. Kasların verimleri, 0 ile % 20-25 arasında değişir. Daha yüksek verim, vücut ağırlığını kaldırmayı gerektiren bacak hareketlerinde elde edilebilir. Kolların ve bacakların kullanıldığı marangozluk ve dökümhane işlerinde, ortalama mekanik verim yaklaşık %10 dur [11]. Mükemmel kontrol gerektiren daha küçük hareketler için, küçük kaslar zıt şekilde çalışır, yani son hareket birbirine zıt çalışan iki veya daha fazla kas arasındaki fark sonucu üretilir. Bu durumda verim sifıra yaklaşır. Kuvvetin üretildiği fakat hareketin olmadığı izometrik (ölçüleri eşit olan) kasların büzülmesinde verim sifirdır [12]. Büzülen kasın hızı sıfır olduğu zaman kaslar genellikle en yüksek kuvveti üretirler. Kas büzülme hızı yaklaşık 8 m/s olduğu zaman, kas tarafından üretilen kuvvet ve güç sıfır olur. Yukarıda belirtilen iki durum arasında güç üretildiğinde, güç ve verim maksimum değerlere erişir (Şekil 3).



Şekil 3. Hızın bir fonksiyonu olarak bir kasın kuvvet ve güç üretimi [13].

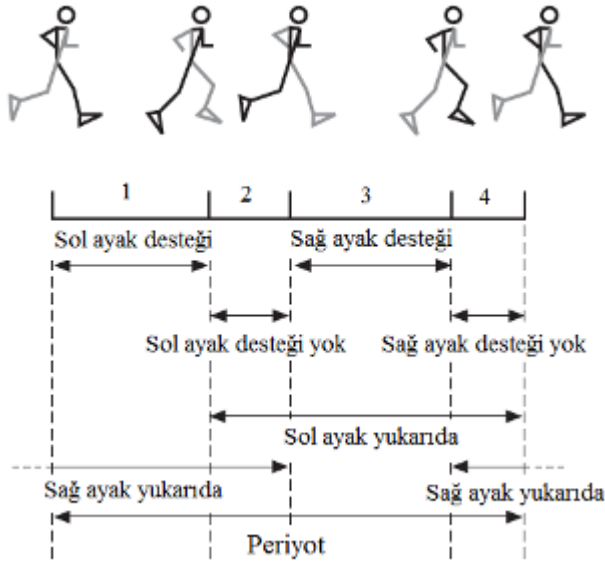
Kas kuvveti, kasın uzunluğuna bağlı olduğu ve büzülme hareketi sırasında değiştiği için, kas verimi daima değişir (Şekil 4). Kas kendisini geren dış bir kuvvete karşı koyduğu zaman, negatif bir iş üretir. Negatif işe örnek olarak, merdiven inişi sırasında bacak kasının hareketi verilebilir. Vücut alçaldığı için, harici iş sıfırdan küçüktür. Yürüyerek aşağıya doğru inişte kas verimi %120 dir [14]. Aşağıya doğru yürürken kaslar tarafından üretilen ısı, tüketilen enerjinin %220 si kadardır. Negatif iş gören kasların enerji tüketimi, pozitif iş gören kasın 1/6 si kadardır [11]. Yokuş yukarı giden bir bacak kası ise aşağı doğru giden bir bacak kasının iki katı kadar ısı üretir.



Şekil 4. El manivelası kullanımı ve bisiklete binmede güç-verim ilişkisi.

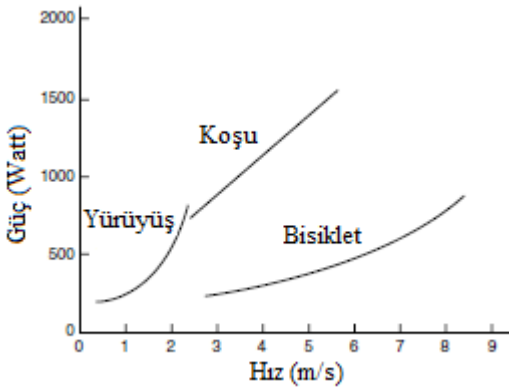
4.2.4. Hareket

Hareket işi hem pozitif ve hem de negatif olabilir. Uzun adımlarla yürümenin dört safhası vardır (Şekil 5). İlk safhada, her iki ayak yerdedir ve bir ayak diğerinin önündedir. İzleyen ayak öne doğru iterken, ön ayak ise arkaya doğru iter. İkinci safhada ise, izleyen ayak yerden ayrılır ve ön ayak ise bir sürtünme (frenleme) kuvveti uygular. Vücut kütlemerkezi, ön ayağı kaldırmaya (aşirtmaya) baslar. Üçüncü safhada ise, izleyen ayak öne doğru getirilir ve dikey bir kuvvet uygulayarak ayağı destekler. Vücut kütlemerkezi, destekleyen ayağın üzerinde en yüksek noktadır. En son safhada ise, vücut kütlemerkezi alçalmıştır ve izleyen ayak bir ivmelenme kuvveti sağlar. Vücut kütlemerkezi yükselen ve alçalan kütlemerkezi, ayak tarafından yapılan bastırma ve frenleme boyunca, yürümeyi düşük verimli bir manevra haline getirir. 2.5 m/s lik bir hızda koşmanın, enerji verimi açısından yürümeden daha etkili olduğu tespit edilmiştir ve koşuya geçiş genellikle hareketin bu iki şekli arasında yapılır (Şekil 6). Yürümeden farklı olarak hız ve bacak uzunluğu arasında fonksiyonel bir ilişki görülmez. Bundan dolayı koşmada güç tüketimi sadece hız ile doğrusal ilişkilidir.



Şekil 5 Yürüyüş hareketinin safhaları

Niçin insanlar vücuda ek bir ağırlık getiren bisiklete binmek ister? Aslında bisiklet sürme, koşma ve yürümeden daha fazla enerji sarfiyatına sebep olur. Bununla birlikte, vücut kütlemerkezi, bisiklet sürerken dikey olarak hareket etmez. Yürüme ve koşma ile ilgili pozitif ve negatif iş olmadan yapılan bisiklet sürme, diğer iki hareketten daha etkilidir (Şekil 6) ve hareketin yapılması için bisikletin neden olduğu kayıplar kolayca karşılanabilir.



Şekil 6. Ergen bir erkeğin yürümesi, koşması ve bisiklet sürmesi için gerekli enerji. Yürüme ve koşma için eğriler 2-3 m/s de etkileşir ve bu değerin altında yürüme ve üstünde ise koşma daha etkilidir [15].

Pek çok spor veya boş zaman faaliyetlerinin altında yatan biyomekanik faktörleri anlamak, performans gelişimini hızlandırır. Ancak, rekabet eden bir atlet için hayal kırıklığına sebep olabilir. Aşağıda bu faktörlerin kısa bir tartışması verilmiştir.

4.2.5. Yaş etkileri

Egzersiz yapmanın maksimum kapasitesinin yaşın artması ile azaldığı bilinmektedir. Bununla beraber, yaşla değişen pek çok faktör egzersiz yapmanın maksimum kapasitesini etkilemektedir. Bu faktörlere örnek olarak vücudun kilo almasını, vücut kütleindeki dayanmanın azalmasını, hastalık hali ve fiziksel aktivite seviyesinin azalması verilebilir. Bununla beraber, ileri yaşlarda kardiyovasküler (kalbe ve kan damarlarına ait olan) veya aerobik (oksijenli, oksijen etkisi ile) kapasitesinin azalması önemlidir. Aerobik kapasite, egzersiz sırasında kullanılan ve V_{O2max} denen maksimum oksijen miktarı ölçülerek tayin edilir. Pollock ve arkadaşlarının 1997 [16] yılında yaptıkları 20 yıl süren uzun çalışmaları sonucunda, yaşlanma ile kişinin yüksek fiziksel kapasitesini sürdüremediği ve 10 yıllık bir yaşlanma için V_{O2max} un %30 azaldığı rapor edilmiştir.

Kas mukavemeti (maksimum kuvvet üretimi), yaşlanma boyunca daha uzun süre sürdürülebilir. Örneğin diz açan kas mukavemeti, insanın 60 li yaşlarına ulaşmasına kadar önemli bir şekilde azalmaz [17]. Bu kayıplar 10 yıl başına yaklaşık %10-12 arasında olur. Kas kütlesi kaybı ise, 10 yılbaşına yaklaşık % 6 kadar olur [17]. Yaş ile kas gücü (güç üretimi ve hızı) kaybının büyüklüğü hakkında biraz belirsizlik vardır [18], fakat bu kaybın mukavemet düşüşünden daha hızlı olduğuna inanılır [19].

4.2.6. Egzersiz yapma etkileri

Aerobik egzersizler ve mukavemet (dayanım) egzersizi olarak ikiye ayrılabilir. Aerobik antrenmanı, çok oksijen tüketen yürüme, koşma, yüzme ve bisiklete binme gibi egzersizleri içeren düzenli kas aktivitelerinden oluşur. Dayanım antrenmanı (ST-Strength Training), kasların büzülmesi veya büzülmeye karşı direnç gösterme tipinde düzenli kas aktiviteleri olarak adlandırılır. Bundan dolayı, bu tip antrenmana direnç veya direnç antrenmanı denir ve ağırlık plakaları, makineler veya direnç için bir vücut ağırlığı kullanarak yapılabilir.

4.2.7. Cinsiyet etkileri

Kardiyovasküler (kalp ve damarlar ile ilgili) fitness ve kas mukavemeti, erkekte kadına göre önemli şekilde daha yüksektir. Erkeklerdeki aerobik kapasite, kadından yaklaşık %40-50 arasında daha yüksektir. İlâveten, erkeğin en yüksek vücut mukavemeti kadından %100 daha yüksek ve düşük vücut mukavemeti ise %50 daha yüksektir [17]. Erkek ve kadın arasında önemli bir antrenman farklılığı görülmemekle birlikte, dayanım antrenmanında erkeğin kadından daha büyük kas kütlesi kazandığı görülmektedir [20].

4.2.8. Genetik etkileri

Kas kütle ve dayanım genetiği, özel genlerin kas fenotipindeki (kalıtım ile oluşan dış görünüş) farklılıklara katkı yaptığını göstermiştir. Daha önemlisi, özel polimerimler, sarkopeni ve kasın ST ye olan etkisinin iç bireysel değişimini kısmen açıklar. Yakın zamanda genlerdeki kas fenotipine gen polimorfizminin ilişkisi araştırılmış ve dayanım ve kas kütleindeki değişikliklere makul bir psikolojik etki ettiği bulunmuştur.

5 SONUÇ

Yukarıdaki tespitler ışığında, görülmüştür ki artık biyomekanik bilimi sayesinde elde edilen verileri teknolojik imkanlar dahilinde uygulamak mümkün olmakta ve uygulama alanlarını bilimsel gelişmelere paralel olarak genişletmek hayati önem kazanmaktadır. Bu bakımdan, engelli, yaşlı ve vücut gücünü yükseltmeyi hedefleyen (askerler, işçiler, sporcular vb.) insanlar için yeni bir çağın başlangıcı niteliğindedir. Biyomekanik veriler ile uzuv tasarlamak mümkün olmakla birlikte, tasarım kriterlerinin karmaşıklığı nedeniyle, bu noktada ergonomi ve konstrüksiyon mühendisliği rol almaktadır. Bu süreçte, kompleks vücut uzuvlarının hareket ya da kuvvet analizleriyle matematik modelleri yapılarak bilgisayar destekli tasarım (CAD) , sonlu elemanlar yöntemi ile analiz (FEM) ve bilgisayar destekli imalat (CAM) gibi yüksek teknoloji araçlarından olabildiğince yararlanılabilecektir. Ergonomik ölçümlerin de yardımıyla yapılacak optimum bir tasarımın arzu edilen fonksiyonlarını karşılayabilecek malzemelerin

seçimi ise ancak malzeme ve metalürji mühendisliği katkısıyla hızlı sonuçlanabilecektir. Malzeme mühendisliği envanteri ve literatürünün geniş seçim imkanları ve teknolojik yöntemlerle özgün çözümler üretebilmek bu aşamada mümkün olabilir. Örneğin, uzun kemiklerde yapılan bazı gerilme analizlerinin tıpkı uzun makina parçalarında olduğu gibi benzer mekanik davranışlar göstermesi sonucunda, kas-iskelet sistemi tamiratlarında makine mühendisliği tasarım kriterleri de biyonomik tasarım sürecine dahil edilebilir ve bu açılımla literatürde bahsedildiği üzere yüzbinlerce alternatif malzeme seçeneği de uygulamaya sunulabilir. Özetle, malzeme, ergonomi ve biyomekanik ile ilgili yukarıdaki tespitler ışığında görülmektedir ki, bu üç disiplin, (diğer disiplinlerle daha da genişletilebilir) ortaklaşa yapacağı uygulamalarda hızlı ve doğru çözümler üretebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] H Uzun, F Fındık, S Salman; Malzeme Biliminin Temelleri, Değişim Yayınları, İstanbul 2008.
- [2] D R Askeland; The Science and Engineering of Materials, London, 2009.
- [3] O Smith; The Science of Engineering Materials, Prentice Hall Inc., London, 1969.
- [4] F Fındık; Malzeme Secimi ve Uygulamaları, Sakarya Yayıncılık, İstanbul 2009.
- [5] J O Almen; Probe Failures by Fatigue to Unmask Mechanical Causes, SAE Journal vol. 51 May 1943.
- [6] F A Crane, J A Charles; Selection and Use of Engineering Materials, The Garden City Press Ltd. 1984.
- [7] J Dul, B Weerdmeester; Ergonomics, (Cev. M Yavuz, N Kahraman), Seçkin Yayınevi, Ankara 2007.
- [8] D K Dwivedi, Ergonomics, Indian Institute of Technology, Youtube 2011.
- [9] Wikipedi
- [10] B F Hurley, A T Johnson; `Factors affecting mechanical work in humans` in Biomechanics, Principles and Applications, Ed DR Peterson, JD Bronzino, CRC Press, London 2008.
- [11] A T Johnson; Biomechanics and Exercise Physiology, JohnWiley, New York, 1991.
- [12] A T Johnson, M B Benjamin, N Silverman; Oxygen consumption, heat production, and muscular efficiency during uphill and downhill walking. Appl. Ergon. 33: 485–491, 2002.
- [13] J H Milsum; Biological Control Systems Analysis, McGraw-Hill, New York, 1966.
- [14] T A McMahon; Muscles, Reflexes, and Locomotion, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1984.
- [15] R M Alexander; Walking and running. Am. Sci. 72: 348, 1984.
- [16] M L Pollock, L F Mengelkoch, J S Graves, D T Lowenthal, M C Limacher, C Foster, J H Wilmore; Twenty year follow-up of aerobic power and body composition of older track athletes. J. Appl. Physiol. 82: 1508–1516, 1997.
- [17] N A Lynch, E J Metter, R S Lindle, J L Fozard, J D Tobin, T A Roy, J L Fleg, B F Hurley; Muscle quality I: age-associated differences in arm vs. leg muscle groups. J. Appl. Physiol. 86: 188–194, 1999.
- [18] J C Martin, R P Farrar, B M Wagner, W Spinduso; Maximal power across the lifespan. J. Gerontol.: Med. Sci. 55A: M311–M316, 2000.
- [19] D A Skeleton, C A Greig, J M Davies, A Young; Power and related functional ability of healthy people aged 65–89 years. Age Aging 23: 371–377, 1994.
- [20] F M Ivey et al; The effects of age, gender and myostatin genotype on the hypertrophic response to heavy resistance strength training. J. Gerontol.: Med. Sci. 55A: M641–M648, 2000.