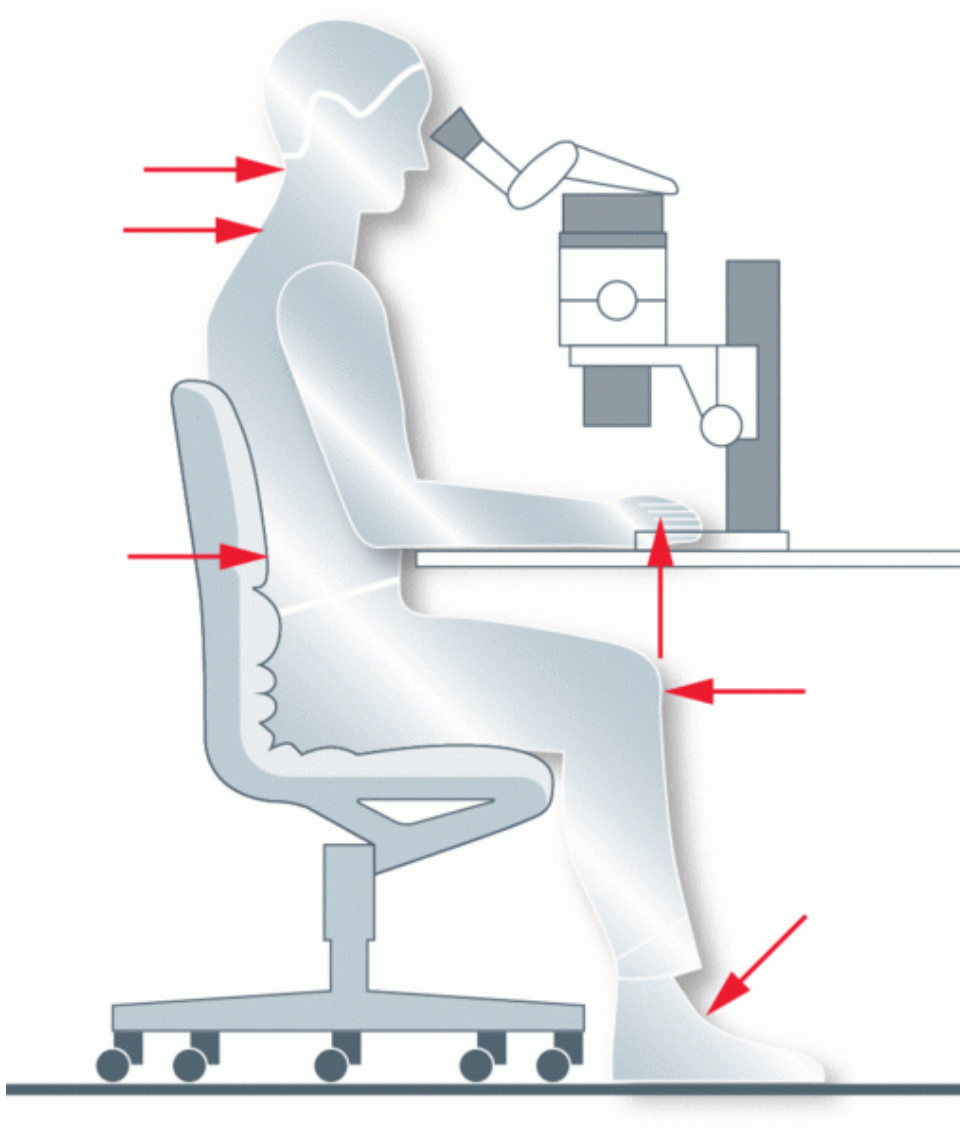




ERGONOMİ DERS NOTLARI

Ali ORAL – Demet GÖNEN OCAKTAN

1. GİRİŞ

1.1 Ergonominin Tanımı ve Amacı

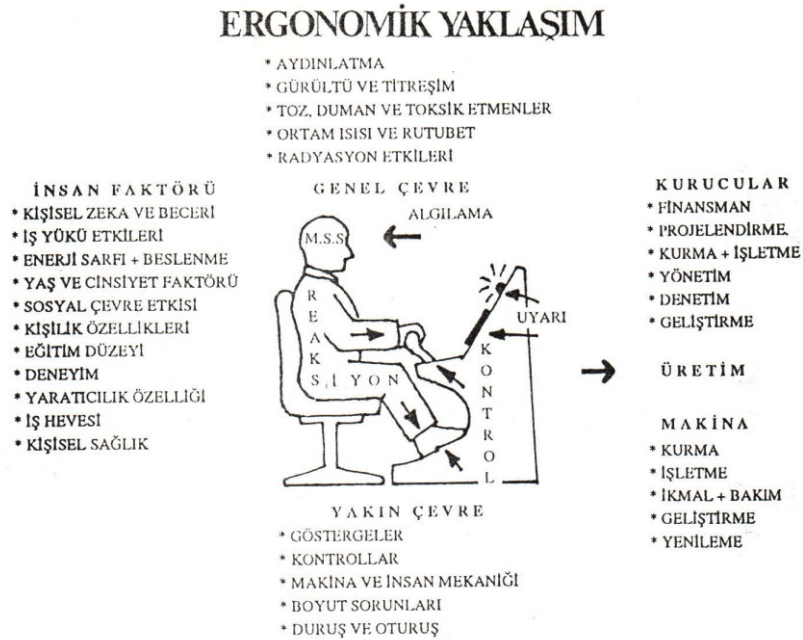
Günümüzün gelişen teknolojisi ile her alanda bir değişim gözlenmektedir. Söz konusu değişim, bu alanlarda çalışan insanların yeteneklerini bedensel ve düşünsel açıdan çeşitlendirmekte ve zorlamaktadır. Buna karşılık insanların bazı belirli yapısal (anatomik), boyutsal (antropometri) ve psikolojik özellikleri vardır. İnsan iskelet ve kas sisteminin belirli bir hareket yeteneği ve gücü, kasların enerji yaratma şekli, çevreyi algılayabilme ve gerektiğinde ondan korunma özellikleri bulunmaktadır. Bu nedenle, işyerlerinde insandan yapması beklenenler ile insanın temel özellikleri arasında bir uyum olması gerekir. Aksi yöndeki gelişmeler insanı yorar, iş verimi ve kalitesini düşürür, iş güvenliği ve personel sorunlarına neden olur.

İnsanın fiziksel ve düşünsel yeteneklerini daha etkin ve verimli olarak kullanabilmesini sağlamak amacıyla sürekli olarak makine, takım, aparat ve cihazlar geliştirilmektedir. Bu araç ve gerecin insanın özellik ve yeteneklerini dikkate alarak geliştirilmiş olması iş verimini de arttıracaktır. İş ortamında ısı, nem, hava akımı, toz, duman, gaz, buhar, zararlı ve zehirli maddeler, gürültü, titreşim, aydınlanma eksikliği gibi faktörler de iş verimini etkilemekte, insan sağlığı ve güvenliği açısından çeşitli sorunlara neden olmaktadır.

İşyerlerinde motivasyon ve iletişim eksiklikleri, insan yaratıcılığını ön plana çıkaracak sistemlerin olmaması, iş monotonlukları, sürekli eğitim ve gelişim ortamının yaratılmaması gibi faktörler de çalışanlar üzerinde iş tatminsizliği yaratmakta ve iş verimini olumsuz yönde etkilemektedir.

İnsanları işyerlerinde sağlıklı, güvenli ve verimli olarak çalışabilmeleri için çalışma yeri ve gerekli donanımın, ses, aydınlatma, çevre sıcaklığı gibi faktörler ile iş organizasyonu ve yönetime yönelik sistemlerin insanın yapısal, boyutsal ve psikolojik özelliklerine göre düzenlenmesi gerekir. Ergonominin temel görevi yukarıdaki amaçlar doğrultusunda bir iş düzenlemesini gerçekleştirmektir. Bir anlamda ergonomiyi, işin insanın özelliklerine uygun bir şekilde düzenlenmesi olarak tanımlayabiliriz. Ergonomi sözcüğü, Yunanca “**Ergon**” ve “**Nomic**” sözcüklerinden oluşmaktadır. Ergon iş anlamına, nomic ise kural anlamına gelmektedir. Ergonomi bazı ülkelerde İnsan Faktörleri Mühendisliği veya İş Bilimi adları ile anılmaktadır.

*Ergonomi, insanların anatomik özelliklerini, antropometrik özelliklerini, fiziksel kapasitelerini ve toleranslarını göz önüne alarak, endüstriyel iş ortamındaki tüm faktörlerin etkisi ile olabilecek organik ve psiko-sosyal stresler karşısında, sistem verimliliği ve **insan-makine-çevre** uyumunun temel yasalarını ortaya koymaya çalışan disiplinli bir araştırma ve geliştirme aracıdır.*



Şekil 1: Ergonomik Yaklaşım

1.2. İşgücünde Yaşanan Aşamalar

İş; toplum tarafından kabul gören ve karşılığı kişiler tarafından veya kamu tarafından ödenen çaba olarak tanımlanabilir. Bir ödeme karşılığı yapılan bu faaliyetin sonucu emeğin karşılığıdır.

Buradaki ana tema, “Bir insanın performansı nedir?” sorusudur. İşin ekonomikliği, bizim ne yapabileceğimiz ve ne yaptırabileceğimiz önemlidir. İş bilimi tarihi incelendiğinde, iş yaşamı ile ilgili üç aşama görülmektedir. Bunlar aşağıda kısaca tanımlanmıştır.

- 1. Aşama (Sömürü Periyodu):** Kölelerin, savaş esirlerinin çalıştırıldığı, işçinin para ile satın alınabildiği bir devirdir. İşçi sağlığı ve işçi hakkı gibi kavramların düşünülmediği bir çalışma düzenidir.
- 2. Aşama (Sınırlı Yararlanma Periyodu):** Sömürü periyodunda aşırı bir şekilde çalıştırılan işçilerin ölmesi, nüfusun azalması gibi sömürünün kötü sonuçlarının elimine edilmesi için kademe kademe kural ve kanunlar konulmuştur. Ancak çalışma saati olarak işçiler yine yoğun bir şekilde çalıştırılmaktadır.
- 3. Aşama:** Tüm üretkenlik becerilerinin akılcı bir şekilde kullanılıp geliştirildiği bir periyot, yani şu anda ulaşmak istediğimiz düzeydir. İş bilimi kurallarına uyarak, sömürü olmayacak şekilde insan performansı ve becerilerini dikkate alarak işlerin sistematik olarak düzenlendiği sistemdir.

Ergonomi konusu gereği, insanın işinde daha verimli olabilmesi için;

1. İşinde sağlık ve güvenlik içinde çalışması,
2. İşin, insanın antropometrik ölçülerine, beden gücüne ve kişisel özelliklerine uygun olarak tasarlanması,

3. Her türlü alet, makine ve donanımın insan yetenekleriyle uyumlu bir şekilde tasarlanması,
4. Psiko-sosyal açıdan olumlu bir iş ortamının yaratılması ve çalışma hayatının insana önem vermesi gibi işlevleri yerine getirir.

Sözü edilen bu işlevlerin yerine getirilebilmesi için ergonomi; insanın fizyolojik ve biyolojik özelliklerini enerji gereksinimini, insan-makine sistemlerini, enerjinin çalışma ile ilişkisini, beslenme ve bunun çalışma ile ilişkisini, yorulmayı ve diğer çalışma koşullarını inceler. Ergonomi gürültü, renk ve ışık etüdü yapar, çalışma ve dinlenme sürelerinin belirlenmesinde katkıda bulunur. Bu işlevler dikkate alındığında, ergonominin amaçlarını aşağıdaki şekilde özetlemek mümkün olmaktadır.

1. İşçi sağlığı ve iş güvenliğinin sağlanması,
2. İşgücü kayıplarının önlenmesi,
3. Yorulmanın ve iş stresinin azaltılması,
4. İş kazaları ve mesleki risklerin minimizasyonu,
5. Verimlilik ve kalitenin yükseltilmesi

Anatomi, antropometri, fizyoloji, psikoloji, iş hekimliği, mühendislik ve istatistik disiplinlerinin katkılarıyla gerçekleştirilen ergonomik çalışmaların odak noktası *insan makine sistemlerinin* tasarımıdır.

İnsan makine sistemi, belirli bir çalışma ortamı içinde bir veya daha fazla insanla, bir veya daha fazla makine arasında gerçekleştirilen etkileşimlerle istenilen üretimi yapan bir sistem olarak tanımlanabilir. Sistemin iyi işlemesi için dikkate alınması gereken hususlardan en önemlileri şunlardır;

1. Makine üzerindeki kontrol cihazları, insanların bunları en kolay ve rahat kullanabileceği şekil ve konumda olmalıdır.

2. İnsanlar, göstergelerden yararlanarak edindiği bilgileri iyi değerlendirip uygun kararlar alabilecek durum ve konumda olmalıdır. Bunun ön koşulu, işe fizyolojik uygunluk, uygun psiko-sosyal ortam ve yeterli iş eğitimidir.
3. Makinenin işlenmesi ile ilgili bilgiler çalışana doğru, eksiksiz ve en kolay yoldan iletilmeli, insan bilgileri alırken ayrıca çaba sarf etmektedir.

Ergonomik çalışmalar sadece iş ortamıyla sınırlı olmayıp çağımızın teknolojisi ile üretilen ürünlerin üretim aşamasında olduğu kadar kullanım ve onarım aşamalarında da ergonomiden yararlanma bir gereklilik halini almıştır. Bu gereklilik, üretilen mamullerin insan için olduğu gerçeğinden doğmaktadır. Üretimin, tüketimin, kullanım ve onarımın insansız olmayacağı dikkate alınınca yaşamı kolaylaştıran her türlü ürünün insanın fiziksel özelliklerine uygun olarak tasarımı bir zorunluluk olmaktadır.

1.3 Ergonominin Ortaya Çıkışı Üzerine Kısa Tarihçe

Endüstrileşme, 17. yy sonunda ve çeşitli yeni keşiflerin ışığında, emekleme düzeyinden başlayarak 18 ve 19. Yüzyıllarda hızlanan teknolojik atılımlar ile otomasyon aşamasına kadar ulaşmıştır. İçinde bulunduğumuz yüzyılda ise, robotların kullanımı ve bilgisayar teknolojisi gibi güçlü yaklaşımlar ile büyük bir hız kazanan endüstrileşme sürecinde insanların yetenekleri, bedenleri ve zekaları çok zorlanmaya başlamıştır. Endüstrileşmenin her adımında; üretken, yapıcı, yaratıcı ve kurulmuş sistemleri kontrol edici bir faktör olarak görev alan insanın sağlık, güvenlik ve verimlilik gibi sorunlar ise ancak 20. Yüzyılın ilk yarılarında ele alınabilmiştir.

Endüstriyel kalkınmanın ilk ve orta çağlarında; daha çok mal üretmek, daha çok kazanmak, piyasanın istediği kalitede ve sayıda imalatı gerçekleştirmek gibi öncelikler arasında, insan varlığı önemli ölçülerde göz ardı edilmiştir. Vasıflı yada vasıfsız olsun, insanların yaşam

gereksinimlerini karşılayabilmeleri için bir iş aramaları büyük ölçüde istismar edilerek, insan faktörüne gereken önem verilmemiştir.

Oysa endüstri ortamında insanlar tüm kapasitelerini ortaya koyarak; hammaddelerin madenlerden çıkarılması, işlenebilir bir hale getirilmesi, her türlü araç, gereç ve makinelerin tasarımı, üretimi, işletilmesi ve endüstrilerin giderek gelişmesi için devamlı çaba harcamaktadırlar. Ancak, insanların belli yapısal özellikleri (anatomik) ve boyutları (anropometrik) vardır. Biyolojik varlıklar olarak insanların merkezi sinir sistemi kendine özgü temellerle (biyokimyasal ve nörofizyolojik) işlerlik gösterir. İnsanların zeka, beceri ve fizyolojik yeteneklerinin kişiye özel boyutları vardır. İnsan organizmasının algı organları belli sınırlar içinde duyarlıdırlar. İnsanların fiziksel iş verimi ve mekanik etkinliği için, kas-iskelet sisteminin biyomekaniği, kasların biyokimyasal enerji gereksinimi ve bunları destekleyen; solunum ve boşaltım sistemlerinin sağlıklı bir şekilde işleyişi önemli etkenlerdir.

İnsan her türlü işini ölçülebilir düzeylerde ve iş formülleri ile ifade edebilecek, bir fiziksel iş yaparak gerçekleştirir. Makineler ile kıyaslandığında, insanların fiziksel iş kapasitesi önemli ölçülerde sınırlı görünür. Bu nedenle, insanlara verilecek işler onların gün boyu gerçekleştirebileceği bir düzeyde kalmak zorundadır. Gücünün üzerinde iş yapmaya zorlanan insan yorulur. Yorgunluk; çalışanların iş verimi, sağlığı, güvenliği ve psikolojik denge açısından olumsuz etkiler yaratabilir.

İnsanlar iş görürken; çeşitli el aletlerini, mekanik araç ve gereci, iş makinelerini, belirli bir iş programlanmış sistemleri (robotlar, bilgisayarlar ve uzaktan kontrol sistemleri gibi) kullanırlar. Bu işbirliğinden amaç, insanların fizik ve mental yeteneklerini desteklemektir. İnsanların kullandığı her türlü araç ve gerecin en etkin bir şekilde hizmete sokulması ise onları kullananların; duruş, oturuş, genel sağlık, güvenlik ve sisteme uyum konularının dikkate alınmasını gerektirir. Bu nedenle, insan varlığının bedensel ve ruhsal gereksinimlerini

dikkate almak, davranışlarını tanımlamak, insanların kullanımı için tasarlanmış tüm sistemleri onlara uygun ve üstün verim ile çalışan sistemler olarak düşünmek gerekir.

İnsanlar endüstriyel ortamda; soğuk, sıcak, yüksek yada alçak basınç, rutubet gibi çeşitli ortam stresleri ile karşı karşıya kalabilir. İş ortamında ayrıca; toz, duman, zehirli gaz ve buharlar, zehirleyici maddeler, iyonizan radyasyon gibi çeşitli sakıncalar da bulunabilir. Bu arada, endüstriyel gürültü, titreşimler, yetersiz yada fazla ışık gibi çevre faktörleri de insan sağlığını ve verimini etkileyebilir.

Bütün bu sorunlar karşısında, İNSAN-MAKİNE-ÇEVRE ilişkilerini inceleyerek, böyle bir ortamda insanların sağlıklı ve üretken bir şekilde çalışabilmeleri için gerekli düzenlemeleri yapmak önem kazanmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar son yarım yüzyılda ERGONOMİ bilim alanının gelişimine gerekçe teşkil etmiştir.

1.4 İnsanların Kullandıkları Eşya, Araç-Gereç ve Çevresi ile İlişkisi

Ergonominin başlangıç noktası, insan hayatının çeşitli dönemlerinde kişilerin kullandıkları eşya, araç-gereç ve çevrenin tasarımında çeşitli ölçü ve yeteneklerinin dikkate alınmasıdır.

Ergonomide temel yaklaşım anatomik, fizyolojik ve psikolojik özelliklerine ilişkin veri ve bilgilerin, çeşitli araç-gereç ve fiziki çevre tasarımında kişilerin konforunu, sağlığını ve üretkenliğini arttıracak şekilde kullanılmasıdır. İnsanların kullandıkları eşya, makine ve fiziksel çevreyi üç grupta toplamak mümkündür.

1. İnsan-makine sistemleri,
2. Fiziksel çevre,
3. Kişisel ve koruyucu sistemler

İnsan Makine Sistemleri

İnsan-makine sistemleri, verilen girdileri arzu edilen çıktılara dönüştürmede kullanılan ve birbiriyle karşılıklı olarak etkileşebilme özelliklerine sahip bir veya daha çok insanla bir veya daha çok makineden oluşur. Bu açıdan makine sistemleri insanların yaşamlarını kolaylaştıran her türlü eşya, araç-gereç, makine ve donanımı ifade etmektedir.

Bir insan-makine sistemi, elinde makas ile kâğıt kesen bir kişi, makine onarımı yapan bir kişi vb. şeklinde basite indirgenebileceği gibi, montaj hatları, şişeleme makineleri, bir veya daha çok operatör ile çalışan uçaklar, meşrubat dolum tesisleri de karmaşık sistemler olmalarına rağmen birer insan-makine sistemleridir.

Fiziksel Çevre

İnsanların kullandıkları fiziksel çevre, iki başlık altında incelenebilir. Bunlardan birincisi; yakın çevre ve genel çevrelerden oluşur. Yakın çevre içerisinde; iş istasyonu, oturma masası, büro ortamı yer alırken, genel çevre içerisinde; işyerinin bulunduğu semt, cadde, parklar yer almaktadır. İkincisi ise; aydınlatma, gürültü, nem, sıcaklık, ortam kirliliği gibi çevre faktörlerinin yer aldığı ortam koşullarıdır.

Kişisel ve Koruyucu Eşyalar

İnsanın yapısı eşyalar arasında anahtarlık, tarak, diş fırçası gibi kişisel eşyaların yanı sıra eldiven, gözlük, ayakkabı, giysi vb. gibi koruyucu eşyaları saymak mümkündür. Bu eşyalarla ilgili olarak da kişilerin davranışları belli ölçülerde pasiftir. Buna karşın kişisel ve koruyucu eşyalar kişinin davranışını belirli ölçüde sınırlar veya önceden belirler.

1.5 İnsan Makine Sistemlerinin Özellikleri

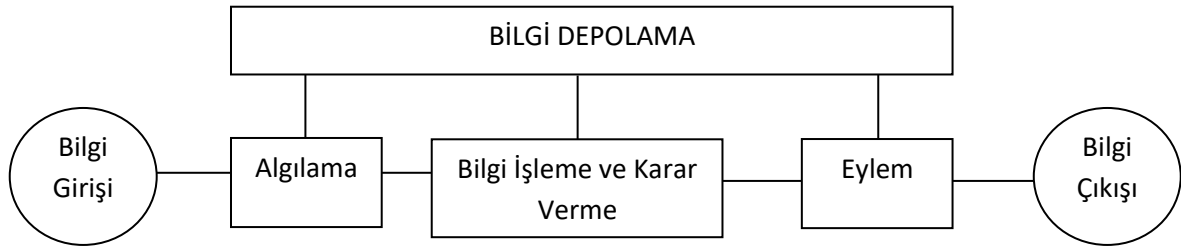
Her sistem gibi insan-makine sistemleri de gerek varoluş amaçlarına, gerek işlevlerine, gerek girdi, çıktı ve bilgi aktarma kanallarına ve çalıştırma talimatlarına ilişkin çeşitli özellikler gösterirler. Her sistemin bir amacı vardır ve bu amaç, yazılı olarak açıkça bildirilmelidir. Her

türlü eşya, araç-gereç, donanımın amacına en uygun şekilde hizmet verebilmesi için hızı, sürekli çalışabileceği süre, çalışma aralığı, manevra yeteneği gibi bazı özellikler açık olarak belirtilmek zorundadır. Bu özelliklerin bir kısmı mühendislik, bir kısmı da insan faktörü ile ilgilidir.

Bir sistemin varoluş amacını gerçekleştirebilmesi bir takım fonksiyonları yerine getirebilmesi ile mümkündür. Örneğin bir posta sisteminde mektupların toplanması, belirli bölge ve adreslere göre ayrılması ve alıcıya ulaştırılması gibi fonksiyonlar yerine getirilir. Bu fonksiyonların her biri ya bir insan yada çeşitli insan makine kombinasyonları ile gerçekleştirilir. Bu gerçekleştirme süreci, genelde birbiri ardına gelen dört temel fonksiyon içerir. Bunlar;

1. Algılama
2. Bilgi Depolama
3. Bilgi İşleme ve Karar Verme
4. Eylem

olup aşağıdaki şekilde kısaca özetlenmiştir.



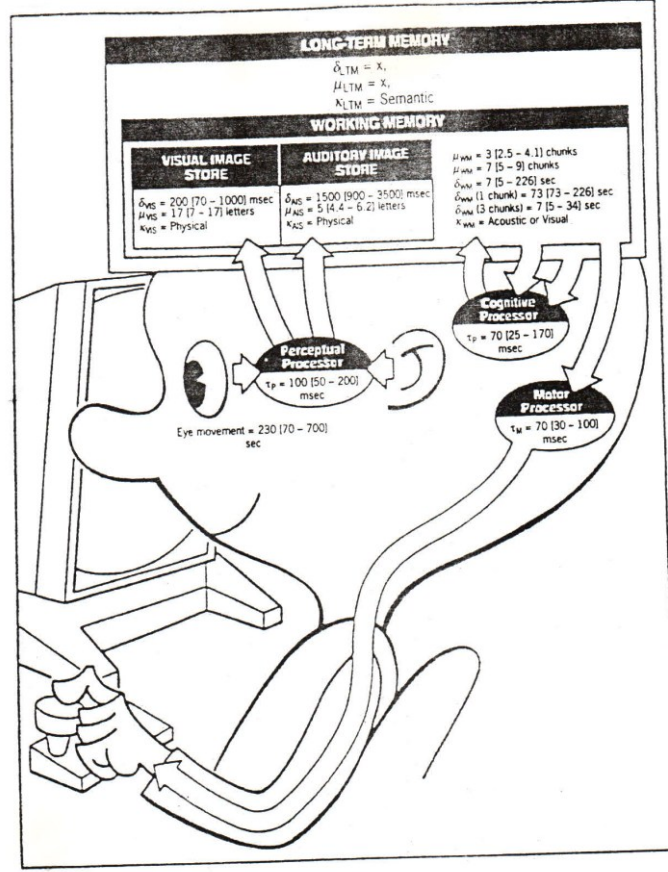
İnsan-makine sistemlerinde birey yada sistem elemanı tarafından gerçekleştirilen fonksiyonlar

Bilgi depolama fonksiyonu, tüm diğer fonksiyonlarla doğrudan etkileşimli olduğundan, diğer fonksiyonların üzerinde yer almaktadır.

1. Algılama:

Sistem elemanlarına yada bireylere bilgi ulaşımını sağlayan olay, algılama fonksiyonudur. Algılama fonksiyonu ile algılanan bilgilerin bir bölümü sistem dışındaki kaynaklarda üretilmektedir. Örneğin, bir ürün için gelen siparişler otomatik alarm sistemini harekete geçen görüntüler sisteme dışarıdan bilgi ulaştıran kaynaklardır. Bununla birlikte bazı bilgiler sistemin kendisi tarafından üretilir. Geri besleme veya bellekte tutulacak bilgiler bu türden bilgilerdir.

Birey üzerindeki algılama duyu organlarının çeşitli şekillerde uyarılması sonucu gerçekleşen algılamadır. Bu anlamda göz, kulak, burun, dil ve deri hepsi birer algılama merkezleridir. Makine düzeyinde algılama ise sensörler, elektronik, mekanik veya hidrolik olarak çalışan algılama cihazlarıdır. Bazı durumlarda bireysel algılama organları, bazı durumlarda da sensörler birbirine göre üstündürler. Duyu organları çabuk uyum sağladıkları için özellikle değişken ortamlarda daha iyi algılama yaparlar. Çok sayıda tekrar gerektiren işlemlerde ise yorulmaya karşı duyarsız olmaları nedeniyle sensörler daha uygundur.



Şekil 2. İnsan belleğindeki anımsama ve bilgi işleme aşamaları

2. Bilgi Depolama:

Bireysel düzeyde yapılan bilgi depolama, kişinin belleğinde gerçekleşir. Öğrenilen bilgiler gerekli olması halinde sonra kullanılmak üzere bellekte saklanır. Bellekte saklanan bilginin anımsanması bazen çok kısa sürede gerçekleşebileceği gibi oldukça uzun süreler de alabilir. Makinelerdeki bilgi depolama için çeşitli mekanik, elektrik yada elektronik cihazlardan yararlanılır. Örneğin, birçok bilgi depolama işlemlerinde bilgisayarlar kullanılmaktadır.

3. Bilgi İşleme ve Karar Verme:

Bilgi işleme, algılanan yada daha önce depolanmış bilgiler ile gerçekleştirilen çeşitli işlemlerdir. Bireysel düzeyde basit veya karmaşık olsun her bilgi işleme etkinliği sonucunda bir karar verilir. Bu kararlar bilgi girişine karşın verilen tepkilerdir. Sistem elemanları

düzeyinde bilgi işleme, belli koşullar ve kurallar çerçevesinde önceden hazırlanmış bir dizi komuttan oluşan program yada alt program olarak tanımlanabilecek mantıksal bir süreçtir.

4. Eylem:

Eylem, verilen bir kararın uygulamaya konulması işlemidir. Eylem fiziksel, bilgi akışı yada ikisinin bir arada olabileceği bir etkinlik şeklinde olabilir. Hareket halindeki bir aracın frenine basıldığı taktirde arabanın durması fiziksel bir eylem iken bilgisayarda yüklü veriyi ekranda görüntüleme bilgi akışı, bir aracın hız göstergesinden aracın hızının okunması fiziksel olaya ait bilgi akışını gösteren hem fiziksel hem de bilgi akışı şeklinde görülen bir eylemdir.

1.6 Ergonomi Açısından Sistem Türleri

Bir sistemin davranışı, sistemin işleyişi ve kontrolü ilgili insan unsuruna bağlıdır. Sistemler genel şekilleri itibariyle açık ve kapalı sistemler olarak ikiye ayrılırlar. Açık sistemler, bir kez faaliyete geçirildikten sonra herhangi bir kontrole ihtiyaç göstermeyen sistemlerdir. Kapalı sistemler ise, sürekli faaliyet gösteren ve bu nedenle sürekli kontrol edilen ve dolayısıyla sürekli geri besleme gereksinimi gösteren sistemlerdir. Roket sistemleri açık sistemlere örnek olarak gösterilebilir. Bir kez fırlatıldıktan sonra belirtilen yörüngeye doğru hareket ederler. Yani, ateşlenen bir roketin sürekli olarak kontrolü söz konusu değildir. Buna karşın elektrikle çalışan konveyör sistemleri bir kapalı sistem olup, sürekli kontrol altında çalıştırılabilen sistemlerdir. Kapalı sistemlerde, geri besleme bilgisi ile sistemin aksaklıklarını gidermek ve performansını arttırmak mümkündür.

Ergonomik açıdan insan-makine sistemleri üç gruba ayrılabilir:

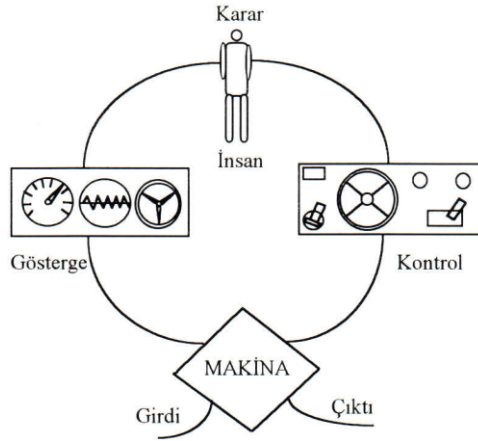
1. Manuel sistemler
2. Mekanik sistemler
3. Otomatik sistemler

Manuel Sistemler:

Çeşitli araç, gereç ve aletler manuel sistem grubuna dahildir. Bu sistemlerin çalıştırılması ve kontrolü bir insan tarafından gerçekleştirilir. Manuel sistemlerde gerekli enerji insanlar tarafından temin edilir. İnsan ile kullandığı alet arasında sürekli bir bilgi alışverişi vardır. İnsan sistemi kendi isteği dahilinde kontrol eder ve çalıştırır. Manuel sistemler genellikle tek kişi tarafından çalıştırılırlar. Bu kilidin açılması, bir vidanın tornavida ile yerine monte edilmesi manuel işlemler sınıfındadır.

Mekanik Sistemler:

Yarı otomatik sistemler olarak da bilinen mekanik sistemler, mükemmel bir şekilde bir araya getirilmiş parçalardan oluşurlar. Motor gücü ile çalışan çeşitli makineler bu sınıfa dahildir. Bu sistemler belirli hız aralıklarında bazı küçük ayarlamalar ile çalışırlar. Burada insanın görevi, genellikle sistemin işleyişini kontrol etmektir. Operatör, bu amaçla kontrol cihazları ve göstergelerden yararlanır.



Şekil 3. Mekanik sistemlerin şematik gösterilişi

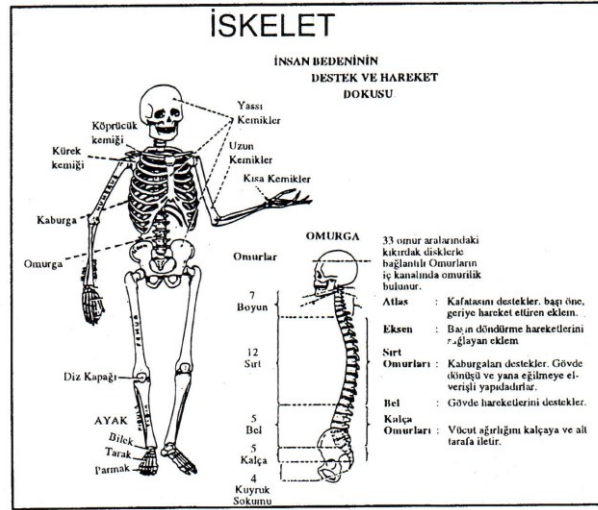
Otomatik Sistemler:

Otomatik sistemlerin en önemli özelliği, bir kere çalışmaya başladıktan sonra tüm geri besleme ve kontrol faaliyetleri sistemin kendisi tarafından yerine getirilmesidir. Bu nedenle bu sistemlerin karşılaşılabilecekleri bütün durumlara karşı programlanmış olmaları gereklidir. Bu programlar, sistemin çalışmasına esas teşkil eden yada sistemin çalışmasıyla ilgili tüm değişkenlerin alacakları değerlere göre sistemin kendisini kontrol etmesini ve gerekli kararları uygulamaya koymasını sağlar. Otomatik sistemler genelde kapalı sistemlerdir. Buna rağmen beklenmedik aksamaların meydana gelmesi mümkündür. Bu nedenle bu sistemlerde de gerek programlama gerek düzeltme ve gerekse bakım için mutlaka insanlara gereksinim vardır.

2. İNSAN VÜCUDUNUN ERGONOMİK AÇIDAN İNCELENMESİ

2.1 Hareket Sisteminin Altyapısı

İnsanların kemiklerden oluşan iskeleti, tüm insan varlığının üzerine yada içine yerleştiği ve taşındığı bir destek doku oluşturur (Şekil 4). İskelet; kollar, bacaklar ve gövde omurlarında oluşmuş eklemler etrafında hareketlidir. Bütün hareketli kısımlar çeşitli kaldıraç yasalarına göre görev yaparlar. İnsanların tüm yaşamı boyu işlekliliğini koruyabilen eklemlerin hareketli yüzeyleri bir kıkırdak doku ile kaplanmışlardır ve eklemlerin içinde yüzyüze gelen kısımlar ise pürüzsüz, dayanıklı ve kaygan bir yapılaşma gösterir.



Şekil 4: İnsan İskeleti

Eklem noktalarından birbirine bağlı olan kemiklerin tüm hareketleri için gerekli kuvvet iskelet kaslarından gelir. Kasların dengeli bir şekilde uzaması ya da kısılması ile insan vücudu tüm biyomekanik yeteneklerini sergiler. Kemikler ve kasları uyaran sinirler kasların beslenmesini sağlayan kan damarları ve bütün bu temel dokuları örten deri çok mükemmel yapısal özellikler gösterirler.

Basit mekanik kurallar içinde incelenirse, insan vücudundaki kaldıraç sistemlerinin verimi ya da zayıf noktaları kolayca saptanabilir. Nitekim kol ve bacakların eklemlerinde kas gücü ile gerçekleştirilen hareketler akıcı bir şekilde ve kolayca oluştuğu halde kuvvet kolu ve direnç kolu ilişkilerine göre mekanik özellikleri zayıf olan bel bölgesindeki omurlar arasındaki kaldıraç hareketleri önemli sorunlar çıkarabilmektedir.

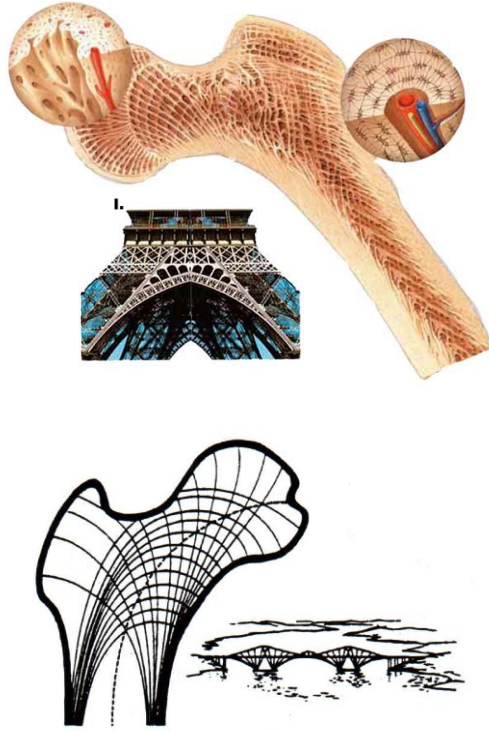
Ergonomik açıdan göğüs kafesi ve karın içi organlarının işleyiş prensipleri de önemlidir. İnsan vücudunun hareketleri için gerekli enerjiyi sağlamakta rol alan organlar kaslar için gerekli enerjiyi dokulara ulaştıran dolaşım sistemi ve biyokimyasal enerjinin oluşması için gerekli oksijeni vücuda sokarken kalıntı karbondioksiti dışarı atan akciğerler de ayrı ayrı önem taşır. Bu arada kafatası içine yerleşmiş olan merkezi sinir sisteminin önemli bölümleri olan; beyin, beyincik ve kafatası sinirleri, omurga içindeki kanalda bulunan omuriliğin yanı sıra ergonomik açıdan çok önemli olan görme ve işitme organları da titizlikle incelenmelidir.

İnsan vücudunun yapısal özellikleri, boyutları ve işleyiş prensipleri konusunda anatomi, kinesiyojji, antropometri, biyokimya ve fizyoloji gibi kaynaklara başvurmak ergonomi alanında çalışacak meslek adamları için kaçınılmaz bir zorunluluktur.

2.2 Kemikler

İnsan iskeletinde, çeşitli kısımların hareket etmesine olanak verecek bir şekilde eklemlerle bağlanmış 212 kemik bulunur. İnsanların iş yapmasında doğrudan görev alan kollar ve bacaklarda uzun kemikler yer alır. Uzun kemikler olarak sınıflanan bu kemiklerin arasında el ve ayak parmakları gibi kısa görüntülü olanlar da vardır. Fakat bunların yapısal özelliği de geniş olmaktan çok, uzun olmak özelliğine uyar. Kemikler temel yapıları itibariyle sert ve dayanıklı bir yüzeysel yapı gösterirler. Kemiklerin iç yapıları incelendiğinde delikli ve adeta süngerimsi bir yapılaşma görülür. Bu yap dikkatle incelenirse yapılaşmanın kemik dokusuna

binecek yükü taşımaya elverişli bir destek doku olarak şekillendiğini görürüz. Bu destek doku oluşumu, birer mimari mucize görüntüsü veren asma köprülerin statik özelliklerini dahi basit gösterecek mükemmelliktedir (Şekil 5).



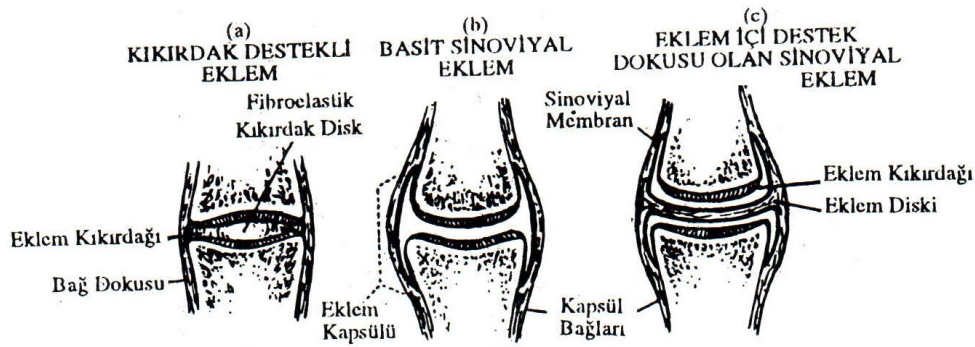
Şekil 5. Kemiklerin iç yapısındaki destek dokularının asma köprülerin taşıma sistemine benzerliğini gösteren şematik çizim

<http://m.harunyahya.org/tr/works/1019/Vucudumuzdaki-Mucizeler/chapter/254/Kemiklerden-olusan-iskeletimiz>

Kemiklerin yüzeyinde bazı girinti ve çıkıntılar, kasların bağlantı noktalarını, bağ dokularının geçitlerini ve çeşitli mekanik avantajları sağlayabilecek bir yapılaşmayı temsil ederler. Ayrıca kemiklerin yüzeyinde ilk bakışta dikkati çekmeyen, çok sayıda delikler ve buradan başlayarak kemiklerin iç dokularına ulaşan kanallar vardır. Kemiğin beslenmesini sağlayan kan damarları ile kemik dokusunun sınırları bu özel kanallardan kemik içine ulaşırlar.

2.3 Eklemler

Eklemlerin ayrıntılı olarak incelenmesi için, bazı dokusal özellikleri tanımlamakta yarar vardır. Eklemlerin etrafında, kollajen yapıda ve çekmeye dayanıklı zengin liflerden oluşmuş bir destek dokusu vardır. Bu kollajen liflerin arasında daha az esnek olan dokular da bulunur. Kollajen lif dokusu ayrıca ligamentler diye adlandırdığımız bağ dokularının da temel yapısını oluşturur. Bağların ve iki kemiği birbirine bağlayan tüm dokuların teşkil ettiği eklem kapsülü çok dayanıklı ve esnek bir kılıf özelliği gösterir. Fibroelastik kıkırdak dokuları ile destekli omurlar arası eklemlerin etrafında da bir kapsül oluşturan zengin bağ dokular bulunur (Şekil 6).



Şekil 6. Eklem Tipleri

Kemikler arasındaki çeşitli eklemlerden ergonomik yaklaşım açısından önemli olanlar sinoviyal eklemler ve kıkırdak (fibroelastik kıkırdak) destekli kartilajinöz eklemlerdir. Kartilajinöz eklemler omurlar arasında görülür. Sinoviyal eklemlerde, eklem başlarını kaplayan kıkırdak doku ve bunun üzerini örten sert eklem yüzü, eklem kapsülü tarafından yerinde tutulur. Kendine özel ve mükemmel bir yapı gösteren eklem kapsülünün iç yüzünde eklem içi sıvılarını salgılayan sinoviyal membran bulunur. Sinoviyal membran, eklem içi dokularının beslenmesi ve eklem yıpranması sonucu oluşabilecek kalıntıları temizleyebilen

özel bir dokudur. Yapıları ve bulundukları yere göre, aşırı basınç altında kalan eklemlerin içinde koruyucu kıkırdak yastıkları bulunur. Bunlar eklem yüzlerinin aşırı yıpranmasını önlerler. Bu arada aynen sinoviyal membranın özelliklerini gösteren içi sıvı dolu bir takım kesecikler, eklem üzerinden geçen bağ ve kas dokularının eklemlere sürtünmesini önleyecek, koruyucu bir yastık görevi yaparlar. El ve ayak bileklerinde ise, tendomların etrafını çeviren ve kaygan bir kılıf teşkil eden, bir tür sinoviyal bileklik bulunur.

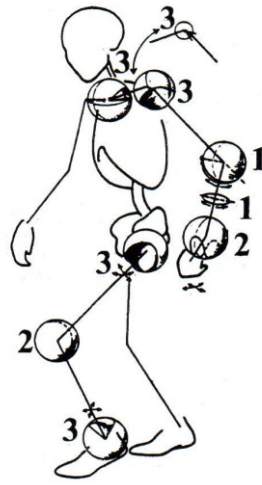
Eklemi teşkil eden kemikler, kaslar ve bağ dokuları aracılığı ile de desteklenirler. Kasların uzayıp kısalabilmesi ve esnekliklerine karşılık, bağ dokuları pek esnek değildirler. Bağ dokuları ayrıca, gereksiz eklem zorlanmalarından koruyucu bir rol de üstlenirler. Bir eklemin hareketlerinin sınırı ve doğrultusu, eklem yüzeyinin yapısal özelliklerine olduğu kadar, çevresindeki bağ ve kas dokularının dağılım ve doğrultularına da bağlıdır. El ve ayak parmakları ile diz ve dirsek eklemlerinde hareketler basit menteşe tipi olarak tanımlanabilecek şekilde ve tek bir düzlem üzerinde gerçekleştirilebilen hareketlerdir. Oysa omuz ve kalça eklemlerinin başları, bir eklem çukuru içinde ve her yöne hareket edebilen özellikler gösterirler. Kalça ekleminin eklem başı derin bir çukurda bulunduğundan ve eklemin etrafını da geniş kas kitleleri sarmış bulunduğu için hareketleri, omuz eklemine bakarak daha sınırlıdır. Omuz ekleminin eklem başı oldukça düz bir yuvada hareket ettiği için, bu eklem vücudun en hareketli eklemlerinden biridir.

El ve ayak bileklerinde görüldüğü gibi, oldukça düz ya da yuvarlak bir eklem yüzeyi oluşturan kemiklerin de tek bir düzlem yerine iki düzlem üzerinde hareket etme özellikleri vardır (Şekil 7).

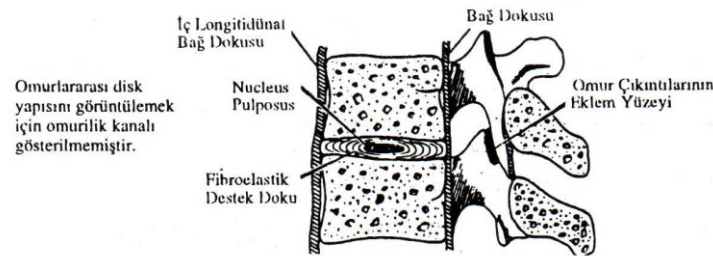
Sinoviyal eklemlerin ergonomik açıdan değerlendirilmesi, bunların hareket hudutlarını ölçmekle başlar. Goniometre ile saptanabilen hareket açılarının normal sınırlar içinde bulunması ve bu özelliğin korunabilmesi biyomekanik açıdan önemlidir. Eklemlerin hareketliliğini ve işlekliliğini kaybettiren nedenler çeşitlidir. Öncelikle tüm eklemler, şiddetli

darbeler, zorlanmalar ve son hudutlarına kadar zorlanmalardan etkilenirler. Çeşitli hastalıklar ve yaşlanma ile de eklem işlevlikleri azalabilir.

Ergonomik açıdan önemli diğer bir eklem sistemi de omurlar arası ve ikinci dereceden kıkırdak yüzeyli eklemlerdir. Gövdenin hareketlerinde, bu eklemlerin ara dokusunu teşkil eden fibro-elastik diskler yardımcı olurlar (Şekil 8). Bu fibro-elastik disklerin esnekliği gövdenin çeşitli yerlere dönüşünü kolaylaştırdığı gibi, omurların üzerine binen her türlü yükün şok etkisini emici yastık özelliği de vardır.



Şekil 7. Eklem hareketliliği. Eklem noktalarındaki sayılar, ilgili eklem kaç doğrultuda hareket edebildiğini gösterir. Eklem noktalarındaki küreler üzerindeki kronik çukurlar, eklem hareket boyutlarını temsil etmektedir.



Şekil 8. Bel omurları kesitinin şematik görüntüsü

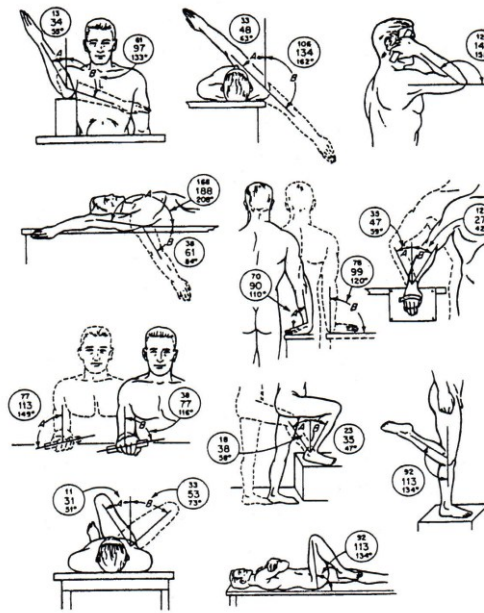
Esneklikleri ile, boyundan 90⁰ ve belden de 30⁰ dönüşü sağlayabilen fibro-elastik diskler, oturan bir işgörenin sadece omurlar arası eklemleri kullanarak tüm çevresini görebilecek dönüşler yapmasına olanak verirler. Omurlar arası eklemlerin öne doğru eğilme hareketleri oldukça kolaydır fakat omurganın geriye eğilmesini, her omurun arkasında bulunan dikensi çıkıntıların üst üste binmesi sınırlar. Omurganın bel bölgesindeki kasların gereksiz zorlanması, bu bölgede tutukluk ve ağrılara neden olabilir. Özellikle, belin gerisindeki kaslar normal ve kuvvetli olduğu halde, karın kasları çok zayıflamış olan işgörenlerde, kalçanın normal eğimi bozularak bel çukuru artacağından, taşıma ve kaldırmalarda sakatlanmalar; disk kayması, disk fıtığı, kronik siyatik, sinir zedelenmesi hastalıkları görülür. Disk fıtığı, omurlar arası fibro-elastik destek dokusunun ortasındaki sıvı keseciğinin (nucleos pulposus) dışarı kayması ve zamanla kireçlenerek, tendon ve sinirleri zorlaması ile oluşan bir hastalıktır. Günümüzde başarılı ameliyatlar ile tedavi edilebilen bu gibi sakatlanmalarda, ameliyat sonrası da önemli işleklik kayıpları oluşur. Bu nedenle omurga eklemlerine koruyucu yaklaşımlar ergonomik açıdan önemlidir.

Eklemlerde burkulma ve çıkık gibi sakatlanmalar, eklem kapsülünü ve bağ dokularını da zedeler. Eklem içine aşırı sıvı ve kan ile karışık sıvı toplanması mümkündür (hidrartroz ve hemartroz). Böylece zedelenen eklemlerin tedavileri uzun zaman alır ve tedavi sonrası da genellikle normal işlekliklerini kazanamazlar.

Eklemlerin açılma sınırlarına kadar zorlanması ve bunun kas gücü ile sık sık tekrarlanması, bağ dokularının sürtünme ve zorlanmalarına bağlı yangılarına neden olabilir. Özellikle el bileği eklemi ve çevresinde oluşabilen ve tenosinovitis olarak bilinen bu tür yangınlar, el bilek hareketlerinin normal işleklik hudutları içinde yapılması ile önlenabilir. Özellikle, bilek ekleminin tam bükülü duruşunda parmakları zorlayan hareketler sık sık tekrarlanırsa, kalıcı sakatlıklar oluşur.

2.4 Eklem Hareketlerinin Boyutları

Hareketli eklemler, konumlarına göre bir, iki yada üç planda hareket edebilirler. Her hareketli eklemin, eklem başının merkezinden geçtiği kabul edilen bir ekseni vardır. Eklem hareket özelliklerine göre, hareket ekseni de belirlenebilir. Eklem hareketlerini goniometre ve primetre gibi basit araçlarla saptanabildiği gibi, daha incelikli ölçüler için çok yönlü film analizleri de kullanılır. Bu alanda güvenilir araştırmalar yapılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Üst ve alt etraf eklemlerinin hareketlilik dereceleri

Askerler arasından seçilmiş 39 denekten oluşan bir örnekleme ile saptanmış açısal değerler. Her eklem için bulunan istatistik ortalamalar büyük rakamlarla gösterilmiştir. Üstteki sayılar deneklerin 5'inci ve alttaki sayılar 95'inci dağılım yüzdelerindeki açısal değerleri göstermektedir (DEMPSTER'in bulgularının BARTER ve arkadaşlarınca yeniden analizi sonucu elde edilen değerler).

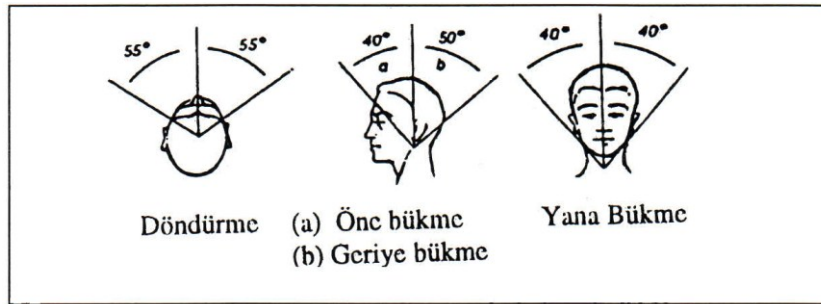
Eklem hareketlerinin belirlenmesinde genellikle tıbbi deyimler kullanılır. Ergonomi literatürüne de geçmiş olan bu terimler gerçekte, konuşma dilinde uzunca açıklamalar ile de belirlenebilecek hareketlerin kısa karşılıkları olmaktadır. Bu nedenle, söz konusu tıbbi deyimlerin bilinmesi ve kullanılması gerekir. Örneğin, ayakta duran bir insanın; kolları yana sarkık ve el ayası da vücuduna dönük duruşta, kolunu yandan omuz yüksekliğine kaldırması ABDÜKSİYON, yana kaldırmış kolun aşağı indirilerek gövdeye yaklaştırılması ADDÜKSİYON olarak ifade edilir. Kolun omuz yüksekliğinin üstünde bir açısal hareket yapması ELEVASYON olarak tanımlanır. Kolun önden omuz yüksekliğine kaldırılması FLEKSİYON ve aksi doğrultuda hareketi ise EKSTANSİYON olarak bilinir. Aslında her türlü bükme hareketi FLEKSİYON ve germe hareketi ise EKSTANSİYON'dur. Eklemlerdeki germe hareketi zorlanarak yapılıyorsa buna HİPEREKSTANSİYON denir. Örneğin; kolun EKSTANSİYON ile aşağı indirilerek kalça yanından geriye doğru hareketini arttırmak için zorlamak yada başın geriye bükülüştünden sonra, bu bükülmeyi olabildiğince zorlayarak geriye bükülmeyi artırmak HİPEREKSTANSİYON olarak ifade edilir. Başın boyun omurları arası eklemlerini alıştırarak, sağa ve sola döndürülmesi ROTASYON, boynun öne bükülmesi ise FLEKSİYON'dur. El bileğinin bükülmesi ile elin avuç içi doğrultusunda bükülmesi PALMER FLEKSİYON, aksi yönde ve elin sırt kısmına doğru bükülmesi ise DORSİFLEKSİYON deyimini ile ifade edilir. Alt kolun kendi eksenini etrafında döndürülerek, avuç içinin yukarı döndürülmesi SÜPİNASYON ve aynı eksen etrafında döndürülerek avuç içinin aşağı bakacak şekilde çevrilmesi PRONASYON olarak bilinir. Yeri geldikçe kullanılacak tıbbi deyimler, ergonomi literatüründe deyim birliği sağlamak açısından da önemlidirler.

Eklemlerin hareket hudutları incelendiğinde, anatomik özelliklerinin önemli etkisi kolayca görülür. Hareket hudutları, eklem kapsülünün yapısına, eklem etrafındaki dokulara ve yapılan hareketin doğrultusuna göre değişik boyutlar gösterir. Ayrıca; yaş, cinsiyet, kalıtsal

özellikler, çeşitli hastalıklar ve kazalanmalar gibi etkenler de eklemlerin hareket hudutlarında değişiklikler yapabilir. Bu nedenle, eklem hareketleri alanında yapılacak araştırmaların yeterli örnekleme ile ve bulguların istatistik dağılımının da dikkate alınarak saptanması gerekir.

1. Baş Hareketleri

Baş hareketlerinin açısal boyutları Şekil 10'da gösterilmiştir. Baş rotasyon hareketleri dikkate alındığı zaman, sağa ve sola dönüşlerin açısal ortalamasının 55^0 olduğu görülmektedir. Ergonomik yaklaşımlarda bu harekete, gözlerin yuvalarında dönme hareketleri de dikkate alınarak daha geniş açılarda bir hareket boyutu varsayımı ile yaklaşılır.



Şekil 10. Başın Boyun Ekleminde Hareketliliği

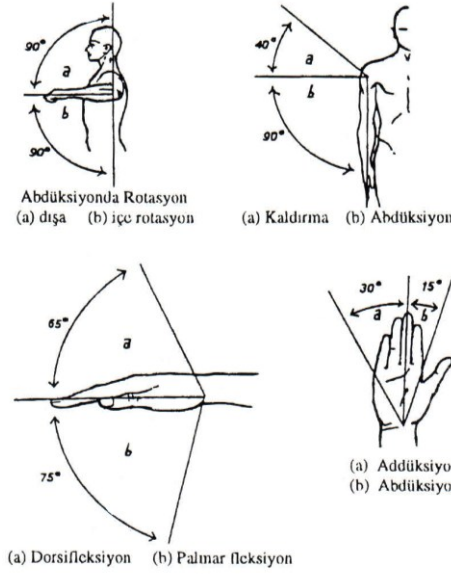
Başın sağa ve sola dönüşü şüphesiz boyun omurlarının işlekliliği ve boyundaki kas ve bağ dokularının esnekliğine bağlıdır. Göz hareketleri ise burada önemli bir kolaylık ve avantaj sağlayabilir. Bu arada, başın geriye bükülmesinin ortalama 50^0 gibi değerlere ulaşabilmesine rağmen, ergonomik açıdan başın bu ölçülerde geriye bükülmüş duruşu herhangi bir yarar sağlamaz. Nitekim zorlanarak geriye bükülen baş pozisyonunda yutkunma güçleşir ve başı uzun süre bu pozisyonda tutmak çok rahatsız edicidir. Başın öne bükülmesi daha rahat bir pozisyonudur fakat yine de gözle takip gerektiren göstergelerin baş hareketlerini zorlamayacak bir şekilde göz bakış açılarına göre yerleştirilmesi prensip kabul edilir. Özellikle, uzun süreli

izleme gerektiren göstergeler hiçbir zaman normal göz bakış açılarının dışına yerleştirilmemelidir.

2. Gövde ve Üst Etraf Hareketleri

Üst etraf hareketlerinin büyük bir bölümünde gövde hareket hudutlarının da kullanılarak çalışması söz konusudur. Gövdenin sağa ve sola dönüş hareketleri 40^0 civarındadır. Dik duran bir insanın, gövdesini bu açısal değerler içinde hareket ettirmesi ardından üst etraf hareketlerini gerçekleştirmesi mümkündür. Ancak, bu tür gövde döndürme hareketleri statik bir şekilde ve uzun süreli olmamalıdır. Gövdenin öne ve geriye bükülmesi konusunda da aynı sakınca geçerlidir. Özellikle gövdenin öne bükülü duruşunda, sağa ve sola döndürme hareketleri ve kuvvet gerektiren kas zorlamaları yapmak sakıncalıdır. Bu tür zorlamalarda kalıcı sakatlıklara neden olan eklem zedelenmeleri görülebilir.

Omuz eklemine yuvarlak eklem başı ve oldukça düz eklem yuvası, bu eklem geniş açısal hareketini kolaylaştırır. Omuz eklemi hareketine dirsek ve el bileği hareketleri de katıldığı takdirde, gövde etrafında geniş bir erime alanı oluşur. Ancak el ve kol hareketleriyle duyarlı bir şekilde gerçekleştirilebilen hareketlerin uygulama alanı sınırlıdır. El ve kolların hareketi söz konusu olunca hareket etkinlik alanı daralır. Normal olarak kodların duruşu, omuzdan sarkık ve avuç içi gövdeye dönük bir duruştur. Oturan bir insanın rahat çalışma pozisyonu ayrıca değerlendirilmelidir. Çünkü bu duruş kolun dirsekten 90^0 bükülü, alttan desteklenmiş ve parmakların hafifçe bükülü ve avuç içlerinin de birbirine dönük olduğu bir duruştur.

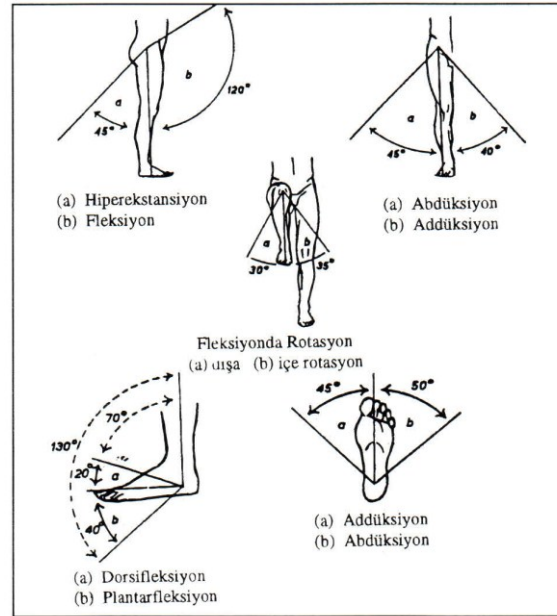


Şekil 11. Üst Etraf Eklemleri Hareket Boyutları

3. Alt Etraf Hareketleri

Ayakta dururken dizlerin normal duruşu, vücut ağırlığını taşıyan kemiklerin düşey doğrultuda tutulabilmesi için tam gergin bir duruştur. Oysa otururken ve sırt üstü yatarken dizlerin en rahat pozisyonu 70^0 - 130^0 açılar içinde fleksiyon halindeki duruşudur. Kalça ekleminin eklem kapsülü derin olduğu için, omuz eklemi ile kıyaslandığında hareketlerinin önemli ölçülerde sınırlı olduğu görülür. Bacağın, kalça ekleminde fleksiyon hareketi 120^0 civarındadır. Ancak çoğu insan bu hareketi diz bükülü iken gerçekleştirebilir. Kalçadan gerçekleştirilebilen hiperekstansiyon ise 45^0 civarındadır. Şekil 12’de görülen kalça, diz ve bilek eklemi hareketleri ergonomik tasarımlar açısından önemlidir. Oturan bir makine operatörünün ayaklarda kuvvet uygulamaları, diz ve kalçadan fleksiyon hareketlerinin desteğinde, oldukça geniş bir tasarım alanı ve hacmi sağlar. Ayakta duran bir insanın bir kontrol pedalı üzerinde yaratabileceği kuvvet kişinin ağırlığı ile bağlantılı olduğu gibi, ayak pedallarının yerleştirme alanı da sınırlıdır. Oturan bir operatörün sırt bölgesine iyi bir destek sağlandığında, diz ve kalça açılarının farklı değerlerinde, oldukça önemli ölçülerde kuvvet uygulanabilir. Örneğin;

otururken dizin 165^0 'lik bir açı içinde tutulduğunda, ayak pedalına 350 kilogram kadar kuvvet uygulanabilmektedir. Dizin açısı değiştikçe bu kuvvet azalır. Ergonomik açıdan önemli olan sadece kuvvet uygulaması değildir. Eklemlerin hareketliliğine göre, reaksiyon zamanı en kısa uygulama pozisyonu, en uzun süre uygulamalarla elverişli noktalar gibi gereksinimler de dikkate alındığından, el ve ayakların çeşitli eklem açıları içinde hareketleri bu yaklaşımlarla da incelenir. Bir bakıma FONKSİYONEL ANATOMİ olarak adlandırabileceğimiz bu yaklaşımlar, insan-makine ara kesitinde önemli araştırma alanlarıdır.

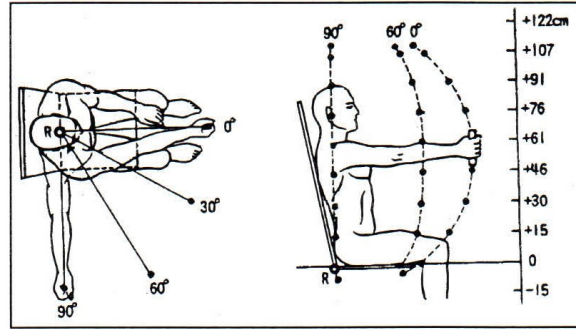


Şekil 12. Alt Etraf Eklemleri Hareket Boyutları

4. Maksimum Kavrama Noktaları

İnsanların üst etraf boyutları ve eklemlerinin işlekliliği ile orantılı olan maksimum kavrama noktaları, ergonomik yaklaşıma bir örnek teşkil eder ve endüstriyel pratik açıdan da önemli tasarım boyutlarını ortaya koyar. Bu konuda sistematik araştırmalar 1950'lerde tamamlanmıştır. Şekil 13'te şematize edilen ölçme yaklaşımları ile ve sınırlı sayıda süje

üzerinde yapılan çalışmalarını değerlendiren Hertberg, elde edilen değerlerin istatistik dağılımını da yaparak, işyeri tasarımı açısından önemli verileri ortaya koymuştur. Hertzberg ve onu izleyen araştırmacıların en önemli katkısı şüphesiz insan-makine ara kesitine fonksiyonel anatomi yaklaşımını getirmeleridir. Hertzberg'in 1956 yılında yayınladığı bulguları Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 13. Kavrama Noktaları

Tablo 2. Kavrama Noktaları (tüm ölçüler suje sağ yanından alınmıştır)

“R” referans noktasından yükseklik		%5 (cm)				Ortalama (cm)				%95 (cm)			
		0°	30°	60°	90°	0°	30°	60°	90°	0°	30°	60°	90°
-	15 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
+	0 cm	-	-	45	47	-	44	51	53	-	54	60	63
+	15 cm	43	-	60	65	50	58	66	69	56	65	73	77
+	30 cm	49	60	69	71	57	66	72	76	64	73	79	84
+	46 cm	54	65	71	76	61	69	76	81	68	76	83	88
+	61 cm	55	63	71	76	62	70	77	83	67	76	84	89
+	76 cm	51	60	70	74	60	68	75	80	66	75	81	87
+	91 cm	44	51	61	66	53	62	69	74	62	71	75	81
+	107 cm	32	35	49	54	43	50	58	65	53	62	67	74
+	122 cm	-	-	-	-	28	34	40	46	39	46	51	56

Fonksiyonel anatominin diğ er bir yaklaşımı da biyomekanik diyebileceğ imiz ve iş yapan insanın mekanik özelliklerini inceleyen bir yaklaşımdır. Fiziki bir iş yapan insanın anatomik yapı özelliklerine uygun hareketler yapması ve biyomekanik özelliklerinin gözetilmesi, çeşitli zorlanma ve sakatlanmaların önlenmesi açısından olduğu kadar, insan vücudundan optimal verim sağlamak açısından da önemlidir. Endüstride çok kullanılan yük taşıma şekilleri ve bunların doğru şekilleri anatomik temellere dayanır.

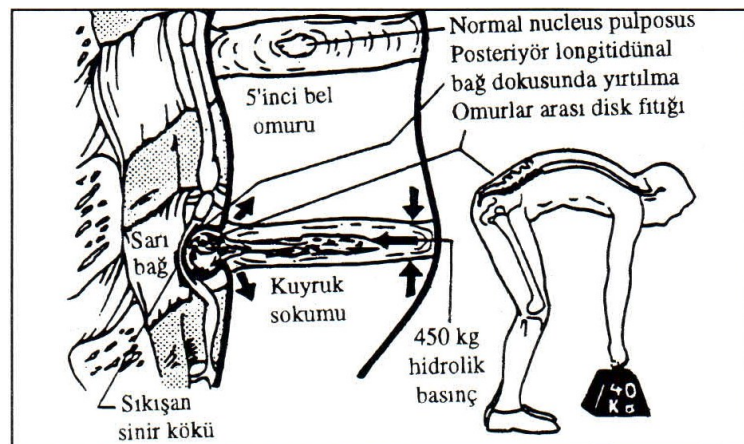
Yük Taşıma ve Duruş şekli

Taşınan yüklerin insan vücudu üzerindeki etkisi, y k ağırlığı arttıkça gövdenin  ne eğilmesi şeklinde ortaya çıkar. Ergonomik yaklaşımlarla, çeşitli yük kaldırma koşullarında vücudun nasıl etkilendiği ve duruş değişiklikleri dikkatle incelenmiştir.

- a. *Yükün sırtta taşınması:* Sırtta taşınan yüklerin ağırlığı arttıkça,  ne eğilme ve dizlerde de giderek artan bir gerilme halinin oluştuğu bilinmektedir. Anatomik açıdan önemli değişiklikler ancak rahatça kaldırılabilen belli bir ağırlığı aşmakla ortaya çıkmaktadır. Ayrıca y k omuzdan bele doğru inmeye başladığında, gövdenin  ne eğilmesi de artmaktadır. Gerçekte, y k karşısında değişen gövde eğimi, biyomekanik açıdan, ağırlık merkezinin yer ve konumunu korumaya yönelik bir uyumdur.  nemli olan insan anatomik özelliklerine göre kas, bağ ve eklem dokularına zarar vermeyecek y k ağırlığını saptamaktır. Bu konuda Dünya  alışma Teşkilatı'nın "Taşınabilir maksimum yük" kararları olduğu gibi, her ülkenin de kabul ettiği y k ağırlıkları vardır.
- b. *Bir yükü kaldırma:* Gövdenin pozisyonu ve çeşitli anatomik bölgelerin bu hareketlerden etkilenmesi, kaldırılan yükün ağırlığına, yükün kaldırıldığı y kseklığe ve tutuş pozisyonlarına da bağlıdır. Yerde olan bir yükü kaldırmak için ilk yapılan

hareketler, gövde gerici kaslarının tam olarak gevşetilmesi ve böylece gövdenin öne bükülmesi ile başlar. Yük kaldırılırken, omurgayı dikleştiren kaslar kuvvetle kasılarak, gövdenin tam dikleştiği noktaya kadar, giderek azalan kas eforu ile çalışırlar. Gövdenin hiç bir yük kasılmasa da, öne eğilmesi ve doğrulması sırasında aynı kaslar çalışır. Aslında gövdenin öne eğilme hareketlerini karın kasları başlatır. ancak oturan yada ayakta duran bir insanın öne eğilmesi, hafif bir pozisyon değişikliği ile ve pek sınırlı ölçülerde kas çalışması sonrası başlar ve yerçekimi etkisi ile devam eder. gövde denge durumundan öne eğilmeye geçer geçmez esas yük gövde gerisindeki kaslara biner. Belli ağırlıkları yüksek bir yerden alarak yere indirmek ya da yine önemsiz ölçülerdeki ağırlıkları yerden kaldırmak, sırt ve bel kasları ile omurgaya aşırı yük getirmemekle beraber, biyomekanik açıdan sakıncalıdır. Yükün artması ise bel ve kalça leğeni arasındaki eklemi ve bel omurları arasındaki fibroelastik kıkırdak dokularını zedeleyebilir. Ani ve şiddetli zorlamalarda bel omurları arasındaki kıkırdak disklerinin kayabildiği, bazen bu kıkırdak doku içindeki destek sıvı keseciğinin (pulpa) dışarı fırlamaya zorlanabildiği bilinmektedir. Bel omurlarının mekanik zorlanması, dizler gergin bir şekilde gövdeyi öne bükerek, yerden belli bir ağırlığı kaldıran insanların hareketlerinin biyomekanik değerlendirilmesi ile ortaya çıkarılmıştır.

c.



Şekil 14. Sakıncalı Yük Kaldırma Sonucu Oluşabilen Disk Fıtığı Olayının Şematik Görüntüsü

Şekil 14'te görüldüğü gibi gövdesini öne bükerek 40 kg bir ağırlığı yerden kaldıran normal bir insanın, bel omurları arasındaki fibroelastik kıkırdak dokusu üzerine 450 kg yük binebilmektedir. Bu da uzun dönemde, disk kayması, disk fıtığı gibi sakıncalı sakatlıkların ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle, ergonomik açıdan uygun kaldırma teknikleri üzerinde devamlı araştırmalar yapılmaktadır. Günümüze kadar yapılan çalışmalar yük kaldırmada, fonksiyonel anatomi açısından zayıf olan bel kasları yerine daha kuvvetli ve biyomekanik bakımdan da daha avantajlı olan bacak kaslarının kullanılması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Gövdenin olabildiği ölçülerde dik kalmasına olanak verecek bir şekilde dizleri bükerek yüklere yaklaşmak ve bacakların gücü ile yük kaldırmak, endüstrilerde ilk öğretilen biyomekanik prensiplerden biridir. Yük kaldırma teknikleri Şekil 15'te gösterilmiştir.



Şekil 15. Yük Kaldırmada Doğru Hareketler

3. HAREKET SİSTEMİ

1. Kaslar

Vücudumuzun her tarafına yayılmış bulunan kaslar, hareket sistemimizin kuvvet kollarıdır. Bağlantı noktalarına kuvvet uygulayabilen ve tek yönde kasılabilen ya da gevşeyerek uzayabilen kaslar, vücut ağırlığının yaklaşık %45'ini oluştururlar.

Her kas, boyları 0.5 ile 14 cm arasında değişen çok sayıda kas lifinden meydana gelir. Bir kasta ortalama çapları 0.1 mm olan bu liflerden 100000-1000000 arasında lif vardır.

Kaslar yapılarına ve çalışma şekillerine bağlı olarak üç grupta incelenebilir. Birinci grupta isteğe bağlı olarak çalışan çizgili kaslar yer almaktadır. İkinci grupta, otonom sinir sistemi altında çalışan düz kaslar vardır. Üçüncü grup ise, yapı olarak birinci gruba, çalışma şekli bakımından da ikinci gruba benzeyen kalbin çizgili kaslarından oluşur. Ergonomik açıdan, en önemli kas grubu isteğe bağlı olarak çalışan çizgili kaslardır. Kas dokusunun en önemli özelliği, kasılabilme yeteneğidir. Bir kas normal boyunun yarısı kadar kasılabilir. Dolayısıyla tam olarak kasılmış bir kasın iş yapabilme gücü kasın orijinal boyu ile orantılıdır. Bu nedenle antrenmanlar ile kaslarını uzatmaya çalışırlar. Her kas lifi belirli bir kuvvet ile kasılır. Bir lif demetinde kasılan kasların kasılma kuvvetlerinin toplamı, kasın toplam kasılma kuvvetini verir. Bir insandaki maksimum kas kasılması, kasın her cm^2 için yaklaşık 40 N'dur. Kasılmanın başlangıcında maksimum olan kas kuvveti, kasın boyu kısaldıkça azalmaktadır. Kasılma kuvveti sadece liflerin uzunluğuna bağlı değildir. Uzun süreli kasılmalarda, lif

grupları nöbetleşe kasılarak tüm kas sistemine ait kasılmanın sürekli olmasını sağlarlar. Bu şekilde, kasılma sırasında lif gruplarının bir düzen içinde birbirlerini dinlendirmeleri sağlanır. Bir sinirsel uyarımın kas liflerine ulaşması, hücre içinde zincirleme ve karmaşık biyokimyasal olaylar başlamasına neden olarak, kas liflerinin kasılabilmesi için gerekli olan enerji ortaya çıkar. Öncelikle hücre içindeki *adenozintirfosfat-ATP* maddesi bir fosfor açığa çıkararak *adenozindifosfat-ADP*'ye dönüşür ve önemli ölçüde enerji açığa çıkar. Ancak bu enerji kaynağı kısa sürede tükenmekte olduğundan, oluşan ADP'nin hızla ATP'ye çevrilmesi gereklidir. Ancak ATP oluşumunun esas kaynağı, karbonhidrat ve yağların oksijen aracılığı ile parçalanarak enerji açığa çıkması ve oksidasyon sürecinde ADP'nin ATP'ye çevrilmesidir. Yeterli oksijen olmayan hallerde, hücre içinde kalıntı maddesi olan *laktik asit* oluşmaktadır. Biriken laktik asit ve ADP gibi oksijen yokluğunda enerji sağlayan metabolik maddeler yorgunluk maddeleri olarak kabul edilebilirler. ATP ve P ve laktik asit yolu gibi kas enerjisi oluşumu olayları oksijensiz ortamda enerji kaynakları olduklarından bunlara **anerobik** enerji kaynakları denir. Laktik asit birikimine gerek olmadan ve ATP depolarını da takviye ederek karbonhidratlar yada yağların oksijen aracılığı ile parçalanması **erobik** yol olarak bilinir. Hızlı ve ağır işlerde çalışmak, büyük ölçüde anerobik enerji kaynaklarına dayandığı için, işin şiddetine göre kas dokusu içinde yorgunluk maddeleri birikimine neden olur.

Kasılma için Gerekli enerjinin Temini ve Kasılma Süreci

Kas hareketi için gerekli enerji, aldığımız besinlerden sağlanır. Sindirim sisteminde işlenen karbonhidrat, yağ ve protein grubuna dahil besinler, karaciğer aracılığı ile kaslara ulaşırlar. Proteinler, amino asit düzeyine indirgenerek dokuların gelişme ve onarımında görev alırken, karbonhidratlar ve yağlar da biyokimyasal parçalanmalar sonucu gerekli enerjiyi sağlarlar.

Hücre içi oksidasyon ile enerji açığa çıkması şeklinde gerçekleşen bu reaksiyon için gerekli oksijen, ilgili dokular aracılığı ile temiz kandan temin edilir.

Herhangi bir kasılma hareketinin başlayabilmesi için ilgili kas liflerinin uyarılması gerekir. Kas kasılması sonucu ortaya çıkan mekanik enerji, kasın kimyasal enerji rezervlerinden sağlanır. Dolayısıyla, kasın yapacağı iş kimyasal enerjinin mekanik enerjiye çevrilmesine bağlıdır.

Kas kasılması için gerekli olan glikoz ve oksijen miktarı başlangıçta sınırlı miktarda bulunur. Bu nedenle, her iki madde de kas sistemine kan aracılığı ile ulaştırılır. Bundan dolayı çalışan kasa ulaşan kan miktarı, kassal çalışmayı sınırlayabilir. Çalışma esnasında kasların gereksinimi olan kan miktarı 10-20 kat artabilir. Bu gereksinim, kalp atışlarını arttırır ve kaslara giden kan damarlarının genişlemesine neden olur. Aşırı yüklenmelerde kalbin zorlanmasının en önemli nedeni budur. Ergonomik açıdan önemli olan, bu gibi durumlarda ya yüklemeyi azaltmak ya da dinlenme aralıklarının arttırılması gerekir. Kasların hareketi için gerekli oksijen, kas dokusundaki miyogloblin tarafından karşılanabileceği gibi, kan aracılığı ile de sağlanabilir. Yapılan iş için gerekli olan oksijen, işin yapılması sırasında tam olarak karşılanamıyorsa bu açık, adenosinüçfosfat, kreatinfosfat gibi anerobik enerji kaynaklarından karşılanır.

Bu durum ergonomide "**oksijen borcu**" olarak ifade edilir (Şekil 16). Oksijen borcu, ilgili kas kitlesi dinlenmeye geçer geçmez ödenmeye başlanır. Bu nedenle zorlu bir kas çalışmasından sonra verilen dinlenmelerde, sık ve derin solunum ile yüksek nabız bir süre daha devam eder. Borç ödeme süresi olarak ifade edilen bu süre içinde kan aracılığı ile sağlanan bol oksijenle önce glikoz oksidasyonu, buna bağlı olarak da düşük enerji bileşiklerinin yüksek enerji bileşiklerine çevrilmesi sağlanır. Oksijen borcunun artması ve aşırı ölçüde laktik asit oluşumuna rağmen çalışmaya devam edilmesi halinde kaslarda ağrı oluşur. Örneğin, tavanda elektrik bağlantısı yapmak için kollarını yukarıda tutarak çalışan bir

insanın kol kaslarına yeterli kan ve buna bağı olarak yeterli oksijen sağlanamadığından kollarında titreme ve ağrılar başlar. Aynı durum, kasların hiç gevşetilip dinlendirilmediği statik kas yüklemelerinde de görülür. Bu nedenle, ergonomik açıdan kolların yüksekte çalışması ve kasların statik olarak yüklenmesi zorunlu olmadıkça önerilmemektedir.

Dinamik ve Statik Kas Kasılması

İki tür kas kasılması faaliyeti vardır. Birincisi, dinamik yada ritmik kas faaliyeti, ikincisi ise statik yada postural kas faaliyetidir. Her iki olay da aşağıda verilen şekilde özetlenmiştir. Örneklerden görüldüğü gibi, dinamik kas faaliyetlerinde kasılıp gevşemesi ritmik bir şekildedir. Statik durumda kas kasılması süreklilik gösterdiğinden kaslar kısa zamanda yorulurlar.

Şekil 16.Hafif ve çok zor işlerde oksijen alma, oksijen borcu ve oluşması ve borç ödeme

Şekil 17. Statik ve dinamik kas çalışmalarının şematik görüntüsü ve kuvvet kullanımı

Dinamik ve statik kas kasılmaları arasında önemli farklılıklar vardır. Bunların en önemlilerinden biri, kaslara kan temini ile ilgilidir. Statik kas kasılmalarında, kan damarları kaslardaki sürekli kasılma etkisi ile büyük bir basınç altında çalışırlar. Bu durum, kaslara giderek daha az kan gönderilmesine neden olur. Dinamik kasılmada ise, kas hareketleri ritmik bir şekilde kasılıp gevşediğinden kan dolaşımı üzerinde pozitif bir etki söz konusudur. Kasılma sırasında kan, kas liflerini besleyen kılcal damarların uçlarına kadar ulaşarak, buralara 10-20 kat daha fazla kan ulaşmasını sağlar. Dolayısıyla dinamik kas kasılması sırasında, kas bol miktarda glikoz ve oksijen alır ve atıklar da hemen atılabilir. Kuvvetli bir statik kas kasılması sırasında, kasa ne glikoz ne de oksijen ulaşır. Buna ilave olarak, atıklar kasta atılmayarak birikmektedir. Bu nedenle, uzun süreli kas kasılmasına dayanabilmek oldukça güçtür. Çünkü ağrı hissi bu atıklar nedeniyle oluşmaktadır. dinamik kas kasılması için uygun bir ritim sağlanmışsa, herhangi bir yıpranma olmaksızın uzun süre devam ettirilebilir. Örneğin, kalp kasları. Statik kas kasılması sırasında, kan ulaşımı kasılmayla ters orantılı olarak azalır. Uygulanan kas kuvveti, maksimum kas kuvvetinin %60'ına ulaşınca kan akışı tamamen kesilir. Daha düşük kas kuvveti uygulamalarında, kan damarları üzerinde daha az basınç söz konusu olduğundan, bir miktar kan ulaşımı sağlanabilmektedir. Maksimum yüklemeye kıyasla %15-%20 arasında bir kas kasılması sırasında, kasa doğru kan akışı normaldir. %20 oranında bir kas kasılması uzun süre devam ettirilebildiği halde, %50 ve daha fazla oranda bir kas kasılması en çok 1 dakika sürdürülebilmektedir. Bu olay aşağıda verilen şekilde görülmektedir. Sonuç olarak sürekli statik kas kasılması doğuran faaliyetler arzu edilen bir olay değildir.

Şekil 18. Uygulanan kasılma kuvvetine göre maksimum kasılma süreleri

4. İNSAN VÜCUDUNUN MEKANİK YAPISI

1. Giriş

Endüstriyel ergonomi, endüstriyel ortamlarda insan-makine arakesiti üzerine odaklanmıştır. Başlangıçta, bu alandaki gelişmeler biyomekanik adı verilen bir bilimsel disiplin ile sağlanmıştır. Gerçekten, biomekanik veya anatomi, ergonomi için temel bilim olarak iş istasyonları tasarımına uygulanmıştır. Biomekanik, dinlenen veya çalışan bir insan vücudunu mekanik açıdan incelemektedir. Bu analiz için, çevre tarafından dış kuvvetler etkisi altında kalan insan vücudu, iskelet-kas sisteminde oluşan iç kuvvetlerin birleştirdiği vücut parçaları olarak düşünülmüştür. Frankel ve Nordin'e göre biomekanik, vücudun değişik bölümlerini ve günlük normal etkinlikler sırasında bu bölümlere etkiyen kuvvetlerin etkisini dikkate alarak fiziki kanunları ve mühendislik düşünceleri kullanılır.

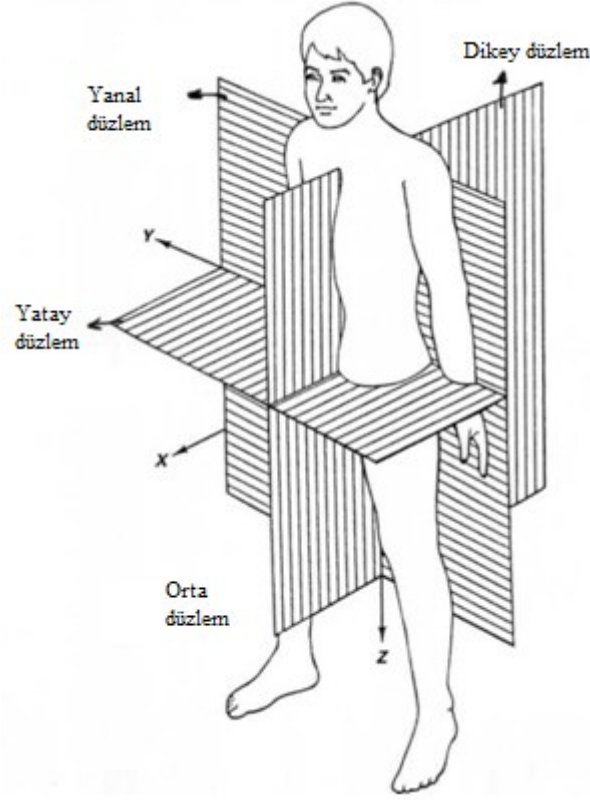
Mesleki biomekanik, işçinin fiziksel durumuyla takımlar, makineler ve malzemeler arasındaki ilişkiyi tanımlar. Öyle ki, insanın performansını arttırırken kas-kemik sistemindeki bozulmaları minimize eder. Günlük etkinliklerde biyomekaniğin temel ilkeleri uygulanır. Özellikle mevcut insan vücudu problemleri ve performans sınırları için endüstrideki çeşitli emeğe dayalı durumlar dikkate alınır.

2. Mekanik Prensipleri

Biyolojik Mekanik Temel Kavramları

Ergonomide biyomekanik kavramı, insan sağlığını ve emniyetini göz önüne alarak, çalışan veya dinlenen bir insana etki eden kuvvetleri inceleyen bir bilimsel disiplindir. Newton fiziğine dayalı olan mekanik, iki temel alandan oluşmaktadır. 1) *Statik*; dinlenen insan vücudu üzerinde yapılan çalışmayı, 2) *Dinamik*; çalışan insan vücudu üzerindeki çalışmaları inceler. Dinamik, kinetik ve kinematik olarak iki temel alana ayrılır. Kinematik hareketin geometrisiyle, kuvvetten bağımsız olarak, deplasmanlar, hızlar ve ivmelerle ilgilidir. Kinetik ise hareketlerin oluşumunu sağlayan kuvvetler ile ilgilidir.

Kuvvet bir vektör olarak dört faktör ile tanımlanabilir. Bunlar; uygulama noktası, etkinlik hattı, doğrultusu ve şiddetidirler. Kuvvet birimi SI birim sisteminde Newton (N)'dur ve 1 m/s²'lik ivme ve 1 kg'lık kütleyi veren kuvvet olarak tanımlanır. Bir kuvveti tanımlamak üzere uzayda bir vektör çizildiğinde, kuvvetin şiddeti F veya R gibi bir sembolle ifade edilir. Genel olarak üç boyutlu uzayda X, Y ve Z koordinatlarının bileşenleri şeklinde gösterilirler.



Şekil 4.1 İnsan vücudunu bölen düzlemler

İnsan vücudunu üç boyutlu uzayda değerlendirdiğimizde, frontal düzlem (X,Y düzlemi) insan vücudunu ön ve arka olmak üzere ikiye ayırır. Sagittal düzlem (Y,Z düzlemi) vücudu sağ ve sol yarılarına bölerler. Bunlar insan vücudu hareketlerini tanımlamada kullanılabilecek referans düzlemleridir (Şekil 4.1).

Winter 'a göre, herhangi bir anda insan vücuduna etki eden kuvvet tipleri; yerçekimi kuvvetleri, dış kuvvetler, reaksiyon kuvvetleri ve kas kuvvetleridir. Yerçekimi kuvveti, vücut kütle merkezinden aşağı doğrudur. Dış kuvvetler, vücudun ağırlığı ve dış iş yükü nedeniyle oluşur. Kas kuvvetleri ise, verilen noktalar üzerinde net bir kas momenti ile ifade edilirler.

Statik, Kinematik ve Kinetik Kanunları

Newton üç temel hareket formülü ortaya atmıştır. Bunlardan birincisi; Atalet kanunudur. 1. kanunda, bir dış kuvvet uygulanıncaya kadar, hareketsiz bir cisim hareketsiz kalacak veya belirli bir doğrultuda hareket eden bir cisim hareketine devam edecektir. Diğer bir deyişle, bir kuvvet uygulanıncaya kadar bir cisim denge halinde kalacaktır. İkinci kanun, ivme kanunudur. Bu kanuna göre, bir kuvvet tarafından oluşturulan cismin ivmesi, direkt olarak kuvvetle ya da tersine olarak cismin kütlesi ile orantılıdır. 2. kanun uygulanırken bütün koordinatlarda;

$$F_x = ma_x$$

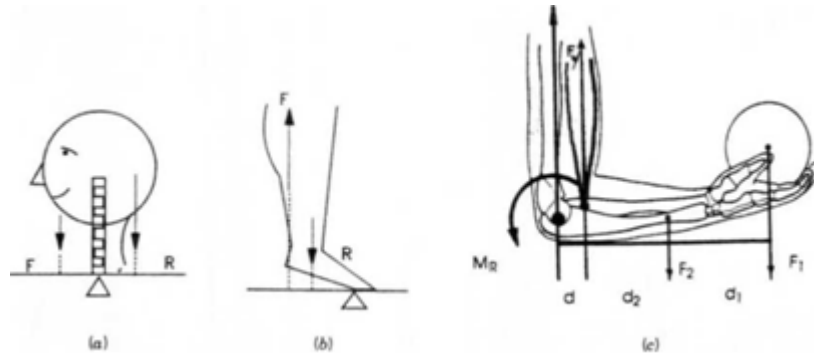
$$F_y = ma_y$$

$$F_z = ma_z$$

Bu olay, kemiklerin kaldıraç gibi, eklemlerin destek ya da dönme noktası gibi hareket ettiği göz önüne alınan üç değişik kaldıraç sistemiyle mümkündür. Kaldıraç sistemi, uygulanan kuvvet ve değişik noktalardan gelen diren kuvveti ve bunların mesnet noktalarına uzaklıklarından oluşur. Kuvvet kolu ve direnç kolu, harcanan kuvvet ve direnç kuvvetinin mesafesiyle tanımlanır. Kaldıraç sisteminin avantajı, kuvvet kolu ve direnç kolunun uzunluklarıyla orantılıdır. Bir kaldıraç sisteminde *mekanik avantaj=kuvvet kolu/direnç kolu* ile hesaplanabilir.

Kaldıraç sistemlerinin ilkinde destek, direnç ve uygulanan kuvvet arasına yerleştirilmiştir. Bu olaya ilişkin bir anatomik örnek Şekil 4.3-a 'da verilmiştir. İkinci tip kaldıraç sisteminde direnç, destek ve kuvvet uygulama noktası arasına yerleştirilmiştir (Şekil 4.3-b). Bunun mekanik avantajı birinciden daha fazladır. Üçüncü tip kaldıraç sisteminde kuvvet, direnç ve destek noktası arasına yerleştirilmiştir ve mekanik avantajı daima birinciden daha az olup, vücuttaki bir çok sistem bu yapıdadır (Şekil 4.3.c).

Statik durumdaki kas kuvvetlerinin analizi, kasların ürettikleri hareketlerin anatomik durumuyla ilgilidir. Kaldıraç kolu, liflerin hareket doğrultusundan eklemin dönme eksenine dik mesafesidir. Diğer yandan, yer çekimi kuvveti, cisim elemanının uygulama noktası adı verilen kütle merkezinin üzerinden aşağı doğru bir çekme kuvveti doğurur.



Şekil 4.3 Vücuttaki kaldıraç sistemleri

Serbest Cisim Diyagramı ve Tek Bağlantılı Analizi

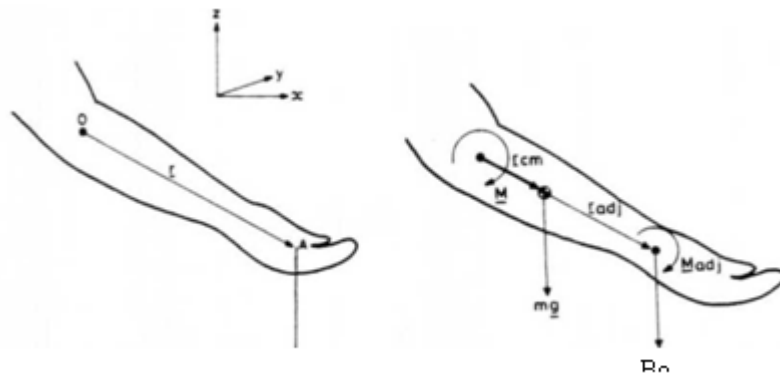
Fleksiyon esnasında, dirsek eklemi etrafına etki eden kuvvetlerin statik analizi, aşağıda verilen örnekteki gibi yapılır. Elinde 110 N tutan bir adam düşünelim. Bu adamın eli dirsek mesnedinden 0.35 m uzakta olsun. 20 N olan kol ve el ağırlığının merkezi, dirsek mafsalından 0.15 m ileride olsun. Kol yatay olacak şekilde bükülü olsun (Şekil 4.3-c). Bükülme kası, mafsaldan 0.05 m ileride ve kola dik olsun. X eksenini mafsaldan geçmektedir ve yerçekimi kuvvetine diktir. Pazuya gelen kuvvet, başka bir kuvvetle dengelenmek zorundadır. Bu ise dengenin 2. şartıyla bulunabilir.

$$\sum M_{saatekseniyönünde} + \sum M_{saatekseniaaksiyönünde} = 0$$

$$\begin{aligned}
(110\text{ N} \times 0.35\text{ m}) + (20\text{ N} \times 0.15\text{ m}) + (F_y \times 0.05) &= 0 \\
(38.5\text{ Nm}) + (3\text{ Nm}) + (F_y \times 0.05) &= 0 \\
F_y &= -830\text{ N}
\end{aligned}$$

bağıntıları kullanılır. Birinci ve ikinci kanunlar, bir cismin hareketinin arttırılması veya yavaşlatılması ile ilgilidir. Bağıntılardan görüleceği üzere, büyük ataletli cisimler büyük kuvvet gerektirirler. Üçüncü hareket kanunu ise, Etki-Tepki prensibidir. Bir cisme dışarıdan bir kuvvet etki ettiğinde, cisim tarafından gösterilen reaksiyon kuvveti, etki eden kuvvete eşit fakat zıt yönlüdür.

Serbest vücut diyagramı, statik ve dinamik olarak gerekli olan kuvvetlerin vektörlerini verilen durum için göstermektedir. Bu kuvvetler, seçilen koordinat sistemine göre bileşenlerine ayrılırlar ve vücuda etkiyen dönme momentleri hesaplanabilir (Şekil 4.2). Statik analiz durumunda, vücudun herhangi bir harekete sahip olmadığı 2 boyutlu örnek için analiz basittir. Dinamik durumda, 3 boyutlu halde ise lineer ve açısal hızlanma mevcut olacağından daha fazla veriye gereksinim vardır, örneğin; vücudun dönme ataleti ve açısal momentumları gibi.



Şekil 4.2 Eklem reaksiyon kuvvetlerinin hesaplanması ve kuvvet momentinin gösterimi

Biyomekanik Analiz

Statik Analiz

Statik bir cisim üzerine etki eden momentler ve kuvvetlerin incelenmesi gerekir. Dönme noktasındaki momentlerin büyüklüğü, kuvvetin etki doğrultusu ile kuvvetin uygulandığı nokta arasındaki (dik) mesafenin çarpımıdır. Yani; $Moment = Kuvvet * Kuvvet\ kolu$ şeklinde hesaplanır ve birimi Nm 'dir. Statik analizde ivme etkisi, momentum ve sürtünme dikkate alınmaz. Cisim hareketsiz ise statik dengede, hareketli ise dinamik dengededir. Statik denge (1. kanun) için, bir cisim üzerine etki eden bütün kuvvetlerin vektörel toplamlarının sıfır olması gerekir ($\sum F = 0$). Dinamik denge için (2. kanun) sabit bir cismin saat eksenine göre momentlerinin toplamı ile saat ekseninin tersine göre momentlerinin toplamı eşittir ($\sum M = 0$).

Kaldıraç Sistemleri

İnsan vücudunun kas-iskelet sistemi, dış kuvvetlere karşı bir kemikten diğerine eklemler üzerinden geçen kas bağlantılarının anatomik yapısını kullanarak hareket üretirler.

örnekte, pazuya gelen dengeleme kuvveti 830 N 'dur ve kolu saat ekseninin tersi yönde çevirmeye çalışır. Genel olarak, denge şartları altında dönme noktası etrafındaki momentler toplamı ve yatay ve dikey kuvvetler toplamı sıfır olmalıdır. Bu olay, matematiksel olarak aşağıda verildiği şekilde yazılır.

$$\sum M = 0, \quad \sum F (F_x \text{ veya } F_y) = 0$$

Elde taşınan kütle ve kolun ağırlığından dolayı dirsek eklemine etki eden R_y ve M_y etkileri aşağıda verilen şekilde hesaplanabilir.

$$\begin{aligned}
R_x &= 0 \text{ ve } F_x = 0 \text{ (Yatay kuvvet yok)} \\
0 &= -F_1 - F_2 + R_y \\
R_y &= +130 \text{ N}
\end{aligned}$$

Burada; F_1 , yük (N), F_2 , el ve kolun ağırlığı (N) R_x , X yönündeki eklem reaksiyonu, R_y , Y yönündeki eklem reaksiyonudur. Eklemdeki M_R momenti ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\begin{aligned}
\sum M &= 0 \\
F_2 d_2 \times F_1 d_1 \times M_R &= 0 \\
110 \times 0.35 - 20 \times 0.15 + M_R &= 0 \\
M_R &= 41.5 \text{ Nm}
\end{aligned}$$

Burada; d_1 , kolun uzunluğu, d_2 , kol ağırlık merkezinin dirsekten uzaklığıdır.

Çok Bağlantılı Tek Çubukların Statik Analizi

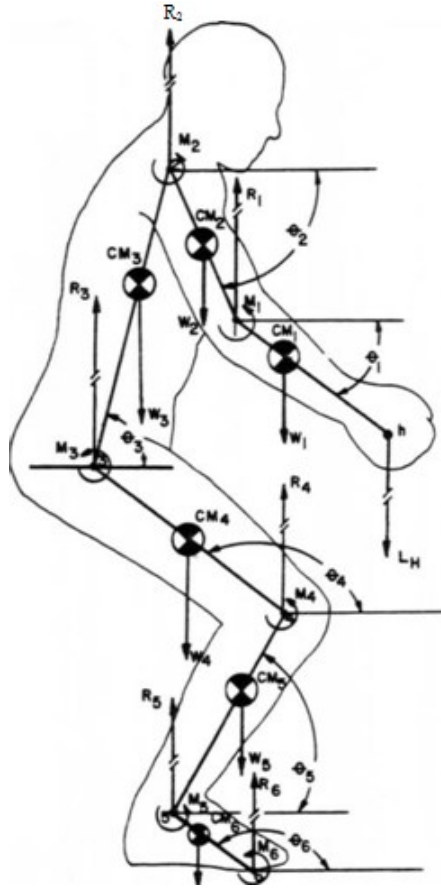
Daha önce anlatılan tek elemanlı çubuk modelinin analizi için verilen yöntem çok elemanlı çubukların analizi için de kullanılır (Şekil 4.4). Bununla birlikte, hemen belirtilmelidir ki, X koordinatı ve bir açısıyla tanımlanan bir elemanın formu değiştiğinde mafsallara gelen moment de değişir. Bu analizde son çubuk, topuk kemiğidir.

Dinamik Analiz

Dinamik çalışma şartları altında vücut bölümleri hem lineer hem de açısal ivmelenmeye maruz kalırlar. Bu, eklemler üzerindeki atalet kuvvetlerinin incelenmesini gerektirir. Çünkü kaldırma kolu ve ivmelenme, eklem momentinin bir fonksiyonu olarak hareket boyunca değişir. Bu ivmelenmenin yönü, aynı zamanda açısal ivmeyle de ilgilidir. Dönme için olan direnç, kütle ve onun atalet momentine ve şekline bağlıdır. Moment için genel eşitlik, M , herhangi bir anda bir eklem için aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$M = r_{cm} \times mg + M_{adj} + r_{adj} \times R_{adj} + r_{cm} \times ma + I\ddot{\theta}$$

Burada, a , bölümün kütle merkezindeki lineer ivme, $\ddot{\theta}$, kütle merkezi etrafındaki bölümün açısal ivmesi, I , bölümün kendi kütle merkezindeki atalet momentidir



Şekil 4.4 Altı bağlantılı bir model için dinamik analizin gösterilmesi

Yorulma

Bilindiği gibi, çalışma sırasında kaldırılan büyük kuvvetler yorucudur ve uzun süreler için bu yükler taşınamaz. Şekil 4.5 zaman ve isteğe bağlı maksimum hareket yüzdesi ilişkisini göstermektedir. Bu ilişki, Rohmert tarafından, kol, bacak ve karın kasları için, Coldwell tarafından üst uzuvlar için ve Monod ve Scherrer tarafından da omuz, pazu ve kol kasları için

ıkarılmıştır. Yakın geçmişteki çalışmalar, işteğe bağlı hareket bütün gün boyunca yapıldığında %5 ve %10 'a kadar limite yaklaşmakta ve 0 yükte % 100 güce erişmektedir.

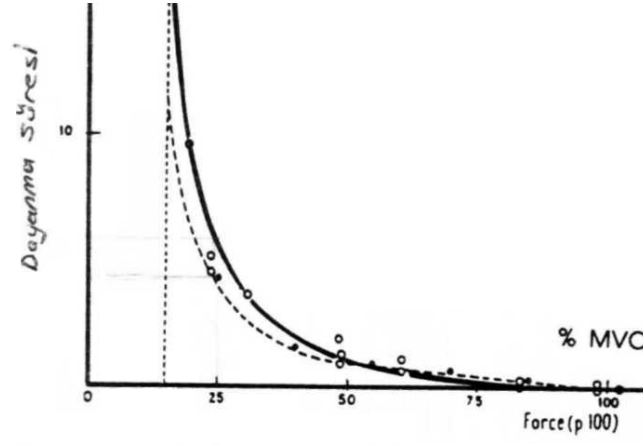
Kahn ve Monod tarafından yapılan tartışmalar, statik efor için maksimum zaman yada maksimum yenilenme süresi uygulanan kuvvetle ters orantılı olup, kuvvet işteğe bağlı hareketin %15 'ni geçmiyorsa uzun zaman taşınabileceği yönündedir. Kuvvet ve zaman arasındaki ilişki,

$$t = \frac{k}{(F - f)^n}$$

ile tanımlanmıştır. Burada; t, sınır zaman (dak), F, kullanılan relatif kuvvet (% olarak), f, t 'yi sonsuz yapan kuvvet, k ve n sabitlerdir. Rombert, daha detaylı bir eşitlik oluşturmuş ve bu ise;

$$t = -1.5 + \left(\frac{2.1}{F}\right) - \left(\frac{0.6}{F^2}\right) + \left(\frac{0.1}{F^3}\right)$$

ile ifade edilmektedir. Her iki durum için de, maksimum dayanım süresi, oluşan kuvvetle hiperbolik ilişki içindedir.



Şekil 4.5 Kas dayanımının yüzde fonksiyonu olarak izometrik kas dayanma zamanı

Kesikli Statik İş

Kesikli statik iş durumunda, yani, statik işin uygulanması dinlenme periyotlarıyla ayrıldığında, verilen relatif güce göre, maksimum çalışma zamanı ve relatif temas süresi şöyle hesaplanır;

$$t = \frac{k}{(F - f)^{np}}$$

Burada, p toplam zamanın yüzdesi olarak statik temas süresi, Rohmert, diğer bir metotla, gerekli olan yorulmadan kesikli iş yapabilme zamanını aşağıda verilen bağıntı ile ifade etmiştir.

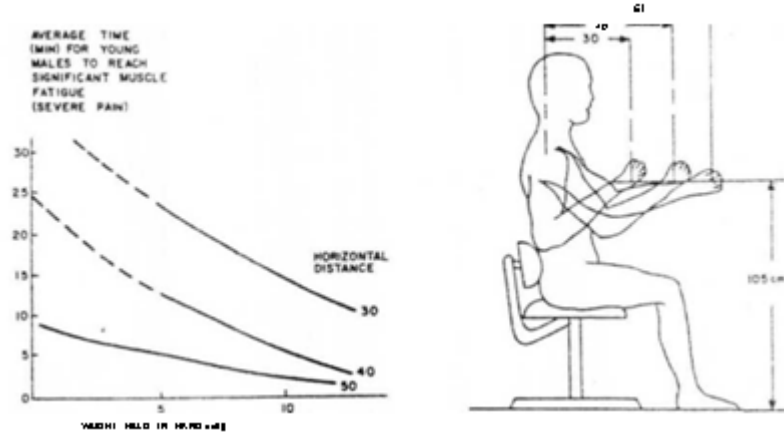
$$t = 18 \left(\frac{t}{t_{\max}} \right)^{1.4} \times \left(\frac{F}{F_{\max}} - 0.15 \right)^{0.5} \times 100$$

Burada; t_r , t 'nin yüzdesi olarak dinlenme süresidir. Öyle ki, buradaki temas süresi, minimum olsun. Kahn ve Monod, statik efordaki yorulmaya neden olan ana faktörün, bölgesel kas hareketlerinin olduğuna karar vermişlerdir. Buna ilave olarak, kas üzerinde olan yorulma, dinlendirme zamanları yeterli ise geciktirilebilir. Bu zaman, kasın normal kan akışını sağlayacak kadar olmalıdır.

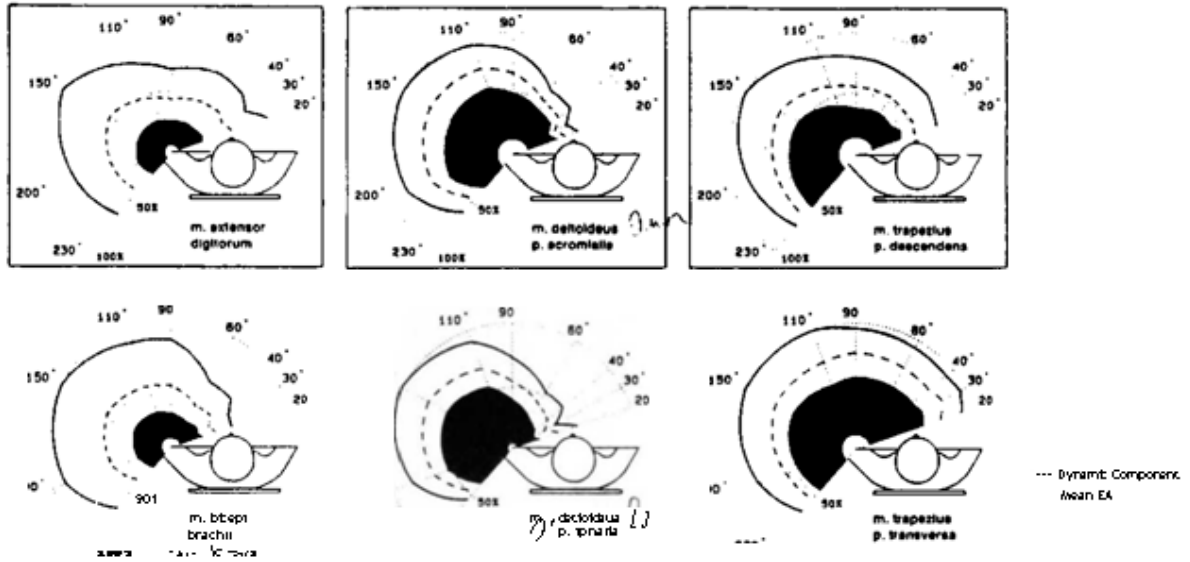
Kolun Statik Eforu

Şekil 4.6 yatay omuz kasları üzerindeki yorulma dayanım süresini göstermektedir. Bu şekil, çalışma yerinin mümkün olduğunca kolun gövdeye yakın olabileceği şekilde tasarlanması gerektiğini gösterir. Genel olarak, herhangi bir yükü tutma görevi, bağlama elemanları ve destekleme elemanlarıyla yapıldığından insanın yük taşıma sırasındaki eforu azalır.

Strasser ve çalışma arkadaşları, el, kol ve omuz sistemlerindeki lokal kas gerilmelerinin yatay kol hareketlerinin yönüne bağlı olduğunu göstermişlerdir. Tekrarlı manuel hareketlerin yönüne bağlı olan kas gerilmeleri işyeri planlaması için büyük önem taşır. Bu çalışma grubu, uygun olmayan duruşlarla olabilecek gereksiz gerilmelerden kaçınmak ve tekrarlı malzeme taşıma işlerinde taşıma yönlerini, statik ve dinamik kemik-kas yüklerini tanımlamaya çalışmıştır. Şekil 4.7 'de, 120° - 200° arasındaki kuvvet değerlerinin statik bileşenleri, 20° - 30° - 40° - 40° ve 230° açılarıkinden oldukça büyüktür.



Şekil 4.6 Farklı kol hareketlerinde omuz kaslarının dayanım süresi



Şekil 4.7. Yatay düzlemdeki temas yönü ile kas kuvveti arasındaki değişimlerin gösterilmesi

NIOSH (Uluslararası Mesleki Emniyet ve Sağlık Enstitüsü) Yük Kaldırma Kılavuzu

Yüklerin elle kaldırılması sırasında iskelet-kas sisteminde oluşan incinmeleri en aza indirmek için 1962 yılının başlarında *Uluslararası İş Organizasyonu* tarafından manuel yöntemle yük kaldırılması için bir klavuz hazırlanmıştır. Bu klavuzdaki bilgiler, simetrik ve düzgün bir cismin kaldırılması için orta genişlikteki bir cisme yatay düzlemde (dönme olmaksızın) işi tutma yerleriyle, normal sıcaklıklarda tercih edilen vücut duruşları içindir.

Bu bilgiler, aşağıda verilen altı faktör üzerinde durarak tehlikeli yük kaldırma durumunu belirlemektedir.

1. Kaldırılacak cismin ağırlığı (L)
2. Ayaklar arasında olacak şekilde konumlanmış bir cismin yatay ağırlık merkezi (H)
3. Kaldırmanın başlayacağı yerden itibaren cismin ağırlık merkezi (V)
4. Cismin kaldırılacağı noktaya kadar olan kol hareketi mesafesi (D)
5. Kaldırma sıklığı (dakikada yapılan kaldırma sayısı)
6. Kaldırmanın bir periyotta aldığı zaman (1 saatten az veya 8 saat bazında)

NIOSH, tehlikenin iki seviyesi üzerinde öneride bulunmaktadır. İki seviye hareket limiti (AL), bu zarar bazı kişilerde ortaya çıkmaktadır. Eğer bu kişiler iyi seçilmemiş veya eğitilmemişse kaldırma işlemi limit değerleri geçilebilir. Özellikle hareket limitleri şunlar ise;

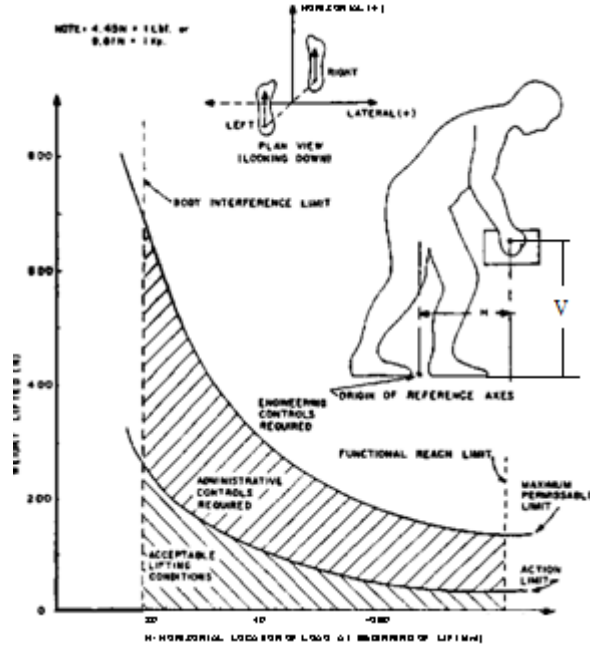
1. Genelde toplanan veriler bazı işçilerde (AL) geçildiğinde zarar görme riskinin arttığı görülmüştür.
2. Biyomekanik çalışmalar L5/S1 disklerindeki baskı güçlerinin 3400 N seviyesinde olması durumunda birçok kişi tarafından tolere edilebileceğidir.
3. Psikolojik çalışmalar AL seviyesindeki iş için ortalama 3.5 kcal /dakika vücut enerjisine gereksinim duyulduğu şeklindedir.
4. Psikofiziksel çalışmalar kadınların %75, erkeklerin %99 'unun Al seviyesinde olduğunu göstermiştir.

Aynı açıklama, ikinci seviye olarak maksimum izin verilen limit (MPL) tehlikesi konusundadır. Bu limit şunlardan oluşur.

1. Genel çalışmalar, kes-iskelet sisteminde incinme ve zararlar MPL seviyesinin geçilmesi halinde oransal ve miktar olarak artmıştır.
2. Biyomekanik çalışmalar L5/S1 diskindeki basınç kuvvetlerinin 6400 N seviyesinde olması halinde birçok işçi tarafından tolere edilmediğini açıkça ortaya çıkarmıştır.
3. Psikolojik çalışmalar ile metabolik enerji harcamı 5.0 kcal/dak. olarak (MPL seviyesinde) belirlenmiştir.
4. Psikofiziksel çalışmalar erkeklerin %25 'inin kadınların %1 'inin bu seviyenin (MPL) üzerinde direnç gösterdiklerini belirlemişlerdir.

AL ve MPL değerleri kaldırma işini, kontrol planlama amacı için 3 tehlike kategorisine ayırmaya izin verir (Şekil 4.8).

1. MPL 'nin üzerindeki değerler kabul edilemez olarak düşünülmelidir ve yük kaldırma koşullarını yeniden dizayn etmek üzere mühendislik kontrolleri yapılmalıdır.
2. AL ve MPL arasındaki mühendislik kontrolleri olmaksızın kabul edilemez. Bununla birlikte, işçinin dikkatli seçimi, yerleştirilmesi ve eğitimi ve/veya işin yeniden dizaynını gerektirir.
3. Al 'nin altındaki koşulların bir çok işçi için nominal risk arz ettiği kabul edilir. Yani bunun altındaki değerler işçiler için emniyetlidir.



NIOSH yük kaldırma klavuzu önerileri

İş değişkenlerinin kollektif etkisinin değerlendirilmesi için NIOSH klavuzu yazarları tarafından bir tahmin denklemi oluşturulmuştur. AL (etki limiti) 'deki bir iş için maksimum kaldırılacak ağırlığı belirlemek üzere kullanılan denklem aşağıdaki gibidir.

$$AL = 392 \left(\frac{15}{H} \right) [1 - 0.004|V - 75|] \left(0.7 + \frac{7.5}{D} \right) \left(1 - \frac{F}{F_{\max}} \right)$$

Bu değer MPL için olursa;

$$MPL = 3 AL$$

Burada;

1. AL ve MPL, verilen iş koşullarında maksimum ağırlık (N olarak) kaldırma değerlendirir.
2. H, dikey kaldırma eksenindeki yükün kütle merkezinin iki ayak bileği arasındaki mesafenin orta noktasına kadar olan yatay mesafedir.

V, gene aynı şekilde, yükün kütle merkezinden yere kadar olan mesafe (minimum değer yok, maksimum değer 175 cm (bir insanın ulaşabildiği üst kaldırma yüksekliği)).

3. D, cismin cm cinsinden, dikey hareket ettirildiği mesafe. Minimum değeri 25 cm ve maksimum değeri 200 cm (dikey orijin yüksekliği V). Not: hareket edilen mesafe küçükse ($D < 25$ cm) etki nominaldir. Bu durumda D025 cm kabul edilir.
4. F, ortalama kaldırma sıklığıdır (kaldırma sayısı/dak). Minimum değer, arasıra kaldırma sıklığı 0.2 (her 5 dakikada bir kaldırma). Maksimum değer hem kaldırma periyoduyla (1 saatten az veya her 8 saat için) ya da kaldırma işinin sadece kolla mı yoksa dikkate değer derece vücut hareketiyle yapılıp yapılmadığına göre belirlenir. $F_{\max}$ değerleri Tablo 2.1 'de verilmiştir.

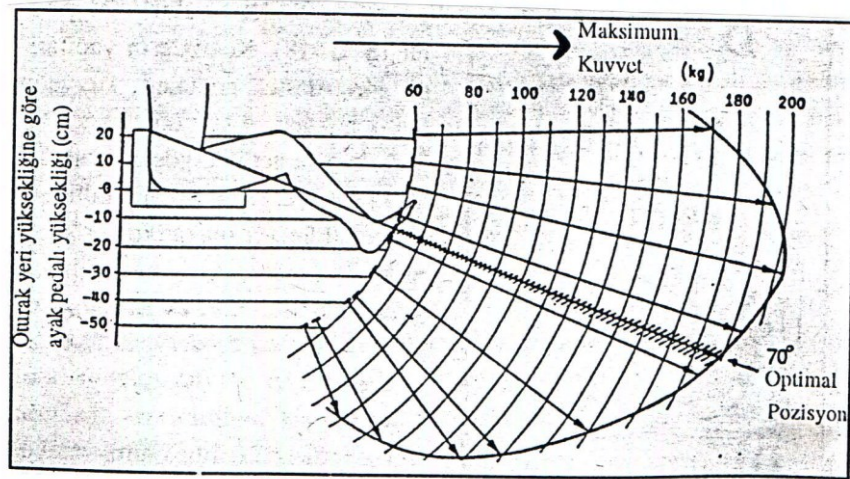
Tablo 2.1 Farklı yüklemeler ve kaldırma periyotları için izin verilen $F_{\max}$ değerleri (Yük kaldırma/dakika)cinsinden maksimum frekans

Kaldırma periyodu zamanı	$V > 75$ cm (ayakta)	$V \leq 57$ cm (hareketsiz)
1	18	15
8	15	12

İnsan Hareketleri ve Kuvveti

Bir kontrol düzeninin mekanik hareketlerinin yeterli ve kolay olması, belirli bir hareket başlangıcından itibaren devreye girecek kas kitlelerini, eklem açısına göre optimal kuvvet uygulanması gibi olasılıkların araştırılması gerekir. Bir hareket etüdü için, tek bir eklem ve tek bir düzlem üzerindeki hareketlerin araştırılması yeterli değildir Kontrol hareketi

sırasında devreye giren parmak, bilek, dirsek ve kalça gibi bütün eklemleri ve bunların hareketleri ile ortaya çıkan kas yükü ve eklem açıları gibi faktörleri de dikkate almak gerekir. Aşağıda verilen şekil, ayak pedallarının tasarımına örnek oluşturabilecek bir yaklaşımı göstermektedir. Şekilde, oturan bir insanın çeşitli doğrultularda ve değişik diz eklemi açısı ile bir traktör pedalına uygulayabildiği kuvvet 200 kg. 'a kadar çıkabildiği halde, biyomekanik ve tasarım tekniği açısından, -bu doğrultuda uygulanan kuvvet 190 kg. 'nın altında olmasına rağmen- en optimal pozisyon olarak 70° açı doğrultusu uygun görülmüştür.



Şekil 4.9 Pedal yüksekliğine göre maksimum kuvvet uygulamasının kilogram olarak değişik yüzeyde oluşu

Yapılan incelemelerde, bacak hareketlerinin kol hareketlerine bakarak daha kaba olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, kol ve bacadaki kas sayıları ve sinirsel organizasyonu incelendiğinde kol ve elleri uyaran sinir ağının daha zengin olduğu ve kaslar açısından da bacakların daha ağır ve hantal olmasıdır. Bu sonuç, incelikli kas kontrolü gerektiren işlerde üst etrafın daha güvenilir olacağını açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Diğer yandan, el ve

kol hareketlen ile kontrol işleminde kas kuvvetinin, ayak ve bacaklara bakarak daha zayıf olduğu bilinmektedir.

Endüstrideki çalışmalar gün boyu ya da belli bir süre devam ettiği için kas kuvveti performansında değişiklikler vardır. Buradaki etken kasların dayanıklılığıdır. Tıkız ve kuvvetli insanlar üzerinde laboratuarlarda elde edilen sonuçlar esas alınarak endüstri çalışmalarına ait prensipler saptanamaz. Çünkü kasların dayanıklılığı, kas kitlesine olduğu kadar onların esneklik ev yumuşaklığına, solunum ve dolaşım sistemlerinin sağlıklı işleyişine ve iş görenin beslenme durumu gibi birçok karmaşık nedenlere bağlıdır.

a)Biyolojik Etmenler: Sherrer'e göre, bedensel yapı, cinsiyet ve yaş ile birlikte, kişinin antremanlılık yüzdesi, yorgun veya dinlenmiş olması, kuvvet sarf etmeye istekli olması gibi faktörler kuvvet performansına etkili olmaktadır. Diğer bir etken, kuvvet 20-30 yaş civarında maksimum seviyeye çıkarken yaşın artması ile birlikte azalmaktadır. Endüstride her yaş grubundan insan bulunduğu için bu faktörün göz önüne alınması zorunludur. Cinsiyet açısından düşünüldüğünde, kadınların kuvvet performansı, erkeklerinkinin yaklaşık %70 ' kadar olduğu da göz önüne alınmalıdır.

b) Meslek Etmenleri: çalışma düzeni ve işyeri koşullarından oluşurlar. İş görenlerin giyimi, eldiven, ayakkabı ve diğer koruyucu teçhizatlar da kuvvet performansı arasında önemli etkiler yaparlar. İş çevresinin ısısı, rutubeti, ağır iş elbiseleri ve bunların kişilerin bedenine uygun olması gibi ilk bakışta önemsiz gibi görülen faktörler de performans açısından değerlendirilmelidir.

Maksimum Yük Kaldırma Konusu

Maksimum kuvvetin sık kullanılmasının sakıncalarını dikkate alan çeşitli örgütler, yük kaldırmada sağlıklı düzey ve ağırlıklar konusuna önem vermişlerdir. Dünya Çalışma Teşkilatı (ILO), bir insanın kaldırabileceği yükün maksimum 48 kg ve tekrarlı kaldırma işlemleri için de erkeklerde 22, kadınlarda 16 kg olması hususunda uluslararası bir anlaşma hazırlamışlardır. Bu anlaşmayı imzalayan ülkeler, bu standartlara uymayı kabul etmektedir. Günde 8 saat çalışan bir insanın bedensel dengesinin, kas gücünün ve genel sağlığının korunması açısından bu tür sınırlamalar getirmek önemlidir. Ancak, kuvvet performansı açısından insanlar arasındaki farklılıklar, kişinin antremanlı olup olmaması, kaldırma yüksekliğindeki farklılıklar bu standartlara eleştiri nedeni olmuştur. Bazı araştırmacılar, kaldırılabilir maksimum yük standardını saptamak için, iş görenlerin ifadelerini dikkate alarak kaldırılabilir maksimum yük değerlerini yeniden saptarken istatistik değerlendirmeler yaparak araştırmaya katılan iş görenlerin %95 'inin uygun göreceği yük ağırlıkları esas alınmıştır. Aşağıdaki tabloda bu değerler verilmiştir.

Tablo 2.2 Yaş grupları için kaldırma yük sınırları

Belirli yaş grupları için öngörülen, kolay kaldırılabilen ağırlıklar (kg)

	14-16	16-18	18-20	20-35	35-50	50 yaş üstü
Erkekler	16	21	26	28	23	18
Kadınlar	11	13	15	17	15	11

5. ERGONOMİK AÇIDAN DUYU ORGANLARI

Merkezi sınır sistemine gelen uyarımlar, deri ve yakınındaki aldı organlar (eksreseptörler), vücudun iç bölümlerindeki algı organları (entreseptörler), görme işitme, koku alma ve tat alma gibi (propriyoseptörler) gibi duyu organları ile algılanırlar. Açlık hissi ve idrar kesesinin dolmasını algılamalar, entreseptörler tarafından gerçekleştirilirler.

Ergonomik olarak önemli olan algılama organları ise, ışığa, sese, kimyasal maddelere, dokunmaya, sıcak ya da soğuk gibi dış organlara duyarlı algı organları ile hareket sistemine ait denge ile ilgili algılamaları gerçekleştiren algılama organlarıdır. Bu açıdan diğer önemli bir algılama da, **kinestetik** algılamadır. Kinestetik algılama, insanın kendi hareketlerinden ve vücudu ile temas halinde olan cisim ve eşyalardan haberdar olması şeklinde ifade edilebilir. Örneğin, gözleri yumuk olan bir kimsenin elinde varolan bir nesneyi eliyle dokunarak tanınması kinestetik duyu organlarının yardımıyla söz konusudur.

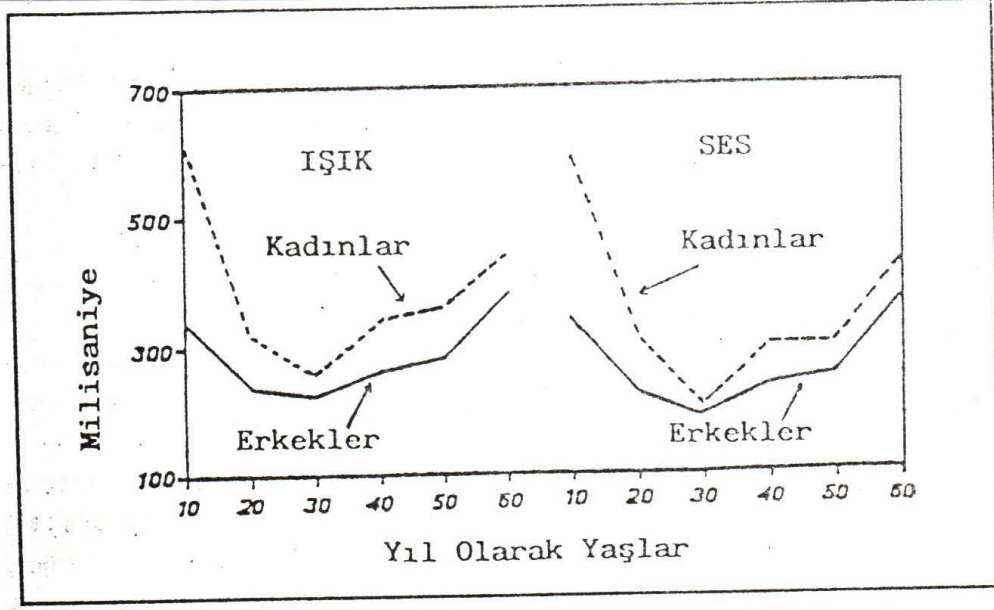
Kinestetik algı uçlarından doğrudan omurilik bölgeleri ile bağlantısı olanlar, alarm uyarımları ve refleks reaksiyonlarını gerçekleştirirlerken, beyinciğe kadar ulaşan ve dengeli, koordine ve ritmik hareketlerin başarılabılmesinde gerekli bilgileri sağlayan algılayıcılar ise, beyinciğin koordinatörlüğünü de devreye sokarlar.

Reaksiyon Zamanı

İnsan vücudunun belli davranış ve hareketlerinin başlaması için, belli bir komut ya da işaretin kullanılması gerekir, herhangi bir uyarı hareketi başlatabilmektedir. Bir uyarı

geldikten sonra, beklenen hareketin başlaması için geçen süreye davranış gecikmesi ya da *reaksiyon zamanı* denilir. Böyle bir gecikmeye, algı organları, sinir sistemi ve hareket sisteminin devreye giriş zamanları ve dolaylı gecikmeler neden olurlar. Bunlardan her birinden kaynaklanan gecikme zamanları yaklaşık değerler olarak belirlidir. Bütün gecikmeler toplandığında, reaksiyon zamanı olarak tanımlanabilecek süre yaklaşık olarak 113-528 mili saniye arasında bir süredir. Ayrıca uyarımın vücudun hangi bölgesinden alındığı, merkezi sinir sistemine uzaklığı ve harekete geçirilen kasların merkeze yakın ya da uzak olması gibi etkenler de reaksiyon zamanında farklılıklar yaratır.

Aşırı yorgunluk ve iş hevesi kayıpları da reaksiyon zamanı üzerinde önemli kayıplar oluşturmaktadır. Önemli olan, insanların kontrollü harekete geçiş için minimum 300 mili saniyelik bir zamana ihtiyaç duymasıdır. Bellis, insanların reaksiyon zamanlarını ölçtüğünde, ses yada ışık sinyali erkeklerin ve kadınların reaksiyon sürelerinde bir takım farklılıklar olduğunu ve bu sürenin yaşa göre de değiştiğini görmüştür. Bu ilişki aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 5.1 Işık ve ses uyarılarına reaksiyon sürelerinde görülen yaşa ve cinsiyete göre farklılıklar

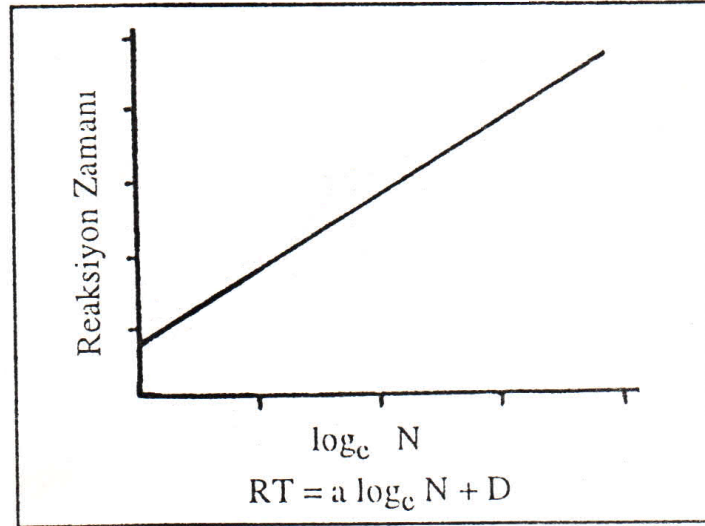
Reaksiyon zamanları ayrıca kontrol edilen düzeneklerin sayısı, tasarımın özellikleri ve yerleşim noktaları ile belirli kontrollerin kullanılması için gerekli bilgileri veren göstergelerin çok ve anlamlarının karmaşık olması önemli zaman kayıplarına neden olabilir.

Reaksiyon zamanının gecikmesine neden olan faktörler kısaca, uyarının tipi ve şiddeti, değişkenlerin sayısı, davranış olarak birden fazla seçeneğin olması, uyarıların netliği, operatörlerin verilecek sinyalleri beklemesi veya hazırlıksız yakalanmaları, yaş, yorgunluk ve cinsiyet faktörlerinin getirdiği gecikme etkileri olarak düşünülebilir.

Aşağıdaki tabloda, artan sayıda karar seçeneğinin bulunması durumunda reaksiyon zamanları verilmiştir. Bu tablodaki değerler her olay için bağlayıcı nitelikte olmayıp, bu tür bir olay ile karşılaşıldığında; endüstriyel uygulamalarda, reaksiyon zamanlarının işbaşında, günün çeşitli saatlerinde ve değişik operatörler üzerinde tekrar incelenmesi gerekir.,

Tablo 5.1 Artan sayıda karar seçeneği halinde reaksiyon zamanı bulguları

Karar seçeneği sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Yaklaşık reaksiyon zamanı (saniye)	0.2	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.6	0.65	0.65



Şekil 5.2 Reaksiyon zamanını (RT) karara esas seçenek ve uyarıcı bilgi sayısına (N) göre değişimi

Yukarıda verilen şekilde ise, bu ilişki logaritmik koordinatlarda grafik olarak verilmiştir.

Laboratuarlarda ölçülen reaksiyon zamanları, belli bir uyarıya hazır bekleyen insanların bu uyanlara karşı çabuk reaksiyon gösterdiklerini göstermektedir. Bu uyarılara hazırlıksız yakalanan insanların ise reaksiyon sürelerinin fazla olduğu gözlemlenmiştir. Aşağıdaki tablo incelenirse, konu ile ilgili bir fikir edinilebilmektedir.

Tablo 5.2 Değişik uyarı koşullarında reaksiyon zamanı bulguları

	İstatistik dağılımı (milisaniye olarak)		
	%10	%50	%90
Beklenmeyen bir uyarı	510	610	820
Önceden ikaz ile uyarı	410	510	680
Reaksiyon zamanı testlerinde		200	

Ergonomik yaklaşımlarda, reaksiyon zamanı, iş-zaman etüdü sınırları içerisinde değerlendirilmelidir. İş zaman etütleri için, laboratuvar şartları değil de gerçek iş ortamındaki bulguların kullanılması daha gerçekçi sonuçlar verecektir. Operatörlerin davranışlarının süreleri sadece reaksiyon sürelerine bağlı değildir. İş ekonomisi, işyeri düzeni, fonksiyonel yüklenme, uyarımların zamanlaması ve uyarı tipleri, devinim mesafeleri, yorgunluk gibi faktörler de göz önünde tutulmalıdır. Ayrıca insanların biyomekanik özelliklerine göre (sağ veya sol elini kullanmaları gibi) belirli doğrultu ve pozisyonlarda daha çabuk hareket edebilmektedir. Makina-insan arakesitinde, iş istasyonu analizlerinde ve sistem tasarımında yukarıdaki etkenleri dikkate almak, sistem tasarımında zaman ekonomisi ve işlem zamanı ekonomisi gibi yararlar sağlarlar.

6. İNSANLARIN ENERJİ GEREKSİNİMİ

Bazal Metabolizma

İnsan vücudunu tam dinlenme halinde iken temel yaşam fonksiyonlarını devam ettirebilmesi için gerekli en düşük enerji miktarına *bazal metabolizma* denilmektedir. Bazal metabolizma ölçülürken aşağıdaki koşulların sağlanması gerekir.

1. Vücut uyku haline yakın ve tümüyle gevşek bir durumda olmalıdır (Tam dinlenme halı)
2. Ölçüm yapılmadan 12 saat önce proteinli besinler kesilmeli ve ölçümden 1 saat önce sadece karbonhidrat açısından zengin sıvı besinler almasına müsaade edilebilir.
3. Çevre ısısı, yapılacak ölçümleri etkilemektedir. Bu nedenle kişinin giyinik ve üstü örtülü, sadece giyinik ya da çıplak olması durumlarında test odası sıcaklığının aşağıdaki değerler civarında tutulması gereklidir.

Bazal metabolizmanın ölçülebilmesi için, bu işlemin suje üzerinde iki gün tekrarlanması gerekir.

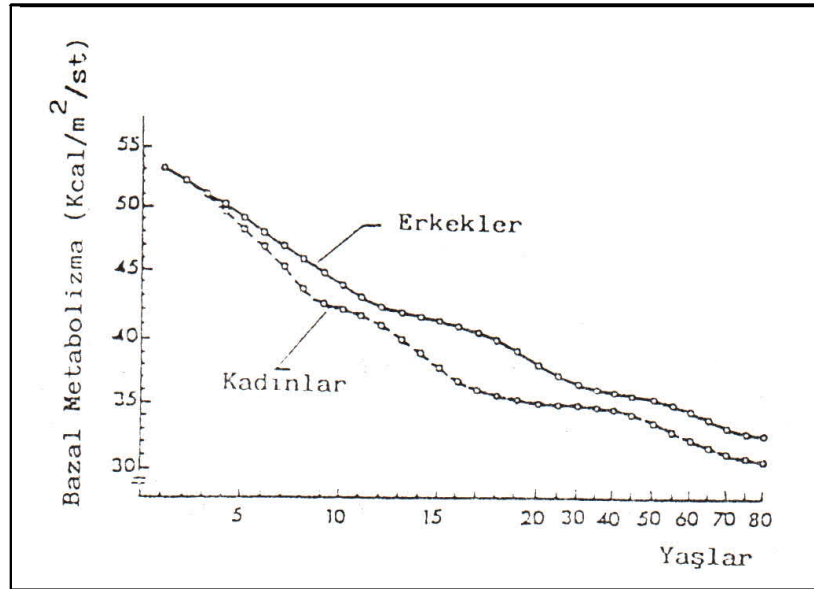
Giyinik ve üstü örtülü kişiler için; 16°

Sadece giyinik kişiler için; 18°-20°

Çıplak kişiler için; 25°

Bu koşullar altında, herhangi bir kişinin harcadığı enerji miktarının ölçülmesinde en güvenilir kriter, kişinin oksijen tüketiminin ölçülmesidir. Kişinin solunum yolu ile dışarıya attıkları gazların analizi ile deney süresince tüketilen oksijen miktarı bulunur. Yerel atmosferik basınç altında ve önemli miktarda nem içeren bu miktar standart koşullara dönüştürülerek vücudun tüketmiş olduğu oksijen miktarı hesaplanır. Hesaplanan bu oksijen miktarının ortaya çıkarabileceği oksidasyon enerjisi **kcal/dak** cinsinden bulunarak bazal metabolizma elde edilir.

Bazal metabolizma değerleri yaşa, ağırlığa, boya ve cinsiyete bağlıdır. Bazal metabolizmanın cinsiyete ve yaşa göre değişimi aşağıda verilen şekilde görülmektedir.



Şekil 6.1 Bazal metabolizmanın cinsiyete ve yaşa bağlı olarak değişimi

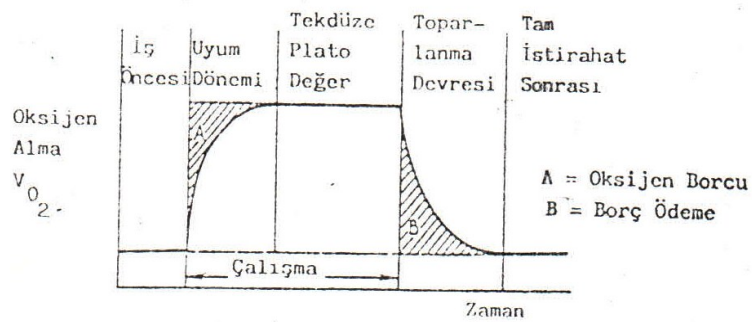
İş Yüğü ve Enerji Gereksinimi

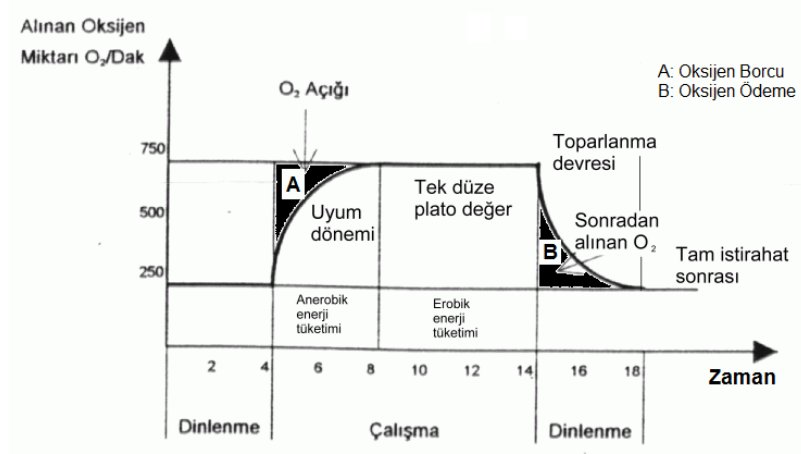
Bir insanın bir iş yaparken tükettiği oksijenden ve solunum yoluyla dışarıya attığı karbondioksit gazından işin yapılması için gerekli enerji miktarını yaklaşık olarak hesaplamak

mümkündür. Diğer taraftan nabızda, solunum hızında ve vücut ısısında meydana gelen değişiklikler de bir işin yapılması için gereken enerjinin hesaplanmasında bir kriter olarak kullanılabilir.

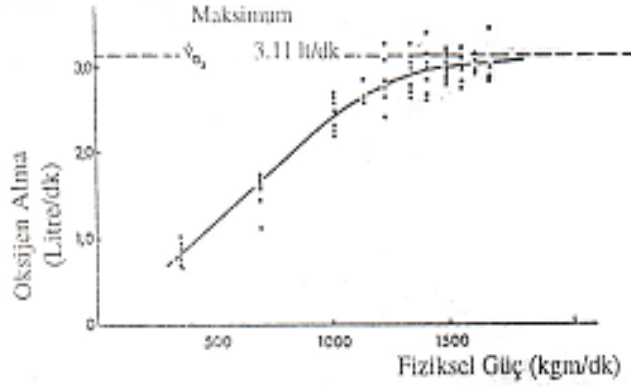
Solunum ve dolaşım sistemlerinin yapılan işe uyum sağlaması hemen gerçekleşemez. Bu uyumun sağlanması için geçen süre zarfında ihtiyaç duyulan oksijen, kaslardaki kimyasal enerji kaynaklarından kaynaklanır. Uyum dönemi sırasında kimyasal enerji depolarından karşılanan bu oksijen miktarına **oksijen borçlanması** denir (Şekil 6.2). Şekilden de görüldüğü gibi, bu uyum sağlandıktan sonra, oksijen tüketimi belli bir düzeyde devam eder. İş bitiminde ise, oksijen tüketimi birden bazal metabolizma düzeyine inerek yavaş yavaş azalır. Oksijen borcunun geri ödendiği bu döneme **toparlanma** dönemi denir (Şekil 6.2).

Bir fiziksel çalışmanın başlangıcında solunum ve dolaşım fonksiyonları, metabolik gereksinimlere uyum sağlayıncaya kadar, iş görenin kas hücreleri, "anerobik" yoldan enerji oluştururlar. Uyum sağladıktan sonra ise gerekli enerji "erobik" yoldan karşılanır, Eröbik yoldan karşılanan enerjinin bir üst sınırı vardır ve bu sınır değere, maksimum eröbik kapasite denir ve bu olay Şekil 6.3 'te gösterilmiştir. Bu kapasite üzerinde, vücudun iş yapabilmesi için anerobik rezervlerin kullanılması gerekir ki, bu da bireyin aşırı zorlanmasına neden olur.





Şekil 6.2 Bedensel bir çalışma sırasında oksijen alma düzeyinde ortaya çıkan değişiklikler



Şekil 6.3 Erobik kapasite

Erobik kapasitenin yüksek olması, yorgunluğa karşı direnç ve iş verimi açısından önemlidir. Ancak bu kapasitenin tek başına, yüksek iş kapasitesi ve verimliliğin ölçüsü değildir. İş yerindeki ortam koşullarının, iş düzeninin ve temposunun, yardımcı araç ve gereçlerin uygun yerleşiminin, duruş ve oturuş pozisyonları, işçilerin iş heveslen de önem taşımaktadır.

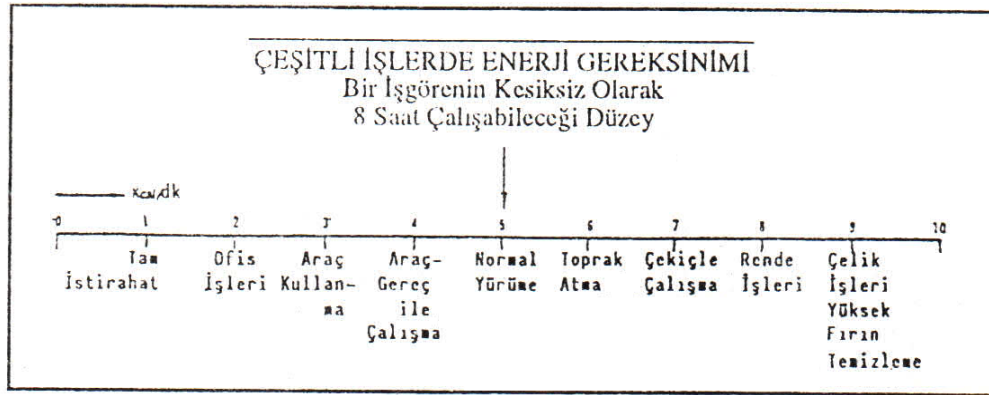
Toplam enerji harcamı çalışmalarında, işin özelliklerine göre her hareketin tekrar sayısı, enerji tüketim düzeyi, işin yapıldığı süre içerisinde vücut pozisyonları gibi faktörler dikkate

alınmalıdır. Tablo 6.1 'de çeşitli işlerde gerekli enerji miktarları ve ortalama kalp atış sayıları verilmiştir.

Tablo 6.1 Çeşitli işlerde enerji gereksinimleri

İşin niteliği	Toplam enerji harcamı (Kcal/dak)	Kalp atışı sayısı
Hafif işler	2.5	90 veya daha az
Orta işler	5	100
Ağır işler	7.5	120
Çok ağır işler	10	140
Ekstra ağır işler	12.5	160 veya fazla

Dünya Sağlık Örgütü (ILO) ortalama bir insanın günde 8 saat çalışarak gerçekleştirdiği çeşitli işler için enerji gereksinimlerini yaklaşık olarak vermektedir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Çeşitli işlerde enerji gereksiniminin yaklaşık değerleri ve karşılaştırılması

Günlük Enerji Gereksinimi

Günlük enerji gereksinimini belirlemek için, iş başında harcanan enerjiye ek olarak iş dışındaki etkinlikler için de gerekli olan enerji gereksiniminin saptanıp iş başındaki enerjiye eklenmesi gerekir. Günlük gerekli enerji;

$$E = I + S + U$$

eşitliğinden yararlanarak hesaplanmalıdır. Bu eşitlikte;

- E : günlük enerji miktarı
I : işbaşındaki gerekli enerji miktarı
S : Serbest zamanda gerekli enerji miktarı
U : Uykuda gerekli enerji miktarı

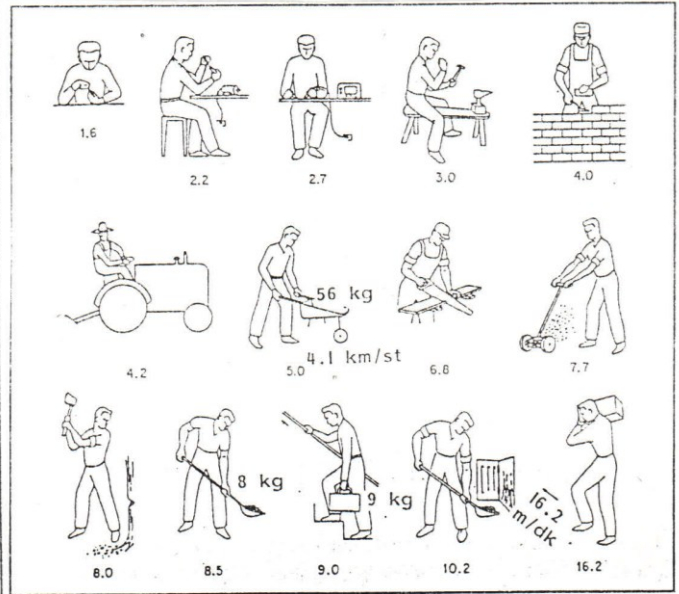
olup, bunların ortalama değerleri ve günlük toplam enerji gereksinimi;

	saatte	8 saatte
I	: 214 kcal/h	1712 kcal
S	: 140 kcal/h	1120 kcal
U	: 70 kcal/h	560 kcal
	Toplam	3392 kcal/gün

olarak saptanmıştır. Aşağıda verilen tabloda bazı işlerin yapılabilmesi için kcal olarak enerji miktarları verilmiştir.

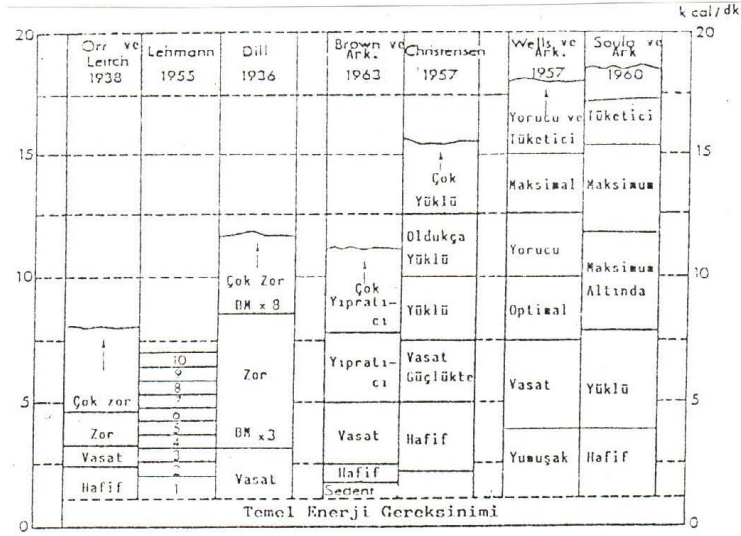
Tablo 6.2 Bazı işlerin kcal olarak enerji gereksinimleri

İş	İş Koşulları	KCal/dk
Ağırlıksız Yürüme	Eğimsiz, düz zemin 3km/s	1.7
	4km/s	2.1
	Engelibeli, nadas 3km/s	5.2
	Kırsal yol, ağır ayakkabı 4km/s	3.1
Sırtta Yükle Yürüme	Eğimsiz, düz zemin 10kg 4km/s	3.6
	30kg 4km/s	5.3
	50kg 4km/s	8.1
Tırmanma	16° eğim 11.5m/dk hız	
	yüksüz	8.3
	20 kg	10.5
	50 kg	16.0
Bisiklet Sürme	16 km/s hız	5.2
Kırak ile Çalışma	1kl elle vuruş 35 vuruş/dk	
	yatay vuruş	9.5-11.0
	dikey vuruş	10.0-11.5
Çekiçle Çalışma	4.4 kg çekiç, 15 vuruş/dk	7.3
Küresle Çalışma	2m. atma mesafesi 10 küre/dk	
	Fırlatma mesafesi 1.0m	7.8
	" " 1.5m	9.0
	" " 2.0m	10.0
Ağaç bığma	2 kişi karşılıklı, 60 çift/dk.	9.0
Tuğla Orme	0.0041 m ³ /dk.	3.0
Vidalama	Yatay	0.5
	Düsey	0.7-9.8
Bollene	Kıllı badece tıracığı	7.5-8.7



İş ve işlemlerin Fiziksel Çaba Olarak Sınıflandırılması

İnsanların yaptıkları işler, zorlanma durumuna göre çeşitli sınıflara ayrılabilir. Yapılan araştırmalarda iş ve işlemler çeşitli kişilerce değişik gruplara ayrılmıştır (Şekil 6.5). Bu gruplardan en mantıklısı olarak Saula ve ekibinin yaptıkları gruplandırma görülmektedir. Saula ve çalışma ekibi, yaş ve cinsiyet, antrenman düzeyi gibi faktörleri dikkate alarak iş ve işlemleri 5 ana gruba ayırmışlardır.



Şekil 6.5 Kas çalışmalarının zorluk derecelerinin çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiş sınıflandırma teknikleri

1. **Hafif İşler:** Erojik kapasitenin %25 'inden az fiziksel çaba gerektiren işlerdir. (Büro işleri)
2. **Zorca İşler:** Erojik kapasitenin %25 -%50 'si düzeyinde fiziksel çaba gerektiren işlerdir.
Montaj hattı operatörlüğü
3. **Maksimum altındaki işler:** Erojik kapasitenin %50 -%75 'i düzeyinde fiziksel çaba gerektiren işlerdir. Maden ocağı işçiliği, dökümhanelerde orta büyüklükte kalıplama yapan işçiler.
4. **Maksimal işler:** Erojik kapasitenin %75-%100 'düzeyinde fiziksel çaba gerektiren işlerdir. Uzun mesafe koşucuları, yüksek fırın ve döküm işçilikleri,
5. **Bitkinliğe neden olan işler:** Erojik kapasitenin üzerinde güç harcanarak yapılan işlerdir. Bu işler çok kısa süreler için uygulanabilir. Halter kaldırma gibi.

Enerji Tüketiminin çalışma ile ilişkisi ve Dinlenme Sürelerinin Hesaplanması

Erobik kapasitenin %50 sınır üzerinde enerji sarfı gerektiren işler yorucudur. Bu oran 1' e yaklaştıkça işlerin zorluk derecesi artacağından sık sık dinlenme aralarının verilmesi zorunludur. Çalışanların uzun bir süre verimli olarak çalışabilmeleri için bir kişinin yaptığı işlerin gerçek enerji karşılığı 2000 kcal' yı ve 24 saatlik toplam enerji sarfının da 4300 kcal 'ı geçmemesi gerekir. Eğer bir kişinin dakikadaki enerji gereksinimi, sık sık 5.3 kcal 'yı geçiyorsa, bir iş günündeki enerji safının 2000 kcal 'de kalması için bir takım düzenlemeler yapılması gerekir. Aşağıda verilen şekilde çalışma süresinin dinlenme periyotlarıyla ayrılması halinde ve sürekli çalışma için elde edilen ürün sayısındaki farklılığı göstermektedir.



Şekil 6.7

Çalışma sırasında dinlenme araları verme şeklinde gerçekleştirilen bu düzenlemelerde en önemli sorun dinlenme sürelerinin belirlenmesidir. Dinlenme sürelerinin belirlenmesinde çeşitli formüller önerilmekte ise de bu formüllerdeki farklılık ayrıntılardadır. Çünkü bu formüllerin hemen hepsi standart enerji harcamını esas almıştır. Standart enerji sarfı, kişinin dinlenmeden iş yapabildiği maksimum enerji tüketim hızı olup, ortalama 4 kcal/dak. 'dır. Lehman 'a göre,

$$D = \left(\frac{M}{4} - 1 \right) \times 100$$

M:İş için gerekli olan enerji sarfı (kcal/dak)

D:Dinlenme süresi (çalışılan sürenin yüzdesi olarak)

Örneğin; Dakikada 6 kcal enerji harcamı olan bir iş için dinlenme süresini hesaplayınız.

$$D = \left(\frac{6}{4} - 1 \right) \times 100 = 50$$

Yani toplam çalışma süresinin yüzde ellisi dinlenme süresi olarak verilmelidir.

başka bir dinlenme süresi formülü de Murrell tarafından geliştirilmiştir. Murrell 'e göre;

S=4 kcal/dak, T=1 saat ve M=6 kcal/dak alınırsa dinlenme süresi;

$$D = \frac{1 \times 60(6 - 4)}{6 - 15} = 27 \text{ dakika}$$

7. ANTROPOMETRİ

7.1 Boyut Sorunları

Çalışan insanların fiziksel rahatlıkları ve beden yeteneklerini maksimum düzeyde kullanabilmeleri için kullandıkları malzemeler, çalışma yüzeyleri ve hacimlerinin kendi boyutları ile uygun olmasına bağlıdır. Böyle bir yaklaşımda antropometrik yaklaşımlar kullanılır. Antropometri, insan vücudunun boyutları ile ilgilenen özel bir bilim dalıdır. Bu boyutlar, uzunluk, genişlik, yükseklik, ağırlık, çevre boyutları gibi farklı boyutlardır.

Günümüzde mühendisler sadece vücut ölçüleriyle yetinmeyip hareket halindeki çeşitli vücut uzuvlarının konumlarını da bilmek istemektedir. Konuya bu amaçla yaklaşan fizik, mühendislik ya da tasarım kökenli olan araştırmacıların çalışmalarını dikkate alarak "ANTROPOMETRİ MÜHENDİSLİĞİ" tanımını yapmak mümkündür. Buna göre, antropometri mühendisliği, belirli bir kullanıcı kitlesi için, tasarım standartları geliştirmek ve özel gereksinimleri belirlemek amacıyla, fiziksel ölçüm teknik ve yöntemlerinin bu kitleyi oluşturan bireylere uygulanmasıdır.

Antropometri mühendisliğinin amaçları;

1. Erişim olanakları, normal ve maksimum çalışma alanları, ağırlık dağılımları ve hacimler gibi kitle özelliklerini güvenilir bir şekilde tanımlayacak vücut ölçülerini belirlemek,
2. Antropometrik tasarımlarla, karşılaştırma ve yorumların daha sağlıklı ve daha çabuk yapılabilmesi için veri bankası oluşturmak.

7.2. Antropometrik Ölçüler ve Ölçüm Yöntemleri

Vücut ölçülerinin tanımlanmasında değişik ölçüler kullanılır. Ölçülerdeki bu farklılık, araştırmacıların ilgi alanlarının değişik olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, bir antropolog vücut yapısını sadece vücudun zaman içindeki değişimini incelemek amacıyla ele alır. Bir mühendis ise, bu yapıyı aynı zamanda bir mekanizma olarak görür. Bir antropolog, hareket durumunda veya statik gerilim altında kas zorlanmasının azaltılması ve hareket rahatlığının sağlanması gibi konularla ilgilenmez. Bir mühendis, tasarım standartlarının ve insana hareket rahatlığı kazandırmanın daha önemli olduğunu kabul ederek çalışmalarını sürdürür. Bu standartların belirlenmesi için gerekli ölçümleri yapar ve saptadığı standartlarla tüketici beklentileri doğrultusunda tasarımlarda bulunur.

7.3 Yapısal Vücut Ölçüleri

Yapısal vücut ölçülen, vücut hareketsizken belirli standart pozisyonlarda alınabilen vücut ölçülendir. 1967 'de yapılan bir antropometri konferansı sonunda standartlaşma grubunca önerilen ve başta iş, işyeri, giysi ve şahsi eşya tasarımı olmak üzere çeşitli tasarım amaçları için kullanılan statik vücut ölçüleri şunlardır.

1. **Yükseklikler:** Düşey uzunluklardır. Birey ayakta iken yerden, otururken oturma yüzeyinden ilgili vücut noktasına kadar ölçülen değerlerdir. Diz yüksekliği, ayakta boy, oturuş yüksekliği gibi yükseklikler bu gruba girer.
2. **Genişlikler:** Yatay ve enine çaplardır. Kalça genişliği, omuz yüksekliği, omuz genişliği gibi ölçüler bu gruba girer.
3. **Derinlikler:** Yatay ve dikine çaplar olup göğüs genişliği ve kalça derinliği gibi ölçüler bu gruba girer.

4. **Uzunluklar:** Herhangi bir vücut kısmının uzun eksenini boyunca ölçülen büyüklüktür. Sırt uzunluğu, dış kol uzunluğu gibi ölçüler bu gruba girer.
5. **Çevresel Uzunluklar:** Bir vücut parçasının aynı düzlemdeki çevresidir. Bel çevresi, baş çevresi gibi ölçüler bu gruba girer.
6. **Eğrisel Uzunluklar:** Vücut üzerindeki herhangi iki noktayı birleştiren eğrinin uzunluğudur. Şakaklar arası uzunluklar, çene ucundan kulaklar arası uzunluklar.
7. **Düşüklükler:** Vücut üzerinde boyun, göğüs, bel ve kalça çizgilerinden geçtiği kabul edilen yatay düzlemler arasındaki uzunluklardır.
8. **Erişim Uzaklıkları:** Uzunlukların özel bir hali olan erişim uzaklıkları kulun eksenini boyunca ölçülür. Yukarı doğru ve öne doğru maksimum erişim uzaklıkları gibi ölçüler bu gruba girer.
9. **Kalınlıklar:** El, bilek gibi uzuvların uzun eksenlerine dik en kısa çapların uzunluklarıdır
- 10 **Çıkıntılar:** Herhangi bir uzvun (örneğin: burun) en uç kısmının başlangıç noktasına kadar olan uzunluklardır. Burun ve kulak çıkıntısı gibi ölçüler bu gruba girer.
11. **Kirişler:** Özellikle, başta ense ile burun ve çene ile arka kafayı birleştiren doğrusal uzaklıklardır. Çatal bir pergel yardımıyla ölçülebilir.

Vücut ölçülerinin tam olarak tanımlanabilmesi için durum, yer ve tür değişkenlerinden yararlanılır.

Durum: Ölçülecek vücut kısmının ve parçasının durumu,

Yer : Referans alınacak nokta veya düzleme göre ölçülecek vücut parçası

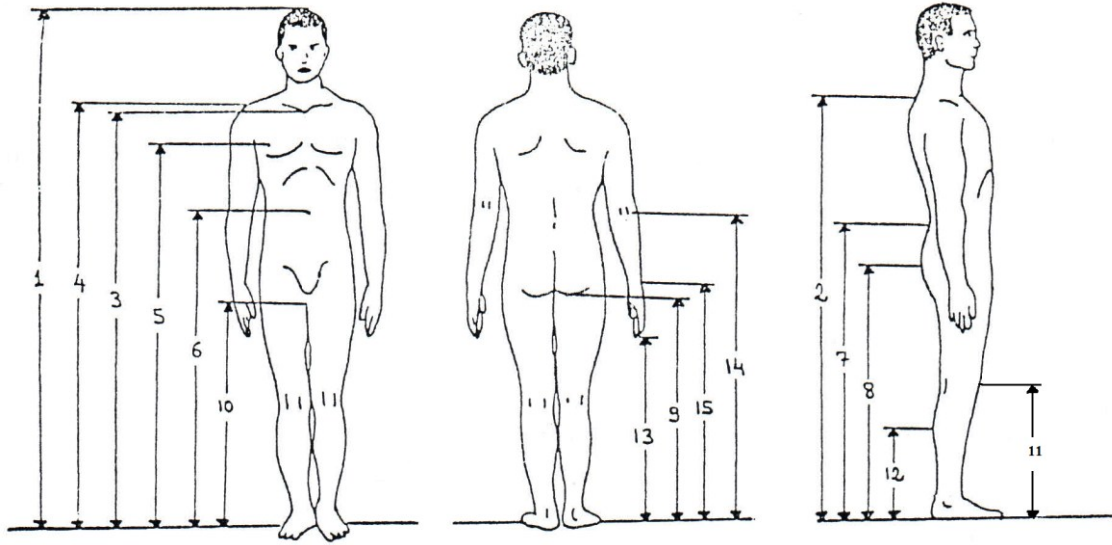
Tür : Ölçü türü

Örneğin:

Oturur durumda	Göz	Yüksekliği
Durum	Yer	Tür

Ölçümlerde, mezura, şerit metre, kumpas, mikrometre, pergel gibi ölçü aletleri kullanılır.

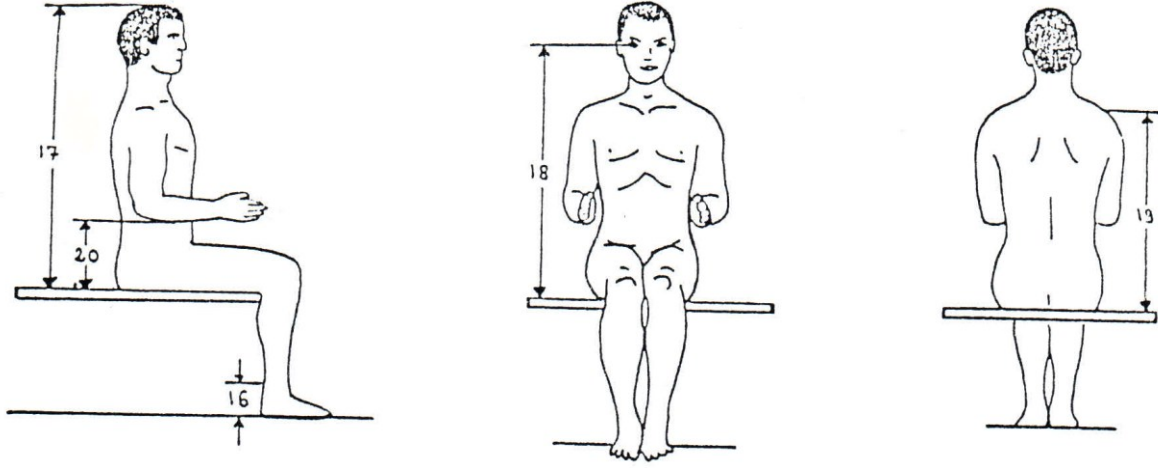
Statik antropometrik araştırmalarda kullanılan ölçü ve boyutlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Yükseklikler:

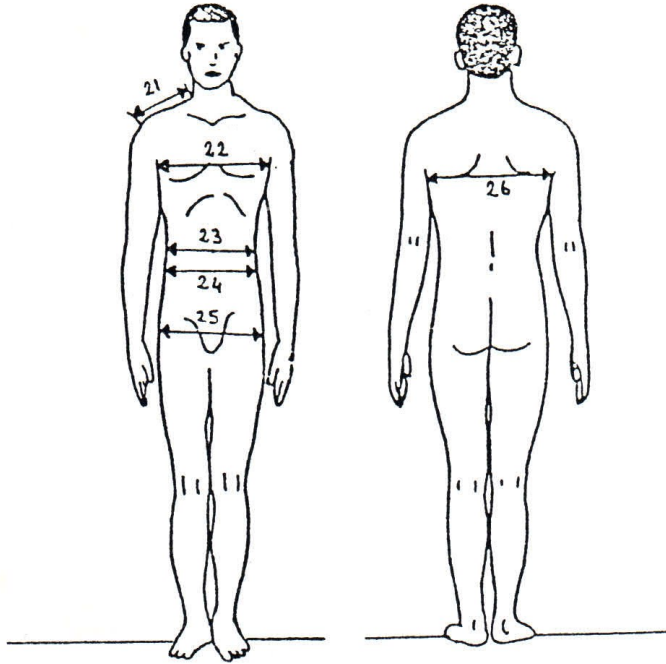
- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1. Boy | 6. Bel yüksekliği | 11. Diz yüksekliği |
| 2. Arkaboyun başlangıcı yüksekliği | 7. Kemer yüksekliği | 12. Baldır yüksekliği |
| 3. Önboyun başlangıcı yüksekliği | 8. Kalça yüksekliği | 13. Parmak ucu yüksekliği |
| 4. Omuzbaşı yüksekliği | 9. Kalça kıvrımı yüksekliği | 14. Dirsek yüksekliği |
| 5. Mem ucu yüksekliği | 10. Ağız yüksekliği | 15. Bilek yüksekliği |

Şekil 7.1 Ayakta ölçülen yükseklikler



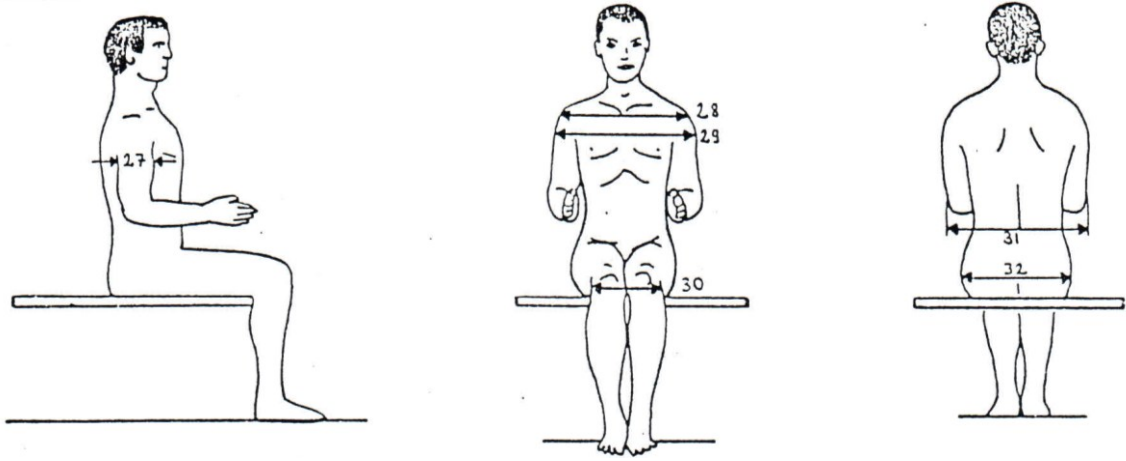
- 16. Ayak bileği yüksekliği
- 17. Oturuş yüksekliği
- 18. Göz yüksekliği
- 19. Omuz ortası yüksekliği (otururken)
- 20. Dirsek dayanma yüzeyi yüksekliği (otururken)

Şekil 7.2 Otururken ölçülen yükseklikler



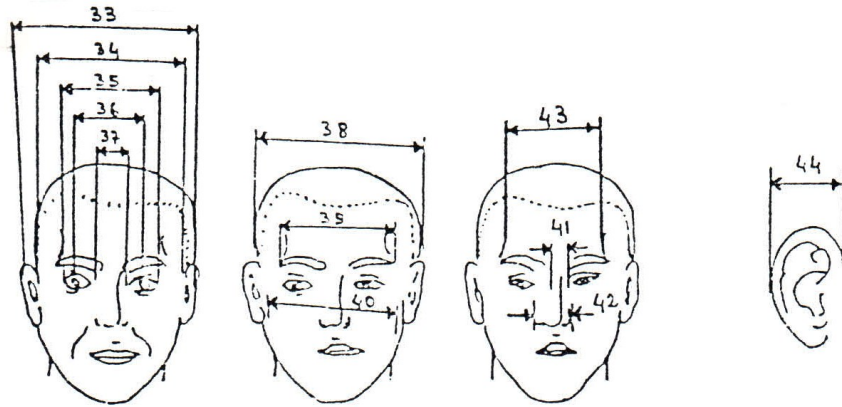
- Genişlikler:
- 21. Omuz genişliği
 - 22. Göğüs genişliği
 - 23. Bel genişliği
 - 24. Kemer genişliği
 - 25. Kalça genişliği
 - 26. Sırt genişliği

Şekil 7.3.a) Genişlikler



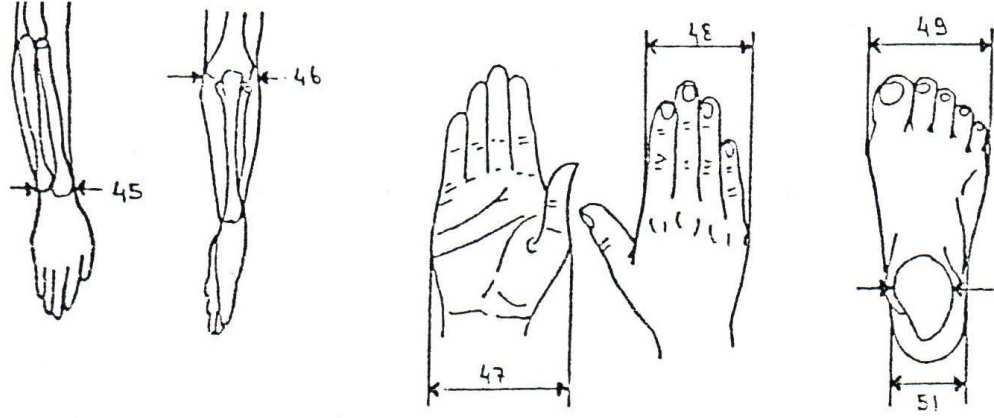
- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 27. Koltuk altı genişliği | 30. Dıştan dışa diz genişliği |
| 28. Dıştan dışa omuz genişliği | 31. Dıştan dışa dirsek genişliği |
| 29. Maksimum vücut genişliği | 32. Kalça genişliği (otururken) |

Şekil 7.3.b) Genişlikler



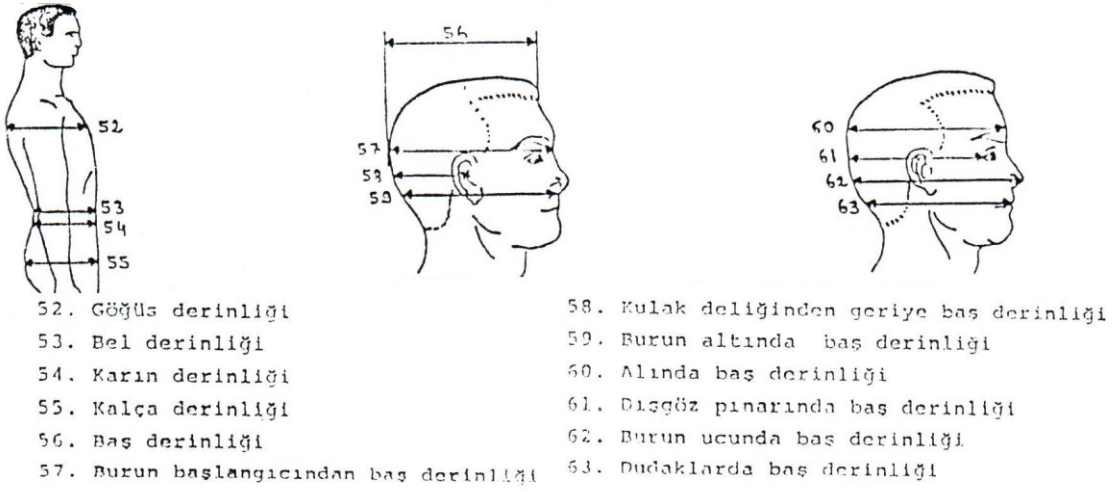
- | | |
|--|---|
| 33. Dıştan dışa kulaklararası genişlik | 39. Dıştan dışa kaşlar arası genişlik |
| 34. İçten içe kulaklararası genişlik | 40. Yüz genişliği |
| 35. Dıştan dışa gözler arası genişlik | 41. Burun başlangıcında burun genişliği |
| 36. Gözlerarası genişlik | 42. Burun genişliği |
| 37. İçten içe gözler arası genişlik | 43. Şakaklar arası genişlik |
| 38. Baş genişliği | 44. Kulak genişliği |

Şekil 7.4. Başta genişlikler



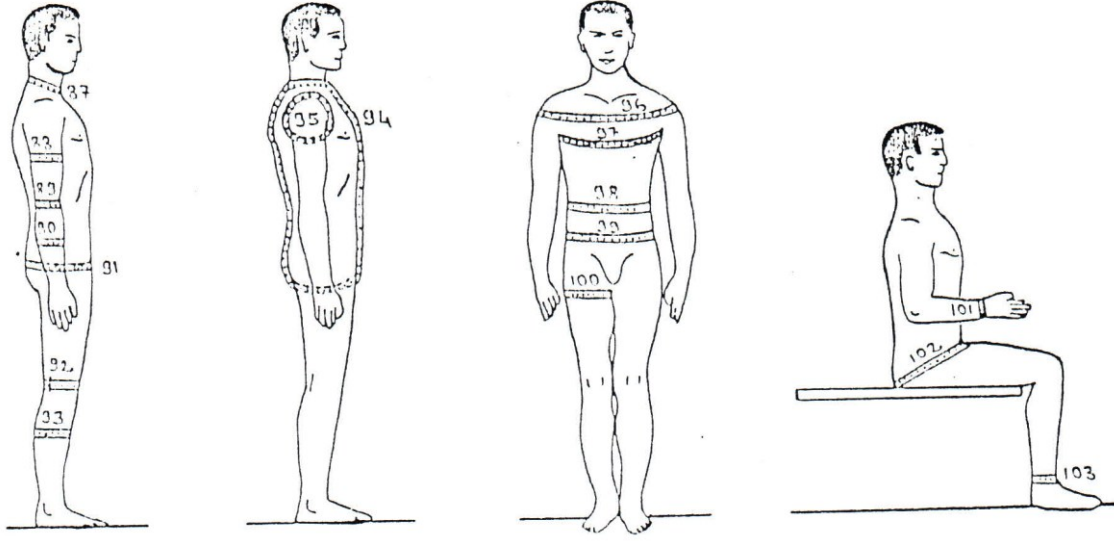
- 45 . Bilek genişliği
46. Dirsek genişliği
47. Başparmakta el genişliği
48. Tarakta el genişliği
49. Ayaktarağı genişliği
50. Ayakbileği genişliği
51. Topuk genişliği

Şekil 7.5 Kol, bilek, el ve ayakta genişlikler



52. Göğüs derinliği
53. Bel derinliği
54. Karın derinliği
55. Kalça derinliği
56. Baş derinliği
57. Burun başlangıcından baş derinliği
58. Kulak deliğinden geriye baş derinliği
59. Burun altında baş derinliği
60. Alında baş derinliği
61. Dışgöz pınarında baş derinliği
62. Burun ucunda baş derinliği
63. Dudaklarda baş derinliği

Şekil 7.6 Derinlikler



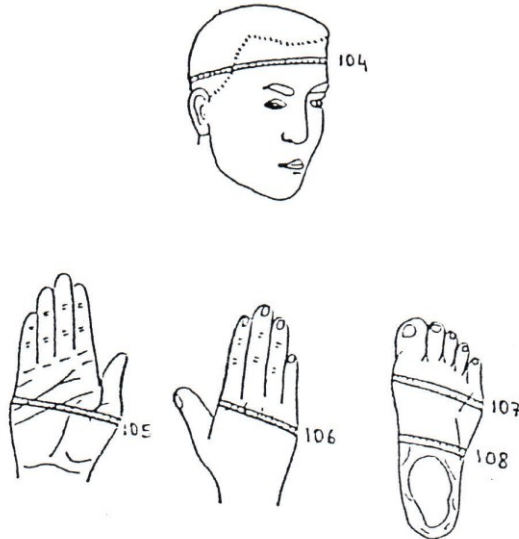
Çevreler:

- 87. Boyun çevresi
- 88. Ustkol çevresi
- 89. Dirsek çevresi
- 90. Alt kol çevresi
- 91. Kalça çevresi
- 92. Diz çevresi

- 93. Baldır çevresi
- 94. Düşey gövde çevresi
- 95. Koltuk çevresi
- 96. Omuz çevresi
- 97. Göğüs çevresi
- 98. Bel çevresi

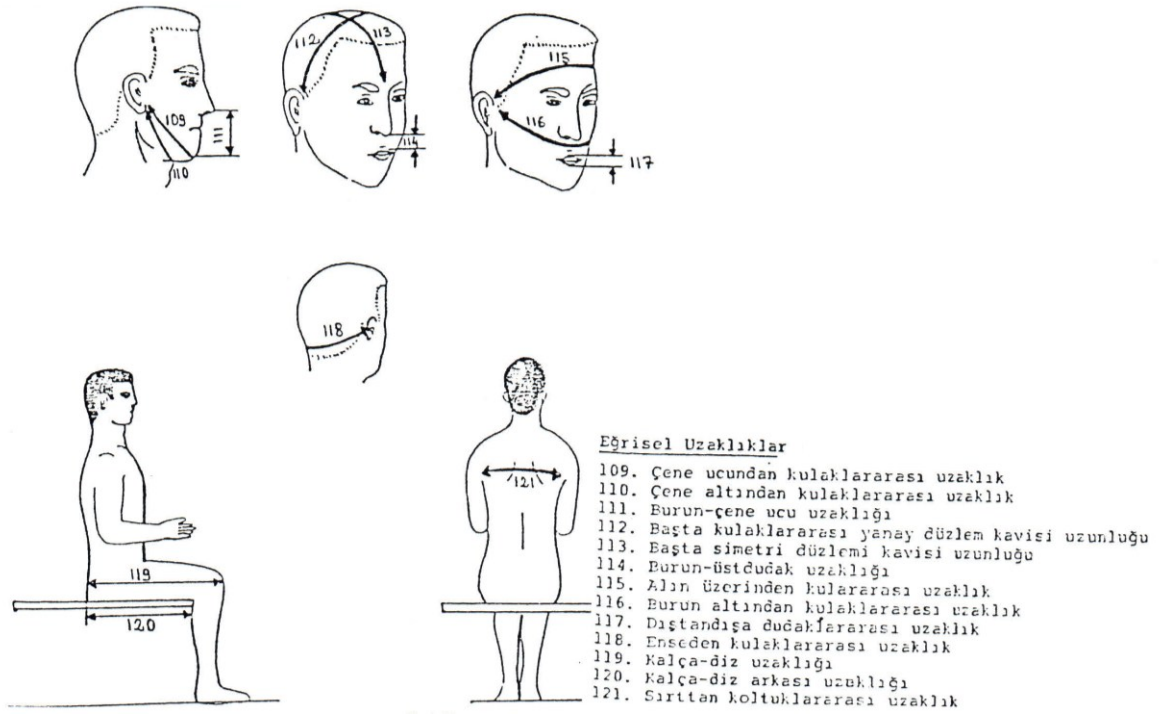
- 99. Kemer çevresi
- 100. Ustbacak çevresi
- 101. Bilek çevresi
- 102. Kalça çevresi (otururken)
- 103. Ayak bileği çevresi

Şekil 7.7.a) Çevresel Uzunlukları

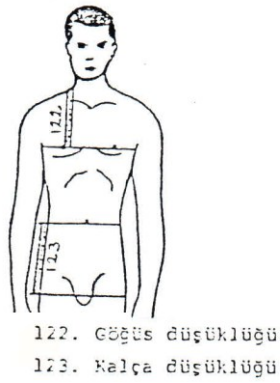


- 104. Baş çevresi
- 105. Başparmakta el çevresi
- 106. Tarakta el çevresi
- 107. Ayaktaraşı çevresi
- 108. Ayak başlangıcında ayak çevresi

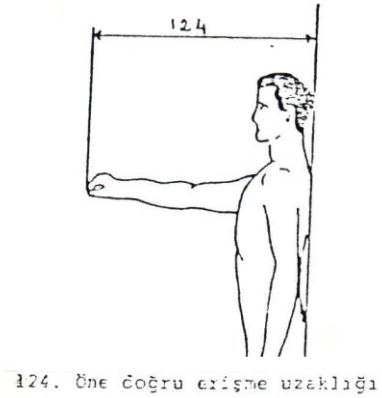
Şekil 7.7.b) Çevresel ölçüler (baş, el ve ayakta)



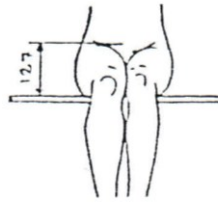
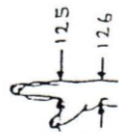
Şekil 7.8 Eğrisel uzunluklar



Şekil 7.9 Düşüklükler



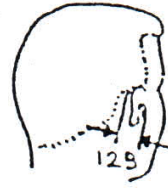
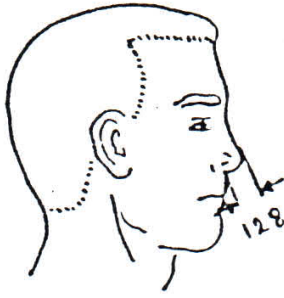
Şekil 7.10 Erişim uzaklıkları



Kalınlıklar:

- 125. El kalınlığı
- 126. Elcek kalınlığı
- 127. Üstlencek kalınlığı

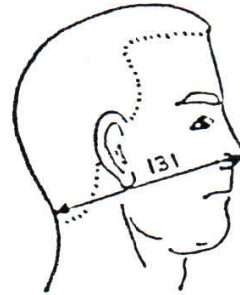
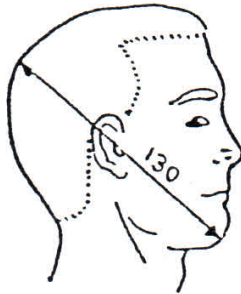
Şekil 7.11 Kalınlıklar



128. Burun çıkıntısı

129. Kulak çıkıntısı

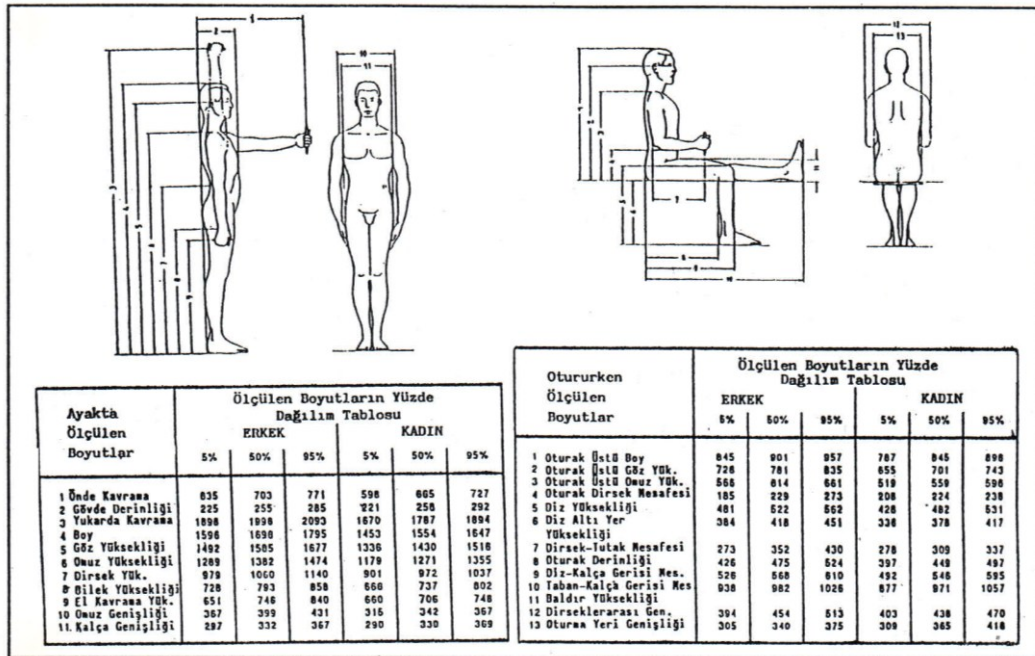
Şekil 7.12 Çıkıntılar



130. Çene-arkakafa kirişi

131. Burun-ense kirişi

Şekil 7.13 Kirişler

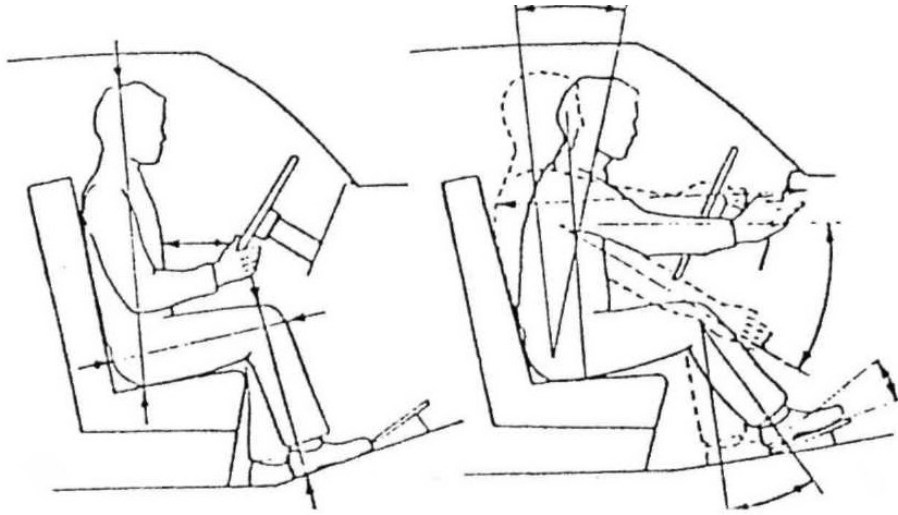


Şekil 7.14 Endüstride ergonomik amaçlarla statik antropometri araştırmalarında kullanılan

boyut ölçüleri ve dağılım tablosu

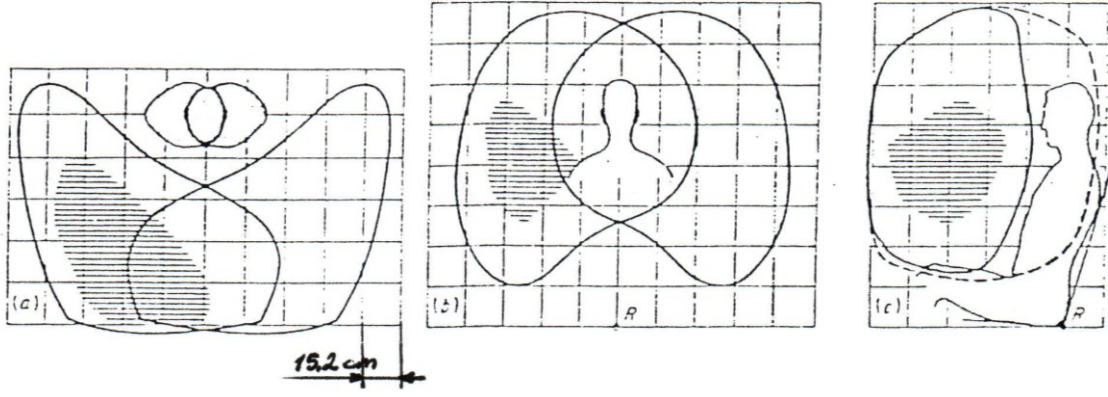
Fonksiyonel Vücut Ölçüleri

Vücut hareket halinde iken, alınan ölçülere fonksiyonel vücut ölçüleri denir. Statik vücut ölçüleri tasarım amaçlarına uygundur. Bir çok tasarım çalışmasında, fonksiyonel vücut ölçüleri daha önemlidir. İnsanlar günlük işlerinde genellikle hareket halindedir. Aracını kullanan bir sürücü, montaj hattında çalışan bir işçi görevlerini yerine getirirken birbirinden çok farklı hareketler yaparlar ve dolayısıyla farklı vücut pozisyonları gösterirler. Aşağıdaki şekilde bir otomobil sürücüsü yeri tasarımında statik ve fonksiyonel ölçülerin rolü görülmektedir.



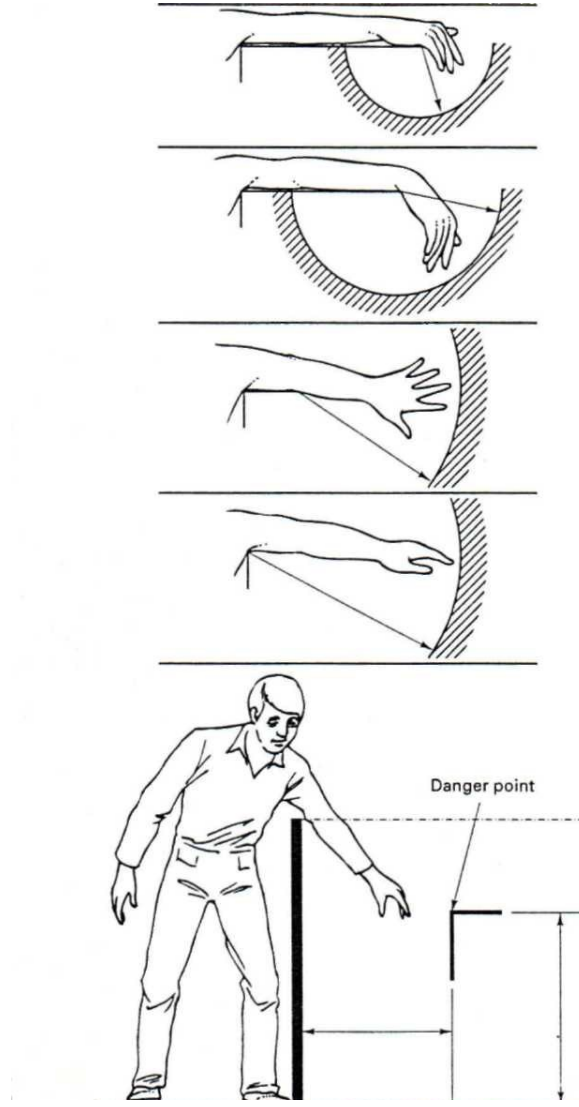
Şekil 7.15 Bir otomobilin oturma yeri tasarımında dikkate alınması gereken boyutlar

Fonksiyonel vücut ölçülerinin kullanımındaki temel fikir, iş yapılırken vücut uzuvlarının birbiriyle uyum içinde çalışmalarını sağlamaktır. Örneğin, iş yapan bir kişinin erişim uzaklıkları kıl uzunluğunun yanında, kısmen de olsa, omuz hareketine ve gövdenin dönebilme ve ileri geri hareket etme özelliğine ve yapılacak işin özelliğine göre değişir. Bu nedenle, bir durum için tasarım yapılırken vücudun çeşitli hareketlerinin dikkate alınması gerekir (Şekil 7.16).



Şekil 7.16 Yatay, yanal ve dikey düzlemlerde el ulaşım alanları (taralı alanlar optimum alanlardır)

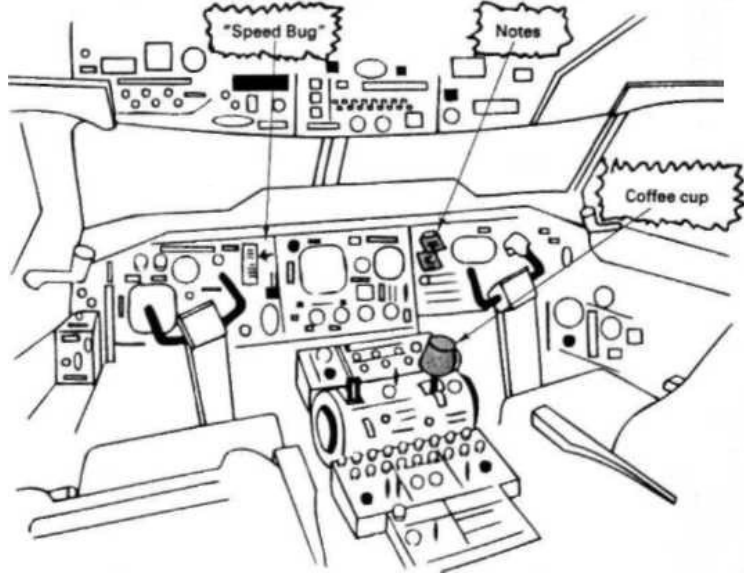
Antropometrik olarak, fonksiyonel ölçüler, insan emniyeti açısından da önemli bir yer oluşturmaktadır. Aşağıda verilen şekilde el ile erişim için emniyetli mesafe örneklen verilmiştir.



Şekil 7.17 El ile erişim için emniyetli mesafe

Çalışma Yerlerinde Boyutlar

Her insan çalışırken, belirli bir çevre içerisinde hareket eder. Bunun için kendisine verilecek görevleri en iyi şekilde gerçekleştirebileceği hacimlerin tasarımı zorunludur. Çalışma hacimlerinin belirlenmesinde, yapılan işe göre antropometrik boyutlarının titizlikle belirlenmesi gerekir. Bir uçağın pilot kabininde, antropometrik ölçülere göre hazırlanmış bir koltukta pilotun erişme alanlarının değerlendirilmesi gerekir.



Şekil 7.18 Bir uçak kabini

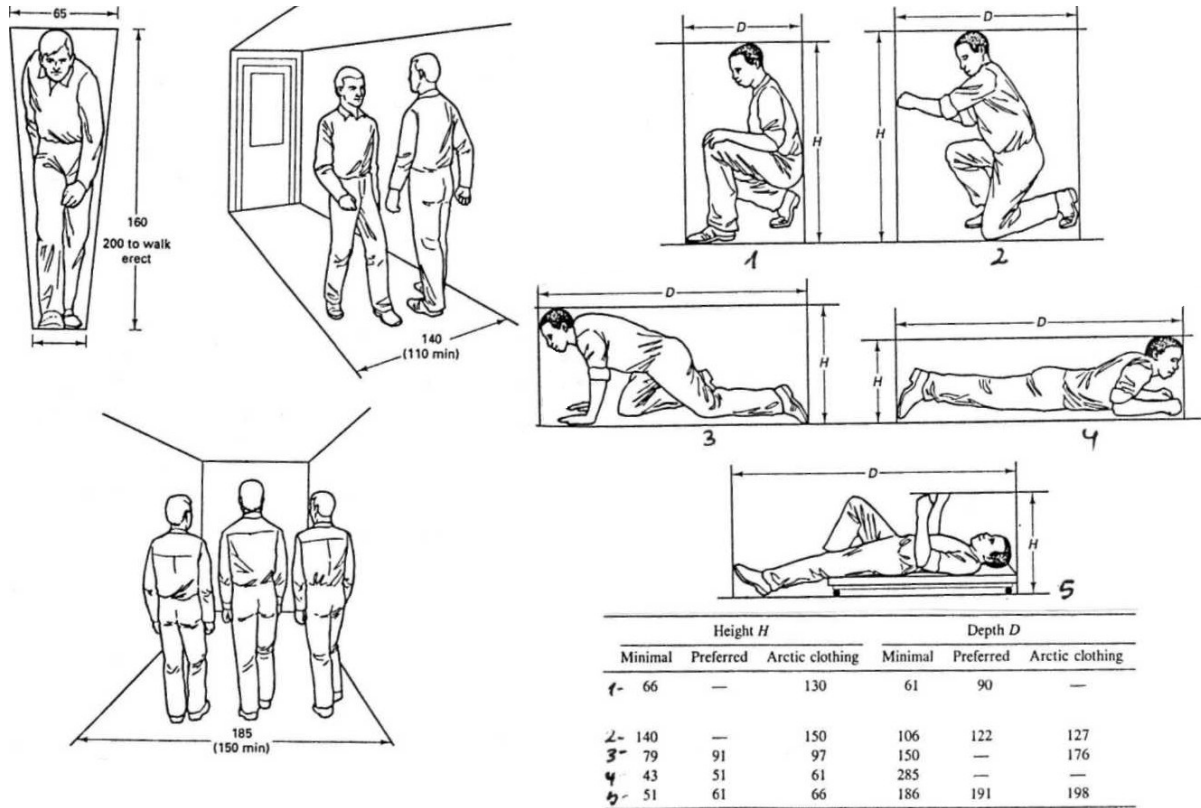
Oturan ya da ayakta iş görenin, omurgası, omuz eklemi, kalçası ve ayak basma noktası sabit iken hareket hacimleri ve çeşitli açılarda uzanma ve kavrama mesafeleri de iş ve insan uyumu için önemli boyutları belirler. Bu tür ölçme değerlendirmelerde, istatistik açıdan anlamlı sayıda bir grup çalışan üzerinde araştırmalar yapmak ve gerektiğinde istatistik dağılımın, ortalama, alt ve üst uç değerleri gibi sayısal değerleri kullanarak iş düzeni kurmak ergonomik yaklaşımların temelidir.

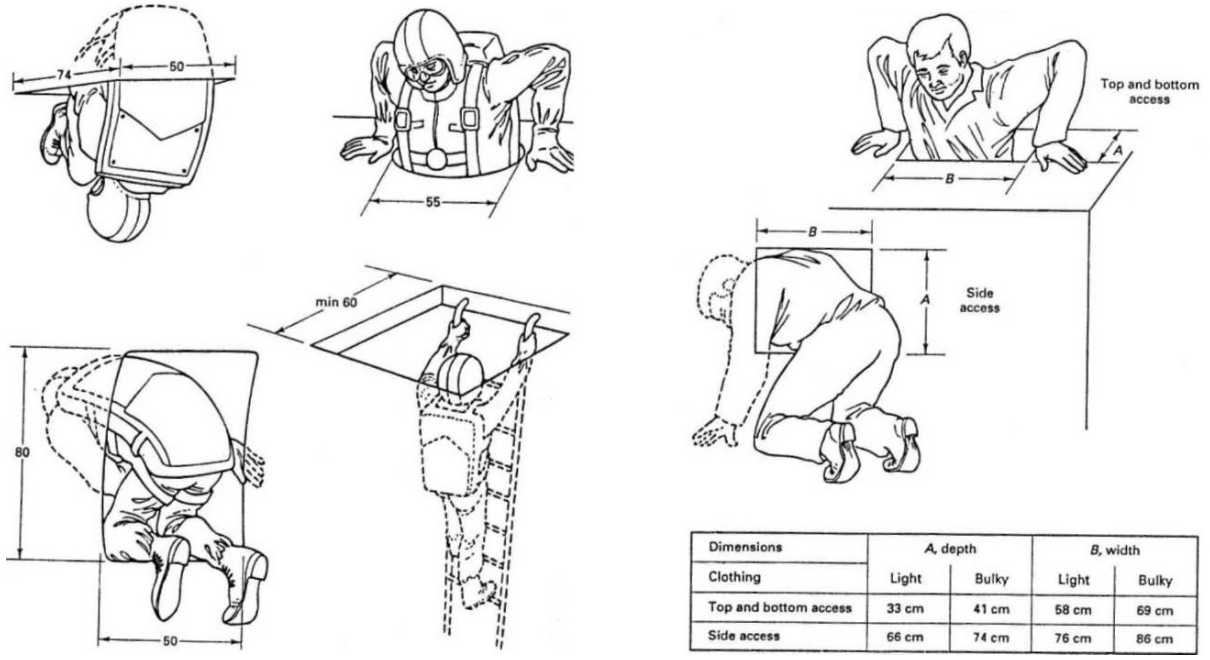
Bazın işyerlerinde ve çalışma ortamlarında, insanların oldukça sınırlı ortamlarda çalışması istenebilir. Dar alanlarda kullanımı zorunlu olan hizmetlerde işlerin normal giyimle ya da özel teçhizatla iş yapılabilcek hacimlerin belirlenmesi de antropometrik teknikler ile yapılmaktadır (Şekil 7.19).

Çalışma Yüzeyleri

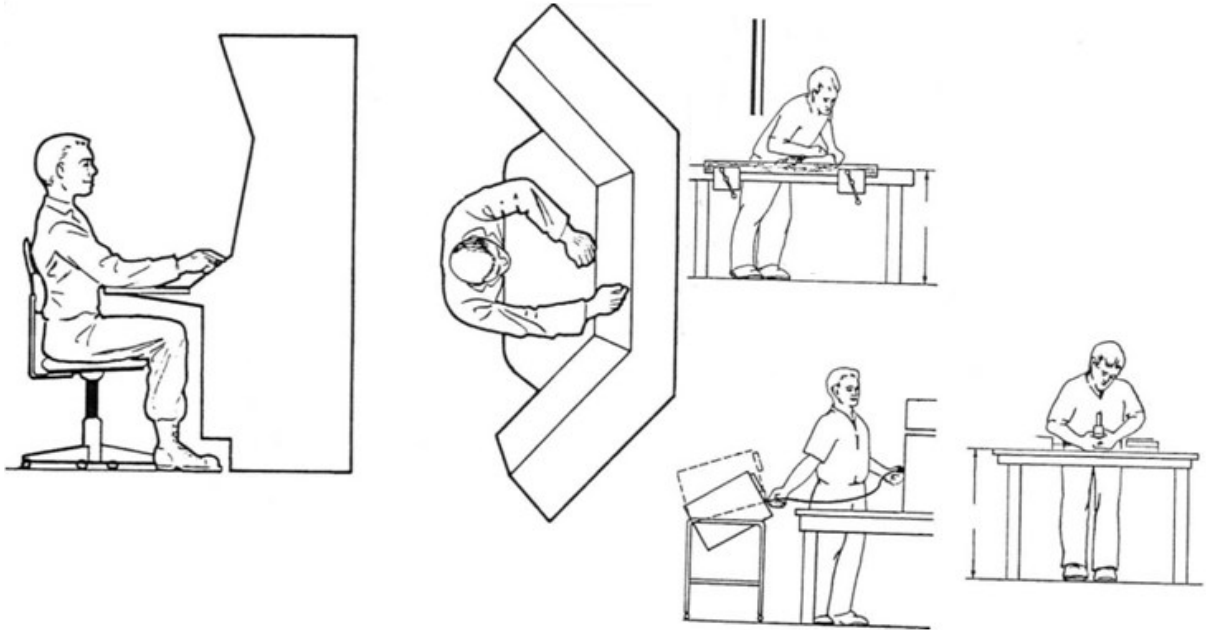
Çalışanların etkin bir şekilde iş görebilmeleri için belirli iş görme düzlemlerinde en uygun şekilde çalışabildikleri boyutların belirlenmesi gerekir. Öncelikle, yatay çalışma yüzeylerinden başlayarak çeşitli eğimler gösteren iş ve işlem yüzeylerinin de dikkate alınması gerekir. Çalışmaların büyük çoğunluğu, çizim masaları, tezgahlar, bankolar, masalar ve montaj tezgahları gibi yatay ve düz alanlardadır (Şekil 7.20).

Bu düzlemler üzerinde optimal erişme çalışma alanlarının saptanması, söz konusu alanların boyutları konusunda önemli bilgiler verir. Normal alan hesaplarında çalışanın omuzları sabit, dirsek ekleminde hareketler ile elin işlem alanları dikkate alınır. Maksimum erişme noktalarının saptanmasında ise gövde hareketleri ve omuz ekleminin çalışması da göz önüne alınır.

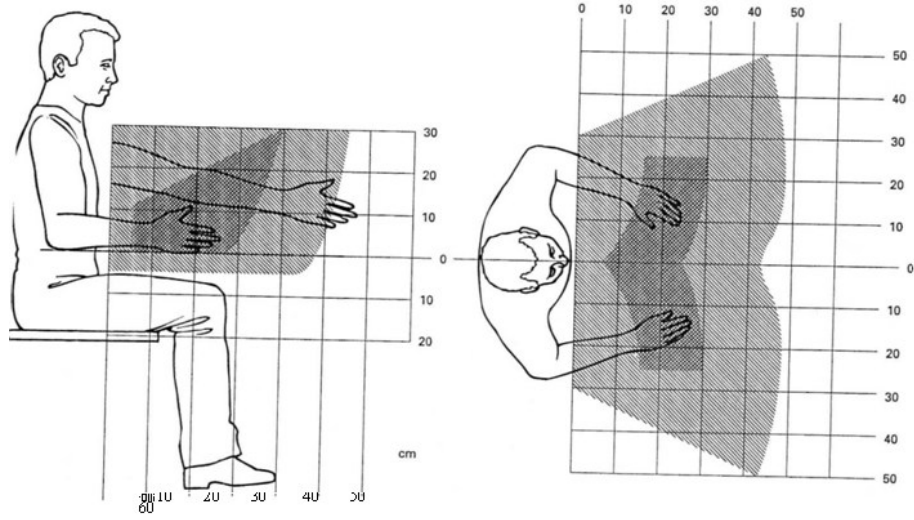




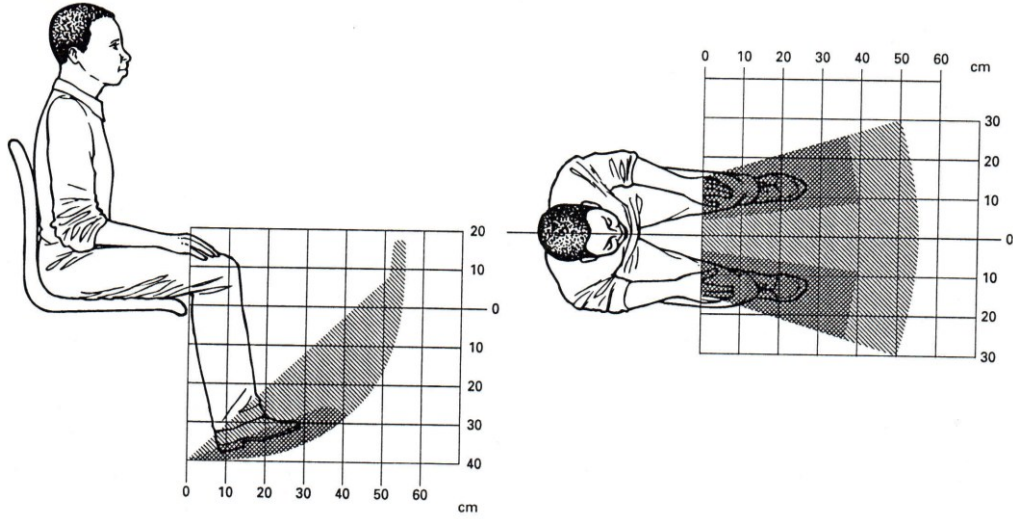
Şekil 7.19 Dar alanlarda çalışma hacimleri



Şekil 7.20 Değişik çalışma alanları

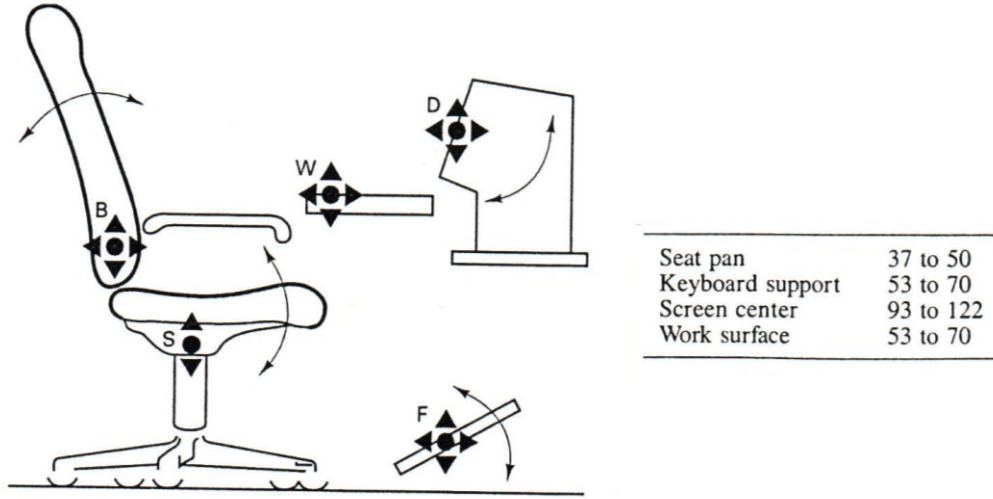


Şekil 7.21 Tezgah ve masalarda el işlemleri için maksimum ve minimum çalışma alanları



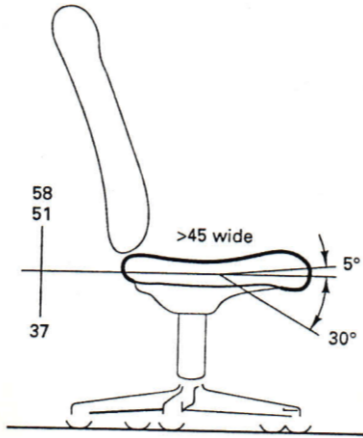
Şekil 7.22 Ayak için maksimum ve minimum çalışma alanları

Pratikte, masa ve sandalye yüksekliklerinin sabit tutulması benimsenmekle birlikte, bu alanda son yıllarda yapılan çalışmalar masa ve sandalye yüksekliklerinin ayarlanabilir ölçülerde yapılması doğrultusundadır. Aşağıdaki şekil ve tabloda önerilen yükseklikler, bilgisayar masası, sandalye ve ekran ile ilgili bazı yükseklikleri tavsiye değerler olarak vermektedir.

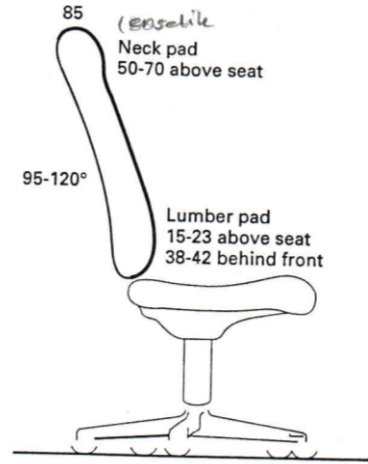


Şekil 7.23 Bilgisayar çalışmaları için tavsiye edilen ayarlama yüksekliği

Oturma yüzeylerinin tasarımı için aşağıdaki şekilde verilen ölçüler dikkate alınır.



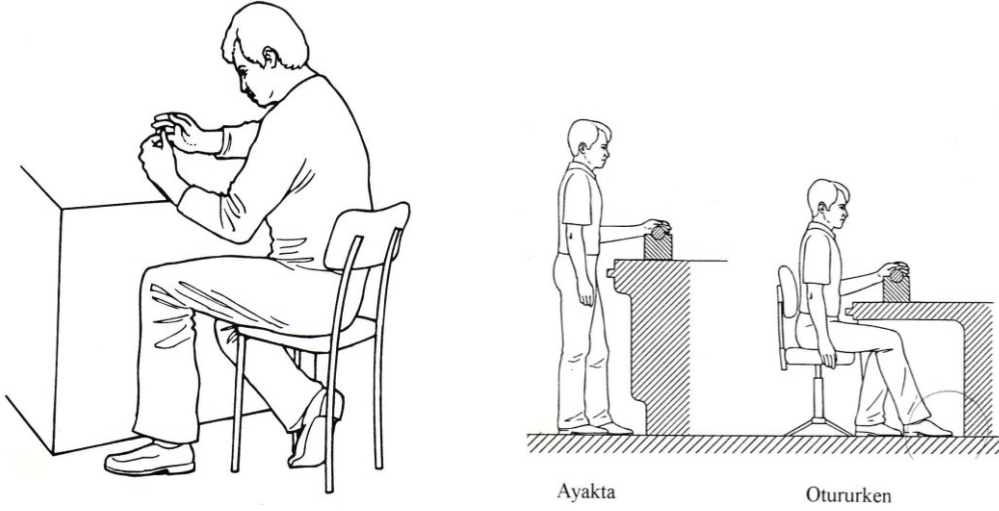
Şekil 7.24 Sandalye ana boyutları



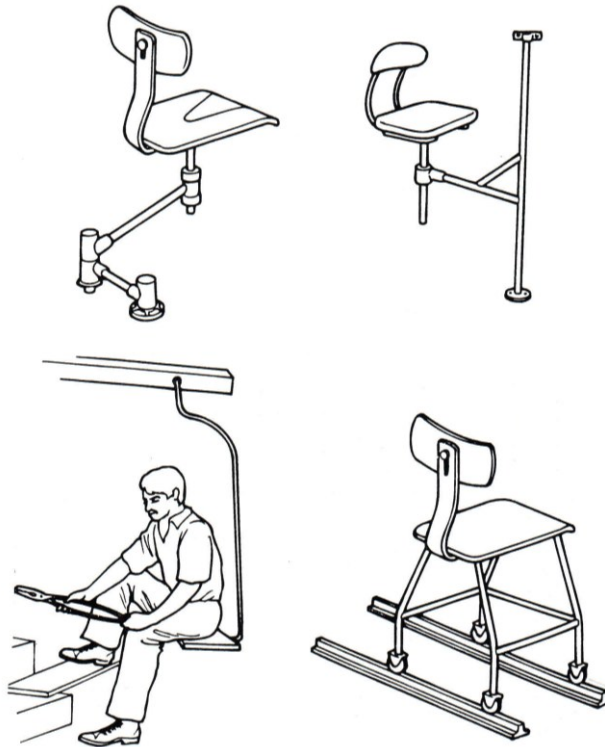
Şekil 7.25 Arkası ayarlanabilir sandalye ana boyutları

Sandalyede oturan bir insanın oturma yüzeyinden kaymaması, sandalye sırtlığının insanı rahatsız etmeyecek yükseklik ve eğimde olması arzu edilir.

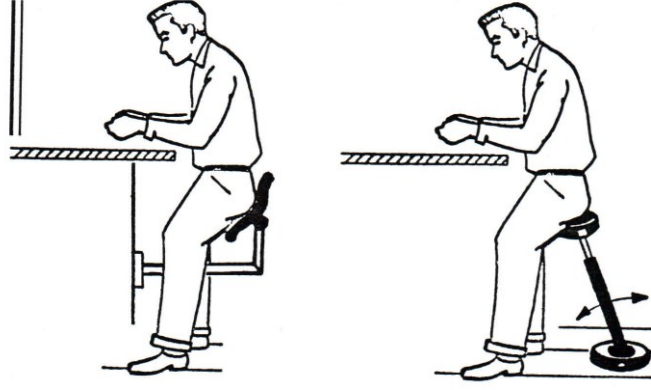
Ayakta durarak çalışan bir insanın ve oturarak çalışan bir insanın çalışma sırasında ayaklarının rahat konumlarda olması da ergonomik çalışmalarda önemli yer tutarlar. Aşağıdaki şekillerde bu konu üzerinde bilgiler özetlenmiştir.



Şekil 7.26 Uygun olmayan çalışma yeri tasarımı Şekil 7.27 Uygun çalışma yeri tasarımları



Şekil 7.28 Ergonomik çalışmalar için sandalye örnekleri



Şekil 7.29 Oturan işçi için çalışma yeri tasarım alternatifleri

Antropometrik Verilerin Kullanılması

Antropometrik verilerin ekip ve araç tasarımında oldukça büyük bir rolü vardır. Bu veriler kullanılırken, tasarım için kullanılan verilerin ürünü kullanacak kitleye uyum sağlaması önem taşımaktadır.

Antropometrik Verilerin Kullanma İlkeleri

Antropometrik verilerin tasarım amaçlarına uygun olarak kullanılmasında uyulması gereken bazı ilkeler vardır. Bu ilkeler;

1. Uç Değerler İçin Tasarım Yapma

Tasarım çalışmalarının en önemli amacı kullanıcı kitlesinin tamamına yakın bir kısmına uyum sağlayabilecek tasarım standartlarının geliştirilmesidir. Vücut ölçüleri ile ilgili araştırmalarda bu ölçülerin normal olarak dağıldıkları ya normallik testleri yapılarak ispat edilmiş ya da daha önceki çalışmalar referans alınarak varsayılmıştır. Yine bu çalışmalarda %90 'lık bir kullanıcı kitlesi hedef alınmıştır. Bu anlamda, attaki %5 'lık kısım üstteki %5

'lik kısımlar standart kapsamın dışında tutulmuşlardır. En üstteki % 5 'lik yüzde dağılımın alt sınırı %95, en alttaki %5 'lik değerin üst sınırı da % 5 'lık dağılımdır. Tasarım çalışmalarında, %5-%95 yüzde dağılım değerleri arasında yer alan kitle hedef alınır.

Hacimle ilgili tasarımlarda %95 'lik dağılım değeri, erişimle ilgili tasarımlarda ise %5 'lık yüzde dağılım değerleri dikkate alınır. Örneğin bir asansör tasarımı yapılırken asansör kabininin boyutlandırılması sırasında %95 lik değerler, asansör içindeki kontrol panelinin döşemeden itibaren yüksekliği için %5 lik değerler dikkate alınmalıdır. Buradaki temel düşünce, uzun boyluların sığabileceği bir kabine kısa boylular zaten sığabilecektir. Kısa boyluların erişebildikleri kontrol paneline de uzun boylular erişebilecektir. Alt ve üstte kalan diğer % 5 lik gruplar için gerekli ihtiyaçlar özel yapımlar yolu ile giderilir.

2. Ayarlanabilir Aralıklar İçin Tasarım

Bir donanın ve tesisin belirli ölçüleri, değişik boyutlardaki kullanıcı kitlesini kapsayacak şekilde ayarlanabilir ölçülerde yapılabilir. Örneğin bir otomobil ön koltuğunun ıleri-geri hareketi, bir sandalyenin oturak kısmının aşağı-yukarı hareketi gibi. Bunlar gibi ayarlanabilir özelliklere sahip olan donanım ve araç gerecin %5 ve %95 Lik dağılım içerisinde herhangi bir noktaya göre ayarlanabilecek şekilde tasarımılanması önerilmektedir.

3. Orta/ama Değer İçin Tasarım

Ortalama değere göre yapılan tasarımlar düşünüldüğünün aksine olarak büyük bir kullanıcı kitlesini karşılamamaktadır. Buna rağmen bazı eşya ve araç gereçlerin tasarımında ortalama değere göre boyutlandırma yapılmaktadır. Örneğin; kazak, çorap ve eldiven gibi giysiler, ortalama değerlere göre yapılmaktadır.

8. İŞYERİ ORTAMI ve İKLİM ETKİLERİ

Giriş

İnsanlar, bulundukları ortamlardaki ısı, nem, gürültü, titreşim gibi değişik olaylardan çok çabuk bir şekilde etkilenirler. Bu etkilenmeler sonucunda, iş veriminde azalmalara söz konusu olabilecektir. İş gören kişiler, kendilerini rahat hissettikleri bir ortamda daha rahat çalışabilmektedirler. Bu nedenle, çalışma koşullarının düzenlenmesinde ortam sıcaklığı, gürültü, nem ve titreşimlerin de dikkate alınması gerekir.

SICAKLIK

Vücuttaki ısı dengesi, rahatlık ve sağlık bakımından fizyolojik bir sorun meydana getirebilir. Çalışma koşulları, istenmeyen koşullara geldiğinde, işçi sağlığını kaybetme endişesi ile çalışmasına devam etmeye çalışacak ve yaptığı işlerde bir takım aksaklıklar doğuracaktır. Bu aksaklıklar, işçinin işine olan ilgisinin azalması, çeşitli boyutlarda iş kazaları ve üretim kayıpları ile sonuçlanır. Bu nedenle, insanların rahat çalışabilecekleri ortam koşullarını iyi tanımak ve çeşitli stresler için kabul edilebilir tolerans aralıklarının belirlenmesi gereklidir.

İnsan bedeni, metabolik enerji yardımıyla belirli bir iç ısıya ayarlanmıştır (37+2). Ortam stresleri karşısında bu iç ısıyı koruyabilecek bir takım organik reaksiyonlar vardır. Ancak her cisim için olduğu gibi insan bedeni de çevre sıcaklığından etkilenmektedir.

İnsan Vücudunun Çevre ile Isı Alışverişi

İnsan vücudu bütün diğer cisimlerde olduğu gibi, çevre ile olan ısı alış verşi, Radyasyon (R), Konveksiyon (C), Konveksiyon (K) ve Evaperasyon ile olmak üzere dört değişik şekilde gerçekleşebilmektedir.

Radyasyon: Radyasyon ile ısı alışverişi, karşılaştırılan iki yüzey arasındaki sıcaklık farkına dayalı olarak elektro-manyetik akış şeklinde olur. Isı, daima sıcak ortamdan soğuk ortama geçmek ister. Radyasyon ısı transferinde Stefan-Boltzman ışıma kanunu kullanılır. (Vücuttan çevreye yayılan ısı)

$$Q = A \cdot \sigma \cdot T^4$$

Q : Işınım yolu ile saatte A yüzeyinde yayılan ısı

A : Işıma olan yüzey

σ : Stefan-Boltzman sabiti

T : Yüzeyin mutlak sıcaklığı

$$Q = A \cdot \sigma \cdot \epsilon (T_1^4 - T_2^4)$$

ϵ : yayınım katsayısı

$$\sigma : 4.96 \times 10^{-8} \text{ kcal} / \text{m}^2 \text{ hK}^4$$

Kondüksiyon: Katı cisimlerde ısı enerjisinin bir molekülden diğerine aktarılması ile meydana gelen ısı geçiş şeklinde ısı iletimine denir. Çalışma ortamındaki beden ısısından yüksek ısı, insan vücuduna geçebilir.

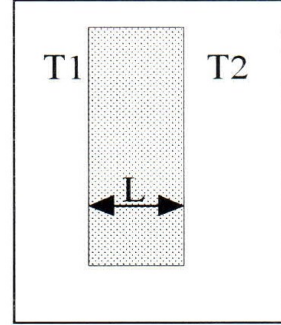
$$Q = \frac{\lambda \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{L}$$

Q : Birim zamandaki ısı iletimi (Kcal/h)

A : Isı akımına dik yüzey alanı (m²)

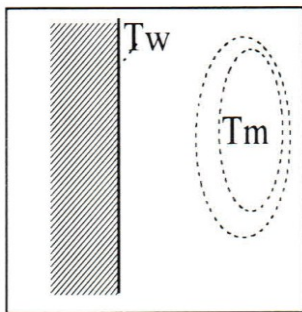
λ : Isı iletkenlik katsayısı (Kcal/mh⁰C)

L : Levhanın kalınlığı (m)



Isı iletim katsayısı (λ), birim alandan birim zamanda geçen ısı miktarına ısı iletim katsayısı denir.

Konveksiyon: Gaz veya sıvı akışkanlarda, ısı enerjisinin bir molekülden diğerine aktarılması ile meydana gelen ısı geçiş şekline konveksiyon denilmektedir. Çalışma ortamındaki beden ısısından yüksek ısı, insan vücuduna geçebilir.



$$Q = \frac{\lambda \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{L}$$

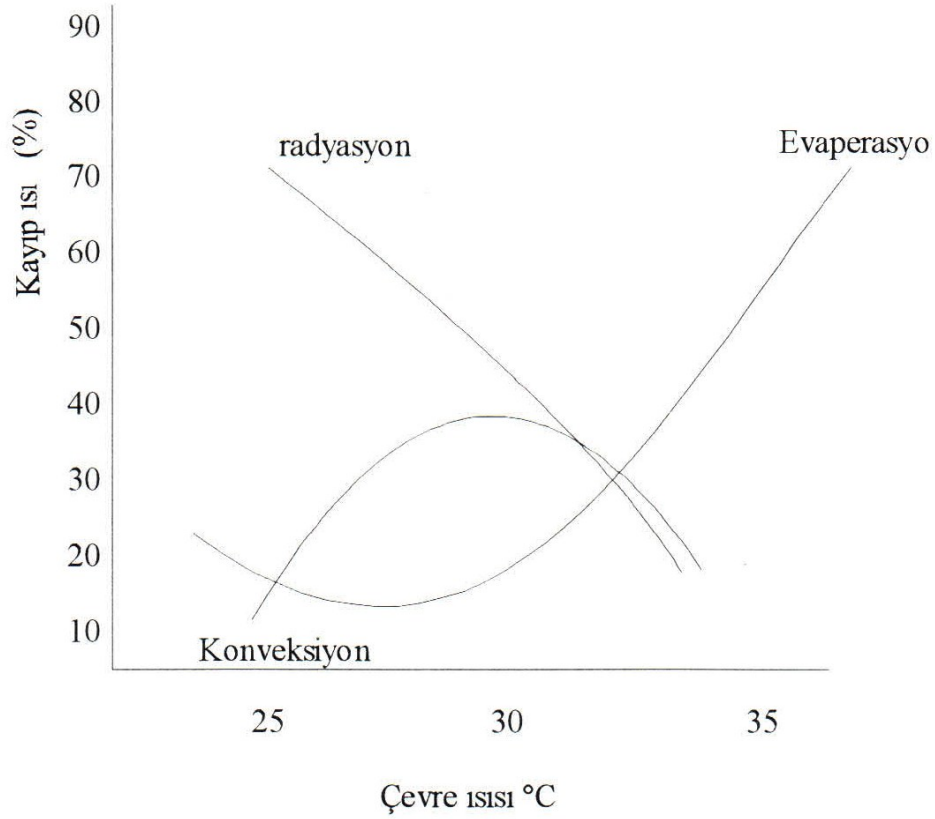
Q : Birim zamandaki ısı iletimi (Kcal/h)

A : Isı akımına dik yüzey alanı (m²)

λ : Isı iletkenlik katsayısı (Kcal/mh⁰C)

L : Levhanın kalınlığı (m)

Evaporasyon: Oluşan ısının buharlaşma yolu ile çevreye iletilmesi olayıdır. İnsan vücudunun terleyerek deriyi soğutması vücut iç ısının dengelenmesine yardımcı olmaktadır.



Sıcak ve soğuk ortamlarda ısı iletimlerinin karşılaştırılması

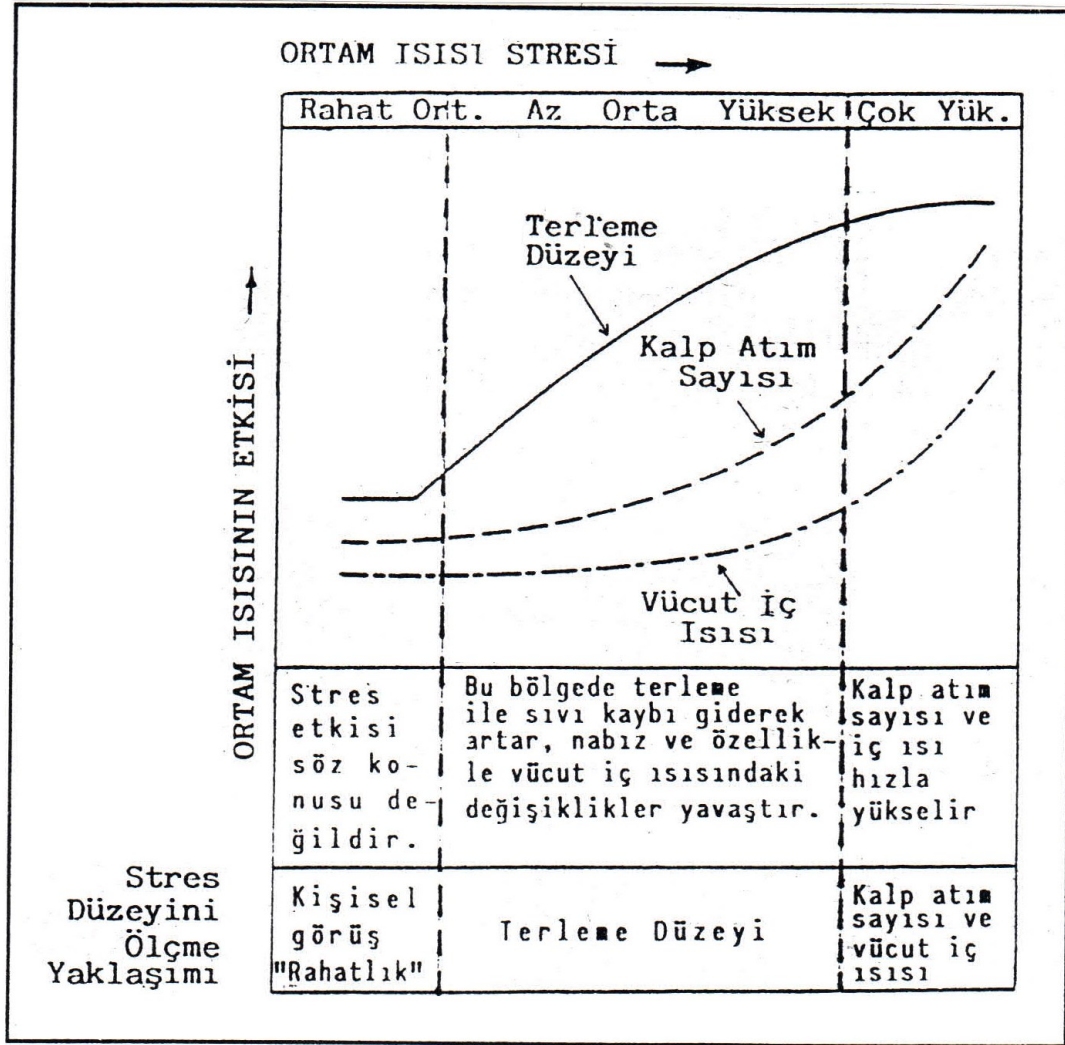
Ergonomik açıdan, beden ısısı dar sınırlar içinde tutulmalıdır. Vücut derisinin ısısı kısa süreler için vücut iç ısısının ± 15 °C üstünde veya altında olabilir. Uzun süreli hallerde vücutta ısı stresi oluşmasına yol açar.

Endüstride çalışanların ortam stresleri etkisinden korunmalarının temel yolu, koruyucu elbise kullanmak ya da bu stres etkilerini en aza indirecek ısıtma ve havalandırma önlemleri almaktır. İklim koşullarının her insan üzerinde aynı etkiyi oluşturmaması bu alandaki çalışmalar açısından bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Örneğin; Sıcak ve nemlilik derecesi yüksek bir iş ortamı, aynı sıcaklık değerinde fakat nemlilik derecesi düşük bir ortamdan daha çok stres oluşumuna neden olur. Benzer şekilde, kuru, durgun ve sıcak havada

alışmak, aynı özellikleri gösteren fakat yeterli hava hareketlerinin sağlandığı yerde çalışmaktan daha zordur.

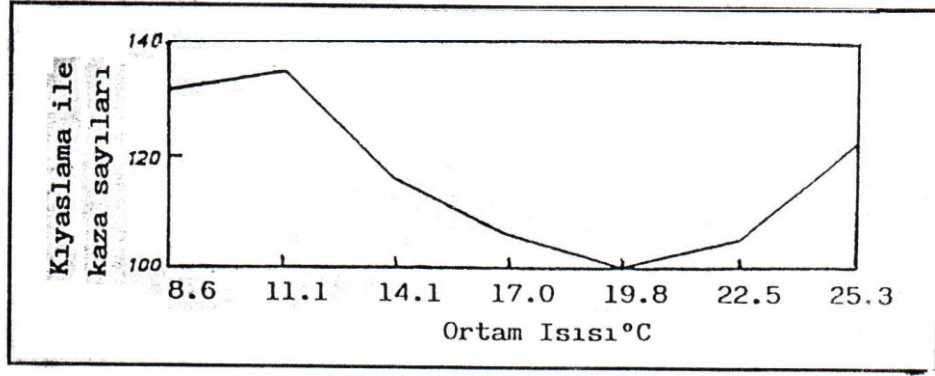
Isı Stresi

Isı stresinin uzun dönem etkileri henüz tam olarak bilinmemektedir. Genelde aşırı ısı ortamında çalışırken terlemeye bağlı su ve tuz kayıplarının kapatılması gerekir. Ancak bu etkiler kişiden kişiye farklılık göstermektedir. İş ortamındaki aşırı ısı genel organik direnci azaltmakta, iş verimini düşürmekte, kramplar ve ısı çarpması gibi etkiler oluşturmaktadır. Yapılan ısı stresi araştırmaları genç insanlar üzerinde yapılmış olup cinsiyet ve yaş farklılığı, fizyolojik kapasite farklılığı, kişilik ve ırk farklılıklarının etkileri bilinmemektedir. Aşağıda verilen şekilde ortam ısı stresinin vücut üzerindeki etkilerini temsil etmektedir.

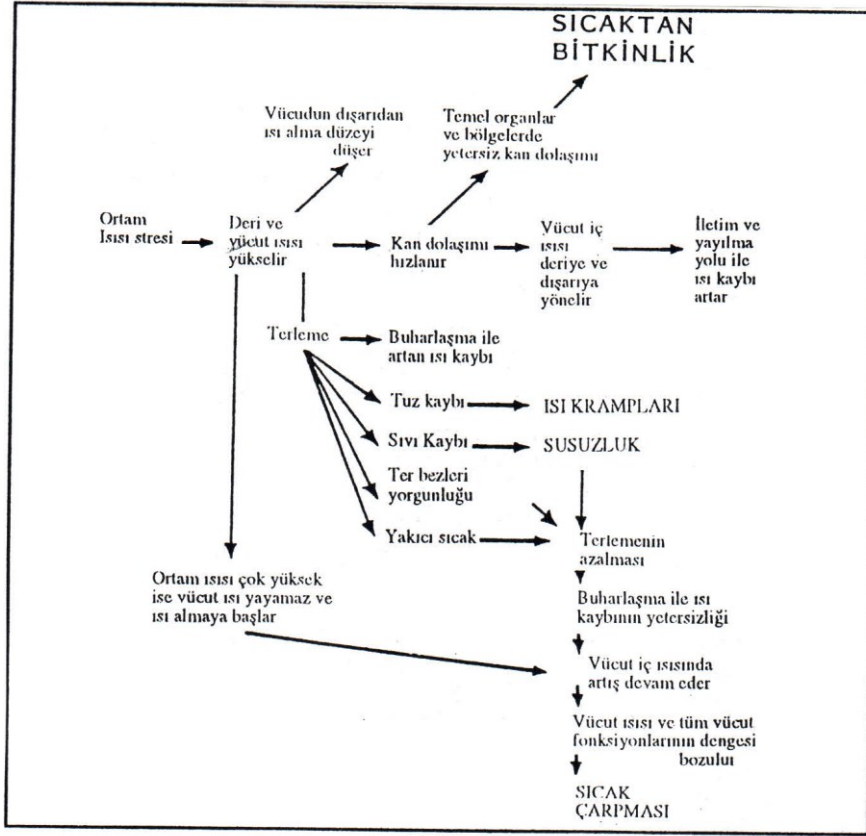


Şekil 8. Ortam ısı stresinin ölçülebilir etkilen

Aşağıda verilen şekilde sıcaklık stresinin insan üzerindeki etkileri görülmektedir. Ayrıca yapılan araştırmalar, stres yaratacak ölçüde sıcak ve soğukun verimi azalttığı ve iş kazalarına neden olduğunu göstermektedir



Şekil 8 Ortam ısısı düzeyi ile kazalanma olaylarının etkisi



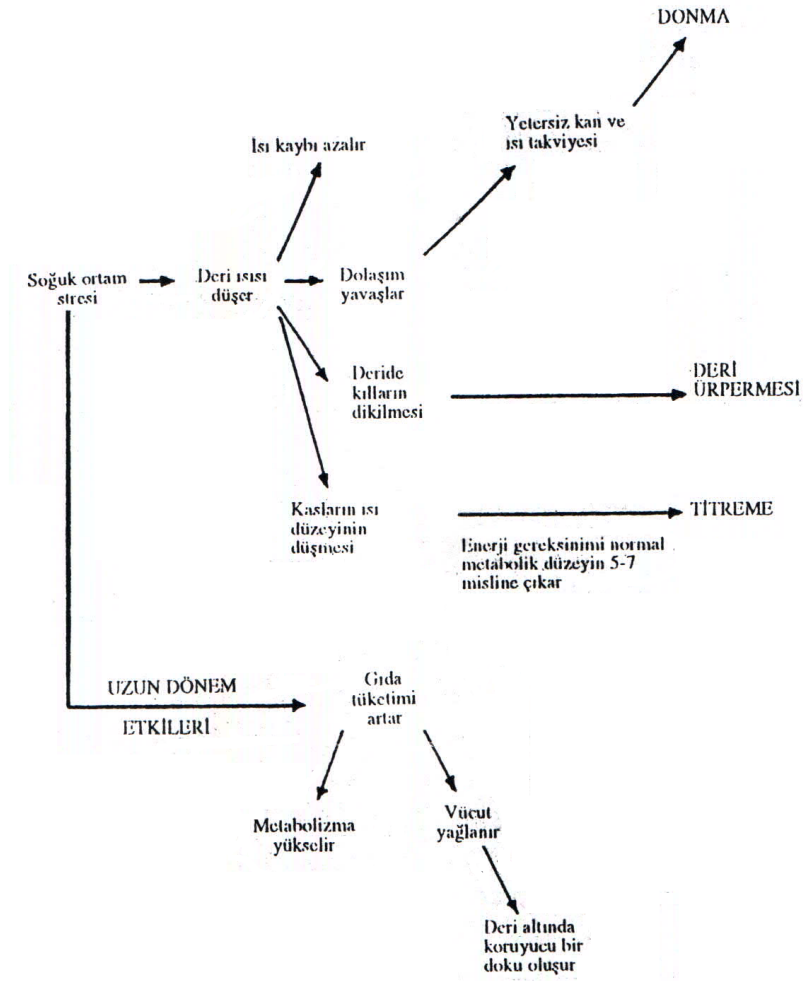
Şekil 8... Isı stresinin etkileri

Soğuk Ortam Stresi

Soğuk iş ortamına karşı vücudun gösterdiği direnç, sıcaklık artışına göre gösterdiği dirençten daha yüksektir. Çalışanlara uygun giyim ve kuşam sağlandığı takdirde, çalışanlar soğuk ortam etkisine karşı korunabilirler. El ve ayak parmaklarını, burun ve kulakları soğuktan korumak oldukça güçtür. Soğuk etkisiyle parmaklar incelikli iş yapma yeteneklerini yitirirler, iş verimi düşer ve kazalanma riski artar. Soğuktan korunmak için giyilen her türlü koruyucu elbise oldukça ağır ve hantal olduklarından iş veriminin düşmesine neden olurlar. Şekilde soğuk ortam stresi etkileri görülmektedir.

İklim Koşullarının Düzenlenmesi

Çalışma ortamlarının soğuk veya sıcak olmasının kişiler üzerinde olumsuz etkiler yaparak çalışma veriminin düştüğü yapılan çalışmalar sonucunda görülmektedir. Ortam ısısı nedeniyle verimlilikteki düşmenin önüne geçilebilmesi amacıyla çalışma yapılan yerin sıcaklığının optimum değerlerde olması sağlanmalıdır. Isıtma ve havalandırma yapılarak ortam sıcaklığı optimum düzeye indirilebilir.



Şekil 8... Soğuk ortam ısının etkilen

Ortam koşullarının düzenlenmesi klimalar kullanılabilir. Klimalar ile ortam sıcaklığının dengelenmesi arzu edilecek ise, aşağıda kısaca özetlenen bazı bilgilere ihtiyacımız vardır.

Psikrometri

Psikrometri, havanın özelliklerini inceleyen bilim dalıdır. Psikrometriye konu olan nemli hava olarak tanıdığımız atmosfer havası, ısıtma-havalandırma ve klima işlerinde termodinamik bir çalışma malzemesi olarak kullanılır.

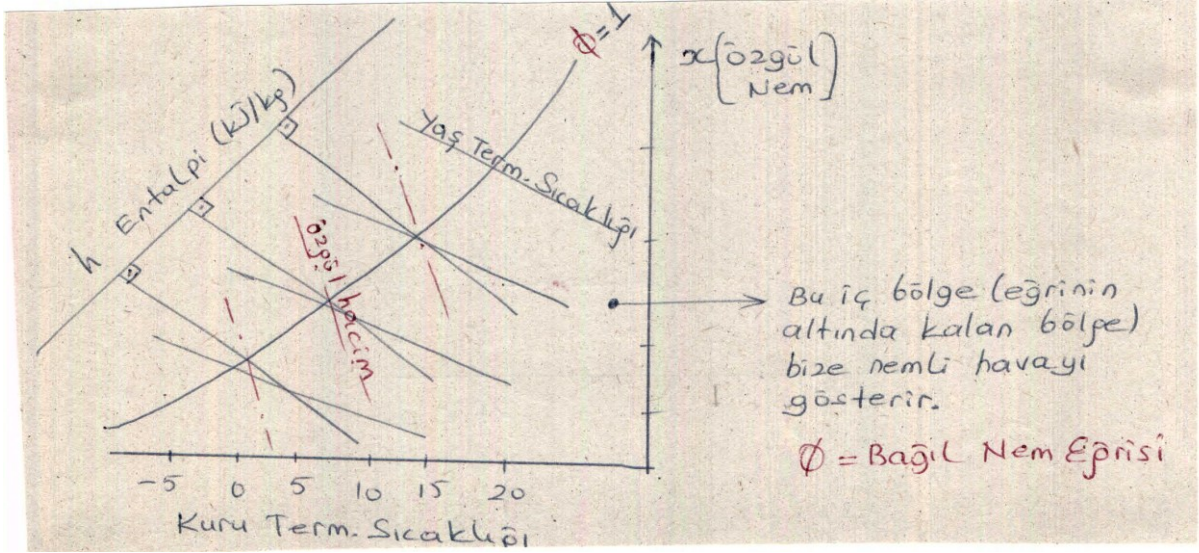
Atmosfer havası (Nemli hava) =Kuru hava +su buharı karışımıdır.

Psikrometrik işlemlerde hava sıcaklıkları, nem miktarları ve nem oranları diğer işleri yapabilmemize başlangıç noktasını oluşturur.

Psikrometrik Diyagram

Çalışma kolaylığı açısından nemli havanın termodinamik özelliklerinin grafiksel ortama aktarılmış olduğu bir diyagramdır. Bu diyagramda havaya ait iki özellik bilindiği takdirde diğer bütün özellikler kolayca bulunabilir. Nemli havaya ait termodinamik ve fiziksel özellikler şunlardır.

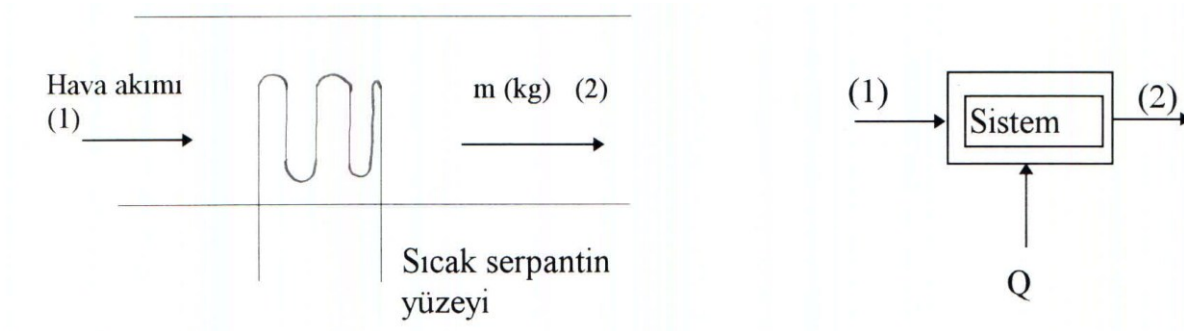
1. Kuru termometre sıcaklığı : t_{kuru} (civalı termometre)
2. Yaş termometre sıcaklığı : $t_{yaş}$ (Haznesi ıslak termometre)
3. Bağıl nem : $\phi = \frac{\text{Su buhar kısm basıası}}{\text{Doyma durumundaki su buharı basıası}}$
4. Özgül nem : $x = \frac{\text{Su buharı miktarı}}{\text{Kuru hava miktarı}}$
5. Özgül hacim : V
6. Havanın entalpisi : $H(KJ/KG)$



Şekil 8. Bağıl nem eğrisi

Havanın neminde herhangi bir değişiklik yapılmadan ısıtılması

Nemli hava, belirli bir sistem içinde kuru ve sıcak bir yüzeye temas ettirilerek ısıtılırsa, içindeki nem miktarında herhangi bir değişiklik olmaz. Yani havanın özgül nemi sabit kalır. Bu işlem sırasında havaya verilen ısı, havanın sıcaklığını arttırmaya yarar.



Enerjinin korunumu prensibinden;

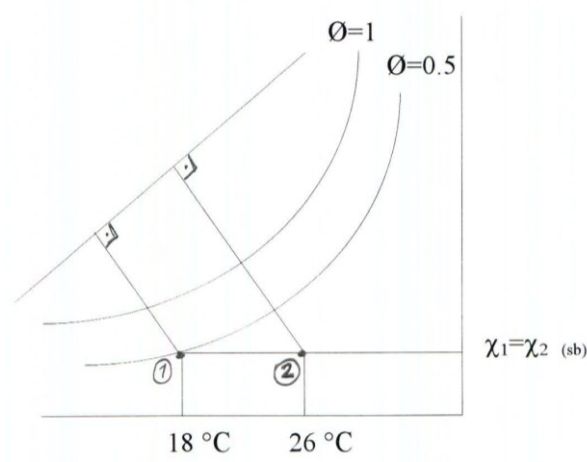
Sisteme girenler = Sistemden çıkanlar

$$Q + m \cdot h_1 = m \cdot h_2$$

$$Q = m(h_2 - h_1)$$

Örnek Problem:

18 °C sıcaklığında bağıl nemi 0.50 olan 50 kg. ağırlığındaki bir nemli hava sıcak bir serpantin yüzeyine temas ettirilerek 26 °C sıcaklığa kadar ısıtılıyor. Havanın aldığı ısı miktarı nedir?



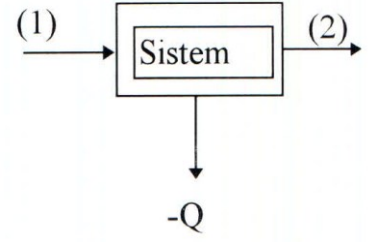
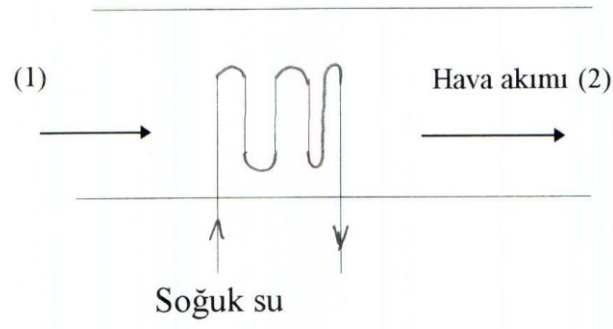
$$h_1 = 34.8 \text{ kJ/kg (Psikrometrik diyagramdan)}$$

$$h_2 = 42.9 \text{ kJ/kg (Psikrometrik diyagramdan)}$$

$$Q: 50(42.9 - 34.8) = 405 \text{ kJ}$$

Havanın neminde değişiklik yapmadan soğutulması

Nemli hava, belirli bir sistem içinde kuru ve soğuk bir yüzeye temas ettirilerek soğutulursa içindeki nem miktarında herhangi bir değişiklik olmaz. Yani soğutulan havanın özgül nemi sabit kalır. Bu işlem sırasında havanın sıcaklığı düşmektedir.



Yine enerjinin korunumu prensibinden yararlanarak;

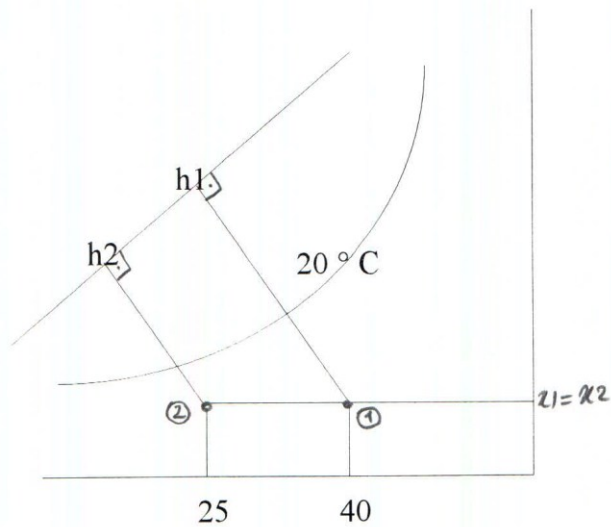
$$m \cdot h_2 = m \cdot h_1 - Q$$

$$-Q = m(h_2 - h_1)$$

Q değerinin (-) olması sistemden ısı çekildiğini göstermektedir.

Örnek Problem

Kuru termometre sıcaklığı 40 °C olan ve yaş termometre sıcaklığı 20 °C olan nemli have, 25 °C sıcaklığına (sabit özgül nemde) soğutuluyor. Havadan çekilen ısı miktarı ne kadardır?



$$h_1 = 58 \text{ kJ/kg}$$

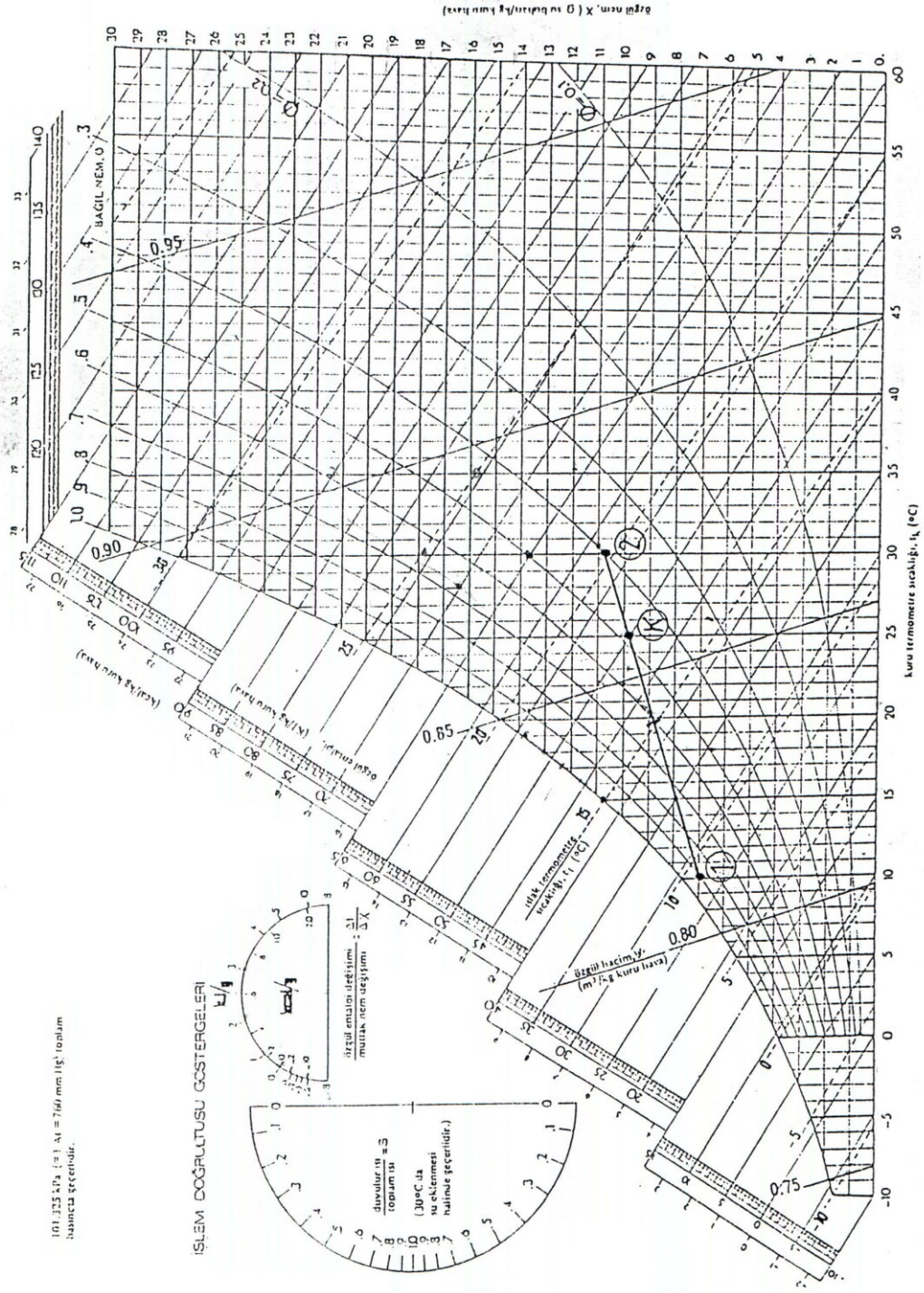
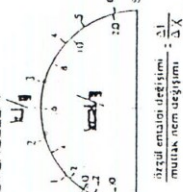
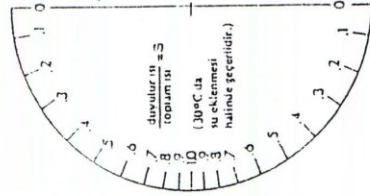
$$h_2 = 40 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = 1 \cdot (40 - 58) = -18 \text{ kJ}$$

NEMLİ HAVA DİYAGRAMI (Psikrometrik diyagram)

101,325 kPa (= 1 at = 760 mm Hg) toplam basıncı geçmektedir.

İŞLEM DOĞRULTUSU GÖSTERGELERİ



9. İŞYERİ ORTAMININ AYDINLATILMASI

Giriş

İşyerlerinde yapılan işlemlerin gerekli kalite ve hassasiyette yapılabilmesi ve işçi ve büro çalışanlarının göz sağlıklarının korunması için çalışma ortamlarının iyi bir şekilde aydınlatılması gereklidir.

Bir işyerinde aydınlatma gereksinimi yapılan işin özelliklerine, o yerde çalışanların göz sağlığının normalliğine, işin özellikleri nedeniyle detayları algılama gibi kriterler dikkate alınmalıdır. Çeşitli el işleri ve okuma yazma işleri gibi işlerde en düşük aydınlatma gereksinimi 10 lüks olarak bilinmektedir. Işık kaynağı olarak bir mumun ele alınması halinde, mumun 30 'lık yarıçap santimetre ileride yapabileceği aydınlatmanın karşılığı 10 lüktür. 10-15 yıl öncesine kadar, kırsal bölgelerde insanların yararlandıkları aydınla düzeyleri yaklaşık bu düzeylerde idi. Günümüzde ise okuma yazma ve dikiş dikme gibi incelikli işler için 300 lükslük aydınlatma gerektiği kabul edilmektedir.

Aydınlatma işlemlerinde, en yüksek aydınlatma düzeyinin optimal aydınlatma olduğunu düşünmek hatalıdır. Aydınlatma için temel kural, amaca uygun aydınlatmadır. Aşağıda

verilen tabloda işyeri koşulları ve yapılan işler dikkate alınarak en optimal aydınlatma düzeyi önerilmektedir.

Tablo 9.1 Normal görme için aydınlatma düzeyi örnekleri

İşlemler	Önerilen	Aydınlatma
Montaj ve kalite kontrolde		
-Kaba işler	200	18.6
-Vasat incelikli işler	400	37.2
-İnce işler	900	83.7
-Çok ince işler	2000	186.0
Dokuma (Pamuklu ve yünü)		
-Hafif dokuma	400	37.2
-Koyu renkli kumaşlar	900	83.7
-Dokumada kalite kontrol	1300	121.0
Metal levha işleri	400	37.2
Plastik şekil verme ve levha işleri	400	37.2
Ağaç işleri		
-Kaba doğrama	200	18.6
-Rende ve tezgahta incelikli makine işlemleri	400	37.2
-İnce tezgah işleri, makine ve cilalama işlemleri	600	55.8

İyi bir aydınlatma projesi tasarımında çalışanların göz sağlığı, yüksek düzeyde iş becerisi, optimum aydınlatma ve çalışanların kendilerini rahat hissedebilecekleri aydınlatma gereksinimlerinin sağlanması gibi kriterler kullanılmaktadır.

Ergonominin odak noktası olan insanın, çalışma ortamında rahat ve sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi iş verimliliği ve kalitenin de artmasını sağlamaktadır.

Yapılan işin veya Çevresinin Aydınlatılması

Bir işyerinde çalışan kişiler, herhangi bir iş yaparken genel çevrelere ve işyerlerindeki çeşitli yerlere bakabilirler. İnsanlar, çevrelere bakınırken onların dikkatini en çok, parlak ve renkli bölgeler çeker. Bu açıdan çalışanın kendi yaptığı iş kendisi açısından en iyi

aydınlatılmış yer olmalıdır. Ortam aydınlığı, üzerinde uğraş verilen makine, malzeme, araç ve gereçte yeterli detay algılaması için uygun değilse, iş istasyonunun özel gereksinimi dikkate alınarak özel aydınlatma yoluna gidilmelidir.

İş istasyonunun aydınlatılmasında kontrast esasından aydınlatma önemlidir. İşlemlerin yapıldığı tezgah üzerindeki hakim renklerle çalışanın üzerinde işlem yaptığı malzeme arasında renk farkının yüksek, orta ya da zayıf oluşuna göre aydınlatma düzeyi de değişir (Şekil 9.1).

Lüks olarak en düşük aydınlatma			
1 Mini 0'50"-1'05"	3000	10000	30000
	2000	7000	20000
2 Çok ufak 1'05"-1'25"	1500	4500	15000
	1000	3000	10000
3 Ufak 1'25"-1'50"	700	2000	7000
	500	1500	5000
4 İnce 1'50"-2'20"	300	1000	3000
	200	700	2000
5 Orta Büyüklük 2'20"-3'00"	150	500	1500
	100	400	1000
6 İri 3'00"-4'05"	70	200	700
	50	150	500
	PARLAK YÜZEY A	ORTA PARLAK B	ZAYIF PARLAKLIK C

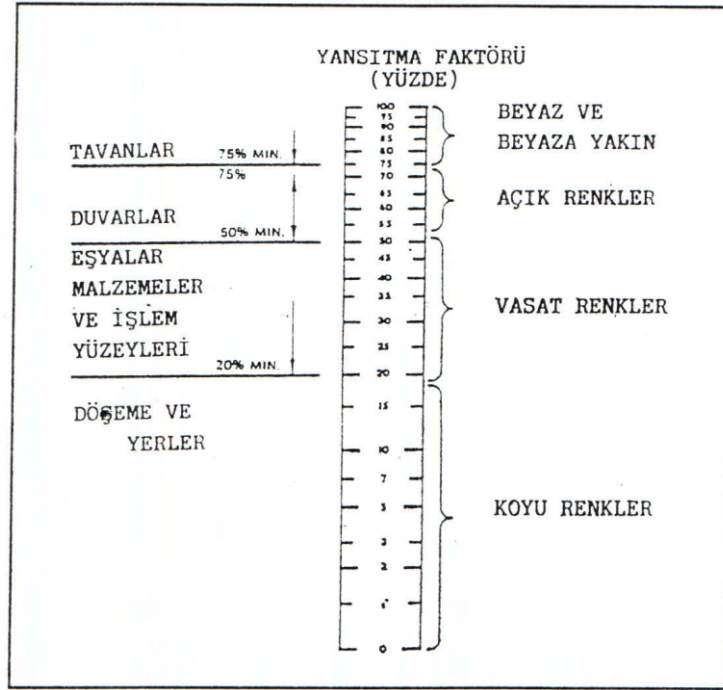
Şekil 9.1 Aydınlatılan yüzeylerin renk özellikleri ve parlaklık düzeylerine göre, çeşitli büyüklüklerdeki detay seçme için öngörülen ortam aydınlatması lüks değerleri

Aydınlatma çalışmalarında, yapılan işin hassasiyetine göre gerekli görme yüzeyi ve malzemelerin parlama özellikleri de dikkate alınmalıdır. Kolay parlayabilen yüzeylere sadece kontrast nedeniyle yüksek düzeyde aydınlatma uygulamak gereksiz sakıncalar doğurabilir. Bunların ışığında, çalışanların yaptıkları incelikli işleri kolay görebilmeleri için çalışma

yüzeylerinin aydınlatılmasından sonra genel çevre aydınlatmasının yapılması öngörülmektedir.

Parlamanın Önlenmesi

Üzerinde çalışılan bir cisim ve yüzeylerin parlaması, esas yapılan işin yapılmasını güçleştirmekte ve çalışanın göz sağlığını bozabilmektedir. Parlama; aydınlatılmış yüzeylerden bir bölümünün diğerine bakarak daha fazla ışık yansıtması, aşırı ışıklı görülmesi ya da kaynaktan yansıyan ışığın doğrudan göze yansıtması olarak tanımlanabilmektedir. Işık kaynağının veya çalışma yüzeylerinin parlaması çalışanların işe bakış açısına ve çevrede parlamaya ve/veya yansıtmaya elverişli malzemenin bulunmasına bağlıdır. İşyerlerinin gereğinden fazla aydınlatılmış olması çalışanların görüşünü etkilemeyebilir ancak kişi çevreye çıktığında gözün ortama uyumu zorlaşabilir. Aydınlatılan çevrede, yansıtıcı yüzeylerin renk özelliklerinin dikkate alınmasıyla yansıma faktörü azaltılabilir (Şekil 9.2).



Şekil 9.2. Bina içindeki çeşitli bölgelerde ışık yansıma yüzeyi için yansıtma faktörü önerileri

Özel aydınlatma gereksinimi olan çalışmalarda, ortam aydınlatması ile özel aydınlatma düzeyi arasında büyük fark oluşturulmamalıdır. Bunun için, üzerinde devamlı incelikli işler yapılan tezgah yüzeylerinin açık renkli olması önerilir. Ancak, tezgah yüzeyinin çok cilalı ve parlak olması halinde, ışık kaynağından bu yüzeye düşen ışık büyük ölçüde yansıtılacağı için işin görünmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle parlak ve cilalı yüzeyler yerine matlaştırılmış açık renkli yüzeyler tercih edilir.

Yapılan iş çevresinin aydınlatılmasında başvuru her önlem, yeterli rahatlık sağlamıyorsa ve çalışma yüzeylerinin parlaması ve ışık yansıtması önlenemiyorsa, ışık kaynağının yerini değiştirmek gerekebilir. Işık şiddetinin giderek artması ve işyerinin geniş

pencere ve gün ışığından yararlandırılması ile belirli avantajlar sağlarken, iş istasyonlarında yansıma ve parlamalara neden olursa, tüm avantajları yok eden olumsuz etkiler oluşur.

Bu yaklaşımlar dikkate alınarak, aydınlatma tekniğinde ve çalışma yüzeylerinin aydınlatılmasında "kabul edilebilir" parlama düzeyi olarak tanımlanan bir kavram geliştirilmiştir. Bu nedenle, işyeri aydınlatmasında kullanılan tüm sayısal değerler, aydınlatılan hacimler, işlem yüzeylerinin parlaklık indeksleri ve toplam aydınlatma yüzeyleri değerleri kullanılarak bir parlama indeksi değerleri elde edilmiştir (Tablo 9.2).

Tablo 9.2 İş engelleyen parlama indeksi değerleri

İşlemler	Engelleyici parlama indeksi
Montaj ve kalite kontrolde	
- Kaba işler	28
- Vasat incelikli işler	25
- İnce işler	22
- Çok ince işler	16
Dokuma (Pamuklu ve yünlü)	
- Hafif dokuma	19
- Koyu renkli kumaşlar	19
- Dokumada kalite kontrol	19
Metal levha işleri	25
Plastik şekil verme ve levha işleri	25
Ağaç işleri	
- Kaba doğrama	22
- Rende ve tezgahta incelikli makine işlemleri	22
- İnce tezgah işleri, makine ve cilalama işlemleri	22

Genel olarak üç parlama indeksi dikkati çekmektedir. Bunlar;

1. Hiç bir şekilde parlama kabul etmeyen iş şekilleri; Parlama indeksi sınırı (PİS) :10
2. Parlamanın en az düzeyde tutulması gerekli işler, PİS: 13
3. Parlamanın belirli bir düzeyde bulunabileceği işler; PİS: 16-28 arası

Aydınlatma düzeyi ve parlama indeksleri tabloları incelendiğinde tercihlerin aynı grafik değişiklikleri göstermediği ortaya çıkmaktadır. Bazı hallerde çok yüksek aydınlatma istenildiği halde parlama indeksi değerinin düşük olması tercih edilmektedir. Örneğin, ameliyathanelerde, çok yüksek aydınlatma istenildiği halde hemen hemen hiç parlama olması istenmez (PİS: 10). Hasta bakım ünitelerinde ise bir miktar parlamaya izin verilebilir (PİS: 13)

Işık Titreşimlerinin Önlenmesi

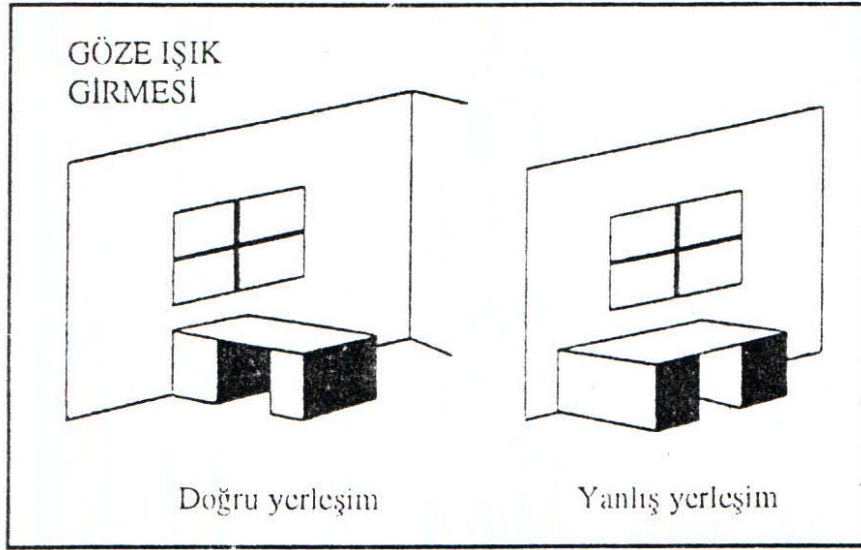
Sodyum buharlı, civa buharlı ve floresan gibi deşarj lambaları alternatif akımla çalışırlar ve her akım yönü değişikliğinde yanıp sönme hareketi yaparlar. 50 Hz akımın kullanıldığı bir sistemde lambalar saniyede 100 kez yanıp sönerler. Bu nedenle yanıp sönme hareketlerini gözle fark etmemiz mümkün değildir. Böyle bir ışık altında çalışan operatörler bir algı yanılması sonucu makine devrinin yavaşladığı veya durakladığı gibi yanıltıcı algılamalar yapabilirler. Bunu önlemek için, ortam aydınlatmasında kullanılan lamba yanında farklı bir yanıp sönme ile çalışan özel bir ışık kullanılabilir. Kesin bir çözüm de ortam aydınlatmasının üç fazlı bir akım kaynağından sağlanmasıdır. Yüksek aydınlatma için genellikle üç fazlı akım tercih edilir.

Floresan lambalarda, ışık titreşimleri daha çok uç kısımlarda görülür. Bu nedenle, uç kısımların görülmemesi için tüpün uçları bir kılıf içine alınabilir.

Aydınlatma Tasarımı için Pratik Öneriler

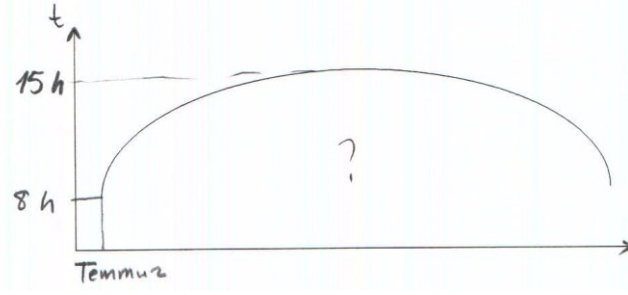
1. Gün Işığı ile Aydınlatma

Endüstriyel işlerin bir bölümünde pencere veya çatıdan alınan doğal aydınlatma tekniği yeterli aydınlatmayı sağlayabilir. Bu tür aydınlatma tekniği uygulanan işletmelerde ışık yönü ve yoğunluğu dikkate alınarak makine donanımlarının yerlerinin iyi seçilmesi gerekir. Gün ışığının çalışma yüzeylerinde parlama yapmaması, çalışanların gözüne doğrudan ışık gelmemesi ve makinaların yerlerinin iyi seçilmiş olması gibi yaklaşımlar özenle uygulanmalıdır.



Şekil 9.3 Çalışma yapılan yüzeylerin aydınlatılması

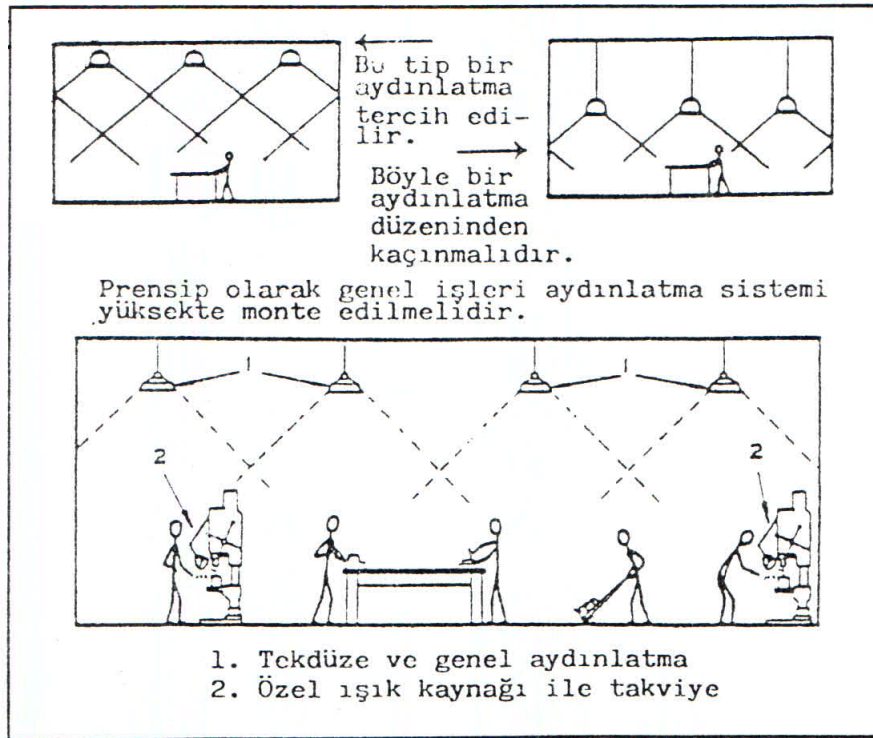
Gün ışığı kullanımındaki temel yaklaşım, bu ışığın tüm işlem alanlarına eşit bir şekilde dağılımının sağlanmasıdır. Bunun için en uygun yol çatıdan aydınlatmadır. Bununla birlikte, pencereden gelen ışıklar da çalışanın gözlerini dinlendirmektedir ve bu olay kişinin dış dünya ile ilişkisini devam ettirerek çalışan üzerinde pozitif etki yapmaktadır. Gün ışığı ile aydınlatmalarda tek sorun, ışık şiddeti gün boyunca değişik düzeylerde ve mevsimlere göre farklılık göstermektedir (Şekil 9.4). Gün ışığı ile aydınlatılan işyerlerinde daha fazla ışık gereksinimi olan tezgah ya da iş istasyonu varsa bunları yapay ışık kaynaklarıyla desteklenmesi gerekir.



Şekil 9.4 Gün ışığından mevsimlere göre yararlanabilme oranları

2. Yapay Aydınlatma

Yapay aydınlatma projelerinde genelde tüm işyerinin aydınlatılma gereksinimi dikkate alınır. Bu işlem esnasında, işletmenin ileride genişleyebileceği de dikkate alınabilir. Yapay aydınlatma için ışık kaynakları, fabrikanın her yanına iyi bir şekilde dağıtılmalıdır. Özel aydınlatma gerektiren yerlerde de bu gereksinime cevap verebilecek özel ışık kaynakları kullanılır.

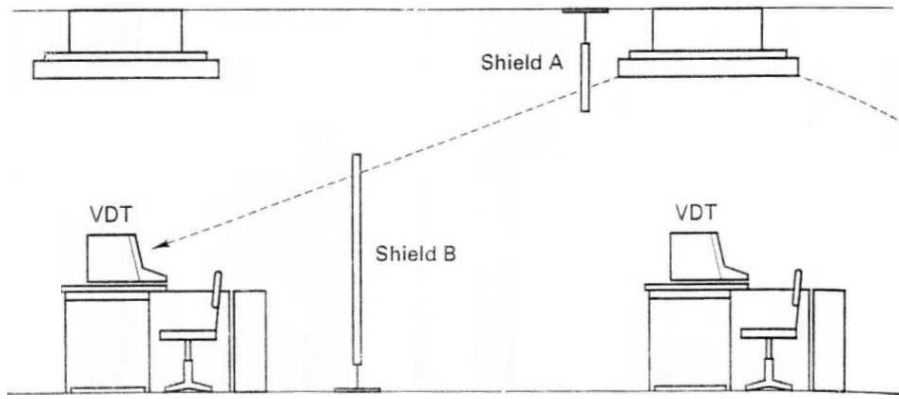


Şekil 9.5 Genel aydınlatma sistemlerinin montajları

Büro çalışmalarında, PC 'ler ile çalışma yapılması halinde ve ışığın yönü uygun seçilmemişse PC ekranlarının ışığı yansıtması sonucu gözü rahatsız edici etkiler ortaya çıkmaktadır. Bunu önlemek için ya ışık kaynağının yönü değiştirilmelidir ya da ışığın direkt olarak PC ekranına yansımalarını engelleyici önlemler alınmalıdır (Şekil 9.6).

3. Gün Işığının Desteklenmesi

Endüstriyel kuruluşların çoğunda, gün ışığı ile sağlanan aydınlatmayı desteklemek için yapay ışıklandırma kullanılmaktadır. Bu işlem dengeli bir aydınlatmanın



Şekil 9.6. PC 'lerde yansımının önlenmesi amacıyla alınabilecek önlemlere örnek

sağlanması için yapılabildiği gibi, modelleme, gölgelendirme veya gölgelendirmenin oluşturulması ve parlamaların önlenmesi için yapılabilir.

Gün ışığının yeterli yapay ışık ile takviyesi, gölgede ve karanlıkta kalan bölgeleri ortadan kaldırarak fabrikada kullanılabilir hacim ve alanları arttırır ve fabrikalarda aydınlatma düzeyinin optimizasyonuna katkıda bulunur.

Sonuç Olarak; Ergonomik yaklaşımlarda öncelikle çalışanların göz ve görme fonksiyonları dikkate alınarak sağlıklı bir düzen öngöröldüğü gibi insan faktörünün en verimli alışabileceğı aydınlatma koşulları aranır. Mimarlar ve aydınlatma mühendislerine ergonomik kriterlerin tanıtılması, iyi bir aydınlatmanın insana dönük kriterlerini geliştirmeye yardımcı olabilir.

10. GURULTU

Giriş

Endüstriyel gürültünün işitme duyusu üzerine etkilen uzun süredir bilinmesine rağmen bu konudaki ilk yasal düzenlemeler için yapılan girişimler ancak 1970 yıllarında gösterilmiştir. 1970 yılında ABD 'de, çalışma bakanlığı tarafından yürürlüğe konan "İş güvenliği ve sağlığı yönetmeliği" kapsamında yer alan endüstriyel gürültü denetimi konusundaki yasal düzenlemeler ve zorlamalar bu konudaki araştırmaların ve teknolojilerin gelişimine önemli katkılar sağlamıştır.

Günümüzde bir çevre ve sağlık sorunu haline gelen gürültünün insanlar üzerindeki olumsuz etkileri aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- İşitme sistemi elemanlarının fiziksel hasar görmesi
- İş verimliliği ve üretkenliğin azalması
- Yorgunluk ve sinirlilik hali

Belirli bir düzeydeki gürültü insanların çalışma verimlerinde önemli bir sorun oluşturmaz. Ancak belirli bir sınırdan sonraki gürültü düzeyi çalışma verimini düşüren etkenlerden birisidir.

Tanımlar ve Genel Kavramlar

Ses, hava basıncındaki dalgalanmaların kulaktaki etkisinden ileri gelen bir duygudur. Gürültü ise genellikle istenmeyen, rahatsız edici ses olarak tanımlanabilir. Bu tanıma göre, bir kişinin müzik olarak algıladığı bir ses başka bir kişi tarafından gürültü olarak algılanabilir.

Aşırı gürültü, rahatı, güvenliği ve dolaylı olarak da verimliliği etkiler. Gürültünün giderek artması kişiler üzerinde önce rahatsızlık etkisi yaratmakta, arkasından konuşmayı zorlaştırmakta ve sonunda işitme gücünü azaltmaktadır.

Sesin Ölçülmesi

Gürültü, ses basıncının yoğunluğu ile ölçülür. Yüksek seslerin yoğunlukları birbirinden çok değişik olabildikleri için ses düzeyleri logaritmik bir cetvel üzerinde aynı sayıda birimlerle belirtilerek ölçülür. Kaba bir klavuz olarak bir takım seslerin yaklaşık desibel (dB) düzeyleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

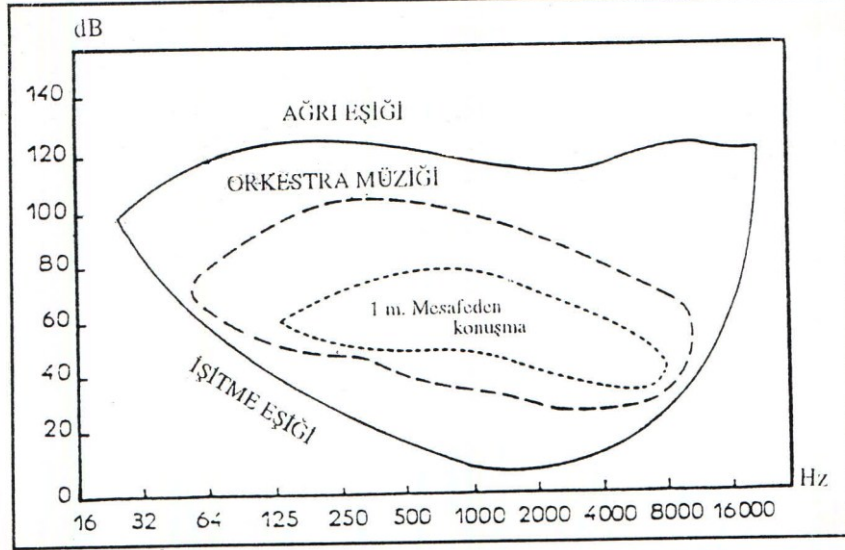
Tablo 10.1 Bazı seslerin yaklaşık desibel (dB) düzeyleri

0 dB	İşitme eşiği
------	--------------

20 dB	120 cm'den fısıltı
65 dB	90-120 cm'den normal konuşma
75 dB	Bir büro makinasının öteki makinaya ulaşan sesi
95 dB	Yakın bir yerden bir torna tezgahının sesi
110 dB	Basınçlı hava ile çalışan perçin tabancası
130 dB	Ağrı duyma eşiği

Frekans

Gürültünün insan kulağı üzerine etkisi genel olarak yaptığı titreşimle ya da frekansı ile ilgilidir. Ayrıca, gürültüyü oluşturan frekansların tümü birden göz önünde tutulmalıdır. Frekans genel olarak, saniyedeki titreşim (Hertz) olarak ölçülür. Şekil 10.1 'de seslerin frekans ve dB ilişkileri bir grafik üzerinde verilmiştir.



Şekil 10.1 İşitme alanları

A Ses Düzeyi

Kulak duyarlılığının frekansa göre değişebilmesi nedeniyle dB değerleri gürültü ölçümünde yeterli olmamakta ve yanlışlıklara neden olabilmektedir. Bu nedenle salt dB değerleri yerine dBA değerleri kullanılmaktadır. dbA, kulak duyarlılığında frekansa bağlı olan değişiklikleri de göz önünde tutabilmek için geliştirilmiş bir ölçüdür. "A"ses düzeyi işitme duyusunun eksilmesi ya da rahatsızlık duygusunu tek bir sayısal değer olarak gösterir.

İnsanların, gürültülü ortamda kalış sürelerine bağlı olarak hangi gürültü miktarına sürekli olarak dayanabilecekleri süreler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 10.2 Endüstriyel gürültünün üst değerleri

Gürültü etkisinde kalınan süre (saat/gün)	En yüksek gürültü düzeyi (dbA)
8	90
4	95
2	100
1	105
0.5	110
0.25	115

Çeşitli Rahatsızlık Duyguları

Gürültünün insanlarda yarattığı rahatsızlıkta başlıca neden gürültü yoğunluğudur. Ancak, yarattığı rahatsızlık duygusu gürültü tipine ve ortama da bağlı görülmektedir. Burada söz konusu olan önemli etmenlerden bir kaçısı aşağıda sıralanmıştır.

1. Tek bir arı tondan oluşan bir gürültü, çeşitli tonları kapsayanlardan daha çok rahatsızlık verir.
2. Kısa aralıklarla gelen bir gürültü, belirli bir süre kesintisiz olarak gelen gürültüden çok daha rahatsız edicidir.
3. Gürültünün kaç kez ortaya çıktığı da önemlidir. Sürekli bir gürültü ya da dakikada bir kez duyulanı günde iki kere belirlenenden daha büyük bir rahatsızlık duygusunun nedeni olmaktadır.
4. Gürültü ortamın doğal olarak yarattığı seslerin az olduğu gece saatlerinde daha fazla rahatsız edicidir. (MPM.Gürültü)

Etkilenme Derecesi

Gürültüden etkilenme derecesi bakımından kişiden kişiye önemli ayrılıklar olabilmektedir. Bir çok insan, en hafif seslerden bile rahatsız olabilirler. Bilgisayar klavyesinin sesi bile bir çok kez rahatsız edici bulunabilir. İnsan genel olarak kendi yaptığı ya da katkıda bulunduğu gürültüden daha az etkilenir. Bu durum, gürültünün işitme duygusunu etkilediği yerlerde bile söz konusu olabilmektedir. Örneğin; bir kazancı ustası gürültünün kulaklarını sağır edebileceğini bile bile kulaklık takmak istemeyebilir. Çünkü perçinlemede kullandığı çekicin yarattığı ses ona bazı yararlı bilgiler iletmektedir.

Genel bir kural olarak, insanların tiz seslerden pes seslere oranla daha fazla rahatsız oldukları, aralıklı ya da beklenmedik gürültüleri sürekli olandan daha rahatsız buldukları bilinmektedir.

Arka Plan Gürültüsü

Sessiz bir büroda yapılabilecek bir telefon görüşmesi başka kimseleri rahatsız edebilirken genel konuşma gürültüsü içinde rahatsız edici olmayabilir. Bu nedenle arka plan gürültüsü, göreceli gürültü düzeyini azaltmakta ve konuşma gizliliğinin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Bir çok yerlerde bu nedenle alçak perdeden müzik yayının yapılmaktadır.

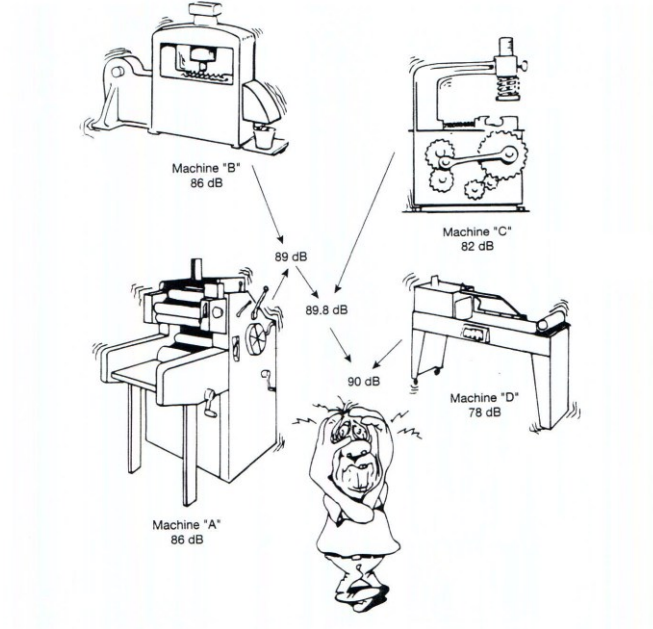
[illegible]

Şekil 10.2 Bir termik santralin gürültü düzeyi ölçümlerinden elde edilen gürültü alanları krokişi

Düzeylerde İşlem

Ses basıncı, ses gücü ve ses düzeyleri logaritmik bir ölçek ile desibel cinsinden (dB) ifade edildiğinden bu düzeylerin kendi aralarında yapılacağı toplama ve çıkarma işlemleri de logaritmik olarak yapılmalıdır.

İki veya daha fazla makinanın birlikte çalıştırılmaları halinde ayrı ayrı çalıştırılmalarına göre meydana gelen gürültüler de farklı olacaktır. Bunun hesaplanabilmesi için aşağıda verilen bağıntıdan yararlanılır.



Şekil 10.3 Faklı ses kaynaklarından kaynaklanan gürültünün etkileri

$$L_{Pt} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^N 10^{SEL/10}$$

L_{Pt} : Toplam ses basıncı düzeyi

SEL : Ses etkilenim düzeyi (dB)

Örnekler:

1. İki farklı ses kaynağı ayrı ayrı çalıştırıldıklarında bir konumda 75 dB ve 77 dB ses basınç düzeyi ölçülmektedir. Bu iki kaynak birlikte çalıştırılırsa aynı konumda ölçülebilecek toplam ses basıncı düzeyi ne olur.

$$L_{Pt} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^N 10^{SEL/10} = 10 \cdot \log(10^{77/10} + 10^{75/10})$$
$$L_{Pt} = 79.124 \text{ dB}$$

2. İki farklı ses kaynağı ayrı ayrı çalıştırıldıklarında bir konumda 80 dB ve 80 dB ses basınç düzeyi ölçülmektedir. Bu iki kaynak birlikte çalıştırılırsa aynı konumda ölçülebilecek toplam ses basıncı düzeyi ne olur.

$$L_{Pt} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^N 10^{SEL/10} = 10 \cdot \log(10^{80/10} + 10^{80/10})$$
$$L_{Pt} := 83 \text{ dB}$$

3. Arka plan gürültüsünün 60 dBA olarak ölçüldüğü bir konumda, bir ses kaynağının çalıştırılmasıyla ses düzeyi 65 dBA 'ya yükseliyor. O konumda bu ses kaynağının arka plan gürültüsünden arındırılmış olarak oluşturulacağı ses düzeyini hesaplayınız.

$$L_{Pt} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^N 10^{SEL/10} = 10 \cdot \log(10^{65/10} - 10^{60/10})$$
$$L_{Pt} = 63.3 \text{ dB}$$

Eşdeğer Ses Düzeyi ve Ses Etkilenim Düzeyi

Eş değer sürekli ses düzeyi ya da kısaca eşdeğer ses düzeyi, kararsız gürültünün ölçümü ve değerlendirilmesinde kullanılır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, eşdeğer ses düzeyinin kararsız gürültü düzeylerinin büyüklüğüne olduğu kadar ölçüm sürelerine de bağlı olduğudur.

Örneğin, trafiğin gündüz yoğun, geceleri ise seyrek olduğu bir caddedeki trafik gürültüsünün gündüz saatleri sırasında ölçülecek eşdeğeri ile 24 saatlik eşdeğeri arasında farklılıklar olacaktır. Eşdeğer ses düzeyi gürültü denetim çalışmalarında A düzeyi olarak dBA cinsinden ifade edilir. Eşdeğer ses düzeyinin en yaygın uygulama alanı; trafik, çevre ve endüstriyel gürültüdür.

Ses Etkilenim Düzeyi

Geçiş süresi olarak tanımlanan çok kısa süren ve birden yükseldikten sonra azalan bir gürültünün ölçümü ve değerlendirilmesinde kullanılır. Eşdeğer ses düzeyinde olduğu gibi, A düzeyinde dBA cinsinden ifade edilir. Ses etkilenim düzeyi, geçiş gürültüsünün 1 saniye süren aynı ses enerjisine sahip olan sabit eşdeğer düzeyi olarak tanımlanmaktadır. Ses etkilenim düzeyi SEL olarak, zaman T olarak gösterilirse;

$$L_{eq} = SEL - 10 \log T$$

şeklinde bir bağıntı yazılabilir.

Değişik ses etkilenim düzeylerine sahip olan N sayıda sesin toplam T saniyedeki eşdeğer ses; düzeyi

$$L_{eq} = 10 \log \sum_{i=1}^N 10^{SEL_i/10} - 10 \log T$$

şeklinde yazılabilir.

Örnek; Anafartalar caddesinde çalışan bir milli piyango bayisinin 8 saatlik bir çalışma süresi içinde etkisinde kaldığı eşdeğer ses düzeyi hesaplanmak isteniyor. Bu süre içerisinde önünden her biri 80 dbA olan 20000 otomobil ile 86 dBA olan 1600 otobüs geçişi saptanıyor. Eşdeğer ses düzeyini hesaplayınız.

$$L_{eq} = 10 \cdot \log[20000(10^{80/10} + 1600(10^{86/10}))] - 10 \log(8 \times 3600)$$

$$L_{eq} = 73.6 \text{ dBA dır}.$$

Gürültünün insanlar Üzerindeki Etkileri

Gürültünün işitme sistemine etkileri geçici ve kalıcı olmak üzere iki şekilde incelenebilir.

geçici etkilerin en çok karşılaşılanı, geçici işitme eşiği kayması veya duyma yorulması olarak bilinen işitme duyarlılığındaki geçici kayıptır. Yüksek gürültü düzeylerinin kısa süre etkisinde kalan kişilerde gürültünün kalkmasından sonra işitmede bir duyarsızlık hissedilir ve hemen arkasından kulakta çınlamalar duyulmaya başlar. Etkilenimin süre ve gürültünün düzey açısından yüksek olmadığı durumlarda kişi daha sessiz ortamlarda dinlendirildiği zaman işitme sistemindeki etkilenimden önceki duruma tamamıyla kavuşabilir.

Etkiyenimin çok fazla olduğu ve işitme sisteminin eski özelliklerine kavuşmadan tekrar gürültüden etkilendiği durumlarda işitme kabı kalıcı olmaktadır. Kalıcı işitme kaybı başlangıçta 4000 Hz-6000 Hz arasında oluşur. İlerleme halinde ise, bu aralık dışındaki hem alçak hem de yüksek frekanslarda yayılır. İlerlemiş durumlarda, işitme kaybının en fazla olduğu frekans 4000 Hz dolayında kalır. İşitme kaybı, etkilenimin ortadan kalkmasından sonra da son durumunu korur. Tıbbi açıdan kötüleşme düzeyinde bir seyir göstermemesine

rağmen iyileşme açısından geriye dönüş mümkün değildir. İnsan kulağının duyarlı olduğu 1000-6000 Hz arasındaki frekanslarda baskın ses enerjisi bulunan gürültü düzeyleri daha fazla işitme kabına neden olmaktadır.

Fonksiyonların Engellenmesi ile İlgili Etkiler

Etkisinde kalınan gürültü nedeniyle belirli bir frekans aralığında oluşan kalıcı işitme kaybı diğer frekanslardaki seslerin duyulmasını ve algılanmasını engellemez, ancak bir takım fonksiyonların engellenmesine neden olur.

Gürültünün iş verimliliği, üretkenlik ile etkileri konusunda yapılan araştırmalar, karmaşık işlerin yapıldığı ortamların sessiz, basit işlerin yapıldığı ortamların biraz gürültülü olması gerektiğini göstermiştir. Özetle, ortamda belirli bir iş ya da fonksiyon için arka plan gürültüsünden fazla gürültü düzeylerinin etkisinde kalındığı durumlarda iş verimliliği düşmektedir.

Psikolojik Etkiler

Bulunulan ortamda, fonksiyonlar için belirlenmiş gürültü düzeylerini aşan gürültü etkisinde kalan kişiler rahatsız, tedirgin ve sinirli olmakta, bu hallere neden olan gürültü ortadan kalktığında ise söz konusu etkiler bir süre daha devam edebilmektedir, belirlenen düzeylerin aşıldığı durumlarda, yorgunluk ve zihinsel etkinliklerde yavaşlama görülmektedir. Anı olarak

yükselen gürültü düzeyleri insanlarda korku yaratabilmekte, gürültüden etkilenim sürse bile daha sonra normale dönüş olmaktadır.

Fizyolojik Etkiler

Gürültü, kişilerde en önemli stres kaynaklarından biridir. Ani olarak yükselen gürültü düzeyleri kişilerin kalp atışlarında, solunum hızında, kan basıncında, metabolizmasında, görme keskinliğinde ve hatta derisinin elektrik direncinde değişiklikler oluşturmaktadır. Bu etkilerin çoğu, gürültüden etkilenim sürse bile ortadan kalkmaktadır. Yüksek düzeyde gürültünün etkisinde kalan kişilerde hiper tansiyon oluştuğu ve bu durumun kalıcı olduğu kanıtlanmıştır. Uykusuzluk gürültünün neden olduğu en önemli rahatsızlıklardan biridir.

GÜRÜLTÜ KONTROL YÖNTEMLERİ

Gürültü kontrolü için üç yöntem takip edilmektedir. Bunlar; ses kaynağında kontrol, yol aldığı hava ve yapı boyunca kontrol ve alıcının kulağında kontrol edilebilir.

Ses Kaynak Tedavileri (İyileştirme)

1. Değiştirme veya yenileme:

Makinelerin ses üreten parçalarına susturucu yerleştirilmesi geçerli bir yoldur. Cihazlarda üretim işlemlerine uygunluğu sağlaması analizi ile bazı mühendislik değişimlerine ihtiyaç duyulabilir. Bununla beraber, birçok örnekte, kullanılmak üzere değiştirilen parçalar direkt

olarak satın alınabilir. Örneğin; metal parçaların vuruş ve düşüşleri ile ortaya çıkan gürültü, yumuşak tamponların eklenmesi veya bazı sesine dayanılmaz parçaların oldukça ses kısıcı malzeme veya plastiklerle değiştirilmesi, plastiklerle kaplanması ile azaltılabilir.

2. Yüzeysel Sönümleme

Makina atölyelerinde genelde büyük miktarda katlanabilir metal tabakalar bulunur. Eğer bunlar titreşime maruz kalırsa bu yüzeyler havanın ses akustik yayıcıları haline gelir. Titreşim genellikle makinaların içteki sallanması, dönmesi veya karşılıklı çarpışması gibi mekanik zorlamalar sonucu olur. Bu aletlerin hareketi, bunların yüzeylerindeki rezonans frekansını veya doğal çınlamasını artırır. Yüzeye ses kısıcı malzemelerin eklenmesi frekans yankılanması sırasındaki titreşim genliğini azaltacaktır. Daha fazla malzeme eklenmesi katılaşmaya sebep olacak ve frekans doğasını değiştirerek bundan sonra kolaylıkla artmasına izin vermeyecektir.

Yayılma Yolu Tedavileri:

1. Susturucular

Genelde hava ve gaz akışı ile ilişkili olan gürültüleri azaltır. Örneğin makina giriş ve eksozlardaki sesler, vantilatörlerdeki giriş-çıkış yollarındaki sesler, yüksek hızlı hava veya akımlı jetlerin oluşturduğu gürültülerdir. Susturucular ayrıca malzeme veya personel taşınması gerekli olan yollardaki ses kaçışını kontrol için geçitlerde kullanılır.

1 Oda Emiciliğine Katkılar

Gürültü azaltma yöntemlerinden en fazla kullanılan yöntemlerden biri de iç yüzeyleri (duvar ve tavanları) yüksek emici malzemelerle donatmaktır. Gürültü kaynaklarından uzaktaki bazı malzemeler mükemmel gürültü azaltması sağlarken (5-1 Om dB) bazen de

gürültü kaynağına yakın olan bu malzemeler daha az gürültü azaltma etkisine sahiptirler.

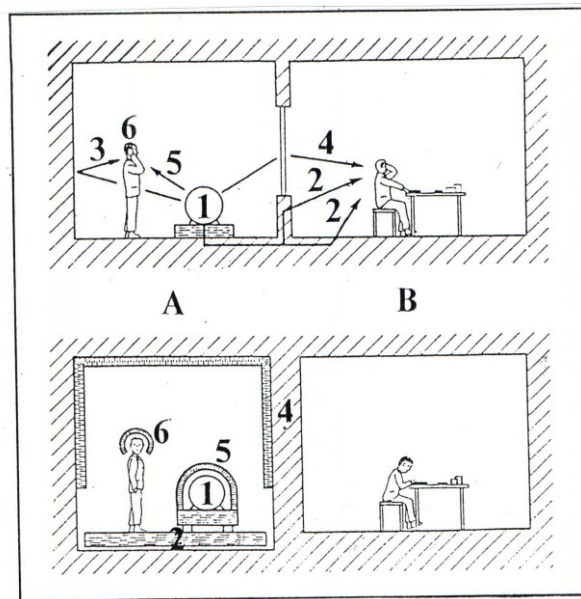
Gürültüde 3dB düşürebilmek için emici miktarının iki kat olması gerekir. (Uzak mesafeli yankılı olanlarda)

Muhafazalar :

Muhafazalar başka bir kullanışlı gürültü kontrol yöntemidir. Gürültü kaynağını tamamen çevreleyen ve böylece üretilen sesi içinde saklayan aletlerdir.

Titreşim izolesi

Büyük titreşim sahaları (Makina atölyesi ve temel çatı yapan büyük bölümler) titreşimlerin hemen hemen duyulmadığı zamanlarda bile çok büyük derecede ses yayabilirler. Gürültü kontrolü için titreşim kaynağı ile ses yayılma yüzeyi arasına yerleştirilen yumuşak tamponların, titreşim izole eden desteklerin, açıklıkların kullanılması ile yüzey titreşimi yapan makina işleyen mekanizmadan akustik olarak izole edilebilir.



Şekil 10.3 Bir atölye ve büroda gürültü ile mücadele

Engeller

Engel bir makinanın direk olarak yaydığı ses dalgalarına karşı, ses alıcıya siper vazifesi yapan sert duvar kalkandır. Engellerin etkili olabilmesi için engele doğru yayılan sesi önleyecek kadar kalın, geniş ve yüksek olmalıdırlar, ayrıca engeller ya ses kaynağına ya da alıcıya yakın olmalıdır.

Kaplama

Boruların kanalların ve diğer ses yayan yüzeylerin kaplanması iki katlı bir kaplamayı gerektirir. Kaplama içinde darbe emici bir taban olmalıdır.

Alıcı İyileştirmeleri

Kulaklıklar

Kulaklıklar dış kulak kanalında hava geçirmez bir tampon görevi yaparak sesi örtü ve boşluk ile azaltma maksadıyla, kulağı aşırı seslerden izole etmek için düzenlenmiştir.

Kulaklıklar genellikle benzer yapıdadır. Değişiklik ana olarak malzeme ve detaylardadır.

Kırılmaya karşı dayanıklı ve sert, ısıda eriyebilen bir plastik veya benzeri maddeden yapılmış olan dış kubbe ilk siperi sağlar. Bu kubbenin daha ağır olması ve kulağın etrafındaki boşluğun daha derin olması, daha fazla alçak frekanslı seslerin emilmesi demektir. Orta ve yüksek

seviyeli gürültülerde kulaklıkların veya tıkaçların yırtılması halinde uyarıları işçi duyabilmektedir.

SONUÇ

Gürültü insanların sinirsel yapısını bozduğu gibi bedenen de yorgunluk yaratıp duyma organının görevini yapmasını engellemektedir. Çalışanlar böyle bir sorunla karşılaştıklarında verimli olmaları düşünülemez. İnsan sağlığı her şeyin başında geldiğinden gürültü düzeyinin yüksek olduğu yerlerde çalışmak zorunda kalanlara yasal haklar verilmiş olup, işverenlere de gürültünün giderilmesi veya önlenmesi hakkında yasal zorunluluklar getirilmiştir.

Çalışanların verimli, sağlıklı ve morallerinin yüksek olması için gürültü kaynağında ya da yol boyunca engellenmeli, bu mümkün değilse alıcılar çeşitli koruyucu aletler ile kapatılıp gürültüden zarar görmeleri engellenmelidir.

Titreşim ve Etkileri

Makinalarda güç ve hızın artırılması ve giderek daha hafif maddelerden yapılması yoluna gidilmesi titreşim sorunlarını arttırmış ve istenilmeyen bir çok yan etkilere yol açmıştır. Titreşim, yarattığı gürültü yanında ürün kalitesi, gereçler ve emek verimi üzerinde de olumsuz etkilere yol açmaktadır.

Titreşim Türleri

Titreşim türlerini üçe ayırabiliriz;

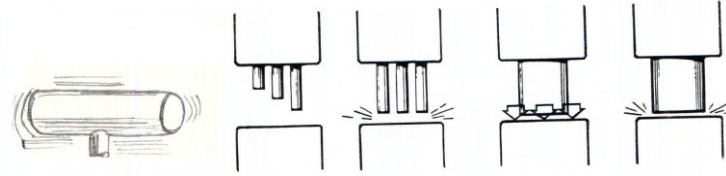
1. Sürekli olarak çalışan makina ve gereçlerin yol açtıkları yoğunluğu değişmeyen titreşimler

(Şekil 10.5-a)

2. Şahmerdan gibi makinaların ve kayaları parçalamakta kullanılan konkasörlerin

oluşturduğu titreşimler (Şekil 10.5-b)

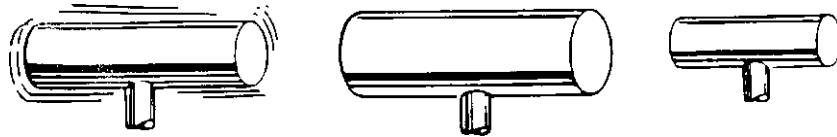
Jet motorları gibi kaynaklardan gelen ve ne zaman ortaya çıkacağı belirli olmayan titreşimler.



Şekil 10.5-a

Şekil 10.5-b

Sallanan parçalara yerleştirilecek amortisör gibi gereçler, gürültüyü olduğu kadar titreşimlerin de azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Titreşimlerin önlenmesi için, titreşen elemanların henüz tasarım aşamalarında bazı önlemler almak mümkündür. Titreşimlerin önlenmesi için bazı örnekler aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

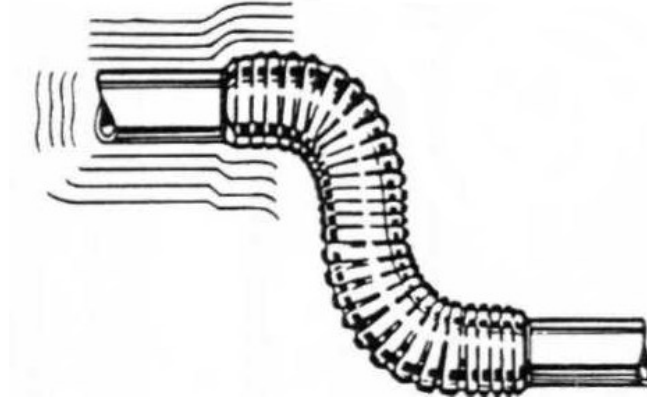


Şekil 10.6 Bir parçanın titreşim rezonansını elimine etmek için parça boyutları büyütülmeli

TİTREŞİM REZONANSINI ENGELLEMEK İÇİN CİSİM BOYUTLARININ BÜYÜTÜLMESİ YADA KÜÇÜLTÜLMESİNİ FORMÜLLERLE AÇIKLAYALIM



Şekil 10.7 Titreşim yapan metal levhaların birleştirilmesinde levhalar arasına ve civata/levha, somun levha arasına kauçuk gibi yumuşak maddelerden yapılmış rondela yerleştirilebilir



Şekil 10.6 Rijit borulardaki titreşim izolasyonu için iki rijit boru arasına esnek borular yerleştirilebilir

KAYNAKLAR

1. ERKAN, N, "Ergonomi", Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Yayın No:373, 1995
ANKARA
2. SU, B.A,"Ergonomi Ders Notları", DEÜ
3. KROMER, K, KROMER, H., KROMER.K, "Ergonomics, How to design for Ease&Efficiency", Prentice Hall, 1994
4. IŞIL,B., "Ergonomi", Yıldız Üniversitesi, Kocaeli Müh. Fak. İzmit,1991
5. Gürültü, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Yayın No: 152

6. ÖZGÜVEN, N, "Endüstriyel Gürültü Kontrolü", TMMOB, Makina Mühendisleri Odası,
Yayın No: 118
7. S ALVEND Y., G. ;Handbook of Industrial Engineering, 1992, John Wiley & Sons, Inc.
8. ASFAHL, C.R., industrial Safety and Healt Ménagement, Prentice Hail ,1995,
9. TANYAŞ M., Endüstri Mühendisliğine Giriş, İstanbul, 1995