

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇAPA MAKİNASI İLE ÇALIŞMADA OPERATÖR YÜKLENMESİNİN
BELİRLENMESİ**

Maksut Barış EMİNOĞLU

Tarım Makinaları Anabilim Dalı

**ANKARA
2010**

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇAPA MAKİNASI İLE ÇALIŞMADA OPERATÖR YÜKLENMESİNİN BELİRLENMESİ

M. Barış EMİNOĞLU

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ramazan ÖZTÜRK

Çapa makinasıyla çalışmada operatörler, makinayı kullanmanın fiziksel yükü yanı sıra sıcaklık, çalışılan ortamın tozu ve makinadan alınan sürekli titreşimler gibi birçok olumsuz faktörün etkisi altındadır.

Araştırma kapsamında operatörler 4 farklı çalışma programında çapa makinası ile çalıştırılmışlardır. Günlük 8 saat olan çalışma süresi her programda toplam 6 saat çalışma ve toplam 2 saat dinlenme süresi olacak şekilde farklı çalışma ve dinlenme sürelerine ayrılarak bu parametrelerin operatörün enerji tüketimi ve kalp atım değerleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Çalışma programlarına ve operatörlere göre çapa makinası ile çalışmada dakikadaki enerji tüketimi genel olarak 4 kcal değerinin üzerinde bulunmuştur. Bu sonuç; çapa makinası ile çalışmayı ağır iş sınıfına sokmaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen bulgular ışığında, çapa işlemi sırasında operatörlerinin daha az yüklenmelerini sağlayacak önerilerde bulunulmuştur.

Temmuz 2010, 69 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ergonomi, çapa makinası, enerji tüketimi, kalp atım sayısı.

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF THE OPERATORS' STRAIN AT WORKING WITH A ROTARY TILLER

M. Barış EMİNOĞLU

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Prof. Dr. Ramazan ÖZTÜRK

Operator working with a power tiller exposes to physical load of using machine besides many unfavorable factor such as temperature, dust of working environment and transmitted vibration from machine continuously. In general, energy expenditure values for working with power tiller were found above 4kcal min^{-1} according to working schedules and operators. This result shows that working with a power tiller is in classification of heavy work.

In this research, operators were worked with power tiller at 4 different working schedules. Daily working time which has being 8 hours allocated different working and resting periods which have been total work duration is 6 hours and total rest duration is 2 hours. Effects of these parameters were determined with respect of operators' energy expenditure and heart beat values.

Based of findings of this research, suggestions were given for power tiller operators to provide less strain during hoeing operations.

July 2010, 69 page

Key Words: Ergonomics, rotary tiller, energy expenditure, heart rate

TEŞEKKÜR

“Çapa Makinası İle Çalışmada Operatör Yüklenmesinin Belirlenmesi” adlı çalışmama yön veren, gerekli kaynaklara ulaşmamda yardımlarını ve bilgisini esirgemeyerek çalışmamın her aşamasında beni destekleyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ramazan ÖZTÜRK’e (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü) teşekkürlerimi sunarım.

Ergonomi konusunda ve denemelerin her aşamasında destek olan Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölüm Başkanı sayın hocam Prof. Dr. Ali İhsan ACAR’a teşekkür ederim.

Denemelerin yapılması için gerekli ekipman ve deneme parselini kullanmamı sağlayan Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Gökhan SÖYLEMEZOĞLU’na teşekkür ederim. Denemelerde gönüllü olarak yer alan Bahçe Bitkileri Bölümü çalışanlarından Ahmet TAŞDEMİR ve Uğur YENİPİNAR ile Tarım Makinaları Bölümü çalışanlarından Kazım ATA’ya, performans ölçümü konusunda kaynaklarını ve imkanlarını paylaşan Ankara Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Cengiz AKALAN’a ve Araş. Gör. Dr. Fırat AKÇA’ya, enerji tüketimi ve kalp atım hızını ölçtüğüm cihazları sağlayan Zir. Yük. Müh. Nihat SÖNMEZ’e teşekkürlerimi sunarım.

Tüm akademik yaşantım boyunca maddi ve manevi olarak benden hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen babama, anneme ve kardeşime teşekkürü bir borç bilirim.

M. Barış EMİNOĞLU

Ankara, Temmuz 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 İnsanın Performans Kapasitesi.....	3
1.2 İnsan Performansını Değerlendirme Yöntemleri.....	4
1.2.1 Kalp atım sayısının belirlenmesi.....	5
1.2.1.1 Dinamik işin kalp atım sayısına etkisi.....	6
1.2.1.2 Statik işin kalp atım sayısına etkisi.....	7
1.2.1.3 Psikolojik nedenlerle kalp atım sayısının artması.....	8
1.2.1.4 İklimsel koşulların kalp atım sayısının artışına etkisi.....	9
1.2.1.5 Kalp atım sayısının ölçülmesi.....	9
1.2.2 Kuvvet ölçümleri.....	10
1.2.3 Elektromiyogram (EMG).....	11
1.2.4 Enerji tüketiminin belirlenmesi.....	12
1.2.4.1 Enerji gereksinimi.....	14
1.2.4.2 Enerji tüketimini ölçme yöntemleri.....	16
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	35
3.1 Materyal.....	35
3.1.1 Operatörler.....	35
3.1.2 Çapa makinası.....	36
3.1.3 Denemelerin üretildiği arazi.....	36
3.1.4 Denemelerde kullanılan program ve cihazlar.....	37

3.2 Yöntem.....	38
3.2.1 Çalışma saatleri.....	38
3.2.2 Hava sıcaklığı ve bağıl nemin ölçülmesi.....	41
3.2.3 Kalp atım değerlerinin ölçümü.....	41
3.2.4 Enerji tüketimi değerlerinin ölçümü.....	45
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	47
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	60
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	68

SİMGELER DİZİNİ

atım dk ⁻¹	Dakikadaki kalp atım değeri
BG	Beygir gücü
°C	Hava sıcaklığı
cm	Santimetre
cm ³	Santimetreküp
J	Joule
L	Litre
kcal gün ⁻¹	Gün içerisindeki enerji tüketimi değeri
kg da ⁻¹	Dekar başına ürün verimi
m s ⁻¹	İlerleme hızı
ml kg ⁻¹ dk ⁻¹	Bağıl oksijen tüketimi

KISALTMALAR

ATP	Adenozintrifosfat
CO ₂	Karbondioksit
EMG	Elektromiyogram
KAF	Kalp atım frekansı
MET	Enerji tüketiminin metabolik eşdeğeri
O ₂	Oksijen
SPS	Sürekli performans sınırı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Kişinin iş yapabilme düzeyi.....	4
Şekil 1.2 İş yükünün sürekli performans sınırından küçük(1), eşit (2) veya büyük(3) olması durumunda kalp atım sayısının zamanla değişmesi.....	7
Şekil 1.3 Patates sepetini tek elde asimetrik ve boynunda simetrik taşıyan işçide kalp atım sayısının değişimi.....	8
Şekil 1.4 Ortamın iklimik koşullarının kalp atım sayısına etkisi.....	9
Şekil 1.5 Kalp atım sayısının el bileğindeki radyal ya da boyundaki karotid atardamarlardan belirlenmesi.....	10
Şekil 1.6 Polar saat ve göğüs bandı.....	10
Şekil 1.7 Pençe kuvvetini ölçen dinamometreler.....	11
Şekil 1.8 Elektromiyogramdan elde edilen sinyal	12
Şekil 1.9 Elektoromiyograf ve kasın kasılma ve gevşemesinden elde edilen grafik.....	12
Şekil 1.10 Kalorimetri odasının şematik gösterimi.....	17
Şekil 1.11 Kapalı devre spirometrinin şematik gösterimi	18
Şekil 1.12 Taşınabilir spirometri.....	20
Şekil 1.13 Douglas torbası ve oksijen analizörü.....	21
Şekil 1.14 Ergospirometri.....	21
Şekil 1.15 Enerji tüketimini ölçme amacıyla kullanılan kol bandı.....	22
Şekil 2.1 Dirgenle arpa hasadı ve treyler yükleme.....	23
Şekil 2.2 Yük alma yüksekliği ile enerji tüketimi arasındaki ilişki.....	24
Şekil 2.3 Kaplamalı yolda taşıma işinde çalışma süresi ile kalp atım sayısı arasındaki ilişki.....	25
Şekil 2.4 Hafif toprak koşulunda çapa işinde çalışma süresi ile kalp atım sayısı arasındaki ilişki.....	25

Şekil 2.5 Ağır toprak koşulunda çapa işinde çalışma süresi ile kalp atım sayısı arasındaki ilişki.....	26
Şekil 2.6 Koltuk ilaveli ve koltuksuz çalışma koşulu için vücut bölümlerinin konforsuzluk skoru ortalamaları.....	26
Şekil 2.7 Öne eğilerek ve yüzüstü uzanarak çalışmalar.....	27
Şekil 2.8 Öne eğilerek ve yüzüstü uzanarak çalışmalarda konforsuzluk değerleri.....	28
Şekil 2.9 Öne eğilerek ve yüzüstü uzanarak hasat pozisyonu arasındaki kalp atım değerleri.....	29
Şekil 3.1 Denemelerde çapa makinasının genel görünümü.....	36
Şekil 3.2 Sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı.....	37
Şekil 3.3 Göğüs bandının vücuda takılması.....	37
Şekil 3.4 Deneklerden birine ait fiziksel aktivite takvimi örneği.....	42
Şekil 3.5 Fiziksel aktivitenin genel bilgilerini içeren diyalog penceresi.....	43
Şekil 3.6 Kalp atım değerlerinin süreye göre değişimi.....	43
Şekil 3.7 Kalp atım değerlerinin liste görünümü.....	44
Şekil 3.8 Kol bandıyla kişiden çalışma sırasında alınan veriler yardımıyla oluşturulmuş enerji tüketim raporu.....	45
Şekil 4.1 Birinci program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki kalp atım değerlerinin değişimi.....	48
Şekil 4.2 Birinci program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki enerji tüketimi değerlerinin değişimi.....	49
Şekil 4.3 İkinci programda operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarına göre kalp atım değerlerinin değişimi.....	51
Şekil 4.4 İkinci program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki enerji tüketimi değerlerinin değişimi.....	52
Şekil 4.5 Üçüncü programda operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarına göre kalp atım değerlerinin değişimi.....	54

Şekil 4.6 Üçüncü program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki enerji tüketimi değerlerinin değişimi.....	55
Şekil 4.7 Dördüncü programda operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarına göre kalp atım değerlerinin değişimi.....	57
Şekil 4.8 Dördüncü program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki enerji tüketimi değerlerinin değişimi.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Çalışmadaki operatörlerin bazı temel fiziksel özellikleri.....	35
Çizelge 4.1 Birinci programa göre gerçekleştirilen çalışmada ölçülen değerler.....	47
Çizelge 4.2 İkinci programa göre gerçekleştirilen çalışmada ölçülen değerler.....	50
Çizelge 4.3 Üçüncü programa göre gerçekleştirilen çalışmada ölçülen değerler.....	53
Çizelge 4.4 Dördüncü programa göre gerçekleştirilen çalışmada ölçülen değerler.....	56
Çizelge 4.5 Programlara göre operatörlerin fizyolojik tepkilerinin değişimi.....	59

1.GİRİŞ

Çapa makinaları; tarla, bağ ve bahçelerde; fide ve fidan yetiştiriciliğinde; yabancı ot kontrolü, boğaz doldurma ve toprağı havalandırma gibi işlemler ile tohum yatağı hazırlamada kullanılırlar. Bunlar, küçük dönme yarıçapları sayesinde bağ ve meyve bahçeleri için çok uygundurlar. Fazlaca eğimli ve çok küçük işletmelerde tek başlarına yeterli olabilen makinalardır (Saral ve Avcıoğlu 2002). Alt dalları alçak olan meyve bahçelerindeki ağaçlara, en uygun şekilde bu tip makinalarla yanaşlabilmektedir. Tek akslı bir traktör, bir küçük işletmede genel olarak çok yönlü bir kuvvet kaynağını oluşturmaktadır (Kadayıfçılar 1973). Pirinç tarımında olduğu gibi sulu tarla koşullarında ve oturma yeri ilavesiyle taşıma işlerinde de kullanılabilirler (Tewari vd. 2004).

Çapa makinasıyla çalışma, operatörün, makinanın arkasında işlenmiş toprakta yürümesini gerektirir. Operatör el tutamaklarıyla makinayı yönlendirir ve parsel başlarında keskin dönüşler yapmak zorundadır. Özellikle tohum yatağı hazırlığının gerektiği dönemlerde, operatörün gün içinde sekiz saatten fazla çapa makinasıyla çalışması gerekebilir (Tiwari ve Gite 2006). Makina ve toprağın dinamik etkileşiminden oluşan titreşim, tutamaklardan ellere, kollara ve omuzlara iletilir (Tewari vd. 2004). Operatör, makinayı kullanmanın fiziksel yükü yanı sıra sıcaklık, çalışılan ortamın tozu ve makinadan alınan sürekli titreşimler gibi birçok olumsuz faktörün etkisindedir (Tiwari ve Gite 2006).

Bu etmenler birleşerek fiziksel zorlanmalara, bu zorlanmalar da uzun dönemlerde kas veya iskelet sisteminde rahatsızlıklara sebep olabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında çapa makinalarıyla çalışmada ergonomik yönden değerlendirmelerin yapılması gereği ortaya çıkmaktadır. Ergonominin temel amacı, en yüksek performansa insanın en az yüklenmesi sonucu ulaşılması ve ayrıca yüksek iş güvenliğinin sağlanmasıdır (Gölbaşı 2002).

İnsanın, yaptığı her türlü işi, ölçülebilir düzeyde ve iş formülleri ile ifade edilebilecek şekilde gerçekleştirir. İnsanlara verilecek işler, onların bu işleri gün boyu yapabileceği

düzyeyde kalmak zorundadır. Çünkü gücünün üzerinde iş yapmaya zorlanan insan yorulur. Yorgunluk; çalışanların iş verimi, sağlığı, güvenliği ve psikolojik dengesi açısından olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Bu nedenle, çalışan kişilerin performans sınırlarının bilinmesi; çalışma koşullarının iyileştirilmesi, dinlenme ve çalışma saatlerinin belirlenmesi, gerekirse enerji tüketimini dengeleyecek şekilde beslenmelerinin düzenlenmesi açısından önem taşımaktadır.

İnsan performansının belirlenmesi ve geliştirilmesi konusundaki araştırmalar 19. yüzyılın son çeyreğine kadar uzanmaktadır. Bu konudaki ilk araştırmacı Frederick Winslow Taylor'dır. Taylor, çalıştığı çelik şirketinde iş verimini artırmak için çeşitli yöntemler geliştirmiş, bu sayede demir yüklemede günlük iş kapasitesi üç kat artmıştır. Ayrıca yükleme işinde kullanılan aletlerin ağırlıkları ve boylarında değişiklik yaparak işçilerin zorlanmalarını azaltılmış ve günlük iş verimlerini yükseltmiştir (Erkan 1976). İnsan performansının belirlenmesine yönelik çalışmalar 2. Dünya Savaşından sonra hız kazanmıştır ve özellikle İngiltere ve Amerika' da birçok araştırmacı performans kapasitesinin geliştirilmesi konusunda çalışmaya başlamıştır. Günümüzde de insan işgücünün kullanıldığı her alanda performans kapasitesinin belirlenmesine yönelik araştırmalar yaygınlaşarak sürmektedir.

Bu bölümde, öncelikle insanın performans kapasitesinin tanımı yapılarak; bu konu ile ilgili sık karşılaşılabilecek terimlerden bahsedilecek ve performans kapasitesinin belli başlı ölçüm yöntemleri anlatılacaktır. İlerleyen bölümlerde günümüze kadar insan performansının belirlenmesi ve değerlendirilmesi konusunda yapılmış olan çalışmalardan örnekler verilecektir.

Bu çalışmada, operatörlerin çapa makinasıyla çalışması sırasındaki fiziksel yüklenme derecelerinin belirlenmesi amacıyla farklı çalışma ve dinlenme zamanı kombinasyonlarında, operatörlerin enerji tüketim değerleri ve kalp atım hızları ölçülmüştür. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda, operatörlerin performanslarını yükseltecek ve daha az yüklenmelerini sağlayabilecek çalışma programı belirlenerek, çalışma koşullarını iyileştirebilecek önerilerde bulunulmuştur.

1.1 İnsanın Performans Kapasitesi

İnsanın performans kapasitesi fizyolojik, psikolojik ve sosyolojik özelliklerinin bir bütünü olarak ortaya çıkar. Kişi, fiziksel olarak normal durumda (kas yapısı yapacağı işe uygun, düzenli ve dengeli beslenen, çalışma koşullarına fiziksel olarak uygun) olsa dahi psikolojik veya sosyolojik durumunun olumsuz olması performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Örneğin, iş arkadaşlarıyla iyi geçinememesi, aile durumundaki olumsuzluklar veya yapacağı işle ilgili önceden yaşadığı olumsuz deneyimler, kişinin o işi zorla ve isteksiz yapmasına, buna bağlı olarak da performansının düşmesine neden olmaktadır.

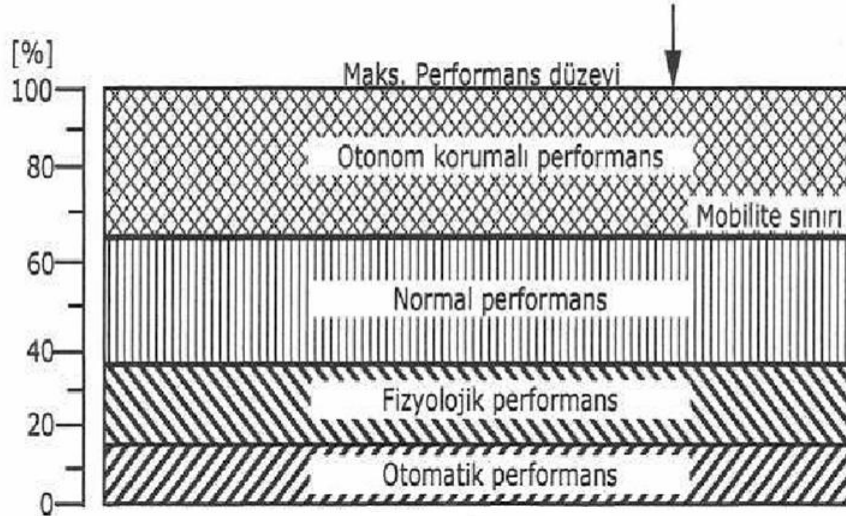
İş bilimi açısından insanın performans kapasitesi denildiğinde, fiziksel performans kapasitesi anlaşılmaktadır. Fiziksel performans kapasitesi; kişinin iskelet ve kas yapısının yanı sıra, beslenmeyle aldığı enerjiye, dolaşım sisteminin, sinir sisteminin, duyu organlarının özelliklerine bağlıdır. Fiziksel performans kapasitesi;

- Kısa süre için ortaya konabilecek maksimum performans ve
- Uzun süre sürdürülebilen sürekli performans olarak iki farklı sınıfta değerlendirilir.

İş bilimde önemli olan sürekli performanstır. Çünkü günlük çalışmada iş yapabilme yeteneğini sürekli performans düzeyi belirlemektedir. Yapılan işin şekline bağlı olarak sürekli performans, maksimum performansın %15-25'i arasında olmaktadır. İş esnasında sık sık maksimum performans gerektirecek şekilde çalışma, zorlanmalara ve kişilerin kemik ve kaslarında hasara yol açabilir. Bunun aksi olarak, sürekli performans düzeyinin çok altında çalışılacak olursa da kaslarda zayıflamayla karşılaşılır, zamanla sürekli performans düzeyi düşer ve normal bir performans gerektiğinde, bunun düzeyi düşmüş olan sürekli performans düzeyini aşacağından aşırı zorlanmalar olur.

Kişinin iş yapabilme düzeyi Şekil 1.1'de görüldüğü gibi dört bölgeye ayrılmaktadır. Burada birinci bölge maksimum performansın yaklaşık %15'ini oluşturan, otomatik performans düzeyi olarak ifade edilir ve kişinin zorlanmadan hatta farkında olmadan yaptığı işleri içerir ve bu bölgede yapılan işler hafif işler olarak tanımlanır (500 – 1000

kcal gün⁻¹). İkinci bölge maksimum performansın %35'ini oluşturan fizyolojik performans düzeyidir. Bu bölgede orta ağırlıktaki işler yapılır (1000 – 1500 kcal gün⁻¹). Üçüncü bölge maksimum performansın %65'ini oluşturan normal performans bölgesidir ve bu bölgede yapılan işler ağır işler olarak tanımlanır (1500 – 2500 kcal gün⁻¹). Üçüncü bölgenin üst sınırı, kişinin kendi isteğiyle ortaya koyabildiği performansın sınırıdır. Mobilite sınırı denilen bu sınırın ötesi "otonom korumalı rezerv bölgesi" dir ve maksimum performansın %35 kadarını oluşturur. Bazı durumlarda istemli performans sınırı aşılarak bu %35 oranındaki performans bölgesi %10 oranına ininceye kadar da kullanılabilir. Normal şartlarda bir insanın geliştirebileceği sürekli güç 0.1 BG iken mobilite sınırı aşıldığında kişi, kısa süre için 1 BG değerinde güce ulaşabilir. Sporcuların uzun antrenmanlar sonrasında, büyük stres altında yarışlarda rekor düzeyinde başarı gösterebilmeleri, bu bölgedeki performansını da mobilize edebilmeleri sayesinde gerçekleşir. Aynı şekilde büyük felaketlerde kendini, sevdiklerini korumak, kurtarmak isteyen kişiler de yaşamlarında belki bir kere bu düzeyde performans gösterebilirler.



Şekil 1.1 Kişinin iş yapabilme düzeyi (Babalık 2005)

1.2 İnsan Performansını Değerlendirme Yöntemleri

Bu bölümde ergonomi açısından önemli olan fiziksel performans kapasitesini değerlendirme yöntemlerine yer verilmiştir. Farklı literatürlerde bu konuyla ilgili pek

çok ölçüm yöntemi bulunmasına karşın burada, en çok kullanılan ölçüm yöntemleri ve kullanılan araçlara örnekler verilecektir.

İnsanın fiziksel performansının belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemler şunlardır:

- Kalp atım sayısının belirlenmesi,
- Kuvvet ölçümleri,
- Elektromiyogram (EMG),
- Enerji tüketiminin belirlenmesi.

1.2.1 Kalp atım sayısının belirlenmesi

Kalp, kanın dolaşım sistemi içerisinde sirkülasyonunu sağlayan kassal bir pompadır. Çalışma sırasında gerekli besin maddeleri ve oksijen kalp sayesinde kaslara taşınmaktadır. Bu nedenle kişinin performans sınırının belirlenmesinde en önemli ölçütlerden biri kalp atım sayısıdır. Kalp atım sayısı normal bir insanda dinlenme sırasında 70–80 atım dk^{-1} 'dir. Ancak yapılan işin dinamik veya statik olması yanında çevre koşulları ve psikolojik faktörler gibi nedenlerle bu sınırların üzerine çıkılabilmektedir.

İş fiziolojisi açısından kalp atım frekansının artması önemlidir ve fazla artış her zaman tehlikelidir. Literatürde sağlıklı kişilerde maksimum kalp atım frekansı 220'den yaş değeri çıkartılarak bulunmaktadır. Dakikada kalp atış sayısında minimum antrenman etki düzeyi, 180'den yaş değeri çıkartılarak bulunan sayı kabul edilmektedir. Örneğin 50 yaşındaki kişinin 3–5 dakika süreyle kalp atış frekansının 130 olması ve bunu 3–5 dakika süreyle devam ettirebilmesi beklenmektedir. Dakikada 180 atış "kritik kalp atış frekansı" olarak kabul edilmektedir.

Kalp atış frekansı (KAF) kaç olursa olsun, kalp kaslarının gerilmesi ve kanı kalpten dışarıya pompalaması (sistol süreç) için sabit bir zamana gereksinim vardır. Frekans artarsa kalbin gevşeyip kan ile dolması (diastol süreç) için geriye kalan zaman azalır.

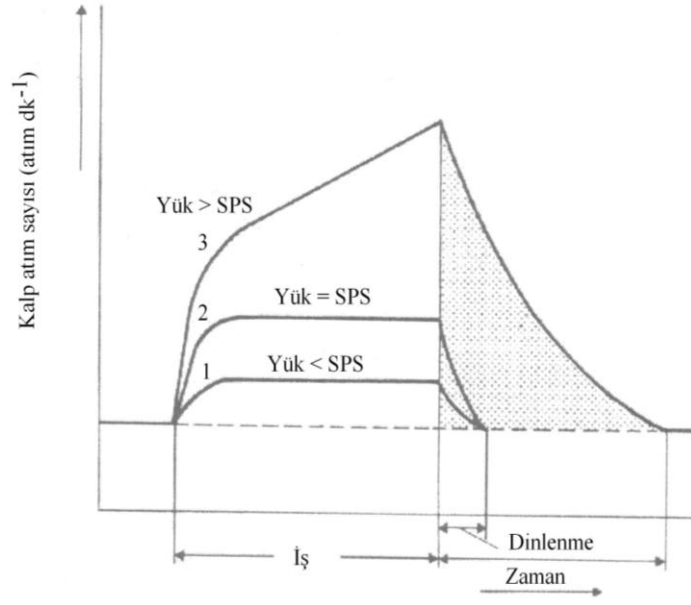
Örneğin sistol süreç 1/3 saniye ise, KAF 60 iken toplam süreç 1 saniye olacağından diastol süreç için 2/3 saniye zaman vardır. KAF 120 olunca, toplam süreç 1/2 saniye, sistol yine 1/3 saniye, diastol süreç için geriye kalan süre 1/6 saniyedir. Hele KAF 180 olursa, diastol için kalan süre sıfır saniye olacak demektir ki, bu da kalbe kan gelemeyecek anlamına gelmektedir (Babalık 2005).

1.2.1.1 Dinamik işin kalp atım sayısına etkisi

Kalbin yapılan işe uyumu, dolaşım sistemindeki kanın debisinin artması şeklinde olmaktadır. Kalp dinlenme konumunda bir atışta 60–70 cm³ kan pompalar ve dakikada 70–80 kere atar. Kalp ve akciğer, dinlenme halinden aşırı dinamik işe kadar çok farklı performanslara uyabilecek bir fizyolojiye sahiptirler.

Kalp dinlenirken dakikada 5.6 L, 8 saatte yaklaşık 2700 L, gün boyu ise 8100 L kan pompalar. Bu çok büyük bir performanstır. Çok ağır bir işte çalışırken kalp dakikada 36 L kan pompalamaktadır. Eğer sürekli performans sınırının üzerindeki bu iş mola vermeden yapılabilecek olsaydı kalbin saate 2160 L ve 8 saatlik bir vardiya boyunca da 17280 L gibi oldukça yüksek düzeyde kan pompalaması gerekirdi ki, bu da mümkün değildir. Bu değerler de sürekli performans sınırının üzerindeki işlerde sık sık dinlenme molaları verilmesi gerektiğini göstermektedir (Babalık 2005).

Bedeni ham olmayan, antrenmanlı bir kişide önce bir seferde pompalanan kan miktarı artar, ondan sonra kalp atım sayısı yükselmeye başlar. Sürekli performans sınırını (SPS) kalp atım sayısı yardımıyla tanımlamak gerekirse; bir iş yükü, etkidiği zaman içerisinde kalp atım sayısı artar ve iş devam ederken belirli zaman sonra denge durumuna (steady state) gelirse bu iş yükü sürekli performans sınırının altındadır. Şekil 1.2’de görüldüğü gibi iş yükü artırılarak, kalp atım sayısının dengeye gelebildiği son sınır tespit edilir, bu sınır o işçi için sürekli performans sınırındır.



Şekil 1.2 İş yükünün sürekli performans sınırından küçük(1), eşit(2) veya büyük(3) olması durumunda kalp atım sayısının zamanla değişmesi (Babalık 2005)

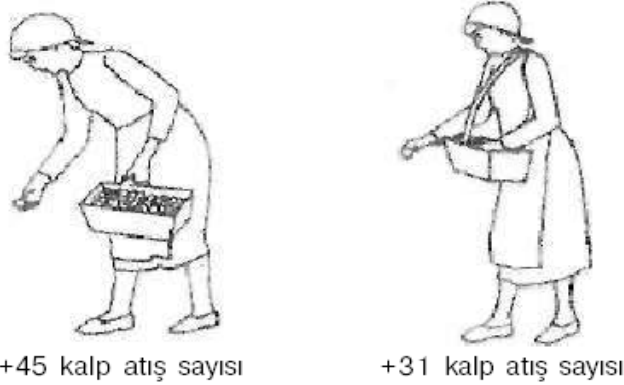
Yapılan deneyler sürekli performans sınırındaki kalp atım sayısının, yatar konumda dinlenirken ölçülmüş frekanstan 40 atım daha yüksek olduğunu göstermiştir ki, bu artış “iş artış frekansı”dır.

Eğer dinlenme halindeki kalp atım sayısının oturma konumunda veya ayakta ölçülmüş ise, iş artış frekansı sürekli performans sınırında 35 veya 30 dur. İş bırakıldıktan sonra kalp atışının başlangıçtaki hale dönmesi için de bir zaman gereklidir. Yapılan iş ne kadar hafif ise, bu zaman da o kadar kısa olur. Sürekli performans sınırında çalışan işçinin kalp atım sayısının, işi bitirdikten yaklaşık 15 dakika sonra dinlenme halindeki frekansa geri döner.

1.2.1.2 Statik işin kalp atım sayısına etkisi

Statik işte de dinamik işte olduğu gibi kalp atım sayısını artmaktadır. Bu artış çeşitli deneylerle kanıtlanmıştır. Tarlada çalışan kadın işçilerin patates dikmeleri sırasında yapılan bir deneyde; patates sepetini tek elle taşıyan işçide kalp atış sayısı, işe başladıktan sonra dakikada 45 artış göstermiş, aynı sepeti boynuna takarak, sol

kolundaki tek yönlü, asimetrik konum ve sepeti tutma işi ortadan kalkan işçide ise bu artış dakikada 31 olmuştur, yani daha az enerji harcamıştır (Şekil 1.3). Patates sepetinin sol el ile taşınması, işçinin uygulayabileceği maksimum kuvvetin %38' ine karşılık gelmektedir. Kan dolaşım sisteminin tek elle taşımada daha fazla zorlanmış olması, buradaki statik işin fazlalığından kaynaklanmaktadır.



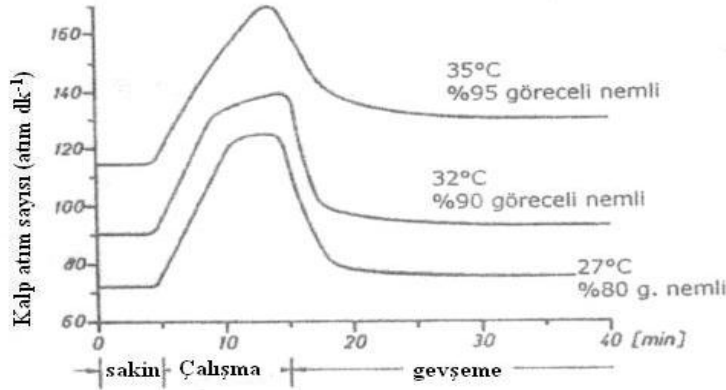
Şekil 1.3 Patates sepetini tek elde asimetrik ve boynunda simetrik taşıyan işçide kalp atım sayısının değişimi (Babalık 2005)

1.2.1.3 Psikolojik nedenlerle kalp atım sayısının artması

Psikolojik nedenlerle de kalp atım sayısı yükselebilir. Sürücünün bir kusur işlediği anda trafik polisi tarafından yakalanması, öğrencinin sözlü sınava girmek üzere oluşu, futbol maçında taraftarın bir penaltı atışını izlemesi kalp atış frekanslarının yükselmesine neden olacaktır. Ancak bu artışları işbilim açısından değerlendirmek mümkün değildir. Öte yandan büyük sorumluluk isteyen bedensel bir işte, o işe yeni başlayan bir kişide ilk saatlerde hatta günlerde bedensel yorulmanın verdiği frekans artışı yanı sıra, heyecan ve belki de korkunun verdiği psikolojik bir kalp atım sayısı artışı daha tespit edilecektir ve ancak işe alışıkça artış ortadan kalkacaktır (Babalık 2005).

1.2.1.4 İklimsel koşulların kalp atım sayısının artışına etkisi

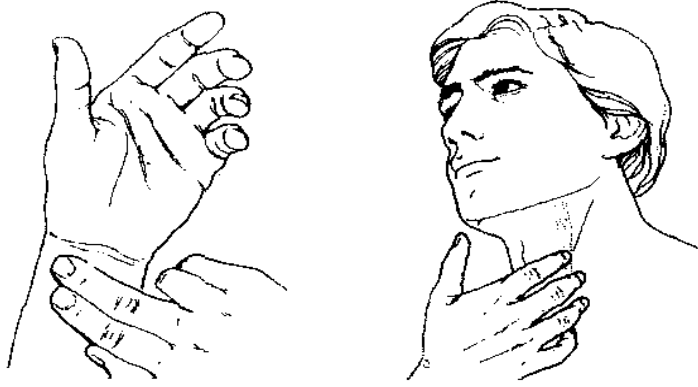
Aynı bedensel işin farklı iklimsel koşullarda yapılması halinde kalp atış sayısının da farklı değişim gösterdiği deneylerle kanıtlanmıştır (Şekil 1.4). Dakikada 5400 J değerinde iş yapan bir denekte, iş ortamı 27°C ve %80 göreceli nem koşulunda işe başladığında kalp atım sayısı 72'dir. Ortam sıcaklığı 35°C ve %95 göreceli nem değerine çıktığında ise çalışma öncesi kalp atım sayısı 117' dir. İş esnasında ise ilk ortam koşullarında maksimum kalp atım sayısı 122 (iş nedeniyle kalp atım sayısı artışı 50), ortam 35 °C olunca 170 (iş nedeniyle kalp atım sayısı artışı 53)' tir. Bu deneylerin hiç birinde de denge durumuna (steady state) ulaşamamıştır. İş nedeniyle kalp atım sayısı artışı sınır değer olarak verilen 40' in üzerine çıkmıştır. Bunun nedeni bu deneylerin her birinde kas işi ile iklimsel ortam yükünün toplamının sürekli performans sınırını aşmış olmasıdır (Babalık 2005).



Şekil 1.4 Ortamın iklimik koşullarının kalp atım sayısına etkisi (Babalık 2005)

1.2.1.5 Kalp atım sayısının ölçülmesi

Kalp atım sayısı, en yaygın olarak dokunma ile bilekteki radyal veya boyundaki karotid atar damardan ölçülür. Ölçüm yapılırken, ölçümü yapan kişi, Şekil 1.5'de görüldüğü gibi işaret ve orta parmaklarını, bu iki arterden birinin üzerine koyarak nabzı 15 saniye süre ile sayar ve dört ile çarpar. Dokunma yöntemi deneyim isteyen bir yöntemdir.



Şekil 1.5 Kalp atım sayısının el bileğindeki radyal ya da boyundaki karotid atar damarlardan belirlenmesi (Kaman 2004)

Yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntemde ise kalp atım sayısı telemetrik olarak (polar saat ile) ölçülmektedir. Bu yöntemde, çalışma ve dinlenme periyotlarının tamamında cihazın verici kısmı, çalışan kişinin göğsüne takılarak kalp atım sayısı bir alıcı ile kayıt edilebilmektedir (Şekil 1.6). Bu amaçla kullanılan polar saatler araştırmacılara uygulamaya yönelik büyük kolaylıklar sağlamaktadır.



Şekil 1.6 Polar saat ve göğüs bandı (Anonymous 2009a)

1.2.2 Kuvvet ölçümleri

Kuvvet, kişinin günlük çalışmalarının etkili ve verimli olarak gerçekleşmesinde etkin rol oynar. Hareket sırasında uygulanan kuvvete, örneğin ağırlık kaldırmada olduğu gibi, dinamik (izotonik) kuvvet denir. Statik (izometrik) kuvvet, sabit cisimlere karşı uygulanan kuvvettir. Kuvvet, test edilen kas grubuna göre özellik gösterir. Örneğin; pençe kuvvetinin tespit edilmesi özellikle bazı tarım makinelerinde kullanılan manivela yardımıyla açıklığı ayarlanan klapelerin (diskli gübre dağıtma makinasında) veya depo

kapaklarının açılıp kapanmasını (ekim makinası) sağlayan kolların tasarımı açısından önemlidir. Pençe kuvvetinin belirlenmesinde farklı tipte dinamometreler kullanılabilir (Şekil 1.7). Bu aletler basınç prensibine göre çalışır. Dinamometreye dışarıdan bir kuvvet uygulandığında yapısında bulunan aletin skalasında kuvvet değeri ölçülür.

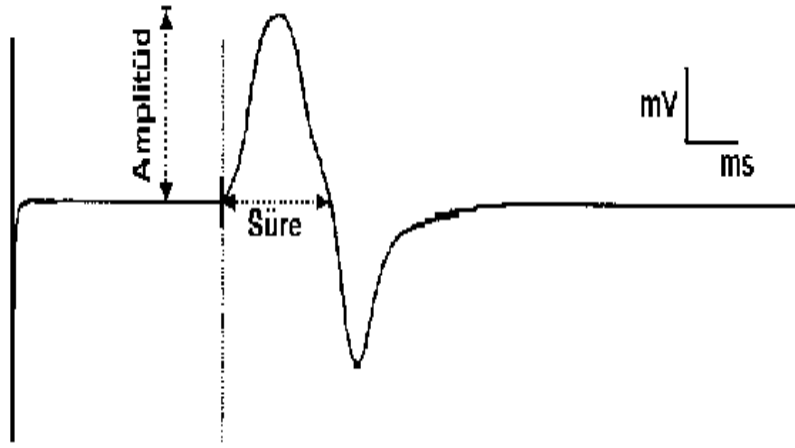


Şekil 1.7 Pençe kuvvetini ölçen dinamometreler (Anonim 2009a)

1.2.3 Elektromiyogram (EMG)

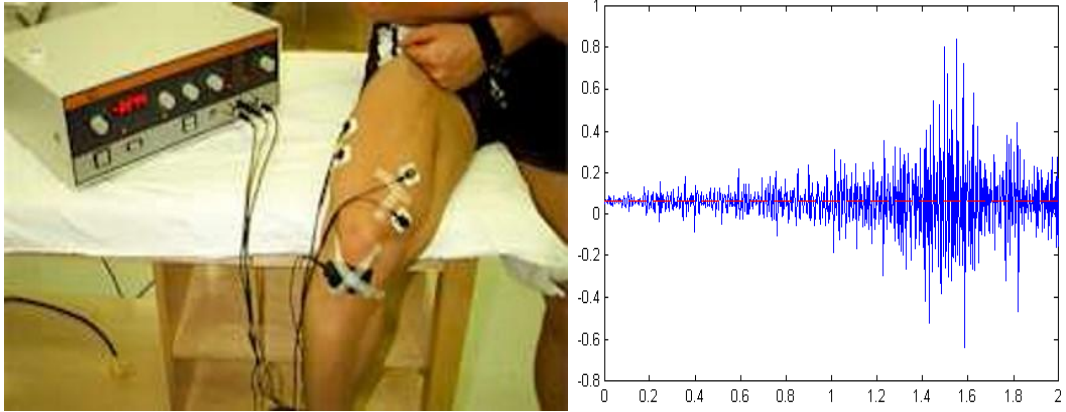
Elektromiyogram (EMG) kasların kasılmasını sağlayan elektriksel aktivitenin izlendiği ve yorumlandığı bir kas incelemesidir.

Kas aktivitesi ile ilgili çalışmalar, iğne uçlu elektrotların kasa batırılması, ince tellerin kasa dikilmesi, ya da kasılan kasın üzerine elektrotlar yerleştirilerek kas hareket potansiyellerinin kayıtlarının alınması suretiyle yapılabilmektedir. Motor ünitelerin hareket potansiyelleri (elektriksel aktivite); büyütülebilmekte, kâğıt şeride kaydedilebilmekte, osiloskop üzerinde gözlenebilmekte ve bir hoparlör ile dinlenebilmektedir. Miyogramlar hareketin devam süresince sübjektif olarak ya da kalemin devir hareketlerinin toplamı ile doğru orantılı olarak, entegre kayıt yapan bir başka kanal aracılığıyla daha objektif biçimde yorumlanabilmektedir (Tamer 1995).



Şekil 1.8 Elektromiyogramdan elde edilen sinyal (Anonymous 2009b)

Deri EMG' si diye de adlandırılan yüzey EMG, sterilize işlemleri gerektirmediğinden, hareket halindeki insan vücudu üzerinde yapılan çalışmalar için bazen en pratik metottur (Şekil 1.9).



Şekil 1.9 Elektromiyograf ve kasın kasılma ve gevşemesinden elde edilen grafik(Anonymous 2009c)

1.2.4 Enerji tüketiminin belirlenmesi

İnsan organizması sistem tekniği açısından "açık sistem"dir ve çevresiyle sürekli bir madde ve enerji alış verişi içerisindedir. Besinlerle alınan enerji işe ve ısıya dönüşmekte, alınan besin miktarı ve harcanan enerjiye göre de vücudun enerji rezervleri, yağlar ve glikojenler artmakta veya azalmaktadır. Endokrin sistemin

yardımıyla organizma, kendisinden beklenen işin ağırlık derecesine göre madde çevrimi işlevini dengede tutmaya çalışmaktadır. Vücudun çeşitli işlevlerini yapabilmesi için vitaminlere, minerallere ve enerjinin temel taşları olan yağ, protein ve karbonhidratlara ihtiyacı vardır. Bu maddeler besinlerle alınır. Besinler mide-bağırsak bölgesinde glikojen, amino asit ve yağ asitlerine dönüştürülürler. Bu besin maddeleri bağırsaklardan kana geçmekte ve karaciğere gönderilmektedir. Karaciğer, depolama ve zehirden ayıklama organıdır. Besinler, karaciğerden kan yoluyla diğer organlara ulaşırlar ve gittikleri yerlerdeki hücrelerde, oksijenin yardımıyla oksidasyon işlemi sonunda adenzotriyosfat (ATP) oluştururlar. ATP vücudun herhangi bir fiziksel aktivitesi veya normal metabolizma faaliyetleri için gerekli enerjiyi sağlamaktadır.

Oksijen vücudumuzda depo edilemediği için solunum yoluyla sürekli olarak çevreden alınır ve akciğerde karbondioksiti alınan kana (eritrosin) geçer. Dokularda ise besini yakabilmek için kandan oksijen alınır ve karbondioksit kana, alyuvarlara verilir.

Bir hareket yapabilmek, el ve/veya ayakla bir kuvvet uygulayabilmek için kasların kısılması, tekrar eski boyutuna gelmesi, yani boyut değiştirmesi gerekir ki, bu da enerji sayesinde olur. Kas hareketinin başlangıcında gerekli enerji anaerob (henüz ek oksijen alınmadan) hazır olmalıdır, çünkü kan dolaşımı hemen kasın hareketi başlar başlamaz kasın ihtiyacını karşılayacak düzeye ulaşamaz, kasın artan ihtiyacını karşılayabilmesi için bir zamana ihtiyacı vardır. Kaslar enerji yönünden zengin fosfatların çevrimi sayesinde, kısa süre oksijensiz de çalışabilir (anaerobik çalışma), ancak bu durum maksimum kas işinde sadece 6-8 saniye kadar mümkün olabilmektedir. Anaerobik enerji rezervleri, kaslarda ATP, kreatinfosfat ve glikojen depolarından sağlanır.

Kasların kısılabilmesi, dolayısıyla bir kuvvet uygulayabilmesi için gerekli enerjiyi kas, enerji yönünden zengin fosfat bileşenlerinin, enerji yönünden zayıf fosfat bileşenlerine dönüştüğü kimyasal reaksiyon sonucunda kazanır. İnsan organizmasında en çok bulunan enerji kaynağı olan ATP'dır ki ATP adenosin-difosfata dönüşürken önemli miktarda enerji açığa çıkar. ATP, sadece kaslarda değil, hemen her dokuda ani gereksinim duyulacak enerji deposu olarak mevcuttur.

1.2.4.1 Enerji gereksinimi

Yaşamın temel faktörü olan enerjinin tamamına çok yakın kısmı alınan besinlerden, çok azını da çevrenin ısı enerjisinden elde edilir. Çocukluk ve gençlik, büyüme aşaması veya hastalık sonrası iyileşme dönemi gibi özel dönemlerin dışında insanın enerji bilançosu dengeli olmalıdır. İnsanın 24 saatlik enerji gereksinimi üç farklı çevrimden oluşur:

Temel çevrim (TÇ) :

TÇ' nin nötr bir iklimatik ortamda (Sıcaklık 22-25 °C, göreceli nem oranı %50-60, rüzgar hızı <0.1 m/s) hareket etmeksizin yatan bir kişinin bir günde harcadığı enerji olarak tanımlanır. Yemeğini 12 saat önce yemiş olan bir denekte ölçülmesinin nedeni, organizmanın besini sindirmek için bir enerji harcamaması içindir. TÇ, hücrelerin canlı kalabilmesi, kalp atışı, nefes alma, kasların yaşam için gerekli düzeyde gerginliği, tüm organların beslenebilmesi için gerekli olan enerjidir.

TÇ kişi bebeklikten yetişkinliğe doğru ilerledikçe artar ve yirmi yaş civarında günlük ortalama 7500 kJ ile maksimum değerine ulaşır ve yaşla birlikte tekrar azalmaya başlar. Kişilerde TÇ birbirlerinden çok farklıdır. Psikolojik bir stres bile bunun değerini etkileyebilmektedir. Ayrıca yaş, cinsiyet, boy ve ağırlığın da temel çevrimi etkilediği bilinmektedir. Harris ve Benedict (1919) tarafından önerilen ve sağlıklı kişilerle yapılan ölçümlere dayanılarak elde edilen ampirik bir denklemle TÇ enerjisinin kişisel yaklaşık değeri, aşağıdaki formülle elde edilebilir:

$$\text{Erkekler: } T\check{C}_e = 280 + 21 B + 58 m - 28 Y \quad \dots\dots\dots 1.1$$

$$\text{Kadınlar: } T\check{C}_k = 2750 + 8B + 40m - 20 Y \quad \dots\dots\dots 1.2$$

Eşitlikte:

$T\check{C}_e$: Erkek için temel çevrim değeri (kJ/24saat)

TÇ_k: Kadın için temel çevrim değeri (kJ/24saat)

B: boy (cm) ,

m: ağırlık (kg) ,

Y: yaş (yıl).

TÇ değerinin kütleyle arttığı hemen anlaşılabilen bir durumdur çünkü kütle arttıkça beslenecek hücre sayısı da artacaktır. Aynı şekilde uzun boylularda dolaşım yolları daha uzun olduğundan, fazla TÇ değeri gerektirmektedir. İnsanlar yaşlandıkça sindirim yavaşladığından, gerek duydukları enerji azalacaktır. Kadınlar ve erkekler arasında temel çevrimde farklılık olmasının gerekçesi ise kadınlarda yağ miktarının kas külesine oranının erkeklere göre daha büyük olmasıdır. Yağ hücreleri kas hücreleri ile karşılaştırıldığında daha az enerji harcarlar. Ayrıca deri altı yağ tabakasının daha kalın ve yoğun olması organizmanın ısı kaybını azaltır.

Aynı kişide gün içinde yapılan temel çevrimi ölçmek için en dikkatli ve hassas yöntemlerle yapılan deneylerde bile ortalama değerlerde \pm %3'lük bir standart sapma, farklı günlerde yapılan deneylerde ise erkeklerde %3.5; kadınlarda (periyot özelliklerinden dolayı biraz daha yüksek) \pm %4.7 standart sapma görülmüştür (Babalık 2005).

Serbest zaman çevrimi (SÇ) :

Hiçbir iş yapılmasa bile temel çevrimde hesaplanan enerji yeterli değildir. Meslek gereği yapılan işin dışındaki, günlük faaliyetler için harcanan enerji, serbest zaman enerjisi olarak tanımlanır. Oldukça pasif bir yaşam süren kişilerde 800–1200 kJ gün⁻¹ olarak hesaplanan bu enerjinin değeri, kişisel aktivitenin derecesine göre günlük 2500 kJ ve biraz daha yüksek olabilir.

TÇ ve SÇ'in toplam değeri alınan oksijen üzerinden de yaklaşık olarak hesaplanabilir. İnsanın oksijen gereksinimi külesine bağlıdır, bedensel bir iş yapmazken, 1 kg kütle için dakikada yaklaşık 0.004 L oksijene ihtiyacı vardır. Ortalama 70 kg külesindeki kişi

dakikada 0.28 L oksijen alır, bir günde alınan oksijen 403 L'dir. Besinin yakılmasında CO₂/O₂ oranı olarak bilinen respiratorik oran değeri 0.85 olan besinin 1 L oksijen tarafından yakılmasıyla 20.4 kJ enerji elde edildiği belirtilmiştir. Bu hesaba göre 403 L oksijenin yaktığı besinin vereceği enerji 8200 kJ'dur. Bu değer verilen temel çevrim ve serbest zaman çevrimi toplamları ile uyumludur (Babalık 2005).

İş çevrimi (İÇ) :

Günlük yaşamda yapılan işin ağırlığına göre TÇ ve SÇ değerlerinin ötesinde de enerji harcanır. Bu çevrim iş çevrimidir. Çeşitli araştırma kurumlarının yaptıkları ölçümlere dayanılarak kabaca da olsa işin sınıflandırılıp bu işlerdeki iş çevrimini yaklaşık olarak belirlenmesi ve işin tamamında harcanacak enerjinin hesaplanması olasıdır.

Yapılan işe göre oksijen ihtiyacı yukarıda verilen, dinlenme halindeki işçinin 1 dakikada 1 kg ağırlığı başına 0.004 L oksijen değerinin çok üstüne, 15–20 katına kadar çıkabilir. İş çevrimi işin ağırlığına göre 8 saatlik vardiyada erkeklerde 10000 kJ, kadınlarda 8000 kJ değerine ulaşabilir (Babalık 2005).

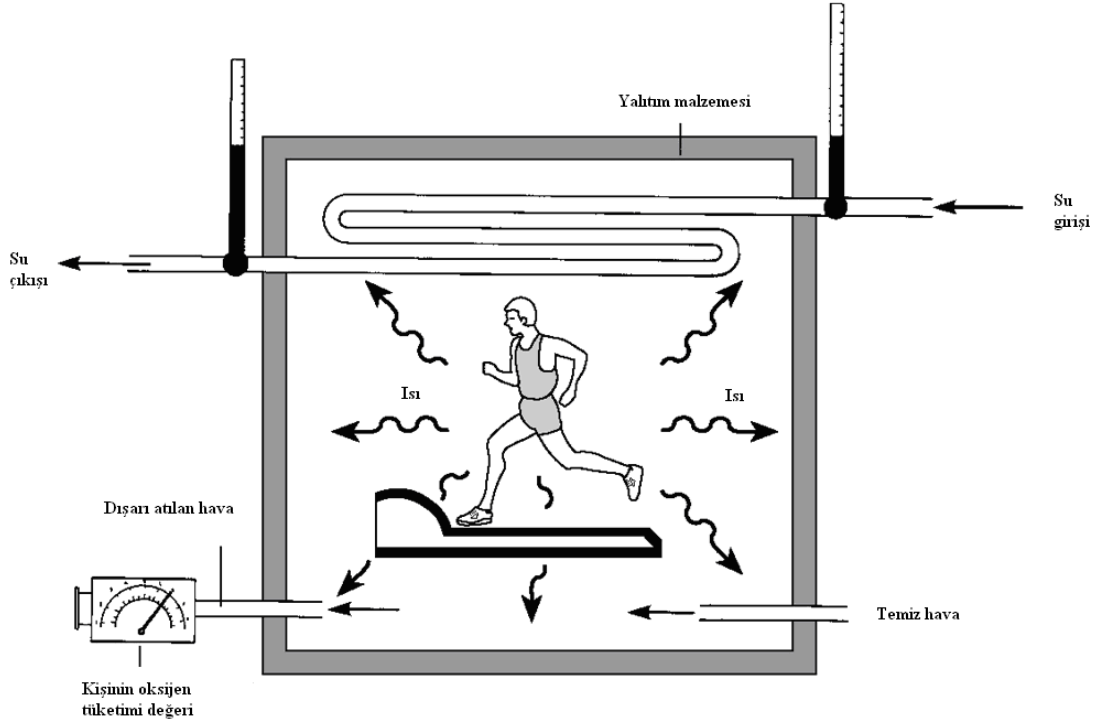
1.2.4.2 Enerji tüketimini ölçme yöntemleri

Kişinin dinlenme ve çalışma sırasında tükettiği enerji miktarı, doğrudan (direkt) ve dolaylı (endirekt) ölçüm yöntemleriyle kesin olarak belirlenebilmektedir.

Doğrudan ölçüm yöntemi

İnsan vücudunun ısı enerjisi üretimi, yiyeceklerin enerji miktarı direkt olarak kalorimetre odasında (Şekil 1.10) ölçülebilir. Kalorimetre odası, hava geçirmeyen, ısı yalıtımı olan bir odadır. Kişi tarafından üretilen ve yayılan ısı, sabit hızda akan ve

odacığın tavanına yakın bir yerde bulunan helezon şeklindeki tüpler tarafından soğutulmaktadır. Odacığa giren ve çıkan suyun sıcaklık farkı, kişinin ısı üretimini göstermektedir. Solunum ile çıkan CO₂ kimyasal emicilerle dışarı atıldığı halde, nemlendirilmiş havanın devamlı bir şekilde dolaşımı sağlanmaktadır. Kalorimetre içindeki oksijen seviyesini normal düzeyde tutmak için, cihaza girişinden önce havaya oksijen eklenmektedir.



Şekil 1.10 Kalorimetri odasının şematik gösterimi (Tamer 1995)

Doğrudan kalorimetre tekniği çok hassas ve teorik bakımdan önemli olduğu halde, uygulamada çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorluklar;

- Pahalı ve zahmetli olması,
- Karmaşık ekipman gerektirmesi ve bunların her yerde bulunamayabilmesi,
- Egzersiz anında vücudun ürettiği ısının tamamının dışarıya verilemeyebilmesi
- Ölçüm anında kullanılan ekipmanların da ısı üretebilmesi,
- Terin buharlaşmasının cihazları etkileyebilmesi,
- Mesleki işler sırasında bu yöntemin kullanılmasının zorluğu şeklinde sıralanabilir.

Uygulamadaki bu zorluklar nedeniyle dolaylı ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir.

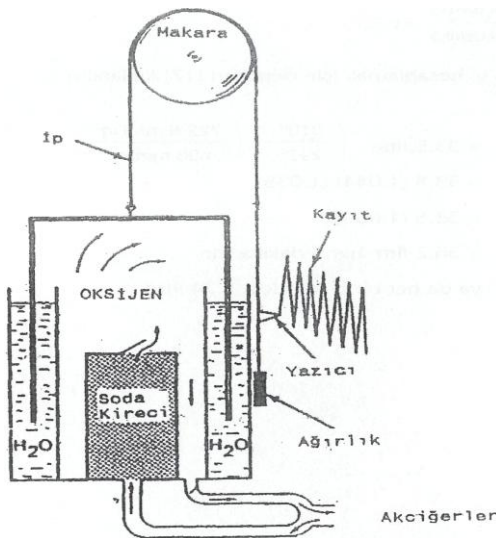
Dolaylı ölçüm yöntemi

Vücuttaki bütün enerji metabolizması sonuç olarak oksijen kullanımına bağlıdır. Kişinin normal şartlar altında oksijen kapasitesi ölçülerek, enerji metabolizmasının dolaylı yoldan tahmin edilmesi mümkün olabilmektedir.

Bu yöntemde 1 L oksijenin besinler ile metabolize edildiğinde ortaya çıkan enerjinin 4.825 kcal, yaklaşık olarak 5 kcal olduğu kabul edilir ve buna oksijenin enerji eşdeğeri denir.

Dolaylı enerji tüketiminde kapalı devre ve açık devre spirometri yöntemleri kullanılmaktadır.

Kapalı devre spirometri: Kapalı devre spirometri yöntemi hastanelerde ve diğer laboratuarlarda istirahat enerji tüketimi tahminleri için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kişi, daha önce oksijen doldurulmuş bir kaptan veya spirometriden nefes alır ve verir. Bu yöntem, spirometri içindeki hava tekrar tekrar solunduğu için kapalı devre spirometri olarak bilinir (Şekil 1.11).



Şekil 1.11 Kapalı devre spirometrinin şematik gösterimi (Tamer 1995)

Egzersiz sırasında oksijen tüketiminin kapalı devre spirometri yöntemi ile ölçülmesi bir hayli güçtür. Spirometrinin büyük olması, deneğin egzersiz sırasında alete yakın durumda bulunmasının gerekliliği, solunumun yüksek miktarda olması sonucu artan direnç ile ağır ve orta şiddetli egzersizler esnasında karbondioksitin dışarı atılmasının yetersizliği gibi nedenlerden dolayı, egzersiz oksijen tüketiminin ölçülmesi sırasında açık devre spirometri yöntemi daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Açık devre spirometri yönteminde kişi, solunum için oksijen kabını kullanmaz. Onun yerine, normal atmosfer havasını teneffüs eder. Enerji tüketimi reaksiyonu sırasında oksijen kullanılarak karbondioksit üretildiği için, vücuttan çıkan havada oksijen miktarı az, karbondioksit miktarı daha fazladır. Böylece, vücuda alınan ve çıkarılan havanın analiz edilmesi sonucunda elde edilecek fark, vücut tarafından üretilen enerji değerini verir. Açık devre spirometri yöntemi, basitçe oksijen kullanımının ölçülmesi ve dolaylı olarak da enerji metabolizmasının belirlenmesi için kullanılır. Egzersiz yaparken, açık devre spirometre ölçümü için kullanılan iki genel yöntem vardır:

1) Genellikle egzersiz sırasında giyilen hafif ağırlıktaki taşınabilir spirometre yönteminde kullanılan kutu şeklindeki portatif spirometreler, ilk olarak 1940'larda Almanya'da değişik endüstri kentlerinde çalışan insanların enerji ihtiyaçlarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu portatif spirometreler yaklaşık 4 kg ağırlığındadır ve genellikle sırtta taşınırlar (Şekil 1.12). Çevredeki hava iki yönlü solunum kapakçığı vasıtasıyla alınmakta ve hacim ölçen ve aynı zamanda gaz numunesi toplayan gazometreden geçirilerek dışarıya verilmektedir. Bu numune, daha sonra oksijen tüketiminin hesaplanması için incelenmekte ve ölçüm sırasındaki enerji tüketimi bulunmaktadır.



Şekil 1.12 Taşınabilir spirometri (Anonymous 2009d)

Portatif spirometrelerin cazip yönü, önemli ölçüdeki hareket serbestliğidir. Bu teknikle dağa tırmanma, kayak yapma ve çalışma sırasında ölçüm yapılabilir. Alet, şiddetli egzersizler sırasında sıkıcı olabilir ve ağır egzersizlerde solunumun artması nedeniyle, hava akımı miktarının doğru ölçülüp ölçülmediği gibi soruları akla getirebilir (Tamer 1995).

2) Douglas torbası ya da balon metodu ise, laboratuvar koşullarında akciğerlerden çıkan havayı toplamak için kullanılır. Douglas torbası yönteminde, yüksek hız ve düşük direnç nefes alma kapakçığının (iki yönlü) bağlandığı bir başlık giyilir. Kapakçığın bir tarafı ile nefes alınırken, verilen hava diğer taraftan çıkar. Çıkan hava daha büyük olan bir bez veya plastik torbalara (Douglas torbası), lastik meteorolojik balonlara ya da direk olarak verilen havanın hacmini ölçen gazometrelere gider (Şekil 1.13). Daha sonra, torbalardaki havanın numunesi alınarak, oksijen ve karbondioksit miktarları için incelenir. Bütün dolaylı kalorimetri tekniklerinde olduğu gibi, enerji kullanımı, tüketilen oksijen miktarının karşılığı olan uygun kalori değerleri kullanılarak hesaplanır.



Şekil 1.13 Douglas torbası ve oksijen analizörü (Anonymous 2009e)

Bu yöntemlerin yanı sıra bilgisayar ve yazılım teknolojilerinin ilerlemesi ile kişinin kalp atım sayısını, enerji tüketimini, oksijen tüketimini, karbondioksit çıkarımını, kan basıncını; egzersiz süresinin tümü veya istenen bir bölümü için saniye saniye ölçüm değerlerini gösterebilecek ekipmanlar da mevcuttur (Şekil 1.14). Bu ekipmanlar istenildiğinde yazıcıları yardımıyla egzersizle ilgili grafikleri de araştırmacılar için düzenleyebilmektedirler.



Şekil 1.14 Ergospirometri (Anonymous 2009f)

Bu ekipmanlardan başka kol bandı, spor aktivitelerinin yanı sıra tarım ve sanayi alanında çalışanların enerji tüketimini ölçmeye yarayan küçük yapılı, kullanım açısından pratik bir alettir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15 Enerji tüketimini ölçme amacıyla kullanılan kol bandı (Anonymous 2009g)

Bu alet çalışan kişinin triseps kasının üzerine bağlanmakta, deriyle temas ettiğinde farklı ısı sensörleri ile enerji tüketimi değerlerini kolda takılı olduğu sürece ölçerek belleğinde depolamaktadır. Depoladığı veriler deney sonunda firmanın geliştirdiği yazılım sayesinde bilgisayara kaydedilebilmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bugüne kadar tarımsal uygulamalarda insanın yüklenişini ve iş verimini irdeleyen çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda fiziksel yük ölçmeleri, enerji tüketim değerleri, solunum miktar ve frekansı, kalp hızı ve vücut sıcaklığı gibi fizyolojik değişkenlerden yararlanılmıştır.

Kut (1976) tırpanla arpa ve buğday hasadında, treyler yüklemede, dirgenle sap dövme sap yedirmede, yaba ile treylere saman yükleme, yaba ile tınaz savurma, tarlada tırmıkla sap toplama, döven kullanma ve buğday eleme gibi çeşitli işlerde çalışanların iş başarıları değerlerini belirlemiştir (Şekil 2.1).

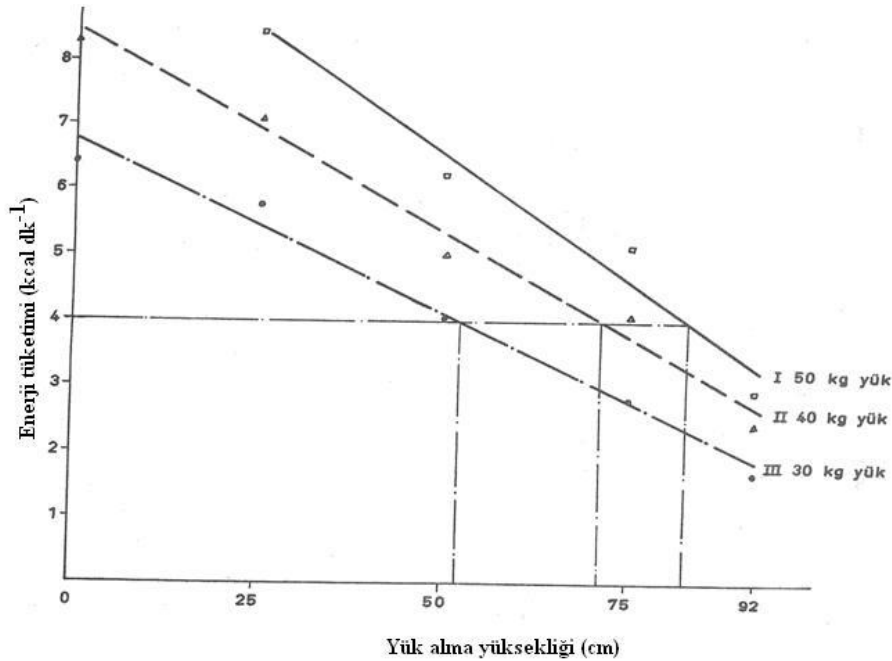


Şekil 2.1 Dirgenle arpa hasadı ve treyler yükleme (Kut 1976)

Tırpanla arpa hasadı denemelerinde 4 denek; 5 farklı tipte tırpanla çalıştırılmıştır. Tırpanla buğday hasadı denemelerinde 2 denek 5 farklı tarlada çalıştırılmıştır. Treyler yükleme denemelerinde 3 farklı ağırlıkta yük, 5 farklı yükseklikten kaldırılarak treylere yüklenmiştir. Diğer denemelerde tahıl üretimi yapılan çeşitli tarımsal çalışmalardaki enerji tüketim değerleri saptanmış ve devamlı güç sınırı göz önüne alınarak işin ağırlığı incelenmiştir. Denemelerde enerji tüketiminin belirlenmesi için bir gazometre

kullanarak alınan örnekler İş Güvenliği Merkezi (İŞGÜM) laboratuvarlarında analiz edilmiştir.

Çalışmada elde edilen bulgulara dayanarak oluşturulan Şekil 2.2’de görüldüğü gibi yükleme yüksekliğinin artmasıyla enerji tüketimi azalmaktadır. Dakikada 4 kcal’lik enerji tüketimi kabul edilebilir bir sınır olduğundan; 30 kg yükün en az 52 cm’den daha aşağıdan kaldırılması, 40 kg yükün 71 cm’den daha aşağıdan kaldırılması, 50 kg yükün 84 cm’den daha aşağıdan kaldırılması; bu sınırı aşacağından istenmeyen bir durumdur.



Şekil 2.2 Yük alma yüksekliği ile enerji tüketimi arasındaki ilişki (Kut 1976)

Araştırma sonucunda;

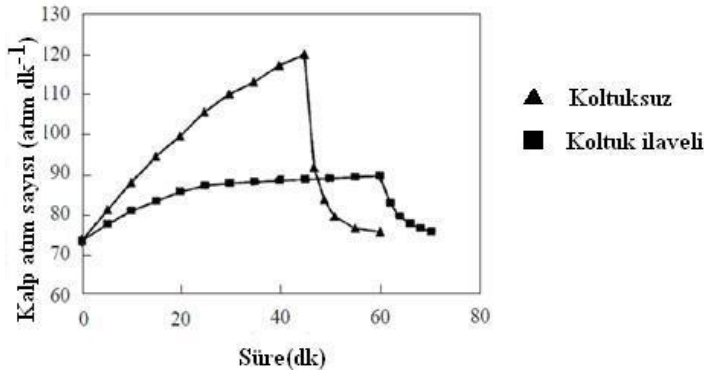
- Tırpanla arpa ve buğday hasadı çalışmalarının ağır çalışma (1500 – 2000 kcal/gün) olduğu saptanmıştır. Günlük iş başarısı; tırpanla arpa hasadında 325 kg da⁻¹ tarla veriminde günde yaklaşık 5 da biçilirken, buğday hasadında 200 ile 400 kg da⁻¹ tarla veriminde günde yaklaşık 2.0 - 6.2 da alan biçilmiştir.

Elle treyler yükleme çalışmalarında, yükleme yüksekliğinin azalmasıyla enerji tüketiminin arttığı belirlenmiştir. 11 defa dk⁻¹ çalışma hızıyla 30 kg yükün 52 cm’den, 10 defa dk⁻¹ çalışma hızıyla 40 kg yükün 71 cm’den, 10 defa dk⁻¹ çalışma hızıyla 50 kg

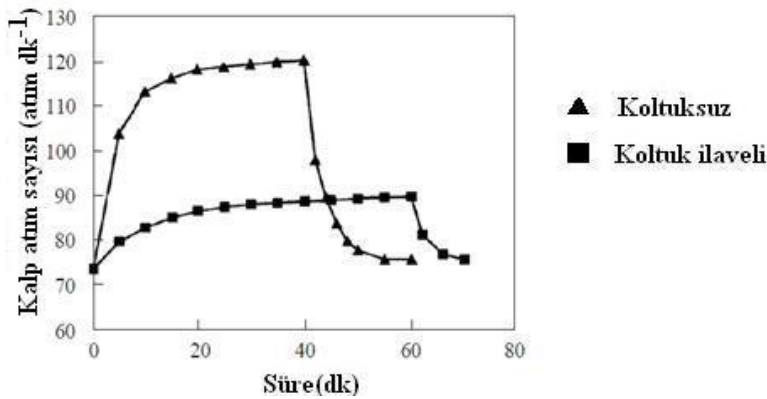
yükün 84 cm'den daha düşük yükseklikten alınması ağır çalışma sınıfına girdiği ifade edilmiştir.

- Dirgenle sap dövme ve yaba ile treylere saman yükleme çalışmalarının ağır çalışma niteliğinde olduğu vurgulanmıştır.

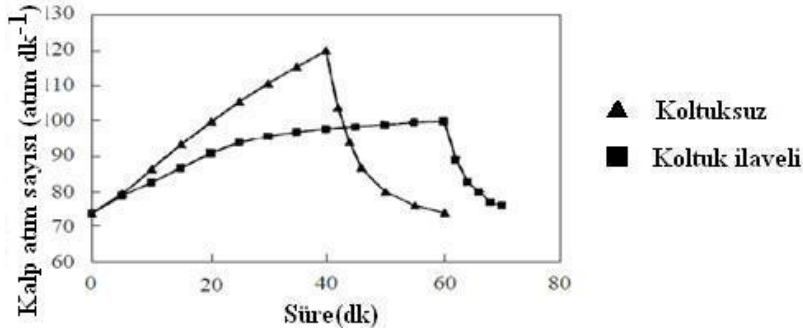
Tiwari ve arkadaşları (2004) çapa makinasında koltuksuz ve koltuk monte ederek tarlada çalışma sırasında operatör zorlanışını incelemiştir. Hindistan'da gerçekleştirilen çalışmada; koltuksuz ve koltuk ilaveli çapa makinası için üç farklı iş koşulunda; taşıma, hafif toprak koşulunda çapa işi, ağır toprak koşulunda çapa işi olmak üzere 3 erkek işçi üzerinde; üç tekrarlı denemeler yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar grafiklerle ifade edilmiştir (Şekil 2.3- Şekil 2.5).



Şekil 2.3 Kaplamalı yolda taşıma işinde çalışma süresi ile kalp atım sayısı arasındaki ilişki (Tiwari vd. 2004)

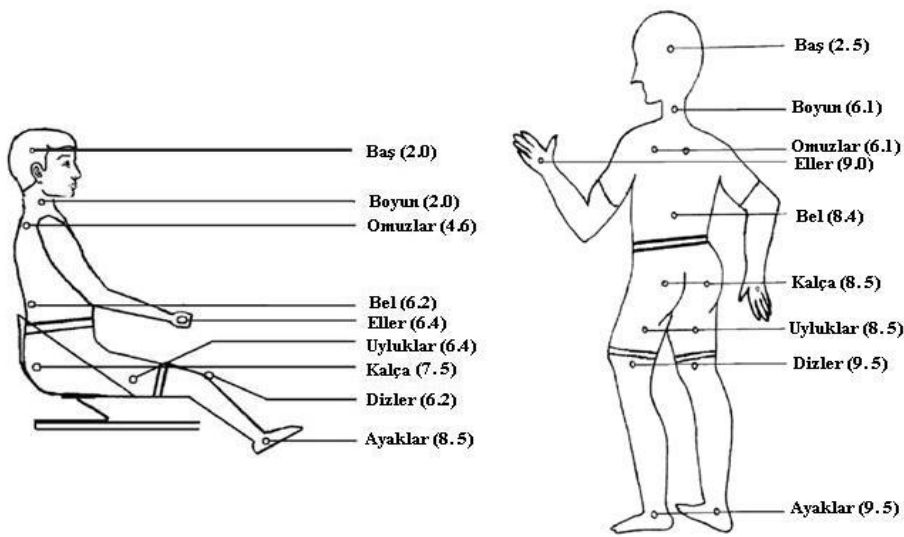


Şekil 2.4 Hafif toprak koşulunda çapa işinde çalışma süresi ile kalp atım sayısı arasındaki ilişki (Tiwari vd. 2004)



Şekil 2.5 Ağır toprak koşulunda çapa işinde çalışma süresi ile kalp atım sayısı arasındaki ilişki (Tiwari vd. 2004)

Şekil 2.3 - Şekil2.5’de görüldüğü gibi tüm denemelerde; koltuk ilaveli çalışmada kalp atım sayısı önce yükselişe geçmiş, daha sonra belli bir kalp atım değerinden sonra çalışma sonuna kadar sabit kalmıştır. Bu tip eğri kalp atım sayısı açısından koltuk ilaveli çalışmanın sürekli performans sınırında veya bu sınırın daha altında olduğunu dolayısıyla çalışma boyunca operatör yüklenişinin istenen sınırlarda kaldığını göstermektedir. Ayrıca denekler zorlanma hissettiklerinde deneyi sonlandırdıklarından koltuk ilavesi ile daha uzun çalışıldığı görülmektedir. Koltuk ilavesiz çalışmada ise kalp atım sayısı belli değere kadar sürekli artmış, operatör çalışmaya devam edemeyeceği noktada deneyi bırakmıştır. Deneyi bıraktıktan sonra dinlenme nabzına dönüş koltuk ilaveli çalışmalarda daha çabuk olmuştur (Şekil 2.6)

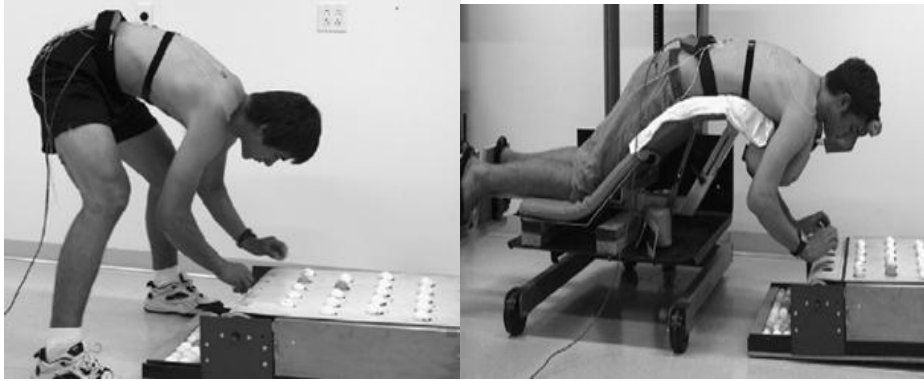


Şekil 2.6 Koltuk ilaveli ve koltuksuz çalışma koşulu için vücut bölümlerinin konforsuzluk skoru ortalamaları (Tiwari vd. 2004)

Konforsuzluk skoru vücudun tümü veya belli bölümleri için hissedilen rahatsızlığın 0 – 10 bölmeli veya 0 – 8 bölmeli skalalara işaretlenerek derecelendirilmesi esasına dayanır. Bu çalışmada 0 – 10 bölmeli 70 cm uzunluğunda bir skala kullanılmıştır. 0, rahat ve ağrısız çalışmayı; 10 ise çalışmayı bırakacak kadar şiddetli rahatsızlığı ifade etmektedir. Bu yöntemin en önemli özelliği kişilerin kendilerini bireysel olarak değerlendirmeleridir. Bu çalışma sonucunda ellerde, üst bacak bölgesinde, kalçada, bel ve omuz bölgelerinde hissedilen rahatsızlık koltuk ilavesi ile azaltılmıştır.

Araştırma sonucunda; koltuk ilave edilerek yapılan çalışmada enerji tüketiminin hafif toprak koşulunda çapa işinde %29, taşıma işinde %25, ağır toprak koşulunda çapa işinde %10 azaldığı belirtilmiştir. Taşıma işinde koltuk ilavesi sayesinde maksimum hıza çıkılarak operasyon zamanı azaltılmış ve iş etkinliği artırılmış, iş nedeniyle oluşan rahatsızlığın ise %27 oranında azaltıldığı saptanmıştır.

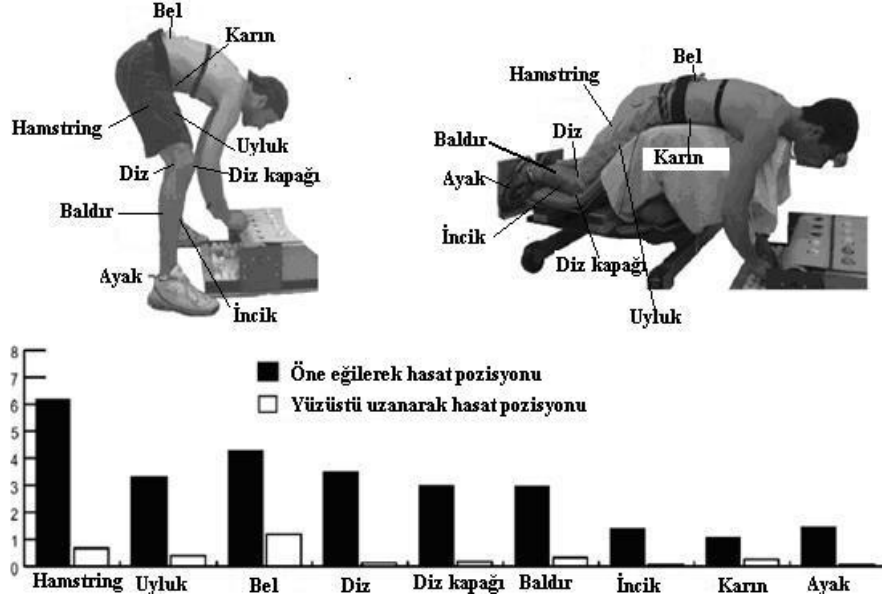
Mayer ve Radwin (2007) hasat işini simüle eden bir çalışmada öne eğilerek çalışma ve yüzüstü uzanış pozisyonunda çalışma arasındaki fizyolojik tepkileri incelemiştir (Şekil 2.7). Denemelerde, 15 erkek öğrenci, 15 dakikalık iki çalışma periyodunda çalıştırılmış; kalp atım sayısı, emg değerleri, vücut konforsuzluk değerleri ölçülmüştür.



Şekil 2.7 Öne eğilerek ve yüzüstü uzanarak çalışmalar (Meyer ve Radwin 2007)

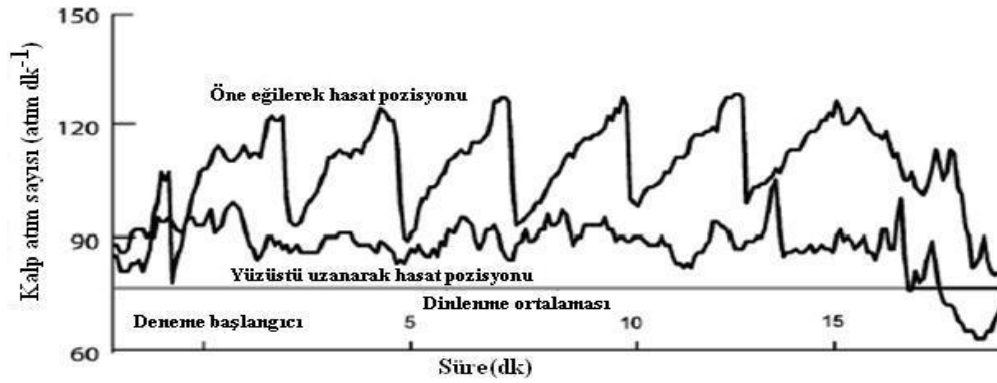
Şekil 2.7’de görülen bantlı götürücü ilerleme yönünde eğimi artacak şekilde tasarlanmıştır. Böylece banda yerleştirilen toplar, bandın sonunda aşağı dökülerek tekrar deneğin önündeki hazneye kendiliğinden gelmektedir. Sağdaki deney standı yüz üstü

uzanarak hasat pozisyonu için yapılmıştır. Bu stanttaki boyun ve omuz destekleri daha rahat bir çalışma koşulu sağlamak için süngerle ve kauçukla kaplanmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular bir grafikte açıklanmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Öne eğilerek ve yüzüstü uzanarak çalışmalarda konforsuzluk değerleri (Meyer ve Radwin 2007)

Bu çalışmada 0 – 8 bölmeli bir konforsuzluk skalası ile vücut bölümlerinin konforsuzluk skorları grafiğe işlenmiştir. Şekil 2.8’ de görüldüğü gibi pozisyonlar arasındaki en büyük farklı skorlar hamstring kasında (dizin arka kısmı ile kalça arasındaki üst bacak kası), belin alt bölgesinde, dizlerde, kalça ve kalflarda (alt bacak bölgesinde arkada diz ile bilek bölgesi arasındaki kas) belirtilmiştir. Bunun en önemli nedeni yüzüstü pozisyonunda tasarlanan hasat standında bu bölgeler desteklendiğinden yüklenmenin azaltılmasıdır. Çalışmalarda elde edilen kalp atım değerleri Şekil 2.9’da görülmektedir.



Şekil 2.9 Öne eğilerek ve yüzüstü uzanarak çalışmada kalp atım değerleri (Meyer ve Radwin 2007)

Grafikten de anlaşıldığı gibi öne eğilerek hasat pozisyonunda ölçülen kalp atım değerleri, yüzüstü uzanarak hasat pozisyonunda ölçülenlerden daha düşüktür. Ayrıca yüzüstü uzanarak hasattan elde edilen kalp atım değerleri dinlenik kalp atım değerlerine daha yakındır. Çalışma ve dinlenme durumundaki ortalama kalp atım sayıları arasındaki kabul edilebilir fark 35–40 atım olduğundan; yüzüstü uzanış pozisyonunda kabul edilebilir sınırlardadır.

Araştırma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kalp atım sayısı ve özellikle konforsuzluk skalasındaki değerlerin farklılıklar açısından, yüzüstü pozisyonunda çalışma daha uygundur.
- EMG değerleri arasındaki fark istatistik olarak önemsiz bulunmuş olsa da biceps femoris kasından elde edilen değerler yüzüstü uzanış pozisyonundaki çalışmanın daha az zorlayıcı olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın sonucunda; kısa süreli ölçümler alındığından ileride yapılacak çalışmalarda 8 saatlik çalışmalar için denemeler yapılması gerektiği, tarla ve laboratuvar çalışmalarını arasında bir ilişki olup olmadığının incelenmesi üzerinde durulmuştur.

Müller ve Coetsee (2008) kuru ve yaş şeker kamışı hasadında çalışan işçilerin fizyolojik gereksinimlerini ve çalışma etkinliğini belirlemek için yaptıkları çalışmada; polar saat ile kalp atım değerlerini, taşınabilir bir ergospirometri cihazı ile oksijen tüketim

değerlerini, Borg skalası ile de bireysel zorlanma derecelerini belirlemişlerdir. Bu amaçla; 65 adet deneyimli işçiden sağ elini kullanan 15 sağlıklı erkek işçi rastgele olarak seçilmiştir. İşçiler saat 05:00 – 09:00 arasında; toplamda 35 dakika çalıştırılmışlardır. Bu sürenin ilk 5 dakikalık bölümü kalp atım hızı ve oksijen tüketim değerlerinin belirli bir düzeye ulaşması amacıyla ısınma periyodu olarak adlandırılmıştır. Kullanılan ergospirometri her 10 saniyede bir değer almaktadır. Enerji tüketim değerleri belirlenirken çalışmanın 5. dakikasından 34. dakikaya kadar olan bölümündeki oksijen tüketim değerleri dikkate alınmıştır. Kullanılan polar saat ile dakikada bir kalp atım değeri ölçmüştür. Hissedilen zorlanma değerlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan Borg skalası '6' ve '20' rakamları arasında derecelendirilmiştir. '6' rakamı oldukça rahat çalışmayı, yani hiç zorlanma olmadığını; '20' rakamı çok yüksek derecede zorlanmayı belirtmektedir. İşçilerden 9, 19 ve 29. dakikalarda skala üzerinde bir nokta işaretlemesi istenerek, bu üç değerın ortalaması işçinin yaptığı çalışmadaki rahatsızlık derecesi olarak alınmıştır. Yapılan denemelerde çalışma etkinliği; mutlak oksijen tüketimi ($L dk^{-1}$), bağıl oksijen tüketimi ($ml kg^{-1} dk^{-1}$), 1 kg şeker kamışını kesmek için gereken enerji miktarı ($kJ kg^{-1}$ şeker kamışı), 1 L oksijen tüketilmesiyle kesilen şeker kamışı miktarı parametreleri ile çalışma verimliliği; hasat edilen şeker kamışı miktarı ($kg dk^{-1}$), kesici darbelerin sayısı ve her darbede kesilen sap sayısı parametreleri ile değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda;

- 1 kg yaş şeker kamışının hasadı için ihtiyaç duyulan enerji değerinin (2.13 kJ) kuru şeker kamışının hasadı için ihtiyaç duyulan enerji değerinden (1.51 kJ) daha fazla olduğu ve bu farklılığın istatistik olarak önemli olduğu vurgulanmıştır ($p<0.05$).
- Kalp atım değerlerinde ve hissedilen rahatsızlık derecelerinde yaş şeker kamışı hasadı daha yüksek değerlere sahip olsa da bu farklılık istatistik olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$).
- Dakikada %24.22 daha az yaş şeker kamışı hasat edildiği bu değerın istatistik olarak önemli olduğu ($p<0.01$) ve daha çok enerji gerektirdiği için yakılmamış şeker kamışı hasadının maliyet etkinliğinin daha az olduğu belirtilmiştir.

Kang ve arkadaşları (2007) Koreli erkek metal işçilerinin fiziksel çalışma kapasitelerinin ve dağılımlarının belirlenmesi için yaptıkları çalışmada; farklı iş kollarında yaşları 31 ile 47 arasında değişen 507 işçide oksijen tüketim değerleri bisiklet ergometresi ile ve kalp atım değerleri polar saat ile ölçülerek, işçilerin enerji tüketim değerlerini hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Yaşlı işçilerin fiziksel kapasitesinin daha düşük ve aşırı yüklenmelerinin daha fazla olmuştur.
- Tüm yaş grupları için maksimum fiziksel çalışma kapasitesi ile iş yükü arasında ters bir ilişki bulunduğu belirlenmiştir.
- Çalışma sırasındaki enerji tüketimi değerlerinin üst sınırları, bütün yaş grupları için maksimum fiziksel çalışma kapasitesinin %5 kadarını oluşturduğu saptanmıştır.

Scott ve Christie (2004) orman işçilerinden polar saat ile gerçek çalışma ortamında aldıkları kalp atım değerleri ile laboratuarda sub maksimal adım testinden elde ettikleri kalp atım ve oksijen tüketimi değerlerini karşılaştırmışlardır. Denemeler Afrika'nın KwaZulu-Natal bölgesinde ormanda kütük taşıyan ve bunları yığın yapan sağlıklı 23 erkek işçi ile yapılmıştır. İşçiler 1 günlük iş periyodunda yaklaşık 660 adet kütüğü yığın yapmakta, bunun da yaklaşık 4–6.5 saatlik çalışma süresine karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Yapılan ölçümler sonucunda çalışma sırasında ortalama kalp atım değeri 118 atım dk^{-1} , adım testi sırasında ortalama kalp atım değeri 117 atım dk^{-1} , adım testi sırasında ortalama oksijen tüketimi değeri 23.9 ml $kg^{-1} dk^{-1}$ bulunmuştur. Çalışma ve laboratuvar ortamındaki değerler karşılaştırılarak, iki farklı ortamdaki ölçümler arasında doğrusal ilişki olduğu belirtilmiştir ($r = 0.69$). Bu ilişkidten faydalanılarak bir tahmin denklemi bulunmuştur ($y = 0.26x - 6.42$). Bu denklemde y değeri oksijen tüketimi değerini (ml $kg^{-1} dk^{-1}$); x değeri kalp atım değerini (atım dk^{-1}) belirtmektedir. Bu denklem ile gerçek çalışma ortamında kalp atım değerleri belirlenen bir işçinin enerji tüketim değerinin tahmini olarak belirlenebileceği vurgulanmıştır. Ayrıca tüm deneklerin ayrı ayrı ele alınıp gerçek çalışma ortamı ve laboratuvar ortamındaki test sonuçları arasındaki ilişkiler gözlemlendiğinde, bazı işçilerde korelasyon değerinin 0.932'ye kadar ulaştığı belirtilmiştir.

Boneh ve arkadaşları (1997) 1985–1987 yılları arasında yaptıkları çalışmada İsrail’deki sıcaklık kontrol sistemine sahip olan ve olmayan 21 endüstriyel tesiste çalışan erkek ve bayan işçilerin dinlenirken ve çalışma sırasındaki kalp atım değerlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmaya 2416 erkek, 1091 bayan çalışan gönüllü olarak katılmışlardır. Erkek çalışanların %77’ si mavi yakalı, geriye kalan kısmı beyaz yakalı; bayan çalışanların ise %65’i mavi yakalı, geriye kalan kısmı beyaz yakalıdır. Denemler sıcaklık kontrol sistemine sahip olan ve dış ortam sıcaklığının etkisinde olan tesislerde gerçekleştirilmiştir. Kalp atım değerlerinin ölçümü dinlenme durumunda uzanır pozisyonda EKG ile; oturur pozisyonda 2 tekrarlı olmak üzere ve ayakta dururken tek ölçüm olmak üzere el bileğinden 30 saniye süre ile ölçülmüştür. Çalışma nabızı ise normal çalışma koşulunda bir EKG cihazı ile kaydedilmiştir. Çalışılan tesiste sıcaklık kontrol ünitesi olup olmadığı ve çalışma sırasındaki sıcaklık değerleri kaydedilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Mavi yakalıların beyaz yakalılarına göre çalışma sırasındaki kalp atım değerlerinin daha yüksek olduğu bulunmuştur ($p < 0.0001$).
- Deneklerin çalışma sırasındaki kalp atım değerlerinin yaş ile azaldığı, sigara içme düzeyinin artmasıyla artış gösterdiği belirtilmiştir.
- Çalışanların ortalama dinlenik kalp atım değerlerinin, dış sıcaklık 22°C’nin altındayken yüksek, 28°C’nin üzerindeyken düşük olduğu gözlemlenmiştir.
- Sıcak ve soğuk günlerde deneklerin ortalama çalışma nabızı ve dinlenmeden çalışmaya kalp atım değerlerinin artışının sıcaklık kontrolü olan tesislerde düşük, sıcaklık kontrolü olmayan tesislerde daha yüksek olduğu belirtilmiştir.
- Dış sıcaklık değerlerinin 22-28°C aralığının dışında olduğunda çalışanlarda ek bir zorlanmaya sebep olduğunu gözlemlenmiştir.
- Sıcaklık kontrol sistemine sahip endüstriyel tesislerin sıcak ve soğuk günler için çalışanların maruz kaldıkları kardiyovasküler zorlanmayı makul değerde tuttuklarını belirlenmiştir.

Malavolti ve arkadaşları (2007) yaptıkları çalışmada; dinlenme sırasındaki enerji tüketiminin belirlenmesinde, oksijen tüketiminden enerji tüketiminin hesaplanması ve kol bandından alınan değerleri karşılaştırmışlardır. Toplam 52 kadın ve 47 erkekten bu farklı iki yöntemle alınan enerji tüketim değerlerinde istatistik olarak bir fark gözlemlenmemiştir ($p < 0.0001$). İki yöntem arasındaki korelasyonun yüksek olduğu belirtilmiştir ($r = 0.86$).

St-Onge ve arkadaşları (2007), erişkinlerde günlük enerji tüketimini belirlemek için yaptıkları çalışmada, kol bandından alınan değerlerle DLW (doubly labeled water) yöntemi ile elde edilen değerleri karşılaştırmışlardır. DLW yöntemiyle belirlenen enerji tüketim değerleri, suyun hidrojeni ile yer değiştirmiş hidrojen izotopunun oluşturduğu su molekülünün vücuda alındıktan sonra gün içinde 5 farklı saatte alınan idrar örneklerinin izotop analizi sonucunda; yaş, boy, kilo, cinsiyet değişkenlerini de içeren bir tahmin denklemi ile elde edilmiştir. DLW yöntemiyle enerji tüketimi değeri 2492 kcal gün⁻¹ hesaplanırken, kol bandıyla hesaplanan enerji tüketimi değeri ise 2375 kcal gün⁻¹ dür. Her iki yöntemle elde edilen değerler karşılaştırıldığında, aralarında istatistik olarak bir fark bulunmadığı ($p < 0.01$), kol bandından alınan değerlerin kabul edilebilir olduğu ve günlük enerji tüketiminin hesaplanmasında kullanılabileceği belirtilmiştir.

Eminoğlu ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, çapa makinası ile meyve bahçelerinin çapalanmasında operatörlerin gün içinde enerji tüketim değerlerinin değişimini incelemiştir. Çalışma sırasında operatörlerin enerji tüketimi değerlerinin bulunmasında SenseWear kol bandı kullanılmıştır. Üç farklı çalışma hızı için her bir operatörde enerji tüketimi değerleri ölçülmüştür. Veriler bilgisayara aktarılarak analizler yapılmıştır. Genelde, çalışma hızının artmasına bağlı olarak enerji tüketimi değerlerinin her üç operatörde de arttığı gözlemlenmiştir. Günün saatlerine göre yapılan değerlendirmede ise çalışma süreci 6 eşit zaman dilimine ayrılmış, her bir zaman dilimi için enerji tüketimi değerleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Her operatör için minimum ve maksimum enerji tüketim değerleri farklı olsa da değişimin karakteristiği benzer şekilde gerçekleşmiştir. Enerji tüketimi değerlerinin en yüksek seviyeye öğleden önce 9:00 – 10:00 saatleri arasında ulaştığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, çalışmaya başlanılan ilk saatlerde operatörün vücudunun çalışma ritmine henüz uyum

sağlayamamasıdır. İlerleyen saatlerde operatörün vücudunun yapılan işin ritmine uyum sağlamasıyla enerji tüketimi değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Öğleden sonra enerji tüketimi değerlerinin artması ise çalışmanın beraberinde getirdiği yorgunluğun etkisinden kaynaklanmaktadır.

Eminoğlu ve arkadaşları (2010) yaptıkları çalışmada, aynı iş genişliğine sahip çapa makinası ve traktöre bağlı toprak frezesi kullanan operatörlerin enerji tüketimi değerlerini karşılaştırmışlardır. Operatörlerin enerji tüketimi değerlerinin belirlenmesinde SenseWear kol bandı kullanılmıştır. Üç farklı çalışma hızı için her iki makine kombinasyonu için 3 operatörde enerji tüketimi değerleri ölçülmüştür. Ölçülen değerler Minitab 15.0 ve MSTAT programları ile analiz edilmiştir. Varyans analizi sonucunda, operatörlerin enerji tüketimi değerleri ile ilerleme hızı ve operatör*makine tipi interaksyonu arasındaki ilişkinin istatistik olarak önemli olduğu belirtilmiştir ($p<0.01$). Çalışma sonucunda, her iki makine ile çalışmada da ilerleme hızı arttıkça operatörlerin enerji tüketimi değeri artmıştır. Çapa makinası ile çalışmada operatörlerin enerji tüketimi değerleri her hız kademesi için traktör-toprak freze kombinasyonu ile çalışma sırasındaki enerji tüketimi değerlerinden yüksek olduğu bulunmuştur. Çapa makinası ile çalışmada her operatörün enerji tüketimi değerlerinin birbirinden farklı olduğu bulunmuştur. Çapa makinası ile çalışmanın enerji tüketimi açısından ağır iş sınıfına girdiği ve işletme koşulları uygunsa bu makine yerine traktör-toprak frezesi kombinasyonunun kullanılabilceği belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Operatörler

Denemeler sırasında meslek deneyimleri yüksek üç erkek operatörden yararlanılmıştır. Bazı temel fiziksel verileri Çizelge 3.1’de verilen operatörlerin çalışmalarını engelleyecek herhangi bir sağlık problemleri bulunmamaktadır.

Çizelge 3.1 Çalışmadaki operatörlerin bazı temel fiziksel özellikleri

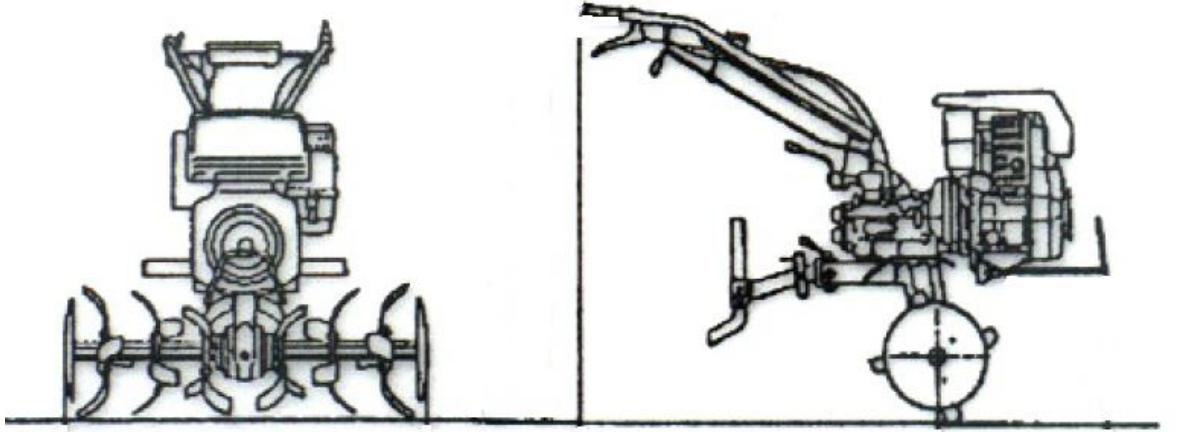
Operatör	Yaş (yıl)	Boy (cm)	Ağırlık (kg)
A	44	175	90
B	36	175	65
C	43	175	63

Operatörler çalışmaya gönüllü olarak katılmışlardır. Operatörlere yapılacak çalışma ayrıntılı olarak anlatılmış, çalışma ve dinlenme sürelerinin kontrollü olacağı bildirilerek bunun dışında normal şekilde çalışmalarını sürdürmeleri istenmiştir. Ayrıca her çalışmadan önce, o gün kendilerini çalışacak kadar iyi hissedip hissetmedikleri sorulmuştur.

Operatörler, her biri her hangi bir arıza durumunda aksaklığı giderebilecek beceriye sahiplerdir. Denemeler sırasında çalışma zamanını etkilemeyecek aksaklıklar olduğunda operatörler tarafından giderilmiştir. Bu aksaklıklar titreşim sebebiyle yakıtı depoya ileten rekorun gevşemesi, debriyaj telini gergin tutan vidanın gevşemesi ve kırılan çapa bıçağının yenisiyle değiştirilmesi şeklinde olmuştur. Bunlardan başka debriyaj telinin kopması sebebiyle, motorda çıkan arıza sebebiyle ve kavrama balatasının işlevini yerine getirememesi sebebiyle söz konusu günlerdeki çalışmalar arızalar giderildikten sonra başka bir gün çalışma tekrarlanmıştır.

3.1.2 apa makinası

Operatörlerin kullandığı çapa makinası 12 BG'nde 120cm işlenişliğine sahiptir ve 3 ileri 1 geri hız kademesine sahiptir (Şekil 3.2). apa bıçaklarının bağlı bulunduğu milin devir sayısı, o vites kademesi için gaz klapesine kumanda eden mandal ile artırılabilir veya azaltılabilir.



Şekil 3.1 Denemelerde kullanılan çapa makinasının genel görünümü

Denemeler sırasında çapa makinası 2. ileri viteste ve gaz klapesine kumanda eden mandal yarım açıklıkta olacak şekilde ayarlanmıştır. apa makinasının ilerleme hızı 100 m mesafenin kaç saniyede alındığı ölçülerek, kronometre belirlenmiştir. Bu şekilde 3 tekrar yapılmıştır. Bu tekrarlarda elde edilen sürelerin ortalaması alınmış ve ilerleme hızı ortalama 2.6 km h^{-1} bulunmuştur. Toprak işleme derinliği 10 santimetreye ayarlanmış ve tüm çalışmalar boyunca sabit tutulmuştur.

3.1.3 Denemelerin yürütüldüğü arazi

Denemeler Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Bahçelerinde gerçekleştirilmiştir. Denemelerin gerçekleştirildiği arazinin toplam alanı yaklaşık 30 dekadır. Toprak yüzeyinin kuru ve engebeli olduğu gözlemlenmiştir.

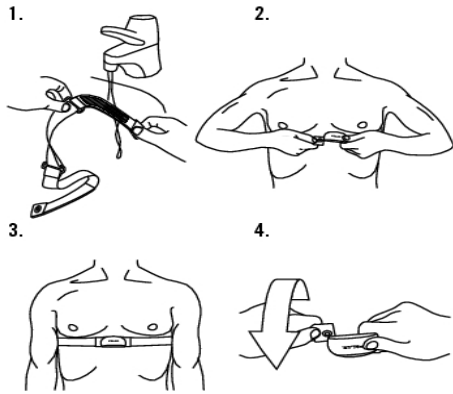
3.1.4 Denemelerde kullanılan program ve cihazlar

Hava sıcaklığı ve bağıl nemin etkisi: Sıcaklık ve nem değerlerinin belirlenmesinde Lutron YK-90HT sıcaklık ve bağıl nem ölçer kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı

Kalp atım değerlerinin belirlenmesi: Denemeler sırasında Polar firmasının ürettiği RS 800 marka saat kullanılmıştır. Saate kalp atım değerlerini yollayan göğüs bandı Şekil 3.3'de görüldüğü gibi vücuda takılmıştır. Saat deneklere bağlanırken elektrotların iletkenliğini sağlamak için göğüs bandının iletken bölgesi nemlendirilmiş(1); vericinin bulunduğu klips daha sonra göğüs kaslarının bittiği kısma, gövdenin ortasına gelecek ve çalışma sırasında kaymayacak şekilde ayarlanarak bağlanmıştır(2 ve 3).



Şekil 3.3 Göğüs bandının vücuda takılması (Anonymous 2009h)

Kalp atım değerleri saat üzerindeki kızılötesi bağlantı ile firmanın hazırlamış olduğu Polar Pro Trainer 5.20.130 programı ile kaydedilmiştir.

Enerji tüketimi değerlerinin belirlenmesi: Bu çalışmada enerji tüketimi değerlerini belirlemek için SensWear firmasının ürettiği kol bandı kullanılmıştır. Bu alet çalışan kişinin triseps kasının üzerine bağlanmakta, deriyle temas ettiğinde otomatik olarak veri kaydına başlamaktadır. Depoladığı veriler deney sonunda firmanın geliştirdiği Sensewear Profesional 6.1 yazılım sayesinde bilgisayara kaydedilebilmektedir.

Yapılan çalışmada bu cihazın seçilmesinin sebebi kullanımının ve bilgisayara veri aktarımının kolay olması, çalışan kişiye fazladan bir yük getirmemesidir. Özellikle douglas torbası metodundaki gibi ağız ve burnu kapatan bir maske olmadığından çalışan kişi günlük aktivitelerini gerçekleştirirken onu engellememesidir. Bu alet çalışma periyodunun istenilen dilimi için veri seçmeye olanak sağlar. Örneğin tarlada çalışan bir işçinin sabah işe başladığı ilk 15 dakika ile öğle yemeğinden sonraki ilk 15 dakikadaki enerji tüketimini veya günün en sıcak saatindeki çalışma periyodundaki enerji tüketim değeri ile en serin saatindeki enerji tüketimin karşılaştırmaya olanak sağlamaktadır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Çalışma saatleri

Denekler 4 farklı çalışma programında çapa makinası ile çalıştırılmışlardır. Günlük 8 saat olan çalışma süresi her programda toplam 6 saat çalışma ve toplam 2 saat dinlenme süresi olacak şekilde farklı çalışma ve dinlenme sürelerine ayrılarak, çalışma ve dinlenme sürelerinin değişiminin operatörün enerji tüketimi ve kalp atım değerleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Her denekten saat sabah 8:30'da çalışma alanında hazır bulunması istenmiştir. Saat 8:45'de ölçüm cihazları deneğe bağlanmış ve 15 dakikalık ilk dinlenme periyodunun ölçümleri alınmıştır. Son çalışma periyodunu tamamladıktan sonra 15 dakikalık son

mola bütün çalışma programları için aynıdır. Deneklerin çalışma programları şu şekildedir;

1. Program: 90 dakikalık 4 çalışma periyodu, 15 dakikalık 4 dinlenme periyodu, 60 dakikalık yemek zamanı

8:45 – 9:00..... 1. dinlenme periyodu

9:00 – 10:30..... 1. çalışma periyodu

10:30 – 10:45..... 2. dinlenme periyodu

10:45 – 12:15..... 2. çalışma periyodu

12:15 - 13:15..... yemek zamanı

13:15 – 14:45..... 3. çalışma periyodu

14:45 – 15:00..... 3. dinlenme periyodu

15:00 – 16:30..... 4. çalışma periyodu

16:30 – 16:45..... 4. dinlenme periyodu

2. Program: 75 dakikalık 4 ve 60 dakikalık 1 çalışma periyodu, 15 dakikalık 5 dinlenme periyodu, 45 dakikalık yemek zamanı

8:45 – 9:00..... 1. dinlenme periyodu

9:00 – 10:15..... 1. çalışma periyodu

10:15 – 10:30..... 2. dinlenme periyodu

10:30 – 11:45..... 2. çalışma periyodu

11:45 – 12:00..... 3. dinlenme periyodu

12:00– 13:15..... 3. çalışma periyodu

13:15 – 14:00..... yemek zamanı

14:00 – 15:15..... 4. çalışma periyodu

15:15 – 15:30..... 4. dinlenme periyodu

15:30 – 16:30..... 5. çalışma periyodu

16:30 – 16:45.....5. dinlenme periyodu

3. Program: 60 dakikalık 6 çalışma periyodu, 15 dakikalık 6 dinlenme periyodu, 30 dakikalık yemek zamanı

8:45 – 9:00..... 1. dinlenme periyodu

9:00 – 10:00..... 1. çalışma periyodu

10:00 – 10:15..... 2. dinlenme periyodu
10:15 – 11:15..... 2. çalışma periyodu
11:15 – 11:30..... 3. dinlenme periyodu
11:30– 12:30..... 3. çalışma periyodu
12:30 – 12:45..... 4. dinlenme periyodu
12:45 – 13:45..... 4. çalışma periyodu
13:45 – 14:15..... yemek zamanı
14:15 – 15:15..... 5. çalışma periyodu
15:15 – 15:30..... 5. dinlenme periyodu
15:30 – 16:30..... 6. çalışma periyodu
16:30 – 16:45..... 6. dinlenme periyodu

4. Program: 45 dakikalık 8 çalışma periyodu, 10 dakikalık 9 dinlenme periyodu, 30 dakikalık yemek zamanı

8:45 – 9:00..... 1. dinlenme periyodu
9:00 – 9:45..... 1. çalışma periyodu
9:45– 9:55..... 2. dinlenme periyodu
9:55 – 10:40..... 2. çalışma periyodu
10:40 – 10:50..... 3. dinlenme periyodu
10:50– 11:35..... 3. çalışma periyodu
11:35 – 11:45..... 4. dinlenme periyodu
11:45– 12:30..... 4. çalışma periyodu
12:30 – 13:00..... yemek zamanı
13:00 – 13:45..... 5. çalışma periyodu
13:45 – 13:55..... 5. dinlenme periyodu
13:55 – 14:40..... 6. çalışma periyodu
14:40 – 14:50..... 6. dinlenme periyodu
14:50 – 15:35..... 7. çalışma periyodu
15:35 – 15:45..... 7. dinlenme periyodu
15:45 – 16:30..... 8. çalışma periyodu
16:30 – 16:45..... 8. dinlenme periyodu

Her 3 denek yukarıdaki 4 farklı çalışma programında da çalıştırılmışlardır. Bir denek ardı ardına iki gün çalıştırılmamaya özen gösterilmiştir. Deneğin çalışacağı program belirli bir sıra ile değil de çalışma gününde rastgele seçilmiştir. Deneklerin yiyeceklerine müdahale edilmemiştir. Dinlenme sürelerini çalışma parseli yakınındaki gölge bir yerde oturarak değerlendirmeleri istenmiş ve çalışma süresince sigara içmemelerinin gerektiği önemle belirtilmiştir. Denemeler süresince herhangi bir ağrı, zorlanma veya rahatsızlık hissettikleri an çalışmayı sonlandırmaları gerektiği belirtilmiştir. Her çalışma periyodu öncesinde çalışabilecek durumda olup olmadıkları sorulmuştur. Denemeler sırasında istenmeyen herhangi bir sakatlık veya rahatsızlıkla karşılaşılmemiştir.

3.2.2 Hava sıcaklığı ve bağıl nemin ölçülmesi

Belirlenen çalışma periyotlarında enerji tüketimi ve kalp atım değerlerinin sıcaklık veya nem ile değişip değişmediği de dikkate alınmıştır. Lutron YK-90HT sıcaklık ve bağıl nem ölçüm cihazı ile çalışma periyotları boyunca her 5 dakikada bir okunan değerler kaydedilmiş ve o çalışma programı ve ilgili periyotlar için ortalama değerler hesaplanmıştır.

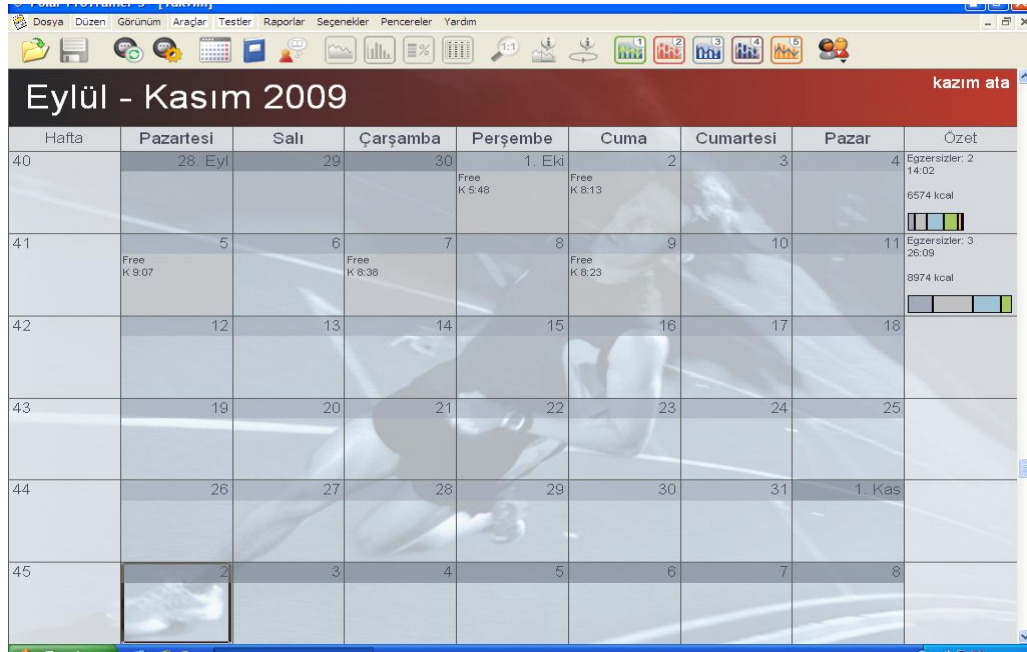
3.2.3 Kalp atım değerlerinin ölçümü

Deneklerin kalp atım değerleri telemetrik yöntem ile belirlenmiştir. Polar saat ile saniyede 2 ölçüm alınmıştır. Saat ile göğüs bandının yolladığı veriler kaydedilmiştir.

Göğüs bandı denek üzerine yerleştirildikten sonra saat üzerindeki 'start' tuşuna basılmıştır. İletken yüzeyler ve kemer doğru konumlandırıldığında sinyal sesi ile birlikte kalp atım değerleri saatin ekranında görülmüştür. Yapılan denemelerde; çalışma, dinlenme, yemek süreleri dahil olmak üzere 8 saat boyunca deneklerden alınan ölçümler kaydedilmiştir.

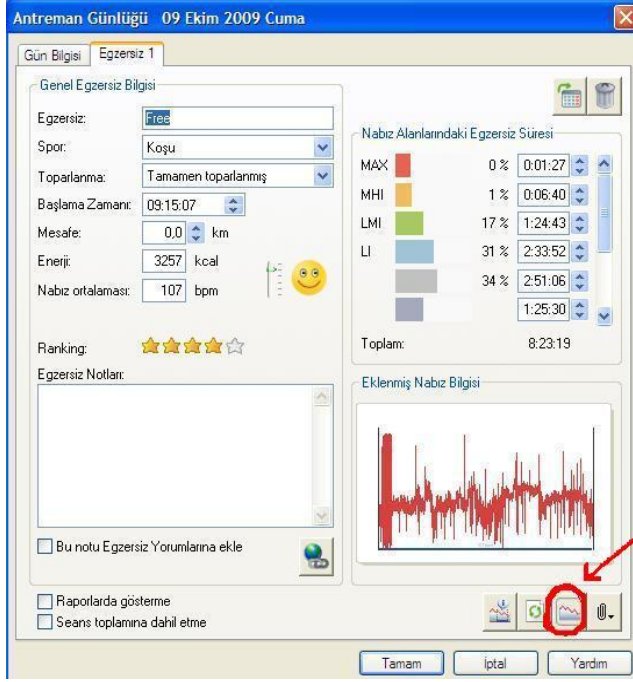
Programa çalışma ile ilgili veriler aktarılmadan önce kişinin adı, soyadı, doğum tarihi, cinsiyet, boy, ağırlık bilgileri girilerek o kişi için kullanıcı profili oluşturulmuştur ve

çalışma başlangıcında kullanıcı profili seçilmiştir. Saat ile bilgisayar arasında veri aktarma işlemi önce saatten daha sonra program üzerindeki 'bağlantı' tuşuna basılarak başlatılmıştır. Saat ile programın takvimi eş zamanlı çalıştığından veriler hangi günün olursa olsun ilgili kişinin fiziksel aktivite takvimine kaydedilmiştir. Şekil 3.4'de deneklerden birine ait fiziksel aktivite takvimi görülmektedir.



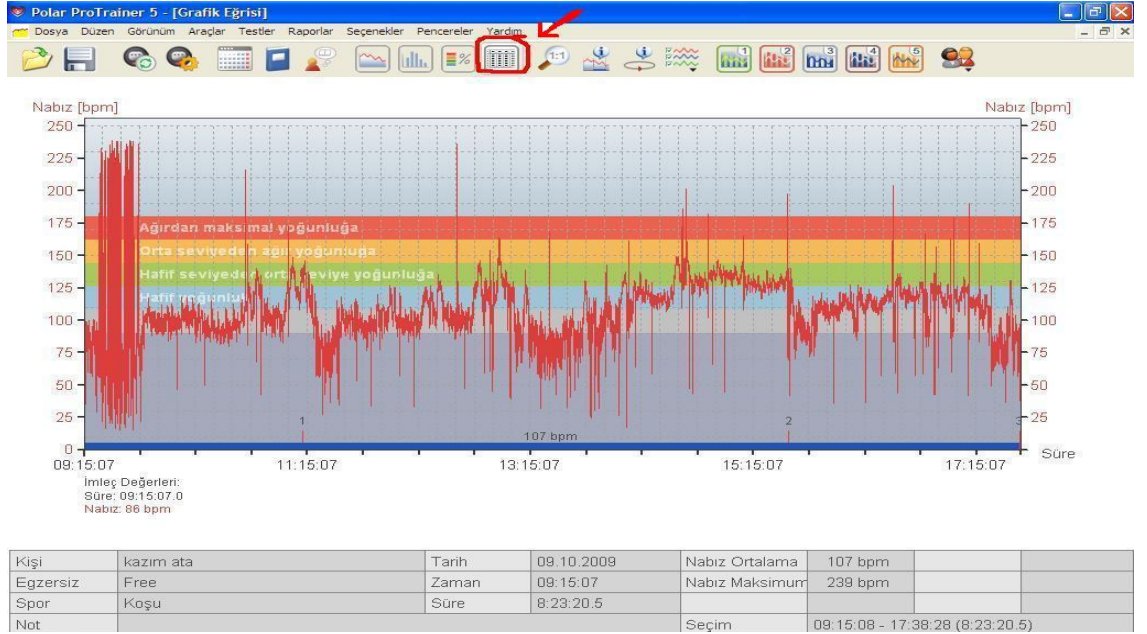
Şekil 3.4 Deneklerden birine ait fiziksel aktivite takvimi örneği

Bu takvim üzerinden istenilen tarihteki fiziksel aktiviteye ulaşmak için o gün üzerine iki kez ardı ardına tıklanması yeterli olmaktadır. Bu işlem yapıldığında Şekil 3.5'deki diyalog penceresi açılmakta ve o günkü aktivite ilgili genel bilgiler görülmektedir.



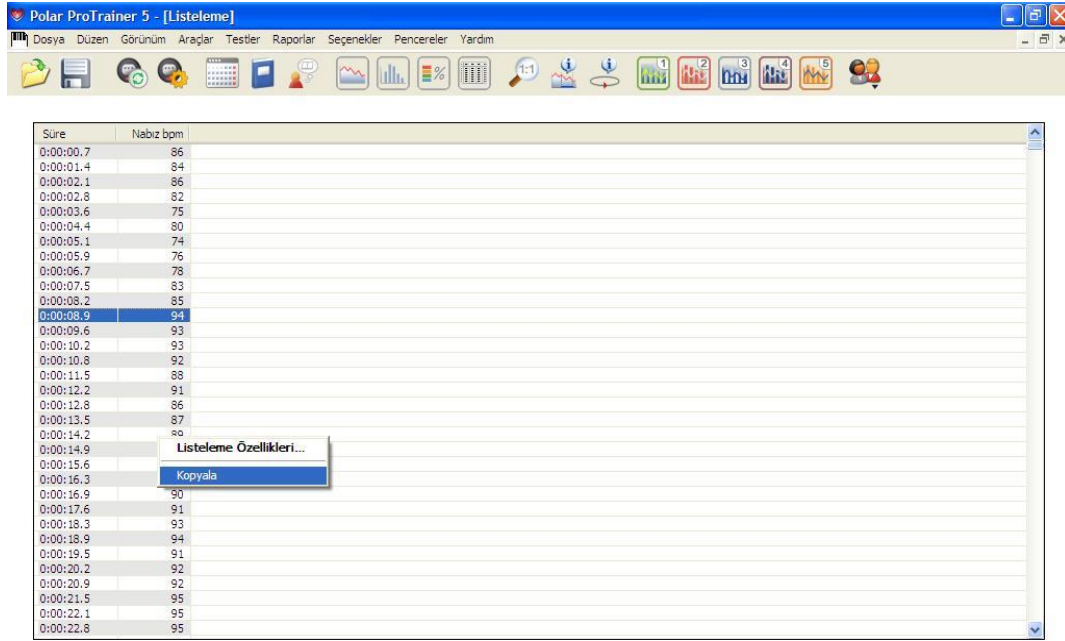
Şekil 3.5 Fiziksel aktivitenin genel bilgilerini içeren diyalog penceresi

Şekil 3.5’de görülen diyalog penceresinin sağ alt köşesinde görülen grafik düğmesine tıklandığında Şekil 3.6’deki 8 saatlik çalışma boyunca ölçülen kalp atım değerlerinin süreye göre değişimini gösteren grafik bilgisine ulaşılmaktadır.



Şekil 3.6 Kalp atım değerlerinin süreye göre değişimi

Şekil 3.6’da çalışma ve dinlenme sürelerine ait bölgeler kabaca görülmektedir. Ayrıca grafiğe ait tarih, fiziksel aktivite süresi, ortalama ve maksimum kalp atım değerleri de şekilde verilmektedir. Alınan değerler ekranın üst kısmında görülen ‘listele’ butonu ile grafik değerleri ‘süre ve nabız’ başlıkları altındaki sütunlarda listelenirler. Şekil 3.7’de listelenen bu değerler görülmektedir.



Kişi	kazım ata	Tarih	09.10.2009	Nabız Ortalama	107 bpm		
Egzersiz	Free	Zaman	09:15:07	Nabız Maksimum	239 bpm		
Spor	Koşu	Süre	8:23:20.5				
Not				Seçim	09:15:08 - 17:38:28 (8:23:20.5)		

Şekil 3.7 Kalp atım değerlerinin liste görünümü

Grafik gösteriminde bazı kalp atım değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi çapa makinasından operatöre iletilen titreşimdir. Polar saat göğüs bandının aldığı değerleri depolarken titreşim sebebiyle değerler normalden yüksek seviyeye ulaşabilmektedir. Yapılan çalışmada bu olumsuzluğun giderebilmesi için değerler liste halinde Excel programına taşınmıştır. Daha sonra her çalışma periyodu için ortalama kalp atım değerinin bulması için ilgili satırlar arasında kalan değerlerin ortalaması hesaplanmıştır. Her bir operatör için maksimum kalp atım değerinden küçük değerlerinin ortalaması alınmıştır. Bir kişi için maksimum kalp atım değeri, aşağıdaki eşitlikle belirlenmiştir (Babalık 2005):

$$N_{maks} = 220 - Y$$

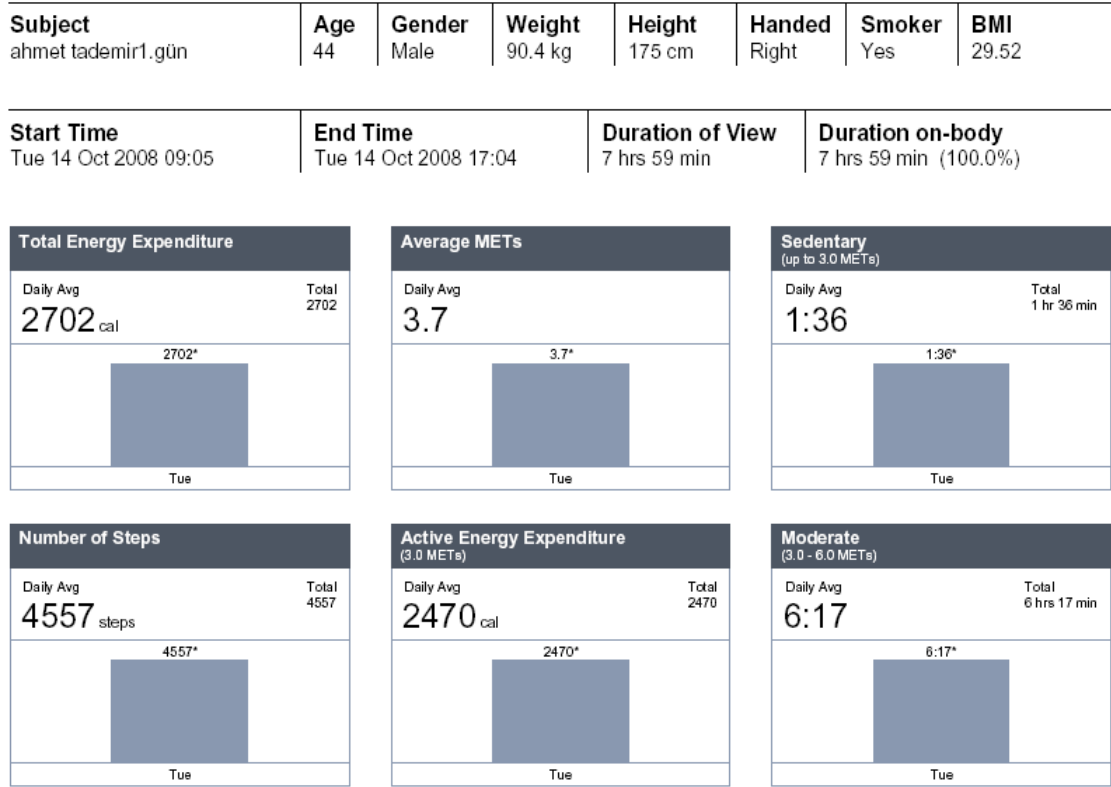
Eşitlikte;

N_{maks} : Maksimum nabız değeri (atım)

Y: Kişinin yaşı (yıl)

3.2.4 Enerji tüketimi değerlerinin ölçümü

Bu yazılım sayesinde kişi ile ilgili temel veriler girildikten sonra o günkü çalışma hakkında ayrıntılı bir grafik ve rapor düzenlenebilmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Kol bandıyla kişiden çalışma sırasında alınan veriler yardımıyla oluşturulmuş enerji tüketim raporu

Bu raporun üst kısmında sırasıyla kişinin adı, yaşı, cinsiyeti, ağırlığı, boyu, hangi elini kullandığı, sigara içip içmediği, vücut kütle indeksi bilgileri yer almaktadır. Bu bilgiler cihaz bilgisayara bağlandığında o kişi için oluşturulan profile girilmesi zorunlu tanıtıcı bilgilerdir. Bu bilgilerin hemen altında çalışmanın başlama ve bitiş tarihi ve saati,

fiziksel aktivitenin izlendiği süre, cihazın veri aldığı süre bilgileri yer almaktadır. Alttaki kutularda ise sırasıyla toplam enerji tüketimi değerleri, ortalama MET değerleri, dinlenme ile geğen süre, fiziksel aktivite sırasında atılan adım sayısı, aktif enerji tüketim değerleri, enerji tüketim değerlerinin makul seviyede kaldığı toplam süre bilgileri bulunmaktadır.

Burada sözü edilen METs kavramı: Sakin bir şekilde otururken $\text{ml kg}^{-1} \text{dk}^{-1}$ olarak ifade edilen enerji tüketimi olarak tanımlanmaktadır. 1 MET kişinin dinlenme durumundaki oksijen tüketim hızıdır. Ortalama bir yetişkinde $1 \text{ MET} = 3.5 \text{ ml kg}^{-1} \text{dk}^{-1}$ dır (Anonim 2009). Şekil 3.8' deki ortalama METs değerleri çalışma boyunca söz konusu kişinin dinlenirken tükettiği oksijen miktarının 3.7 katı oksijen tükettiğini anlatmaktadır.

Dinlenme ile geğen süre (Sedentary), fiziksel aktivite boyunca 3.0 METs değerine kadar olan enerji tüketim değerlerinin toplam süre içerisindeki miktarıdır ve Şekil 3.8'de 1 saat 36 dakika olarak verilmiştir.

Aktif enerji tüketim değerleri; 3.0 METs değerleri ve üzerinde enerji tüketiminin olduğu süredeki toplam enerji tüketimi değeridir ve Şekil 3.8'de 2470 kcal olarak verilmiştir.

Enerji tüketim değerlerinin makul seviyede kaldığı toplam süre; çalışma süresi boyunca kişinin 3.0 – 6.0 METs enerji tükettiği sürenin toplamıdır ve Şekil 3.8' de 6 saat 17 dakika olarak görölmektedir.

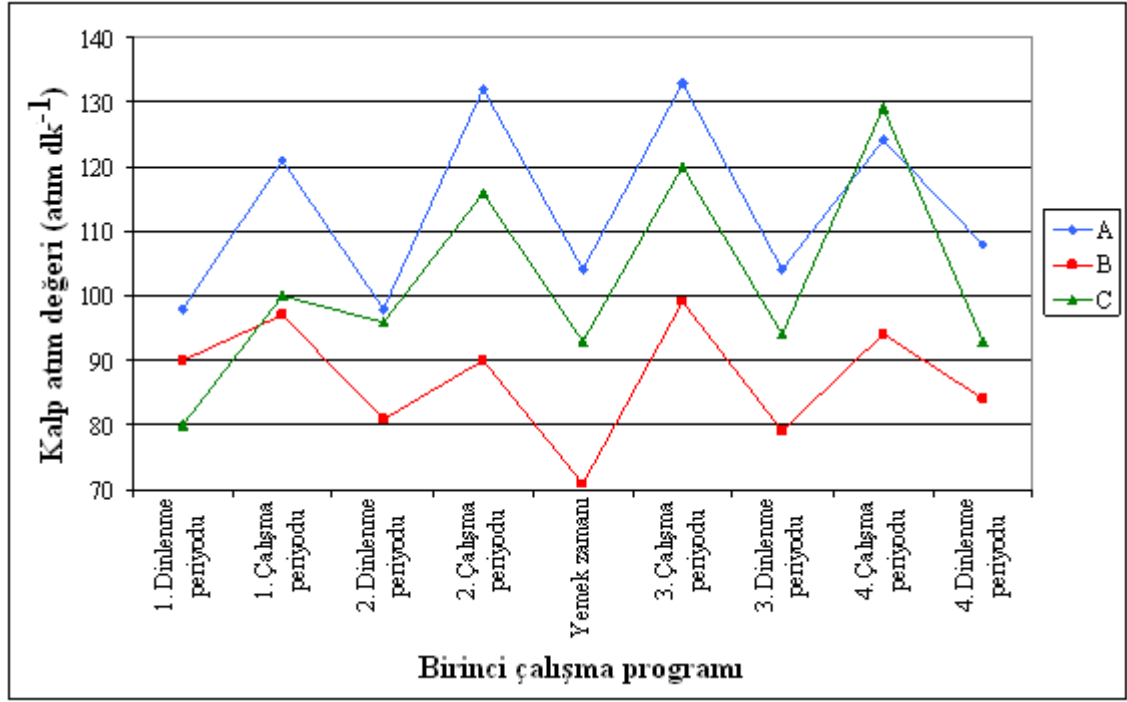
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan denemeler sonucunda 3 operatörden 4 farklı çalışma programı için elde edilen değerler çizelge 4.1-4.4’de verilmiştir. Çizelgelerde, her programın dinlenme ve çalışma periyotları için; kalp atım değerlerinin ortalaması (atım dk⁻¹), o süre içerisindeki toplam enerji tüketimi değeri (kcal) verilmiştir. Hava sıcaklığı (°C) ve havanın bağıl nem değerleri (%) yalnızca çalışma periyotları için verilmiştir. Bunun sebebi operatörler dinlenme sürelerini parselin yakınındaki kendileri için düzenlenmiş gölge bir alanda geçirmiş olmalarıdır.

Çizelge 4.1 Birinci programa göre gerçekleştirilen çalışmada ölçülen değerler

Operatör	1. Dinlenme periyodu		1. Çalışma periyodu				2. Dinlenme periyodu	
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)
A	98	50	121	563	23.3	37.3	98	79
B	90	32	97	434	13.6	56.7	81	53
C	80	57	100	382	18.5	49.23	96	67
Operatör	2. Çalışma periyodu				Yemek zamanı			
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)		
A	132	575	21.8	36.4	104	173		
B	90	434	19.7	41.9	71	118		
C	116	388	22.9	42.6	93	171		
Operatör	3. Çalışma periyodu				3. Dinlenme periyodu			
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)		
A	133	552	29.8	32.9	104	71		
B	99	545	22.67	34.74	79	56		
C	120	405	28.6	30.4	94	66		
Operatör	4. Çalışma periyodu				4. Dinlenme periyodu			
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)		
A	124	562	21.87	40.11	108	71		
B	94	431	16.4	50.39	84	61		
C	129	390	22.2	43.7	93	72		

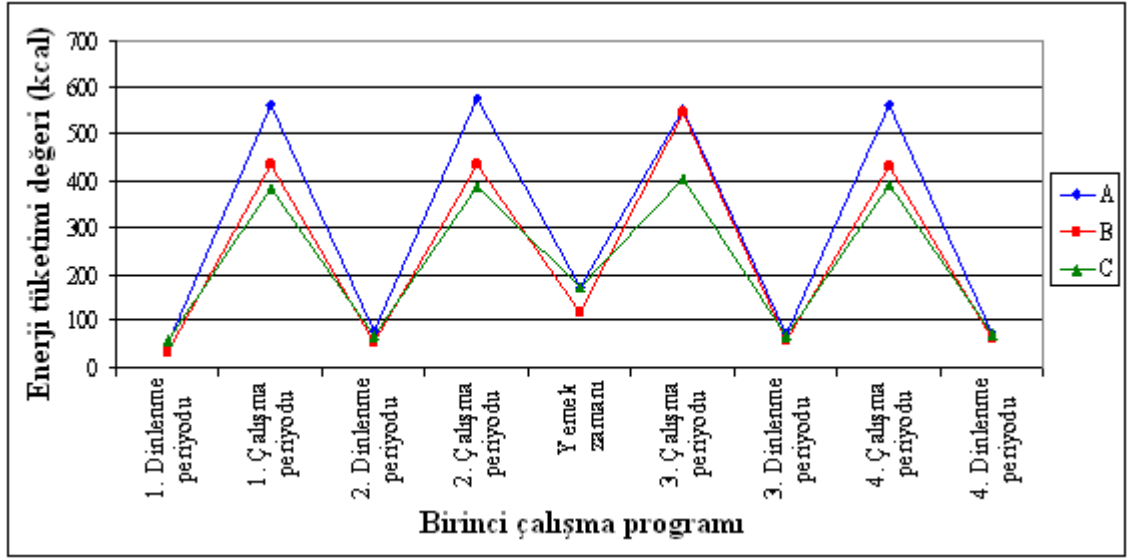
Çizelge 4.1’de verilen değerlerden yararlanılarak; Şekil 4.1’de birinci program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki kalp atım değerlerinin değişim grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 4.1 Birinci programda operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarına göre kalp atım değerlerinin değişimi

Şekil 4.1’den anlaşılacağı gibi birinci çalışma programında ortalama kalp atım değerinin en yüksek A operatöründen ölçülen 3. çalışma periyodunun ortalaması olan 133 atım dk⁻¹ değeridir. Dinlenme periyotlarındaki kalp atım değerlerinin ortalamalarında ölçülen en yüksek değer A operatörüne ait olup 4. dinlenme periyodu ortalaması için 108 atım dk⁻¹ ölçülmüştür. Her üç operatörde de yemek molasının ardından, öğleden önceki kalp atım değerlerinin ortalamasına göre daha yüksek değerlerin ölçüldüğü görülmektedir.

Çizelge 4.1’de verilen değerlerden yararlanılarak Şekil 4.2’de birinci program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki enerji tüketimi değerlerinin değişimi verilmiştir.



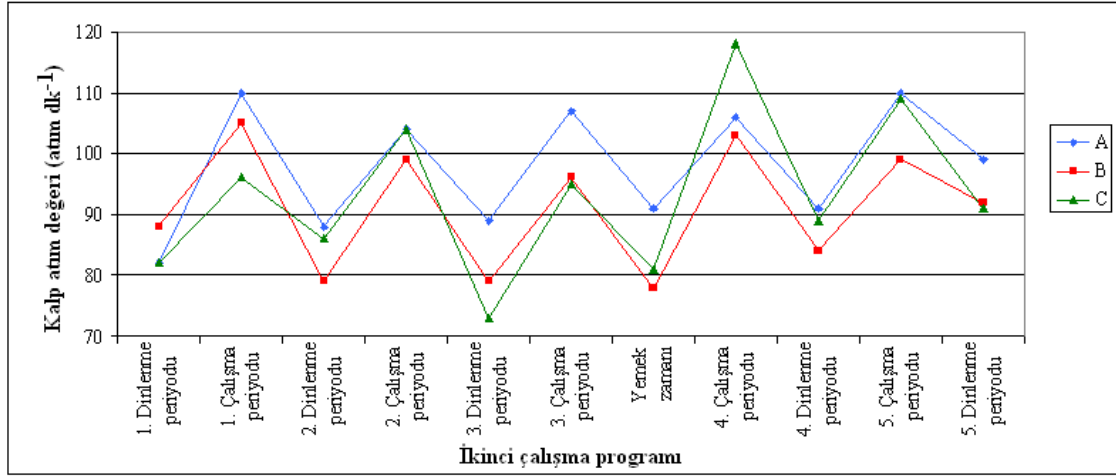
Şekil 4.2 Birinci program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki enerji tüketimi değerlerinin değişimi.

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi birinci çalışma programında ölçülen toplam enerji tüketim değerlerinin en yükseği A operatöründen 2. çalışma periyodunda ölçülen 575 kcal değeri, dinlenme periyotları için A operatöründen 2. dinlenme periyodundaki toplam enerji tüketimi olarak ölçülen 79 kcal değeridir. Her üç operatörde de yemek molasının ardından öğleden önceki enerji tüketimi değerlerinin, kalp atım değerleri ile aynı eğilimi göstererek, yemekten sonraki çalışma periyodunda daha yüksek değerlerde ölçüldüğü görülmektedir.

Çizelge 4.2 İkinci programa göre gerçekleştirilen çalışmada ölçülen değerler

Operatör	1. Dinlenme periyodu		1. Çalışma periyodu				2. Dinlenme periyodu		2. Çalışma periyodu			
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağlı Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağlı Nem (%)
A	82	55	110	537	13.26	60.47	88	82	104	456	18.36	49.48
B	88	45	105	392	14.28	55.58	79	55	99	374	20.5	38.7
C	82	37	96	269	15.3	52.6	86	59	104	277	19.3	42.6
Operatör	3. Dinlenme periyodu		3. Çalışma periyodu				Yemek zamanı		4. Çalışma periyodu			
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağlı Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağlı Nem (%)
A	89	62	107	466	21.5	40.7	91	193	106	549	29.6	47.01
B	79	74	96	366	23.99	33.65	78	124	103	398	24.4	27.8
C	73	64	95	303	25.3	40.6	81	176	118	265	27.2	40.5
Operatör	4. Dinlenme periyodu		5. Çalışma periyodu				5. Dinlenme periyodu					
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağlı Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)				
A	91	127	110	388	26.55	32.76	99	92				
B	84	61	99	279	15.6	24.5	92	88				
C	89	67	109	228	22.5	30.4	91	68				

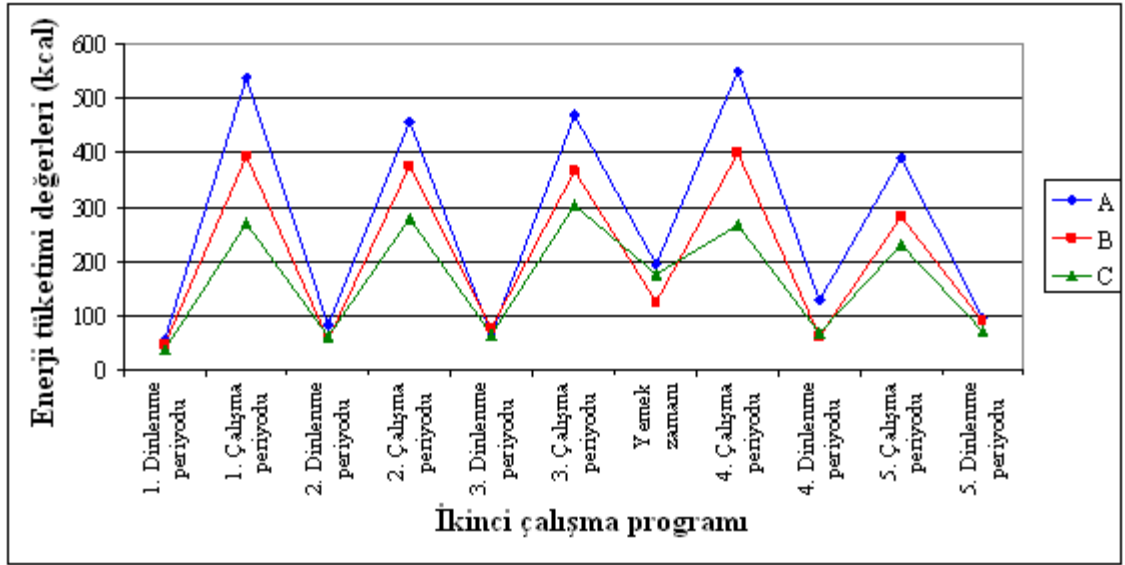
Çizelge 4.2’de verilen değerlerden yararlanılarak; Şekil 4.3’de ikinci program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki kalp atım değerlerinin değişim grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 4.3 İkinci programda operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarına göre kalp atım değerlerinin değişimi

Şekil 4.3’ den anlaşılacağı gibi ikinci çalışma programında ortalama kalp atım değerinin en yükseği C operatöründen ölçülen 4. çalışma periyodunun ortalaması olan 118 atım dk⁻¹ değeridir. Dinlenik kalp atım değerleri ortalamalarında ölçülen en yüksek değer A operatörüne ait olup 5. dinlenme periyodu ortalaması için 99 atım dk⁻¹ ölçülmüştür. Her üç operatörde de çalışmaya başlanılan günün ilk saatlerinde ve yemek zamanının ardından çalışılan periyottaki kalp atım değerleri diğer periyotlardaki kalp atım değerlerinin ortalamasına göre daha yüksek değerlerde ölçüldüğü görülmektedir.

Çizelge 4.2’de verilen değerlerden yararlanarak Şekil 4.4’de ikinci program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki enerji tüketimi değerlerinin değişimi grafikleri elde edilmiştir.



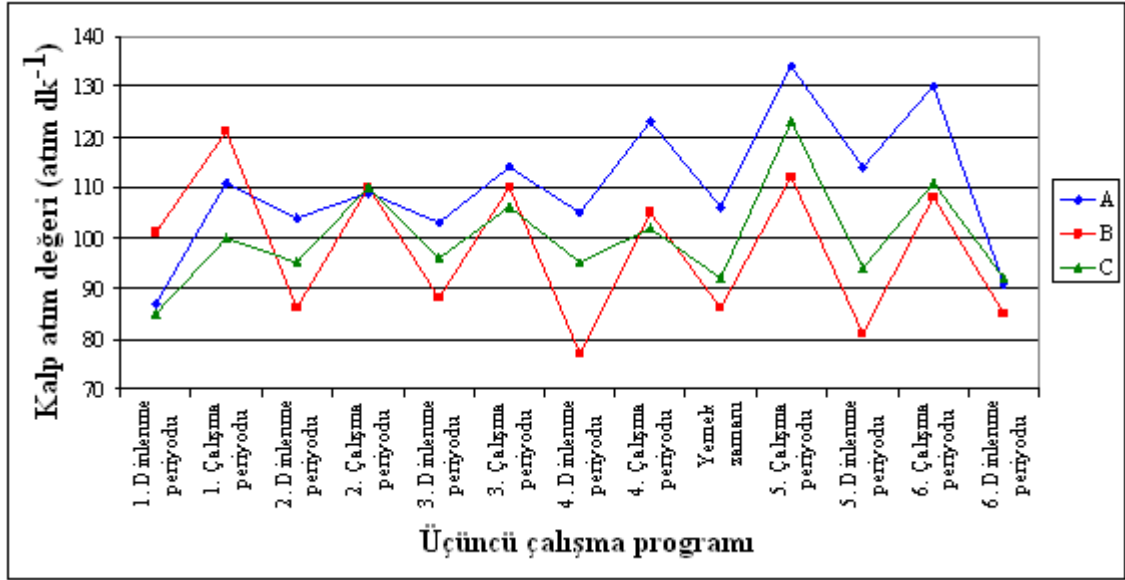
Şekil 4.4 İkinci program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki enerji tüketimi değerlerinin değişimi

Şekil 4.4'de görüldüğü gibi ikinci çalışma programında ölçülen toplam enerji tüketimi değerlerinin en yüksekği A operatöründen 4. çalışma periyodunda ölçülen 549 kcal değeri; dinlenme periyotları için en yüksek enerji tüketimi değeri A operatöründen 4. dinlenme periyodunda ölçülen 127 kcal değeridir. A ve B operatörlerinde enerji tüketimi değerlerinin kalp atım değerleri ile aynı eğilimi göstererek çalışmaya başlanılan günün ilk saatlerinde ve yemek zamanının ardından diğer periyotlara göre toplamalarının daha yüksek değerlerde ölçüldüğü görülmektedir. C operatöründe ise, kalp atım değerleri benzer eğilimde olmasına rağmen en yüksek enerji tüketimi değerini 3. çalışma periyodunda ölçülmüş; yemekten sonraki çalışma periyotlarında ise enerji tüketim değerlerinin öğleden öncekilerden daha düşük olduğu gözlenmektedir.

Çizelge 4.3 Üçüncü programa göre gerçekleştirilen çalışmada ölçülen değerler

Operatör	1. Dinlenme periyodu		1. Çalışma periyodu				2. Dinlenme periyodu		2. Çalışma periyodu			
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
A	87	72	111	426	17	60.99	104	84	109	360	27.8	42.42
B	101	50	121	297	13.3	63.2	86	57	110	291	15.2	54.91
C	85	49	100	192	15.2	55.3	95	64	110	218	18.7	48.5
Operatör	3. Dinlenme periyodu		3. Çalışma periyodu				4. Dinlenme periyodu		4. Çalışma periyodu			
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (cal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
A	103	75	114	380	24.03	33.76	105	58	123	378	25.9	22.2
B	88	78	110	313	16.3	53.1	77	54	105	320	15.9	49.28
C	96	56	106	207	18.5	44.1	95	64	102	231	22.4	37.8
Operatör	Yemek zamanı		5. Çalışma periyodu				5. Dinlenme periyodu		6. Çalışma periyodu			
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
A	106	144	134	392	28.76	23.5	114	100	130	419	24.97	32.8
B	86	76	112	313	15.74	49.88	81	59	108	300	14.05	62.97
C	92	139	123	230	25.2	37.6	94	63	111	179	22.8	45.6
Operatör	6. Dinlenme periyodu											
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)										
A	91	109										
B	85	72										
C	92	57										

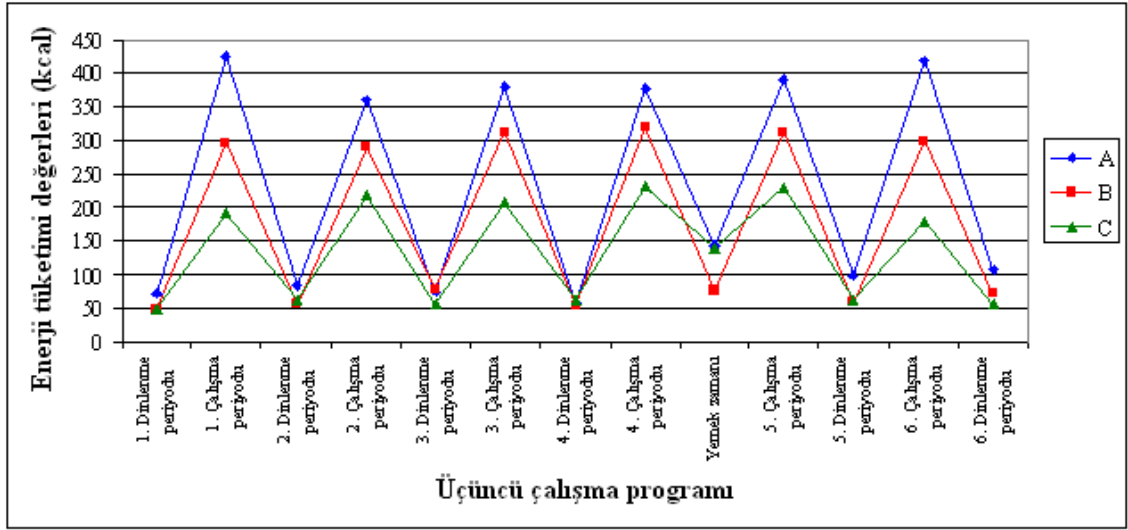
Çizelge 4.3’de verilen değerlerden yararlanılarak; Şekil 4.5’de üçüncü program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki kalp atım değerlerinin değişimi grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 4.5 Üçüncü programda operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarına göre kalp atım değerlerinin değişimi

Şekil 4.5’den anlaşılacağı gibi üçüncü çalışma programında ortalama kalp atım değerinin en yüksek A operatöründen ölçülen 5. çalışma periyodunun ortalaması olan 134 atım dk⁻¹ değeridir. Dinlenik kalp atım değerlerinin ortalamalarında ölçülen en yüksek kalp atım değeri A operatörüne ait olup 5. dinlenme periyodu ortalaması için 114 atım dk⁻¹ ölçülmüştür. Her üç operatörde de çalışmaya başlanılan günün ilk saatlerindeki ve yemek zamanının ardından çalışılan periyottaki kalp atım değerlerinin ortalamalarının diğer periyotlardaki kalp atım değerlerinin ortalamalarından daha yüksek değerlerde ölçüldüğü görülmektedir.

Çizelge 4.3’de verilen değerlerden yararlanarak Şekil 4.6’de üçüncü program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotları için enerji tüketimi değerlerinin değişimi, grafikleri elde edilmiştir.



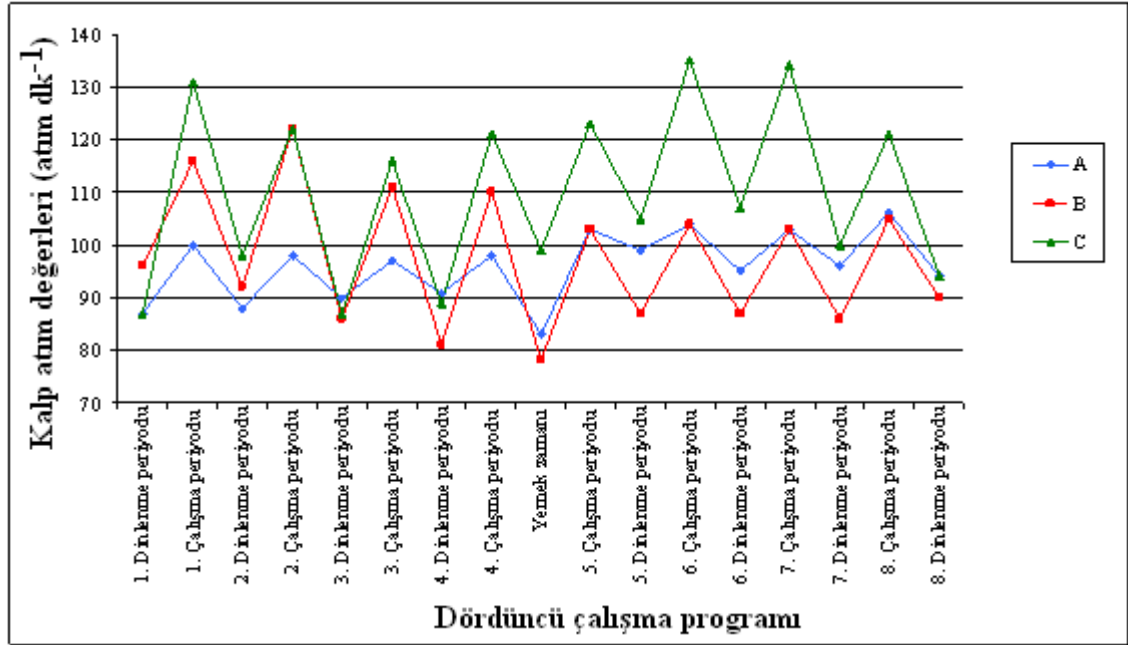
Şekil 4.6 Üçüncü program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki enerji tüketimi değerlerinin değişimi

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi üçüncü çalışma programında çalışma periyotları için ölçülen toplam enerji tüketim değerlerinden en yüksek A operatöründen 1. çalışma periyodunda ölçülen 426 kcal değeri, dinlenme periyotları için en yüksek enerji tüketimi değeri A operatöründen 6. dinlenme periyodunda ölçülen 109 kcal değeridir.

Çizelge 4.4 Dördüncü programa göre gerçekleştirilen çalışmada ölçülen değerler

Operatör	1. Dinlenme periyodu		1. Çalışma periyodu				2. Dinlenme periyodu		2. Çalışma periyodu			
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
A	87	78	100	328	12.7	63.7	88	49	98	288	13.65	57.4
B	96	54	116	204	10.9	64.42	92	47	122	236	14.3	55.2
C	87	43	131	233	13.5	57.3	98	38	122	209	16.2	50.4
Operatör	3. Dinlenme periyodu		3. Çalışma periyodu				4. Dinlenme periyodu		4. Çalışma periyodu			
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
A	90	68	97	295	15.7	50.3	91	58	98	280	17.95	47.77
B	86	57	111	247	15	45.6	81	37	110	238	18.3	41.2
C	87	42	116	202	17.3	48.9	89	37	121	227	18.2	40.3
Operatör	Yemek zamanı		5. Çalışma periyodu				5. Dinlenme periyodu		6. Çalışma periyodu			
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
A	83	117	103	242	21.3	37.9	99	57	104	280	20.7	40.7
B	78	127	103	236	21.6	30.7	87	52	104	243	21.9	29.6
C	99	117	123	203	21.7	32.4	105	37	135	214	22.3	34.3
Operatör	6. Dinlenme periyodu		7. Çalışma periyodu				7. Dinlenme periyodu		8. Çalışma periyodu			
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
A	95	42	103	265	23.5	33.1	96	59	106	282	23.5	36.6
B	87	54	103	236	23.8	25.1	86	56	105	217	20.8	29.1
C	107	42	134	210	23.6	27.4	100	34	121	198	23.9	33.1
Operatör	8. Dinlenme periyodu											
	Kalp Atım Değeri (atım dk ⁻¹)	Enerji Tüketimi (kcal)										
A	94	89										
B	90	59										
C	94	39										

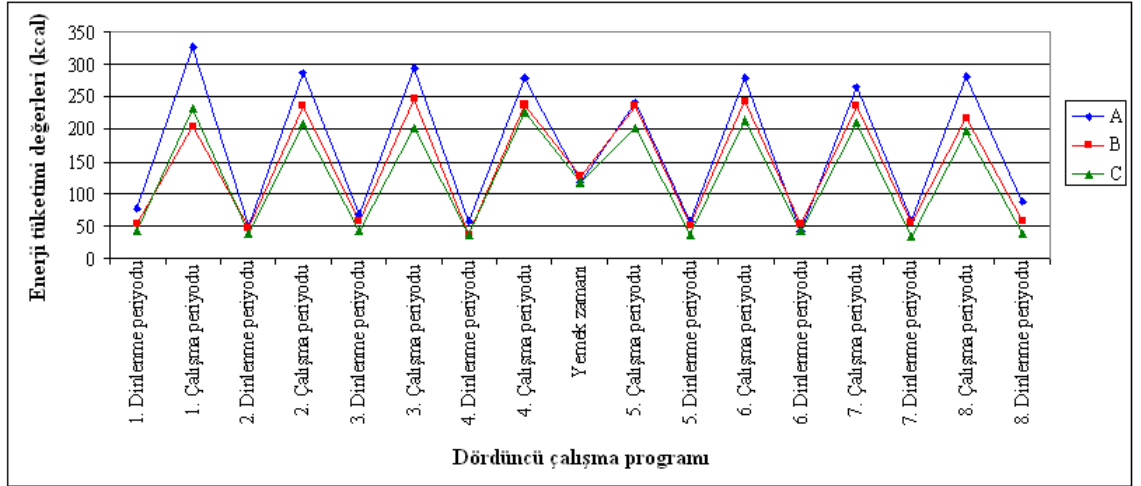
Çizelge 4.4’de verilen değerlerden yararlanılarak Şekil 4.7’de dördüncü program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki kalp atım değerlerinin değişimi grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 4.7 Dördüncü programda operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarına göre operatörlerin kalp atım değerlerinin değişimi

Şekil 4.13’den anlaşılacağı gibi dördüncü çalışma programı ortalama kalp atım değerinin en yükseği C operatöründen ölçülen 6. çalışma periyodunun ortalaması olan 135 atım dk⁻¹ değeridir. Dinlenik kalp atım değerlerinin ortalamalarında ölçülen en yüksek kalp atım değeri C operatörüne ait olup 6. dinlenme periyodu ortalaması için 107 atım dk⁻¹ ölçülmüştür. Her üç operatörde de çalışmaya başlanılan günün ilk saatlerindeki ve yemek zamanının ardından çalışılan periyottaki kalp atım değerlerinin diğer periyotlardaki kalp atım değerlerinin ortalamasından daha yüksek değerlerde ölçüldüğü görülmektedir.

Çizelge 4.4’de verilen değerlerden yararlanılarak elde edilmiş olan grafik Şekil 4.8’de dördüncü program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotları için enerji tüketimi değerlerinin değişimi grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 4.8 Dördüncü program için operatörlerin çalışma ve dinlenme periyotlarındaki enerji tüketimi değerlerinin değişimi

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi dördüncü çalışma programında çalışma periyotları için ölçülen toplam enerji tüketim değerlerinden en yüksek A operatöründen 1. çalışma periyodunda ölçülen 328 kcal değeridir. Dinlenme periyotları için en yüksek enerji tüketimi değeri A operatöründen 8. dinlenme periyotunda ölçülen 89 kcal değeridir. Her üç operatörde de yemek zamanının ardından öğleden önceki enerji tüketimi değerlerinin kalp atım değerleri ile aynı eğilimi göstererek yemekten sonraki çalışma periyotunda daha yüksek değerlerin ölçüldüğü görülmektedir.

Denemeler sırasında operatörlerden ölçülen ve çizelge 4.1-4.4’de verilmiş olan değerlerden yararlanarak elde edilen; operatör ve çalışma programına göre program içerisindeki çalışma periyotlarındaki ortalama kalp atım sayısı (atım dk^{-1}), program içerisindeki dinlenme periyotlarındaki ortalama kalp atım sayısı (atım dk^{-1}), program içerisinde dinlenmeden çalışmaya kalp atım sayısının artış değerlerinin ortalaması (atım dk^{-1}), çalışma programı boyunca ölçülen toplam enerji tüketimi değerleri (kcal), program boyunca dakikada tüketilen ortalama enerji değerleri (kcal dk^{-1}) Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Programlara göre operatörlerin fizyolojik tepkilerinin değişimi

Operatör	Program	Çalışma Periyotlarındaki Ortalama Kalp Atım Sayısı (atım dk ⁻¹)	Dinlenme Periyotlarındaki Ortalama Kalp Atım Sayısı (atım dk ⁻¹)	Ortalama Kalp Atım Sayısı Artışı (atım dk ⁻¹)	Toplam Enerji Tüketimi (kcal)	Dakikadaki Enerji Tüketimi (kcal dk ⁻¹)
A	1. program	127	103	27	2696	5.6
	2. program	108	90	19	3007	6.3
	3. program	120	101	17	2997	6.2
	4. program	101	91	9	2877	6.0
B	1. program	94	81	14	2164	4.5
	2. program	100	83	19	2256	4.7
	3. program	111	86	25	2280	4.8
	4. program	109	87	24	2400	5.0
C	1. program	116	91	23	1998	4.2
	2. program	104	84	22	1813	3.8
	3. program	109	93	16	1749	3.6
	4. program	125	96	31	2125	4.4

Çizelge 4.5’de, dinlenmeden çalışmaya kalp atım değerinin ortalama artışı ve o programda çalışılan 8 saat boyunca tüketilen toplam enerji miktarı dikkate alındığında; bu iki parametrenin en düşük değere sahip olduğu program, o operatörü en az yükleyen çalışma programı olarak belirlenmiştir. En düşük ortalama kalp atım değeri artışı ve toplam enerji tüketimi değerleri B operatörü için birinci programda, C operatörü için üçüncü programda elde edilmiştir. Yani her iki değer de aynı programa ilişkindir. A operatörü için en az kalp atım değerlerinin artışı olan çalışma programı (dördüncü program) ile en az enerji tüketilen programın (birinci program) farklı oluşu belirlenmiştir. Bu nedenle A operatörü için ikinci sırada en az enerji tüketim değerine sahip olan çalışma programı, aynı zamanda en düşük kalp atım değeri artışının ölçüldüğü program olan dördüncü program uygun bulunmuştur.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışma programlarına ve operatöre göre değişen, Çizelge 4.5'den de görüldüğü gibi çapa makinası ile çalışmada dakikadaki enerji tüketimi genel olarak 4 kcal değerinin üzerinde olduğundan; çapa makinası ile çalışma ağır iş sınıfına girmektedir (Sabancı 1999).

Birinci programın çalışma ve dinlenme periyotları için kalp atım değerleri göz önüne alınacak olursa;

- A operatörü için en düşük 983 atım dk^{-1} ; en yüksek 133 atım dk^{-1} ,
- B operatörü için en düşük 71 atım dk^{-1} ; en yüksek 97 atım dk^{-1} ,
- C operatörü için en düşük 80 atım dk^{-1} ; en yüksek 129 atım dk^{-1} ölçülmüştür.
- Her üç operatörde de yemek molasının ardından öğleden önceki kalp atım değerlerinin ortalamasına göre daha yüksek değerlerin ölçüldüğü görülmektedir.

Birinci programı enerji tüketimi değerleri açısından;

- A operatörü için en düşük değer 50 kcal; en yüksek değer 563 kcal
- B operatörü için en düşük değer 32 kcal; en yüksek değer 545 kcal
- C operatörü için en düşük değer 34 kcal; en yüksek değer 233 kcal ölçülmüştür.
- Her üç operatörde de yemek zamanının ardından öğleden önceki enerji tüketimi değerlerinin kalp atım değerleri ile aynı eğilimi göstererek yemekten sonraki çalışma periyotunda yüksek değerlerin ölçüldüğü görülmektedir.

İkinci programın çalışma ve dinlenme periyotları için kalp atım değerleri göz önüne alınacak olursa;

- A operatörü için en düşük 82 atım dk^{-1} ; en yüksek 110 atım dk^{-1} ,
- B operatörü için en düşük 78 atım dk^{-1} ; en yüksek 105 atım dk^{-1} ,
- C operatörü için en düşük 73 atım dk^{-1} ; en yüksek 118 atım dk^{-1} ölçülmüştür.
- Her üç operatörde de çalışmaya başlanılan günün ilk saatlerinde ve yemek zamanının ardından çalışılan periyottaki kalp atım değerleri diğer periyotlardaki kalp atım değerlerinin ortalamasına göre daha yüksek değerlerde ölçüldüğü görülmektedir.

İkinci programda enerji tüketimi değerleri açısından;

- A operatörü için en düşük değer 55 kcal; en yüksek değer 549 kcal
- B operatörü için en düşük değer 45 kcal; en yüksek değer 398 kcal
- C operatörü için en düşük değer 37 kcal; en yüksek değer 303 kcal ölçülmüştür.
- A ve B operatörlerinde enerji tüketimi değerlerinin kalp atım değerleri ile aynı eğilimi göstererek çalışmaya başlanılan günün ilk saatlerinde ve yemek molasının ardından diğer periyotlara göre ortalamalarının daha yüksek değerlerde ölçüldüğü görülmektedir.
- C operatöründe ise, kalp atım değerleri benzer eğilimde olmasına rağmen en yüksek enerji tüketimi değerini 3. çalışma periyotunda göstermiş; yemekten sonraki çalışma periyotlarında ise enerji tüketim değerlerinin öğleden öncekilerden daha düşük olduğu gözlenmektedir.

Üçüncü programın çalışma ve dinlenme periyotları için kalp atım değerleri göz önüne alınacak olursa;

- A operatörü için en düşük 87 atım dk^{-1} ; en yüksek 134 atım dk^{-1} ,
- B operatörü için en düşük 77 atım dk^{-1} ; en yüksek 121 atım dk^{-1} ,
- C operatörü için en düşük 85 atım dk^{-1} ; en yüksek 123 atım dk^{-1} ölçülmüştür.
- Her üç operatörde de çalışmaya başlanılan günün ilk saatlerindeki ve yemek molasının ardından çalışılan periyottaki kalp atım değerlerinin diğer periyotlardaki kalp atım değerlerinin ortalamasından daha yüksek değerlerde ölçüldüğü görülmektedir.

Üçüncü programda enerji tüketimi değerleri açısından;

- A operatörü için en düşük değer 58 kcal; en yüksek değer 426 kcal
- B operatörü için en düşük değer 50 kcal; en yüksek değer 320 kcal
- C operatörü için en düşük değer 49 kcal; en yüksek değer 231 kcal ölçülmüştür.

Dördüncü programın çalışma ve dinlenme periyotları için kalp atım değerleri göz önüne alınacak olursa;

- A operatörü için en düşük 83 atım dk^{-1} ; en yüksek 106 atım dk^{-1} ,
- B operatörü için en düşük 78 atım dk^{-1} ; en yüksek 122 atım dk^{-1} ,
- C operatörü için en düşük 87 atım dk^{-1} ; en yüksek 135 atım dk^{-1} ölçülmüştür.

- Kalp atım değerleri farklı operatörlerde farklı değerlerde olsa da her üç operatörde de çalışmaya başlanılan günün ilk saatlerindeki ve yemek zamanının ardından çalışılan periyottaki kalp atım değerlerinin diğer periyotlardaki kalp atım değerlerinin ortalamasından daha yüksek değerlerde ölçüldüğü görülmektedir.

Dördüncü programda enerji tüketimi değerleri açısından;

- A operatörü için en düşük değer 42 kcal; en yüksek değer 328 kcal
- B operatörü için en düşük değer 37 kcal; en yüksek değer 247 kcal
- C operatörü için en düşük değer 57 kcal; en yüksek değer 405 kcal ölçülmüştür.
- Enerji tüketimi değerleri farklı operatörlerde farklı değerlerde olsa da her üç operatörde de çalışmaya başlanılan günün ilk saatlerindeki ve yemek zamanının ardından çalışılan periyottaki kalp atım değerlerinin diğer periyotlardaki kalp atım değerlerinin ortalamasından daha yüksek değerlerde ölçüldüğü görülmektedir.

Denemeler sırasında uygulanan 4 farklı çalışma programı en az kalp atım değerlerinin artışı ve en az toplam enerji tüketimi açısından değerlendirildiğinde;

- A operatörü için 4. program
- B operatörü için 1. program
- C operatörü için 3. program uygun bulunmuştur.

Fakat pratikte işletmelerde çalışan farklı fiziksel kapasiteye sahip işçiler için farklı çalışma programları uygulamak mümkün olmamaktadır.

Tiwari ve Gite (2006) yılında yaptıkları çalışmada kalp atım değerleri ve konforsuzluk skalasını kullanarak 4 farklı çalışma programını karşılaştırmışlardır. Çalışma programına göre çalışma periyotlarında ölçülen kalp atım değerleri ve kalp atım değerlerinin dinlenme periyodundan çalışma periyoduna göre artışı istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Konforsuzluk skalası ile yapılan hissedilen rahatsızlık dereceleri genel ve vücudun bölümlerinden alınan değerler istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Operatörler için getirilen öneriler şu şekilde olmuştur;

- Yemek molası 30dakikadan fazla ve günün en sıcak saatlerinde verilmeli,
- 10 dakikalık dinlenme periyotları yetersiz kalmaktadır,
- Çalışma süresi 75 dakikayı aşmamalıdır.

Tewari ve Gite, bu bulguların yanı sıra çalışmalarında ölçülen kalp atım değerlerinin öğle yemeğinden önce hafif bir düşüş gösterdiğini, öğle yemeğinden sonra en yüksek değerine ulaştığını ve akşam saatlerine doğru düşüşe geçtiğini gözlemlemişlerdir.

Yapılan araştırmada kalp atım değerleri ve enerji tüketimi değerlerinin günün saatlerine göre benzer şekilde değişim göstermektedir. Bu değişimin sebebi;

- Çalışmaya başlanılan ilk saatlerde operatörün vücudunun çalışma ritmine henüz uyum sağlayamaması,
- İlerleyen saatlerde operatörün vücudunun yapılan işin ritmine uyum sağlamasıyla enerji tüketimi değerlerinin azalması,
- Öğleden sonra enerji tüketimi değerlerinin artması ile çalışmanın beraberinde getirdiği yorgunluğun etkisidir (Eminoğlu vd. 2009).

Yapılan çalışma sırasında dinlenme ve çalışma periyotları arasındaki kalp atım değerlerinin otalamasının farkı 35 atım dk^{-1} değerine ulaşmamıştır. Kalp atım değerlerinin bu farkı sürekli çalışmalar için kabul edilebilir bir değerdir (Tewari ve Gite, 2006). Yapılan çalışmada dinlenme ve çalışma periyotları arasındaki kalp atım değerlerinin otalamasının farkının, bu kritik değeri yalnızca C operatörü için 2. programda yemek zamanının ardından tamamladığı 4. çalışma periyodunda 37 atım dk^{-1} değeri ile aştığı gözlemlenmiştir. A ve B operatörünün çalışmaları hiçbir çalışma programı için bu kritik değeri aşmamıştır.

Çalışma periyodu sonrasında yenilenme süresinin kısa olması için zorlanma belirtileri hissedilmeden verilmelidir. Yüksek yoğunluklu işler için yenilenme aralığı sabah ve öğle çalışma periyotlarında 1 veya 2 adet 15 dakikalık mola dinlenmeler düzenlenmelidir (Sabancı 1999). Bu açıdan bakıldığında 4. programdaki 10 dakikalık dinlenme periyotlarının yetersiz olduğu anlaşılmaktadır.

Kalp atım değerlerinin artışına iş yükü yanında; çalışma ortamının sıcaklığının dengelenmesi için dolaşım sisteminin daha çok kan pompalamasının getirdiği ısı yükü, çalışma sırasında statik adale işi yapan kaslar varsa bu nedenle oluşan adale yükü de etkili olmaktadır. Bu amaçla daha iyi bir değerlendirme için kişinin çalışması sırasındaki toplam vücut yükünün sadece enerji tüketimi ölçümü ile belirlenmesi daha uygundur (Sabancı 1999). Diğer 3 programdan elde edilen değerler karşılaştırıldığında A ve B operatörü için en düşük enerji tüketimi değerleri 1. Çalışma programından C operatörü için ise 3. Çalışma programından elde edilmiştir. Bu iki çalışma programında da dinlenme periyotları 15'er dakikadır. İşletmelerde farklı performans kapasitesine sahip çalışanlara farklı çalışma programı uygulanamayacağı için yapılan denemelerden elde edilen sonuçlara göre 90 dakikalık 4 çalışma periyoduna, 15 dakikalık 4 dinlenme periyoduna ve 1 saatlik yemek periyoduna sahip olan 1. Çalışma programı çapa makinası ile toprak işleme işinde çalışan operatörlere uygun bulunmuştur.

İleride yapılacak benzer çalışmalarda operatör sayısının artırılması, farklı mevsimlerde tekrarlanarak toprak özellikleri ve iklimin etkisinin ortaya konulması ve kişilerin iş kapasitelerinin ortaya konularak değerlendirme parametrelerinin buna bağlı incelenmesi, başta tarımsal alanda insan performansı konusunda çalışanlar olmak üzere bu konuda bilgi edinmek isteyenler için faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Anonim. 2009a. Web adresi: www.akdagmedikal.com.tr Erişim Tarihi : 12.05.2009
- Anonim. 2010b. Web adresi: <http://80.251.40.59/sports.ankara.edu.tr/koz/Egz-fizI/EGZ.ENERJ.MAL.olc.pdf> Erişim tarihi: 05.06.2010
- Anonymous. 2009a. Web adresi: sprezzy.com/chuck/09-01-2006/wearlink.jpg Erişim Tarihi : 02.05.2009
- Anonymous. 2009b. Web adresi: edoc.hu-berlin.de/grosse_html_6852d2e0.jpg Erişim Tarihi : 20.03.2009
- Anonymous. 2009c. Web adresi: www.biomed.drexel.edu/images/emg_fig3.gif Erişim Tarihi : 12.05.2009
- Anonymous. 2009d. Web adresi: www.spirometers.com Erişim Tarihi : 20.03.2009
- Anonymous. 2009e. Web adresi: www.go2altitude.com/images/accessories/set5s.jpg Erişim Tarihi : 12.04.2009
- Anonymous. 2009f. Web adresi: www.viasyshealthcare.com Erişim Tarihi : 20.03.2009
- Anonymous. 2009g. Web adresi: www.cs.utexas.edu/2004icml/sensewear.jpg Erişim Tarihi : 12.05.2009
- Anonymous. 2009h. Web adresi: <http://support.polar.fi> Erişim Tarihi : 12.07.2009
- Babalık, F. C. 2005. Mühendisler İçin Ergonomi –İşbilim- Nobel Yayıncılık, 486s., Ankara.
- Boneh, E.K., Harari G. and Green M. S. 1997. Heart rate response to industrial work at different outdoor temperatures with or without temperature control system at the plant. *Ergonomics*, 1997, Vol. 40, No. 7, 729 - 736
- Gölbaşı, M. 2002. Tarım alet-makine ve traktörlerin kullanımından kaynaklanan iş kazaları nedenlerinin ve tahmini kaza maliyetleri indeksinin belirlenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Doktora Tezi., Ankara.
- Eminoğlu, M.B., Sönmez, N., Orel, O., Öztürk, R., Acar, A.İ., 2009. “Çapa makinesi ile meyve bahçelerinin çapalanmasında gün içinde enerji tüketim değerlerinin değişimi”, 15. Ulusal Ergonomi Kongresi, 22 – 24 Ekim 2009, Konya.
- Eminoğlu, M.B., Beyaz, A., Orel, O., Öztürk, R. and Acar, A.İ. 2010. “Comparison of tractor-rotary tiller combination and power tiller in terms of energy expenditure of operators”, 17th World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR), 13-17 Haziran 2010, Québec Canada.

- Erkan, C. 1976. Milli Prodüktivite Yayınları: 211, Ekim 1976, Ankara, S: 10-25
- Haris, J. and Benedict, F. 1919. A biometric study of basal metabolism in man. Washington D.C. Carnegie Institute of Washington.
- Kadayıfçılar, S. 1973. Memleketimiz şartlarına uygun üniversal tip tek akslı traktör prototipi geliştirilmesi, TÜBİTAK Tarım Ormancılık Araştırma Grubu Ziraat Mekanizasyon Ünitesi Proje No:1, 101 s., Ankara
- Kang, D. , Woo, J.-H. and Shin, Y.C. 2007. Distribution and determinants of maximal physical work capacity of Korean male metal workers, *Ergonomics*, 50: 2137-2147
- Kaman, A. 2004. Sporda Yetenek Beceri ve Performans Testleri. Nobel Yayıncılık, 195 s., Ankara.
- Kut, T. 1976. İç anadoluda tahıl üreten tarım işletmelerinde insanın kuvvet kaynağı olarak iş başarısı. Doktora Tezi, A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları ABD, Ankara.
- Meyer, R. H. and Radwin R. G. 2007. Comparison of stoop versus prone postures for a simulated agricultural harvesting task. *Applied Ergonomics* 38 549–555
- Malavolti, M., Pietrobelli, A., Dugoni, M., Poli, M., Romagnoli, E., De Cristofaro, P. and Battistini, C. N. 2007. A new device for measuring resting energy expenditure (REE) in healthy subjects, *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 17: 338-343
- Müller, M. De L . and Coetsee, M. F. 2008. Physiological demands and working efficiency of sugarcane cutters in harvesting burnt and unburnt cane, *International Journal of Industrial Ergonomics* 38:314-320.
- Saral, A. ve Avcıoğlu, A. O. 2002. Motorlar ve Traktörler. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1529. 294s., Ankara.
- Sabancı, A. 1999. Ergonomi Baki Kitabevi, 592s., Adana.
- Scott, P.A. and Christie, C.J. 2004. An indirect method to assess the energy expenditure of manual labourers in situ. *South African Journal of Science* 100, November/December 2004: 694- 698.
- St-Onge, M., Mignault, D., Allison, D. B. and Rabasa-Lhoret, R. 2007, Evaluation of a portable device to measure daily energy expenditure in free living adults, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 85:742-749
- Tamer, K. 1995. Sporda Fiziksel Fizyolojik Performansın Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi, Türkerler Kitabevi, 153s., Ankara.

Tewari, V. K., Dewangan, K.N. and Karmakar, S. 2004. Operator's fatigue in field operation of hand tractors. *Biosystems Engineering*, 89 (1): 1-11.

Tiwari, S. and Gite, L.P. 2006. Evaluation of work-rest schedules during operation of a rotary power tiller. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36: 203-210

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Maksut Barış EMİNOĞLU

Doğum Yeri : ANKARA

Doğum Tarihi: 28.10.1982

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ankara Cumhuriyet Lisesi (2000)

Lisans : Anakara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları
Bölümü (2007)

Yüksek Lisans: Anakara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları
Anabilim Dalı (Eylül 2007-Ağustos 2010)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Teknika TEKNİK A.Ş. (2007-2009)

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü

Araştırma Görevlisi (2009-.....)

Yayımları (SCI ve diğer)

- **EMİNOĞLU, M.B.**, SÖNMEZ, N., OREL, O., ÖZTÜRK, R., ACAR, A.İ., 2009. “Çapa Makinesi İle Meyve Bahçelerinin Çapalanmasında Gün İçinde Enerji Tüketim Değerlerinin Değişimi”, 15. Ulusal Ergonomi Kongresi, 22 – 24 Ekim 2009, Konya.
- **EMİNOĞLU, M.B.**, OZGUVEN, M. M., BEYAZ, A., OZTURK, R., ACAR, A. I. 2009. Determining Postural Discomfort at Working with Power Tiller. Energy

Efficiency and Agricultural Engineering Fourth International Scientific Conference, Rouse/Bulgaria - (01-03.10.2009), P:31 - 35, ISSN 1311 - 9974

- OREL, O., GÖLBAŞI, M., **EMİNOĞLU, M.B.**, ACAR, A.İ., ÖZTÜRK, R., 2009. “Tarımda İş Sağlığı ve Güvenliği”, 15. Ulusal Ergonomi Kongresi, 22 – 24 Ekim 2009, Konya.
- **EMİNOĞLU, M.B.**, BEYAZ, A., OREL, O., ÖZTÜRK, R., ACAR, A.İ., 2010. “Comparison of Tractor-Rotary Tiller Combination and Power Tiller in Terms of Energy Expenditure of Operators”, 17th World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR),13-17 Haziran 2010, Québec Canada.
- BEYAZ, A., COLAK, A., **EMİNOĞLU, M. B.**, OZTURK, R., ACAR, A. I. 2010. Determination of Crop Quality with Different Types of Sugar Beet Harvesters. XVII th. World Congress of the International Comission of Agricultural and Biosystems Engineering, June 13-17, 2010, Québec, Canada.