ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ VE BÜTÜNLEŞİK BİR MODEL ÖNERİSİ

Muhammed Furkan KAHRAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2012
ANKARA

ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ VE BÜTÜNLEŞİK BİR MODEL ÖNERİSİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammed Furkan KAHRAMAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2012

ÖZET

Ergonomi temelde işi ve işyeri şartlarını çalışanlara uygun hale getirme bilimidir. Ergonomi bilimi ile ilgili ilk çalışmalardaki amaç, çalışan insandan daha fazla verim elde etmek olmuştur. Ancak, daha sonraları gücünün üzerinde çalışan insanın yorulduğu ve bunun sonucunda da iş kazaları ve meslek hastalıklarının ortaya çıktığı belirlenmiştir. Günümüzdeki ergonomi çalışmalarındaki amaç, işyerlerinde çalışma ortamını çalışan için en uygun hale getirmek ve bunun sonucunda iş kazalarını, meslek hastalıklarını azaltmak, üretimde kalite ve verimi yükseltmektir.

İşyerlerinde ergonomik prensiplere uygun olmayan düzenlerde çalışma sonucunda ortaya çıkan meslek hastalıklarının başında mesleki kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları gelmektedir. Bu rahatsızlıkların oluşumu ile ilgili olan faktörler ergonomik risk faktörleri olarak adlandırılmaktadır. İşyerlerinde, ergonomik risk değerlendirme çalışmalarını içeren etkin ergonomik programların yürütülmesi ile bu rahatsızlıkların oluşması önlenebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı; RULA, REBA ve SI gibi en çok kullanılan 3 adet ergonomik risk değerlendirme aracının, çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ile ağırlıklandırılması ve

bütünleşik bir model önerisinin geliştirilmesidir. Çalışmada ilk olarak alternatif ergonomik risk değerlendirme araçları araştırılmış, bu alternatifleri karşılaştırmak için kullanılacak farklı kriterler belirlenmiştir. Bu kriterlere bağlı olarak alternatif yöntemlere ilişkin belirlenen ağırlık değerleri normalleştirilmiş ve ortaya çıkan sonuç ile bütünleşik bir risk ölçüm modeli önerilmiştir.

Bilim Kodu : **906.1.039**
Anahtar Kelimeler : **Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri, Analitik Hiyerarşi Prosesi, Mesleki Kas ve İskelet Sistemi Rahatsızlıkları**
Sayfa Adedi : **88**
Tez Yöneticisi : **Doç. Dr. Metin DAĞDEVİREN**

PRIORITIZATION OF ERGONOMIC RISK ASSESSMENT TOOLS BY METHODS OF MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING AND AN INTEGRATED MODEL PROPOSAL
(M. Sc. Thesis)

Muhammed Furkan KAHRAMAN

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
December 2012

ABSTRACT

Basically, ergonomics is the science of fitting the work and workplace conditions to the employees. Aim of the initial studies of ergonomics was acquiring more efficiency from workers. However, it was understood in the latter studies that workers, who work over their limits, become exhausted. Thus, occupational related disorders and accidents emerge. The aim of today's ergonomics studies is making working conditions of the workplaces most suitable to the workers, avoiding the occupational disorders and accidents, and improving the quality and efficiency in the production.

Occupational musculoskeletal disorders are the most common among the disorders which emerge as a result of working at workplaces having unsuitable ergonomic conditions. Factors which are related with the formation of these disorders are named as ergonomic risk factors. These disorders can be avoided by carrying out effective ergonomic programs incorporating ergonomic risk evaluation studies.

The purpose of this study is; weighting of the most widely used 3 ergonomic risk assessment tools such as RULA, REBA, and SI by the analytic hierarchy process (AHP) that is one of the multi-criteria decision-making methods and

development a proposal of integrated model. At the beginning of the study, ergonomic risk assessment tools were investigated and different criteria were defined to compare these alternatives. Weighting values that defined related with alternative methods depending on these criteria were normalized and an integrated risk measurement model was proposed with the result.

Science Code : **906.1.039**
Key Words : **Ergonomic Risk Assessment Tools, Analytic Hierarchy Process, Occupational Musculoskeletal Disorders**
Page Number : **88**
Adviser : **Assoc. Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN**

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Doç. Dr. Metin DAĞDEVİREN`e, çalışmalarımı nihayete erdirmem için beni yüreklendiren Dr. Mesut Cemil İŞLER ile babam Dr. Mehmet KAHRAMAN`a, gerekli sabrı gösteren işyerimdeki sayın yöneticilerim ile tüm çalışma arkadaşlarıma ve manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan can yoldaşım Emine KAHRAMAN`a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT vi

TEŞEKKÜR viii

İÇİNDEKİLER ix

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xiii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xv

RESİMLERİN LİSTESİ xvi

SİMGELER VE KISALTMALAR xvii

1. GİRİŞ 1

2. ERGONOMİ VE ÇALIŞMA DURUŞLARI 3

2.1. Ergonominin Tanımı 3

2.2. İşyerinde Ergonomi Uygulamalarının Amaçları 4

2.3. İşyerinde Zayıf Ergonomik Düzenler ve Olası Ergonomik Rahatsızlıklar 5

2.4. Uygunsuz Çalışma Duruşlarından Kaynaklanan Ergonomik Risk Faktörleri 7

2.4.1. Tekrarlayan işler 7

2.4.2. Uygunsuz çalışma duruşları (postürleri) 7

2.4.3. Uygunsuz çalışma duruşları için ergonomik iyileştirmeler 11

2.4.4. Statik duruş gerektiren işler 13

Sayfa

2.4.5. Aşırı güç gerektiren işler 14

2.4.6. Sıkışma 14

2.5. Ergonomik Risk Faktörlerinin Kontrolü 15

2.6. Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri 16

2.6.1. Hızlı üst uzuv değerlendirmesi (RULA) 19

2.6.2. Hızlı tüm vücut değerlendirmesi (REBA) 22

2.6.3. Zorlanma indeksi (SI) 27

3. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER 30

3.1. Çok Ölçütlü Karar Verme 30

3.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi 31

3.2.1. Analitik 34

3.2.2. Hiyerarşi 34

3.2.3. Proses 37

3.3. AHP`de Ölçek Kullanımı 37

3.4. İkili Karşılaştırma Matrisi 40

3.4.1. İkili karşılaştırma matrisinin temel özellikleri 41

3.5. AHP`nin Teorik Temelleri 42

3.5.1. Aksiyomlar 42

3.5.2. Teoremler 42

3.6. Öncelik veya Ağırlık Vektörlerini Hesaplama Yöntemleri 43

Sayfa

3.7. AHP`de Fayda/Maliyet Analizi 45

3.8. Tutarlılık İndeksi ve Rasgele İndeks (Tİ ve Rİ) 45

3.9. Grup Kararları, Geometrik ve Aritmetik Ortalama 46

4. ÇALIŞMADA ÖNERİLEN MODEL 48

5. UYGULAMA 51

5.1. Kriter ve Alt Kriterlerin Tanımlanması 51

5.2. AHP Modeli 52

5.2.1. Problemin yapılandırılması 53

5.2.2. İkili karşılaştırma karar matrislerinin oluşturulması 54

5.2.3. İkili karşılaştırma karar matrislerinin değerlendirilmesi 56

5.3. Alternatiflerin Ağırlıklandırılması 59

5.4. Bütünleşik Risk Değerlendirme Modelinin Derecelendirmesi 64

5.5. Örnek Bir Vaka Üzerinde AHP Modelinin Uygulanması 65

5.5.1. Örnek vaka ile ilgili bilgiler 65

5.5.2. Örnek vakanın ergonomik risk değerlendirme yöntemleri ile değerlendirilmesi 69

5.5.3. Örnek vakanın bütünleşik risk modeli puanının hesaplanması 72

6. SONUÇ 75

KAYNAKLAR 77

EKLER 80

Sayfa

EK-1. Değerlendirmeyi yapacak ekipteki kişilere uygulanan anket 81

EK-2. RULA Değerlendirme Formu 85

EK-3. REBA Değerlendirme Formu 86

EK-4. SI Değerlendirme Formu 87

ÖZGEÇMİŞ 88

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Uygunsuz çalışma duruşlarına karşılık gelen rahatsızlık oluşması muhtemel bölgeler [8] 11

Çizelge 2.2. ERDY`lerin karşılaştırılması 18

Çizelge 3.1. AHP`de kullanılan temel ölçek ve tanımları 38

Çizelge 3.2. Rİ sayıları 46

Çizelge 5.1. Ana kriterlere ilişkin grup ikili karşılaştırma karar matrisi 54

Çizelge 5.2. "Etkinlik" kriterinin alt kriterlerine ilişkin grup ikili karşılaştırma karar matrisi 55

Çizelge 5.3. "Karmaşıklık" kriterinin alt kriterlerine ilişkin grup ikili karşılaştırma karar matrisi 55

Çizelge 5.4. "Maliyet" kriterinin alt kriterlerine ilişkin grup ikili karşılaştırma karar matrisi 56

Çizelge 5.5. Ana kriterlere ilişkin lokal ağırlıklar ve TO değerleri 56

Çizelge 5.6. Alt kriterlere ilişkin lokal ağırlıklar 57

Çizelge 5.7. Alt kriterler için global ağırlıklar 58

Çizelge 5.8. "Girdi verileri" alt kriterine göre alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi 59

Çizelge 5.9. "Çıktı verileri" alt kriterine göre alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi 60

Çizelge 5.10. "Anlaşılabilirlik" alt kriterine göre alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi 60

Çizelge 5.11. "Uygulanabilirlik" alt kriterine göre alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi 61

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.12. "Kullanılan malzeme" alt kriterine göre alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi 61

Çizelge 5.13. "Süre" alt kriterine göre alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi 62

Çizelge 5.14. Alt kriterler temelinde alternatiflerin yüzde önem ağırlıkları ve tutarlılık oranları 62

Çizelge 5.15. Ana kriterler temelinde alternatiflerin yüzde önem ağırlıkları ve tutarlılık oranları 63

Çizelge 5.16. Alternatiflerin ağırlıkları 63

Çizelge 5.17. ERDY`lerin risk puanlarının derecelendirilmesi ve değerlerin normalleştirilmesi 64

Çizelge 5.18. Bütünleşik risk modelinin derecelendirilmesi ve açıklamaları 65

Çizelge 5.19. Yapılan iş ile ilgili bilgiler 69

Çizelge 5.20. ERDY`lerin ağırlıkları ile örnek vaka üzerine uygulanan ERDY sonuçları 73

Çizelge 5.21. Bütünleşik risk değerlendirme modelinin (BRDM) hesaplamaları ve ortak risk puanı 73

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Doğal ve uygunsuz çalışma duruşlarına örnekler 10

Şekil 2.2. Doğal duruşun sağlanması için monitörün konum ve yüksekliğinin tasarımı 12

Şekil 2.3. Doğal duruşta çalışmanın sağlanması için tasarlanmış iş istasyonu 12

Şekil 2.4. Masa önünde yapılan işlerde, etkilerin en aza inmesi için uzanma gerektirecek vücut duruşu olmayacak şekilde masa tasarlanması 13

Şekil 2.5. Boyun ve bel bölgesindeki baskıların en aza inmesi için tezgah tasarımı. 13

Şekil 2.6. Ergonomik iyileştirme ile statik duruştaki etkilerin azaltılması 14

Şekil 2.7. Sıkışmayı engellemek için ergonomik iyileşme 15

Şekil 3.1. Analitik yaklaşımda modelleme aşaması 33

Şekil 3.2. Tam hiyerarşi modeli 35

Şekil 3.3. Tam olmayan hiyerarşi modeli 36

Şekil 4.1. Çalışmada takip edilen süreç 50

Şekil 5.1. ERDY`lerin karşılaştırılmasın AHP tam hiyerarşi yapısı 53

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 5.1. Palette yan yana sıralanmış mermer tablalar (bir parti) 66

Resim 5.2. Mermer tablanın paletten alınması 66

Resim 5.3. Mermer tablanın kavranarak yerden (palet yüksekliğinden) kaldırılması 67

Resim 5.4. Mermer tablanın makineye taşınması 67

Resim 5.5. Mermer tablanın makinenin bandına yerleştirilmesi 68

Resim 5.6. Çalışanın duruşu 70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
°C	Santrigat derece
cm	Santimetre
kg	Kilogram
sa	Saat

Kısaltmalar	**Açıklama**
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
BRDM	Bütünleşik Risk Değerlendirme Modeli
ERDY	Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemi
KKD	Kişisel Koruyucu Donanım
REBA	Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi
RULA	Hızlı Üst Uzuv Değerlendirmesi
Rİ	Rasgele İndeks
SI	Zorlanma İndeksi
Tİ	Tutarlılık İndeksi
TO	Tutarlılık Oranı

1. GİRİŞ

Günümüzün gelişen teknolojisi ile her alanda bir değişim gözlenmektedir. Söz konusu değişim, bu alanlarda çalışan insanların yeteneklerini bedensel ve zihinsel açıdan çeşitlendirmekte ve zorlamaktadır. Buna karşılık insanların bazı belirli yapısal (anatomik), boyutsal (antropometrik) ve psikolojik özellikleri vardır. İnsan iskelet ve kas sisteminin belirli bir hareket yeteneği ve gücü, kasların enerji yaratma şekli, çevreyi algılayabilme ve gerektiğinde ondan korunma özellikleri bulunmaktadır. Bu nedenle, işyerlerinde insandan yapması beklenenler ile insanın temel özellikleri arasında bir uyum olması gerekir. İşyerinde mevcut olan zayıf ergonomik düzen bu uyumun azalması yönünde etki eden faktörlerdendir.

Günümüzde giderek artan tüketici ihtiyaçları ve değişen dünya şartları bilhassa endüstri işletmelerinin çıktılarına olan talepleri daha da artırmaktadır. Bunun bir sonucu olarak bu işletmeler üretimin artırmasını temel hedef kabul etmişler ve işyeri ortamındaki zayıf ergonomik düzenleri önemsemez olmuşlardır. Zayıf ergonomik düzene sahip işyerlerinde çalışmalar, çalışanları çeşitli risklere maruz bıraktığından, endüstri işletmelerinde mesleki kas ve iskelet sistemi hastalıkları yaygın olarak rastlanan bir sağlık sorunu haline gelmiştir. Kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları iş verimliliğinde azalmaların, iş günü kayıplarının, yorulmaların ve sakatlanmaların temel sebeplerinin başında gelmektedir.

İşyerlerinde ergonomik tehlikeleri göz önünde bulundurarak kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarının ortaya çıkmasını önleyebilmenin en önemli yolu ise bu tehlikelerin belirlenmesini sağlayan ergonomik risk değerlendirmesi yapmaktan geçer. Ergonomik risk değerlendirmesi işletmelerde etkin bir şekilde yürütüldüğünde işverenler ve çalışanlar maruz kaldıkları tehlikeleri daha iyi görebilecekler ve bunların sonucunda ortaya çıkabilecek ergonomik risklerden haberdar olabileceklerdir.

Literatürde ergonomik riskleri değerlendirmek için pek çok yöntem önerilmektedir. Bu yöntemlerin pek çoğu farklı özelliklere sahip olmakla birlikte geneli, çalışırken

işçinin duruşunu değerlendirmek ya da yaptığı işin unsurlarını ele almak üzere tasarlanmışlardır. Yöntemler arasındaki bu farklılıklar, işletmelerde ergonomik riskleri değerlendirecek uzmanların işe uygun yöntemi seçmelerinde zorluk oluşturmaktadır. Dolayısıyla benzer yöntemlerin kısıtlarını göz önünde bulundurarak yöntemler arasında bir tercih yapabilmek neredeyse ayrı bir uzmanlık alanı gerektirmektedir.

REBA ve RULA yöntemleri kullanılarak; çalışma duruşları, uygulanan kuvvet ya da kaldırılan yük ve hareket ya da tekrarlama sıklığı gibi ergonomik risk faktörleri değerlendirilebilirken; SI yönteminde tüm bunların yanı sıra yapılan işin süresi ve kas iskelet sistemindeki toparlanma da dikkate alınabilmektedir. Bunun yanı sıra RULA, boyun ve bel gibi vücudun üst uzuvlarını değerlendirmeye alırken yine hızlı bir değerlendirme yöntemi olmasına rağmen REBA`da vücudun üst uzuvlarına ek olarak gövde, sırt, bacaklar ve dizler de uygulamaya dahil edilebilmektedir. SI yöntemi ise daha çok el ve bileklerin yoğun kullanıldığı çalışma duruşlarının değerlendirilmesinde tercih edilebilmektedir. Tüm bu bilgiler ışığında, her bir yöntemin girdileri yani değerlendirme sırasında kullanılan verilerin farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır.

Bu tez çalışmasının içeriğinde öncelikle ergonominin tanımı yapılmış, tarihsel gelişimi anlatılmış, ergonominin amaçlarına değinilerek kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarının oluşumunda etkili olan ergonomik risk faktörlerinden bahsedilmiştir. Bu faktörlerin belirlenmesi için kullanılabilecek risk değerlendirme yöntemleri incelenmiş, benzer ergonomik risk değerlendirme yöntemleri (ERDY) kendi arasında karşılaştırılmak üzere seçilmiştir. Ortaya konan bu yöntemlerin, tüm kısıtları göz önüne alınarak çok ölçütlü karar verme tekniklerinden olan analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ile ağırlıkları belirlenmiştir. Bunun için öncelikle AHP`de kullanılacak hiyerarşi yapısı ortaya konulmuş, birbirine alternatif ERDY`ler bu yapı içerisindeki kriterlere göre ağılıklandırılmış, örnek bir vaka üzerinde yapılan uygulama sonrasında bütünleşik bir risk değerlendirme modeli önerilmiştir.

2. ERGONOMİ VE ÇALIŞMA DURUŞLARI

2.1. Ergonominin Tanımı

Ergonomi, insan ile kullandığı donanım ve çalışma ortamı arasındaki ilişkileri bilimsel olarak inceleyerek uygulama alanına aktaran disiplinler arası bir bilim dalıdır. 'İnsan Mühendisliği' veya 'İşbilim' olarak da bilinen ergonomi, insan, makine ve işin birbirleriyle en iyi şekilde uyumlaştırılması amacıyla, insanın fizyolojik, biyolojik, anatomik ve diğer özelliklerini inceler, makine ve işin bu özelliklere uygun olarak tasarlanmasını sağlar. Ergonomi, insanın işinde daha verimli olabilmesi için aşağıdaki işlevleri yerine getirmelidir:

- Çalışanın işyerinde sağlık ve güvenlik içerisinde çalışmasını sağlamalıdır,
- İşin; insanın antropometrik ölçülerine, beden gücüne ve kişisel özelliklerine uygun olarak tasarlanmasını sağlamalıdır,
- Her türlü alet, makine, araç ve donanımın insan yetenekleriyle bağdaşık şekilde tasarlanmasını sağlamalıdır,
- Psiko-sosyal açıdan olumlu bir iş ortamının oluşturulması ve çalışma hayatının insancıllaştırılmasını sağlamalıdır.

Bahsedilen bu işlevlerin yerine getirilebilmesi için ergonomi, insanın fizyolojik ve biyolojik özelliklerini, enerji gereksinimini, enerjinin çalışma ile ilişkisini, beslenme ve bunun çalışma ile ilişkisini, yorulmayı, insan-makine sistemlerini ve çalışma koşullarını inceler; gürültü, ışık ve renk etüdü yapar; çalışma ve dinlenme sürelerinin belirlenmesine katkı sağlar [1].

Bir başka tanıma göre ergonomi (veya insan faktörleri mühendisliği) sistemdeki bireyler ve diğer elemanlar arasındaki ilişkileri göz önüne alan bir disiplindir ve insanların sağlığını, güvenliğini, sistemin performansını en uygun duruma getirmek için teorileri, prensipleri, tasarımdaki veri ve metotları uygulayan bir bilimdir [2].

2.2. İşyerinde Ergonomi Uygulamalarının Amaçları

İşyerlerinde gün geçtikçe rekabetin korunabilmesi için üretim oranının ve teknoloji ilerlemelerinin artması gerekmektedir. Bunun sonucu olarak bugünün işlerinde;

- Çok sık tekrarlanan ağır yük kaldırma, taşıma, itme veya çekme işleri herhangi bir ekipmandan yardım almadan yapılmaktadır,
- İşçinin aynı görevi uzun süre tekrarlaması gereken işler vardır,
- 8 saatten fazla çalışılan günler vardır,
- Hızlı çalışma gerektiren işler yapılmaktadır (hızlı montaj hattı gibi).

Yukarıda belirtilenlerin yanında –özellikle zayıf makine, alet ve uygun olmayan işyeri tasarımı gibi faktörlerin biraraya gelmesi– çalışanda yaralanmalarla sonuçlanacak baskılara yol açacaktır. İşyerlerinde işlerin ve ekipmanların ergonomi prensiplerine göre tasarlanmaması bu baskıların temel kaynağıdır.

Ergonomistler, endüstri mühendisleri, iş sağlığı ve güvenliği profesyonelleri ve diğer eğitimli uzmanlar, işyerlerinde ergonomi prensipleri uygulandığında işyerlerindeki mevcut baskıların azalacağını ve ciddi yaralanmaların engelleneceğini belirtmektedir.

Tüm bunların yanı sıra çalışanın zorlanmaya maruz kalmadan yapacağı bir iş ile zorlanmaya maruz kaldığı durumdaki işin kalitesi arasında belirgin farklılıklar oluşmaktadır [5].

Bu önbilgilerden sonra işyerlerinde ergonomi uygulamaları sonucunda oluşacak iyileşmeler şu şekilde özetlenebilir:

- İş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması,
- İşgücü kayıplarının önlenmesi,
- Yorulmanın ve iş stresinin azaltılması, motivasyonun artırılması,

- İş kazaları ve mesleki risklerin önlenmesi,
- Verimlilik ve kalitenin yükseltilmesi,
- İşçilerin işleri daha rahat yapmasını sağlayarak üretimin artırılması,
- Fiziksel güçten daha az güç gerektiren otomatikleşmiş süreçler ile daha az hata yaparak üretim kalitesinin artırılması,
- İşçilerin sağlık problemlerinin azaltılması ve böylece işgücü kayıplarının önlenmesi,
- Çalışanlar için ödenen sağlık ve işgücü değişimi masraflarının azaltılması [3].

2.3. İşyerinde Zayıf Ergonomik Düzenler ve Olası Ergonomik Rahatsızlıklar

Aşağıdaki rahatsızlıklar herkes tarafından bilinen tarihi mesleki kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarıdır (herhangi bir sıra gözetilmemiştir):

- Bayan hizmetlilerin dizlerindeki ağrılar,
- Bulaşık yıkayan kadınların başparmağındaki rahatsızlıklar,
- Yazarların el krampları,
- Veri işleyen personeldeki rahatsızlıklar,
- Çöp toplayanların omuzlarındaki rahatsızlıklar,
- Terzilerin bileklerindeki rahatsızlıklar,
- Montaj operatörlerinin omuz ve kollarındaki rahatsızlıklar.

Bu mesleki rahatsızlıklar günümüzde hala bulunmaktadır. Bu gibi rahatsızlıklar, mesleki kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları olarak çağrılan geniş incinme ve rahatsızlıklar kategorisinin bir bölümüdür. Kas iskelet sistemi rahatsızlıkları genellikle şiddetli travmalar tarafından oluşmazlar; ancak kaslar, tendonlar, bağlar, eklemler, kıkırdaklar gibi yumuşak dokularda ve sinir sisteminde tekrarlı incinmeler nedeniyle birikimli olarak yavaşça ortaya çıkarlar [4].

Endüstride en çok görülen mesleki kas iskelet sistemi rahatsızlıkları bel ve sırt ağrıları (Miyofasyal ağrı sendromu, kas kuvveti dengesizlikleri, ligamentteki stres

gibi özellikle lumbar bölgede karşılaşılan sorunlar), tendinitis, tenosinovitis, karpal tünel sendromu, gergin boyun sendromudur [5].

Mesleki kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları genel bir sağlık problemidir. Birçok işyeri, bireysel ve psikososyal risk faktörleri bu hastalıkların oluşumu ile ilgilidir [6].

Mesleki kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları, ofiste çalışanlardan endüstri işçilerine, atletlere ve hobi ile uğraşanlara kadar herkeste görülebilir. Mesleki kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları, iş metotları ve çevrenin neden olduğu ve kötüleştirdiği kas iskelet sistemi rahatsızlıklarıdır. Çalışanların fiziksel yeteneklerinin işin fiziksel gereklilikleri ile uyuşmadığı zamanlarda, diğer bir deyişle zayıf ergonomik düzene sahip işyeri ortamında yapılan işler sonucunda ortaya çıkarlar.

Bazı mesleki kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları:

- Kümülatif travma hastalıkları,
- Travma hastalıkları,
- Tekrarlayıcı zorlanma zedelenmeleri,
- Aşırı zorlanma zedelenmeleri,
- Aşırı kullanım sendromları ve benzeridir.

Kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları tendonlar, tendon kılıfları, ilişkili kaslar ve kemikler, el, bilek, dirsek, omuz, boyun, bel ve sırtı ilgilendiren hastalıklardır.

Mesleki kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarının diğer adları ise aşağıdaki gibidir [4]:

- Tekrarlı gerilme yada stres incinmesi (RSI),
- Tekrarlı hareket incinmesi (RMI),
- Birikimli travma bozuklukları (CTD),
- Aşırı kullanma sendromu,
- Faaliyetle ilgili ağrı sendromu.

Çeşitli mesleki kas iskelet sistemi rahatsızlıkları, risk faktörlerine aşırı, tekrarlı ve uzun süreli maruz kalma ile çalışanların bedenlerine kalıcı zarar vermektedir [4].

2.4. Uygunsuz Çalışma Duruşlarından Kaynaklanan Ergonomik Risk Faktörleri

Mesleki kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarıyla ilgisi olan ve rahatsızlık sürecini hızlandıran işten kaynaklı faktörler ergonomik risk faktörleri olarak nitelendirilmektedir. Bu faktörler dolaylı olarak veya doğrudan rahatsızlıkların oluşumunu etkilemektedir ve rahatsızlıkların fizyolojik süreci ile bağlantılıdır.

2.4.1. Tekrarlayan işler

İş sırasında aynı ya da benzer hareketlerin sık aralıklarla tekrarlanmasıdır. Tekrarlayan işlere örnek olarak şunlar verilebilir:

- 2 saatten daha fazla süre hiç ara vermeden dakikada 2`den daha fazla, el ile bir butona dokunmak;
- Gün içerisinde 1 saatten fazla hiç ara vermeden dakikada 10`dan fazla çekiç ile çakma işlemi yapmak;
- Klavye ile gün içerisinde 4 saatten fazla hiç ara vermeden veri girmek.

Sürekli tekrarlayan işlerde, kasların dinlenmesi için yeterli aralar verilmelidir; verilmediği durumlarda, kas ve iskelet sisteminde ağrılar ve rahatsızlıkların oluşması olasıdır [4].

2.4.2. Uygunsuz çalışma duruşları (postürleri)

Çalışma sırasında insan vücudu, yatay durumda, oturma, dik durma, diz çökme ve çömelme gibi farklı temel duruşları sergiler. Bunlar “vücut duruşları” diye literatürde

adlandırılmaktadır. Belirli bir vücut duruşu esnasında vücudun farklı kısımları, farklı durumlar alır. Örneğin diz çökme esnasında öne doğru belirli bir açı ile sırtın eğilmesi gözlemlenebilir. Normal durumda, bir insanın vücut duruşuna en az yük binmektedir. İş yerlerinde sık rastlanıldığı gibi; hareketli bir aletle iş yaparken vücut duruşu nedeniyle, vücudun kemik ve kas yapısı, işin gereğine göre değişik tipte yüklenmelere maruz kalır. Farklı iş yerlerinde bu durumlar çeşitlilik arz ederler. İşletmelerde, fabrikalarda, ergonomik kuralların hiç girmemiş olduğu ya da maksada uymayan çalışma araç ve materyallerinin uygun şekilde düzenlenmemiş olduğu yerlerde, insan vücudunun özelliklerine şiddetle aykırı düşen ya da bireysel çalışma tarzına uygun düşmeyen modası geçmiş çalışma metotları mevcuttur. Endüstride çalışanlar, görevlerini tam olarak yerine getirebilmek için tüm gün boyunca çalışmaktadırlar ve bu insanlar bazen aynı işte yıllarını, hatta hayatlarını geçirmektedirler. Bu nedenle, çalışma sırasında karşılaşılan duruşların uzun zaman zarfında işgörenin bünyesini ve kas yapısını etkilemesi kaçınılmazdır [7].

1970`li yıllarda yapılan bir çalışma sonucunda elverişsiz çalışma duruşları, karakteristik özellikleri ve etkileri araştırılmıştır. Buna göre vücudun yük altında olduğu 13 çalışma durumu belirlenmiştir. Bu çalışma durumları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır [7]:

1. Kollar sakin, sırt üstü yatay durumda
2. Normal oturma
3. Normal dik durma
4. Eğilmiş bir şekilde oturma
5. Eğilmiş bir şekilde dik oturma
6. Normal çömelme
7. Normal diz çökme
8. Kuvvetli bükülmüş bir şekilde dik durma
9. Eğilmiş bir şekilde diz çökme
10. Kollar başın üstünde düz oturma
11. Kollar düz olarak başın üstünde dik durma
12. Kollar başın üstünde çömelme

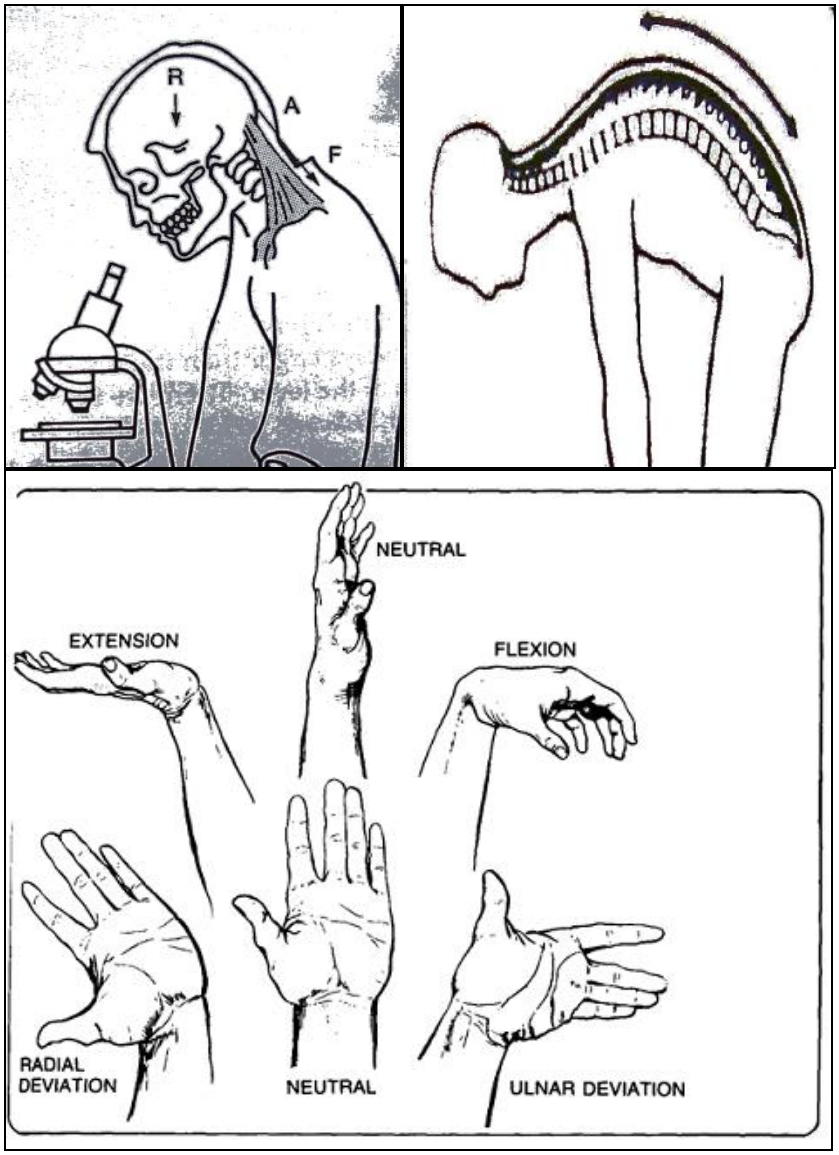
13. Kollar başın üstünde diz çökme

Uygunsuz çalışma duruşları diğer bir tanımla doğal duruşun dışındaki duruşlardır. Doğal duruş (nötral duruş) iş için en güvenli ve rahat duruştur. Doğal olmayan duruşlar, kas ve eklemlere baskı yaparak vücudun fiziksel limitlerini zorlar.

Uygunsuz çalışma duruşlarına örnek olarak;

- Gün içerisinde 2 saatten fazla sürekli eller ile omuz ve baş hizasının üzerinde çalışmak,
- Gün içerisinde 2 saatten fazla diz çökerek çalışmak,
- Gün içerisinde 2 saatten fazla beli bükerek veya eğerek çalışmak,
- Ayaklarına destek vermeden oturmak vb. verilebilir [4].

Doğal duruşlar ve uygunsuz çalışma duruşlarına örnekler Şekil 2.1`de gösterilmiştir. Çalışma sırasında olabilecek uygunsuz çalışma duruşları ve karşılık geldiği rahatsızlık oluşması muhtemel bölgeler ise Çizelge 2.1`de verilmiştir.



Şekil 2.1. Doğal ve uygunsuz çalışma duruşlarına örnekler

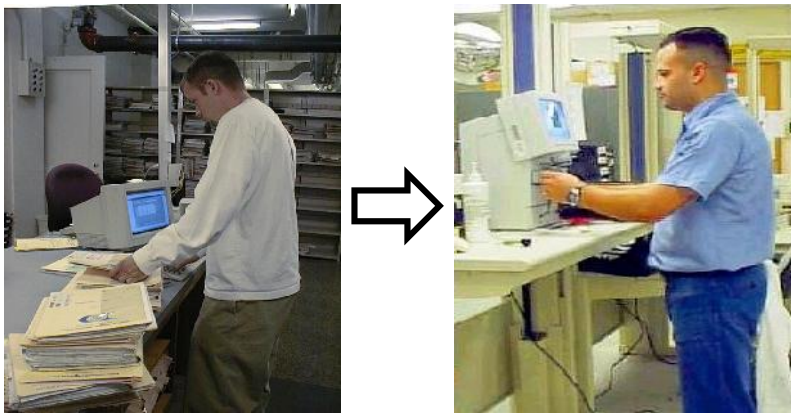
Çizelge 2.1. Uygunsuz çalışma duruşlarına karşılık gelen rahatsızlık oluşması muhtemel bölgeler [8]

Uygunsuz Çalışma Duruşları	**Sağlık problemi oluşması muhtemel bölgeler**
Ayakta durma (özellikle öne doğru eğilerek durma)	Ayaklar ve lumbar bölgesi
Lumbarın desteklenmediği durumda oturuş	Lumbar bölgesi
Sırtın desteksiz durumda olduğu oturuşlar	Bel kemiği kasları
Ayak konulacak ızgaraların uygun yükseklikte olmadığı oturuşlar	Diz, bacaklar ve lumber bölgesi
Çalışma yüzeyinin çok yüksek olduğu oturuşlar	Kürek kemiğinin üstünde yer alan kaslar
Üst kolun dikey yönde desteksiz ve asılı konumda olması	Omuzlar ve üst kol
Kolun yukarı doğru uzanması	Omuzlar ve üst kol
Başın geriye doğru eğik olduğu durumlar	Boyun omurları
Gövde öne doğru eğik kambur duruş	Bel omurları ve kasları
Sırt öne doğru eğik, ağırlık kaldırma söz konusu	Bel omurları ve kasları
Herhangi bir eklemin uzun süre zorlanması	Hareketle ilgili eklemler

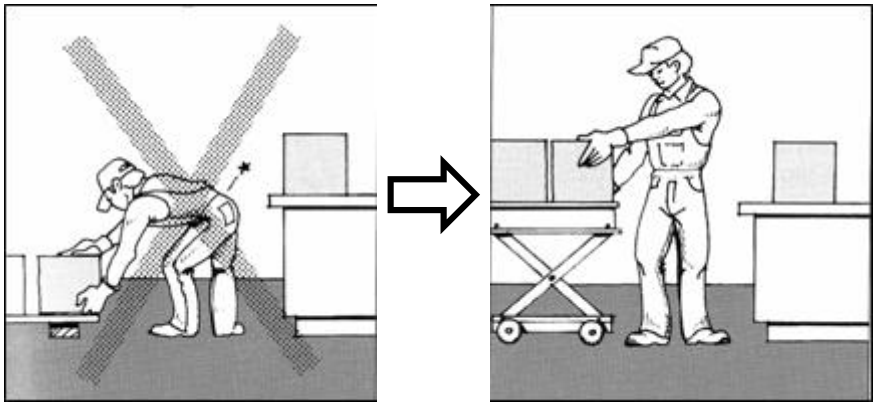
2.4.3. Uygunsuz çalışma duruşları için ergonomik iyileştirmeler

Çalışan işin yürütümünden dolayı uygunsuz bir duruşta çalışmak durumunda olabilir. Böyle bir durumda, işin ve işyeri düzeninin çalışanın doğal (nötral) duruşta işi yürütmesini sağlamak amacıyla çeşitli ergonomik tasarımlarla iyileştirilmeler yapılmalıdır. Hiç bir ergonomik iyileştirilmenin yapılamadığı işlerde; çalışanın uygunsuz bir duruşta işi yürütmesinden kaynaklanacak kas ve iskelet sistemine baskıların en aza indirilmesi için sık dinlenme araları verilmelidir.

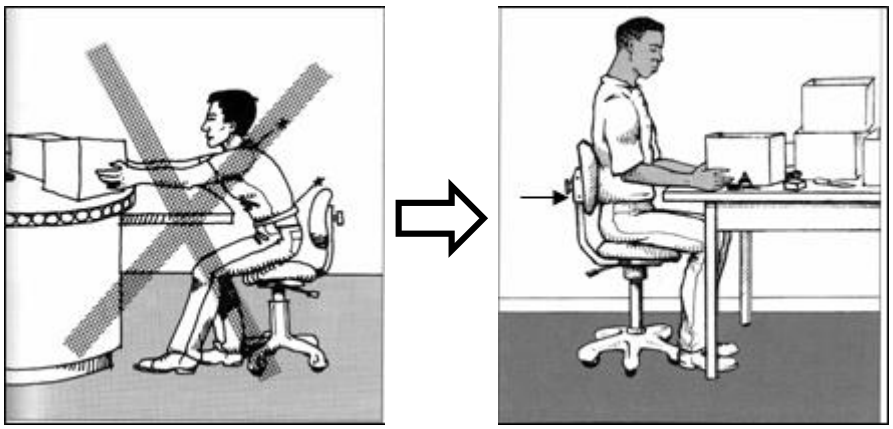
Çalışanların doğal duruşlarda çalışmasını sağlamak amacıyla yapılabilecek örnek ergonomik tasarımlar Şekil 2.2-Şekil 2.5`de gösterilmiştir.



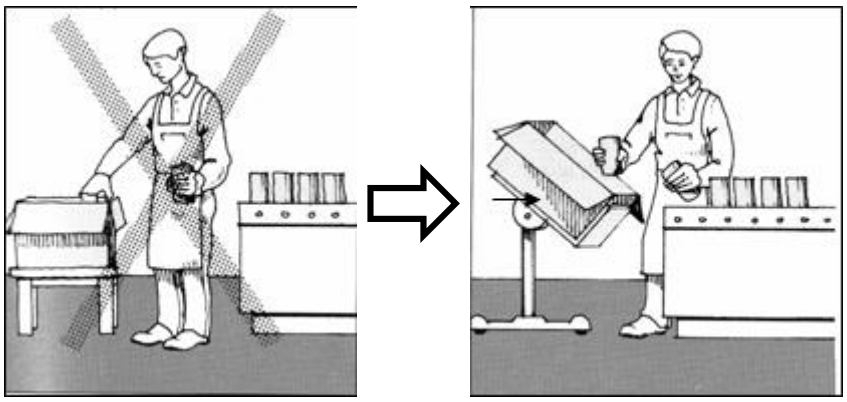
Şekil 2.2. Doğal duruşun sağlanması için monitörün konum ve yüksekliğinin tasarımı



Şekil 2.3. Doğal duruşta çalışmanın sağlanması için tasarlanmış iş istasyonu



Şekil 2.4. Masa önünde yapılan işlerde, etkilerin en aza inmesi için uzanma gerektirecek vücut duruşu olmayacak şekilde masa tasarlanması



Şekil 2.5. Boyun ve bel bölgesindeki baskıların en aza inmesi için tezgah tasarımı

2.4.4. Statik duruş gerektiren işler

İşçinin aynı pozisyonda uzun süre durarak çalışması gereken duruşlardır. Statik duruşlarda kan akışı sınırlanır, kaslarda yorgunluk ve zedelenmeler oluşur. Ergonomik iyileşmelerle statik duruşun etkileri sınırlandırılabilir [4]. Bu duruma bir örnek Şekil 2.6`da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Ergonomik iyileştirme ile statik duruştaki etkilerin azaltılması

2.4.5. Aşırı güç gerektiren işler

Güç, kasa uygulanan kuvvetin büyüklüğünü belirtir. Şunlar aşırı güce örnek olarak verilebilir [9];

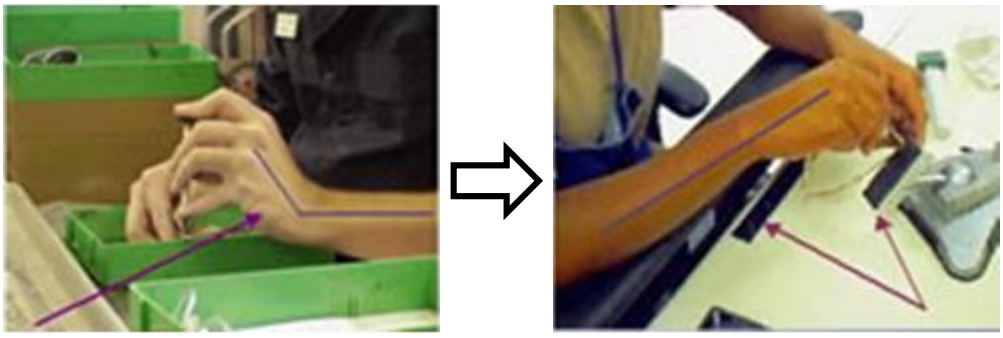
- Ağır bir yükü kaldırmak,
- Ağır bir yükü taşımak ve sürüklemek,
- Az bir kuvvet gerektirmesine rağmen bir kalemin üzerine bastırmak,
- Klavyede veri girerken tuşlara vururcasına klavyeyi kullanmak vb.

Aşırı kuvvet, kasların normalden daha fazla kasılmasına sebep olur. Kasların, eklemlerin üzerindeki yük artar ve zedelenmeler oluşur.

2.4.6. Sıkışma

Yumuşak dokunun, kemik ile sert veya keskin bir nesne arasında sıkışmasıdır. Kavramadan ya da el aletlerinin köşeleri ile temastan kaynaklanan sıkışma, kan akışını ve sinir iletimini azaltır, tendonlara ve tendon korumalarına zarar verebilir. Sıkışmalar, ergonomik iyileşmelerle önlenebilir.

Şekil 2.7`deki sıkışma durumunda önce; çalışan, kabın keskin kenarları üzerine bileklerini koymaktadır. Bilekler nötral olmayan pozisyona doğru uzanmaktadır. Ergonomik iyileştirme sonrasında; çalışan bileklerini dinlendirir ve ön kolu koruyucu destek üzerindedir. Bu şekilde bilek ve ön kol doğal pozisyondadır [4].



Şekil 2.7. Sıkışmayı engellemek için ergonomik iyileşme

2.5. Ergonomik Risk Faktörlerinin Kontrolü

İşverenler, iş ve iş istasyonlarını en uygun şekilde tasarlayarak, iş için en uygun araç ve ekipmanları seçerek, ergonomik rahatsızlıkları önleyebilir. İşverenler, işyerlerinde risk değerlendirmesi yapılması sonucu ortaya çıkacak bilgileri kullanabilir ve ergonomik risk faktörlerini kontrol etmek için aşağıda belirtilenleri kullanarak prosedürler oluşturabilir [3]:

- İş istasyonları, alet ve ekipmanlarının tasarımı veya yeniden tasarımı gibi uygun mühendislik kontrolleri,
- Uygun yük kaldırma teknikleri gibi iş pratikleri ve iş alanlarının temiz tutulması,
- Eğer gerekliyse çalışan rotasyonu, daha fazla iş çeşitliliği, artırılmış dinlenme araları gibi yönetimsel kontroller,
- Diz koruyucular, titreşim eldivenleri ve benzer cihazların olduğu kişisel koruyucu donanımlar (KKD).

Hiç bir yardımcı ekipman kullanılmadan yapılan yük taşıma işlerinde ise aşağıda belirtilen ergonomik prensiplerin uygulanması gereklidir:

- Taşınan yük ile vücut arasındaki mesafe mümkün olduğunca kısa olmalıdır,
- Taşıma mesafesi 3 metreden kısa tutulmalıdır,

- Taşıma sırasında vücut bükülmelerinden kaçınılmalıdır,
- Taşınacak yükün iyi bir şekilde tutulmasına dikkat edilmelidir.

İş yaparken kullanılan alet ve ekipmanların ergonomi prensiplerine göre tasarlanmış olması önemlidir. Bir çok alet ve ekipman belirli bir zaman için kullanıma uygundur, uzun süre tekrar tekrar kullanım için değildir. İşveren işyerine yeni bir el ekipmanı aldığında aşağıda belirtilen ergonomik özelliklere dikkat etmelidir [3]:

- Ekipmanlar ağırlıkça hafif olmalı ve tutma yerleri bileklerin dinlenmesi için uygun olmalıdır,
- Ekipmanlar her elin kolaylıkla kullanabilmesi için tasarlanmış olmalıdır. Bu şekilde her işçi rahatça kullanabilir,
- Ekipman keskin tutma yerlerine sahip olmamalıdır,
- Elektrikli aletler her zaman el ile kullanılan aletlere tercih edilmelidir. Böylece güç ve tekrarlama düzeyi azaltılır,
- Düşük titreşim ve gürültüye sahip ekipmanlar tercih edilmelidir. Eğer titreşim ve gürültü kaçınılmaz ise gerekli kişisel koruyucu donanımlar tedarik edilmelidir.

Ergonomik tehlikelerin azaltılması ve önlenmesi için alet ve ekipmanların düzenli periyodik bakımları oldukça önemli bir faktördür. Ekipmanlar her zaman temiz tutulmalı ve üreticinin talimatları doğrultusunda kullanılmalı ve bakımı yapılmalıdır. Düzenli periyodik bakım ayrıca gürültü ve titreşimin azaltılması için de önemlidir [3].

2.6. Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemleri

ERDY`ler, işyerindeki ergonomik risk faktörlerine maruziyetin sistematik bir şekilde kayıt edilerek bir veya birkaç gözlemciyle değerlendirilmesini sağlayan basit ya da gelişmiş yöntemlerdir. Basit yöntemlerde, basit bir gözlemle edilen veriler basit

hesaplamalarla analiz edilirken; gelişmiş yöntemlerde karmaşık faktörler birkaç gözlemciyle ya da görüntü kaydı ile analiz edilmek zorundadır [30].

Literatürde, ergonomistlerin ve uzmanların işyerindeki çalışanların duruşlarını incelemek için kullandığı pek çok ERDY bulunmaktadır. Bu yöntemlerle, çalışanların duruşları bilinen ergonomik risk faktörleri ışığında incelenerek çalışma duruşunun uygun olup olmadığı değerlendirilmektedir. Farklı ERDY`leri kullanarak farklı ergonomik risk faktörlerini değerlendirebilmek mümkün olduğu gibi benzer faktörler için geliştirilmiş farklı yöntemler de mevcuttur. Uygun ERDY`ler seçilirken çalışma duruşları, kaldırılan yükün ağırlığı, hareketi tekrarlama sıklığı, yapılan işin süresi gibi kriterler dikkate alınmalıdır. Ayrıca elde edilen sonuçların nicel ya da nitel olması, gerekli olan gözlemci sayısı, kullanılan malzeme gibi dolaylı etkileyecek unsurlar da ERDY seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu tez çalışmasında kullanılmak üzere, uzmanlar tarafından sıkça tercih edilen ERDY`ler arasından REBA, RULA ve SI yöntemleri seçilmiştir. Bu yöntemler seçilirken özellikle sonucunun nicel olmasına, kolay uygulanabilir olmasına ve uygulama ekibindekiler tarafından tanınır olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca REBA ve RULA yöntemleriyle çalışma duruşları, uygulanan kuvvet ya da kaldırılan yük ve hareket ya da tekrarlama sıklığı gibi ergonomik risk faktörleri değerlendirilebilmesi; SI yönteminde tüm bunların yanı sıra yapılan işin süresi ve kas iskelet sistemindeki toparlanmanın da dikkate alınabileceği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra RULA, boyun ve bel gibi vücudun üst uzuvlarını değerlendirmeye alırken yine hızlı bir değerlendirme yöntemi olmasına rağmen REBA`da vücudun üst uzuvlarına ek olarak gövde, sırt, bacaklar ve dizler de uygulamaya dahil edilebilmektedir. SI yöntemi ise daha çok el ve bileklerin yoğun kullanıldığı çalışma duruşlarının değerlendirilmesinde tercih edilebilmektedir.

Bu kısımda, tez çalışmasında kullanılan 3 farklı ERDY`nin her biri hakkında bilgi verilecektir. Daha detaylı bilgilendirme için her bir yöntemin detaylı olarak açıklandığı orijinal makalelere bakılabilir [10, 11, 12]. Çizelge 2.2`de de her yöntem birbiri ile karşılaştırılarak özet şeklinde aktarılmıştır.

Çizelge 2.2. ERDY`lerin karşılaştırılması

ERDY	Yazar(lar)	Kullanım Amacı	Değerlendirilen Vücut Uzvu	Değişkenler/Girdi	Veri/Çıktı	Kullanılan Malzeme
RULA Rapid Upper Limb Assessment (Hızlı Üst Uzuv Değerlendirmesi)	McAtamney ve Corlett, 1993	Bir işçinin üst uzuvlarındaki baskının hızlı analizini kolaylaştırmak için kullanılır.	◦ Üst uzuv/lar (boyun ve bel)	◦ Üst kolun pozisyonu (omuz duruşu) ◦ Alt kolun pozisyonu (dirseğin duruşu) ◦ El bileğinin pozisyonu ◦ El/önkol boşta mı (parmaklar yukarıda) yoksa avuç içi aşağı mı bakıyor ◦ Boynun pozisyonu ◦ Gövdenin pozisyonu ◦ Bacakların duruşu ◦ Kas kullanımı ◦ Kuvvet/yük kullanımı	Her analiz için toplam ya da nihai puan hesaplanır.	◦ Ağırlık ölçer, itme/çekme kuvvetölçeri ve/veya el kavrama/kıstırma kuvveti ölçüm aleti ◦ İletki ya da gönye (mecburi değil) ◦ Fotoğraf makinesi ya da kamera (mecburi değil) ◦ Kronometre (mecburi değil)
REBA Rapid Entire Body Assessment (Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi)	Hignett ve McAtamney, 2000	Tüm vücut aktiviteleri için hızlı postür analizini kolaylaştırmak için kullanılır (hem sabit hem hareketli).	◦ Bilekler ◦ Önkollar ◦ Dirsekler ◦ Omuzlar ◦ Boyun ◦ Gövde ◦ Sırt ◦ Bacaklar ◦ Dizler	◦ Boynun pozisyonu ◦ Gövdenin pozisyonu ◦ Bacakların duruşu ◦ Kuvvet/yük kullanımı ◦ Üst kolun pozisyonu (omuz duruşu) ◦ Alt kolun pozisyonu (dirseğin duruşu) ◦ El bileğinin pozisyonu ◦ Kavrama ◦ Kas kullanımı (Faaliyet Puanı)	Sonuç olarak işçiler için bir risk seviyesini temsil eden bir puan hesaplanır.	◦ Ağırlık ölçer, itme/çekme kuvvetölçeri ve/veya el kavrama/kıstırma kuvveti ölçüm aleti ◦ İletki ya da gönye (mecburi değil) ◦ Fotoğraf makinesi ya da kamera (mecburi değil) ◦ Kronometre (mecburi değil)
SI Strain Index (Zorlanma İndeksi)	Moore ve Garg, 1995	Belirli bir iş ile ilgili el, bilek, önkol veya dirsek rahatsızlığı oluşturabilecek risk seviyesini değerlendirmek için kullanılır.	◦ Eklemden uzak üst uzuv/lar	◦ Uygulanan kuvvetin şiddeti ◦ Kuvvet uygulama süresi ◦ Dakikadaki kuvvet uygulama sayısı ◦ El/bilek duruşu ◦ Çalışma hızı ◦ Günlük çalışma süresi	SI puanı hesaplanır.	◦ Kronometre

2.6.1. Hızlı üst uzuv değerlendirmesi (RULA)

Birleşik Krallıklar, Nottingham Üniversitesinden McAtamney ve Corlett tarafından tasarlanmış ve ilk defa 1993`te yayımlanmıştır [10].

RULA, bir işçinin üst uzuvlarındaki baskıları hızlı bir şekilde analiz etmeyi desteklemek için tasarlanmıştır. Vücudun üstündeki baskıların fazla, kalanındaki baskıların yani sırt, bel ve bacaklardaki yükün nispeten daha az olduğu işlerden kaynaklanan kas iskelet sistemi hastalığı risklerini nesnel bir şekilde ölçmeyi sağlar [10].

RULA, öncelikle üst uzuvları (el, el bileği, dirsek, omuz) değerlendirmekle beraber gövdenin duruşunun değerlendirilmesi ile az da olsa boynu ve beli de değerlendirir.

RULA, genellikle işçinin pek fazla hareket etmeden otururak yaptığı işler gibi öncelikle üst uzuvlarını kullandığı işleri değerlendirmek için kullanılabilir [10].

Hesaplama metodu aşağıdaki adımlarda gösterilmiştir [10]:

- Oturarak ya da ayakta işini yaparken işçinin öncelikli olarak üst uzuvlarını kullanıp kullanmadığı belirlenmelidir. Eğer kullanmıyorsa başka bir yöntem seçilmelidir.
- İş sürecindeki hangi duruşun/bölümün değerlendirilmesi gerektiğine karar verilmelidir. Bunun için öncelikle tüm iş süreci gözlenmeli ardından değerlendirilecek duruş seçilmelidir. Genellikle en uzun süren veya en kötü olduğu düşünülen duruş değerlendirilir.
- Vücudun sağ, sol ya da her iki tarafının da değerlendirilip değerlendirilmeyeceğine karar verilmelidir. RULA, sağ ve sol taraflar için ayrı ayrı tasarlanmıştır, çift taraflı değerlendirme için her iki taraf için de puan hesaplanmalıdır.
- Her iki taraf için puanlama şu şekilde yapılır:

- RULA değerlendirme formunda 1) El Bileğinin Duruşu (Tablo A), 2) Gövdenin Duruşu (Tablo B) ve 3) Boyun, Gövde ve Bacak (Tablo C) Puanlarını belirlemek için tablolar kullanılır.
- Üst kolu (omuzun duruşunu) gözleyin ve puanlayın. Omuzlar da yükseltilmişse, kol dışa doğru açılmışsa veya kol desteklenmiş ya da kişi bir yere dayanmışsa puanı arttırın.
- Alt kolu (dirseğin duruşunu) gözleyin ve puanlayın. Eğer her iki kol orta hat çaprazında veya vücudun dışına doğru hareket ediyorsa puanı arttırın.
- El bileğinin pozisyonunu gözleyin ve puanlayın. Dirsek kemiği çıkıntı yapmış veya yana doğru eğilmişse puanı arttırın.
- İşçinin çoğunlukla eli/ön kolu doğal (parmak yukarı) ya da avuç yukarı şeklinde çalışıp çalışmadığını kararlaştırın. "El bileğinin dönüşü"nü; doğalsa "neredeyse orta değer" olarak, avuç içi yukarı ya da aşağı bakıyorsa "dönme sınırının sonuna yaklaşmış" olarak puanlayın.
- Tablo A vasıtasıyla el bileği duruş puanını belirleyin.
- Kas kullanımı, üst uzvun duruşunun/duruşlarının çoğunlukla statik (tutuş>1 dakika) olması veya dakikada 4 ya da daha çok tekrarlanmasıyla puanlanır.
- Kuvvet/Yük puanını belirlemek için uygulanan ya da çaba gösterilen kuvvet veya yükün büyüklüğü göz önünde bulundurulmalıdır.
- Boynun duruşunu gözleyin ve puanlayın. Eğer boyun kendi ekseninde döndürülüyor ya da yana doğru eğiliyorsa puanı arttırın.
- Gövdenin pozisyonunu (bel omurgası/gövdenin duruşu) gözleyin ve puanlayın. Eğer gövde kendi ekseninde döndürülüyor ya da yana doğru eğiliyorsa puanı arttırın.
- Bacakları gözleyin ve puanlayın.
- Tablo B vasıtasıyla gövde duruş puanını belirleyin.
- Tablo A ve Tablo B sonuçlarını kullanarak Tablo C`den nihai RULA puanını bulun.

Yöntemde kullanılacak gerekli ekipman aşağıda belirtilmiştir:

- Ağırlık ölçer, itme/çekme kuvvetölçeri ve/veya el kavrama/kıstırma kuvveti ölçüm aleti kuvvet/yük büyüklüğünü ölçmek için tavsiye edilmektedir. Eğer gerekli ekipman sağlanamazsa işçiyi çalışırken gözlemek ve kuvvet/yük seviyelerini belirlemek için tahminde bulunmak uygun olabilir.
- Açıların ölçümü için iletki ya da gönye (veya bunlar tahmini olarak da bulunabilir).
- Gerekli olmasa da bir fotoğraf makinesi ya da kamera kullanışlı olabilir.
- Mecburi olmasa da bir kronometre de kullanılabilir.

RULA`da her analiz için bir "nihai" puan hesaplanır. RULA, nihai puana göre yapılabilecekleri gösteren bir derecelendirmeye sahiptir:

- 1 veya 2: uzun süre devam etmeyecek ya da tekrarlanmayacaksa duruş kabul edilebilir
- 3 veya 4: ileri araştırma, değişiklik gerekebilir
- 5 veya 6: yakın bir zamanda araştırma ve değişiklik gerekir
- 7: ivedi bir araştırma ve değişiklik gerekir

Yöntemin kısıtları şunlardır [10, 13]:

- Bir çalışma alanı içerisindeki önemli oranda hareket etmeyi gerektiren elle yük kaldırma işlerine uygulanamaz. Öngörülemeyen faklı ya da çeşitli işleri veya çalışma duruşlarını içeren işlere uygulanamaz.
- Yöntem, vücudun sağ ve sol taraflarını ayrı ayrı değerlendirmeye izin verir ve bu puanları birleştiren tüm vücut puanı diye bir sonuç yoktur. Bir andaki tek noktayı veya gözlemlenen işteki en kötü duruşu değerlendirmeye izin verir.
- İşin yürütümü süresince yapılan tüm faaliyetlerin toplam etkisi dikkate alınmaz.

- Eğer iş alışılmadık, kategorize edilmesi zor veya gözlenemez parçalara sahipse iş ile ilgili risk nihai puana yeterince yansıtılamaz.
- Yöntem, işin toplam süresini, toparlanma süresini veya titreşimi dikkate almaz.

RULA`ya ait orijinal makalede; her bir duruş, tekrarlama ve kuvvet bilgisinin nasıl toplanacağı hususu çok iyi belirlenmiş olmasına rağmen işçinin hangi perspektiften ya da açıdan gözlenmesi gerektiği veya birçok noktadan gözlenip gözlenemeyeceği net bir şekilde söylenmemiştir. RULA, kol, el bileği, boyun ve gövdenin puanlamasına dayandığını düşünürsek, gözlem açısı faklı duruşların değerlendirilmesi ve bazı işlerdeki (vücudun orta noktasından bir yandan diğer yana geçen uzuvların değerlendirilmesi) belirgin duruşların dikkate alınması için önem arzeder.

RULA`da, işin ve duruşun seçimi için işçinin "birkaç vardiya" boyunca gözlenmesi ve ardından bir vardiyadaki her duruşun değerlendirilmesi önerilmiştir. Bazı durumlarda, örneğin vardiya uzun veya duruş çeşitliyse düzenli aralıklarla bir değerlendirme yapmak daha uygun olacaktır [10].

2.6.2. Hızlı tüm vücut değerlendirmesi (REBA)

REBA, Hignett (Nottingham Şehir Hastanesi, Nottingham, Birleşik Krallıklar) ve McAtamney (COPE, İş Sağlığı ve Ergonomi Hizmetleri Ltd., Nottingham, Birleşik Krallıklar) adlı iki ergonomist tarafından tasarlanmıştır. REBA, 1995`te Avustralya Ergonomi Derneğinin Konferansında sunulmuş, 2000 yılında da yayımlanmıştır.

REBA, tüm vücut faaliyetlerinin (hem statik hem de değişken) hızlı bir duruş analizinin yapılmasına imkan veren bir yöntemdir. Sağlık ve hizmet gibi sektörlerde, yük kaldırma canlandırılırken fark edilen özellikle öngörülemeyen duruşların değerlendirilmesi için tasarlanmıştır. REBA, tasarım olarak RULA`ya benzer. İşten kaynaklanan kas iskelet sistemi hastalığı riskinin nesnel bir şekilde ölçülmesinin yanında daha az hareketsiz ve tüm vücudu içeren işlerin de değerlendirilmesini sağlar [11].

REBA, el bileklerinin, önkollar, dirsekler, omuzlar, boyun, gövde, sırt, bacaklar ve dizlerin değerlendirilmesine imkan sağlar.

REBA`da iş önce gözlenmeli ardından duruş/iş üzerindeki baskılar "puan"lanmalıdır. REBA`nın geliştiricileri iş analiz edilirken fotoğraf ve/veya video kullanılmasını tavsiye etmektedirler.

REBA`yı tamamlamak için vardiyanın hangi duruşu/bölümünün değerlendirilmesi gerektiğine karar verilmelidir. Bunun için tüm vardiya süresince duruşlar izlenmeli/gözlenmeli hatta bu işlem tüm vardiya sürsince birkaç defa tekrarlanmalıdır.

İşler seçilirken aşağıdakilere dikkat edilmelidir:

- En çok tekrarlanan duruşlar nelerdir?
- Hangi duruşlar daha çok zaman almaktadır (statik duruşlar)?
- Hangi duruşlar daha çok kas faaliyeti ya da yüksek kuvvet gerektirmektedir?
- Hangi duruşlar işçiyi daha çok rahatsız etmektedir?
- Aşırı (uygunsuz) veya değişken, özellikle kuvvet uygulandıysa, olarak tanımlanabilecek bir duruş var mıdır?
- Etkin kontrol önlemleri ile herhangi bir duruş iyileştirilebilir mi?

REBA tüm vücudun kullanıldığı işleri değerlendirmek için tasarlandığı için eğer üst uzuvların kullanımında belirgin bir faklılık varsa sağ ve sol taraf ayrı ayrı göz önünde bulundurulmalıdır. Eğer vücudun hem sağ hem de sol tarafları kişinin üzerinde ya da videoda gözlenebiliyorsa her iki taraf da ayrı ayrı puanlanmalı ve tavsiyeler/değişiklikler en fazla puana göre yapılmalıdır.

Puanlama süreci şöyledir:

- Boynun duruşunu gözleyin ve puanlayın.

    - Eğer boyun kendi ekseninde döndürülüyor ya da yana doğru eğiliyorsa puanı arttırın.
- Gövdenin pozisyonunu (bel omurgası/gövdenin duruşu) gözleyin ve puanlayın.
    - Eğer gövde kendi ekseninde döndürülüyor ya da yana doğru eğiliyorsa puanı arttırın.
- Bacakları gözleyin ve puanlayın.
    - Eğer dizler belli oranda bükülüyorsa puanı bükülmeye göre arttırın.
- Üst kolu (omuzun duruşunu) gözleyin ve puanlayın.
    - Omuzlar da yükseltilmişse, kol dışa doğru açılmışsa veya kol desteklenmiş ya da kişi bir yere dayanmışsa puanı arttırın.
- Alt kolu (dirseğin duruşunu) gözleyin ve puanlayın.
    - Eğer her iki kol orta hat çaprazında veya vücudun dışına doğru hareket ediyorsa puanı arttırın.
- Kuvvet/Yük puanını belirlemek için uygulanan ya da çaba gösterilen kuvvet veya yükün büyüklüğü göz önünde bulundurulmalıdır.
- Kas kullanımını puanlayın.
    - Eğer vücudun bir veya daha fazla parçası bir yükü 1 dakikadan daha çok aynı duruşta tutuyorsa
    - Eğer işin yürütümünde aynı faaliyetler dakikada 4`den fazla yapılıyorsa (yürüme değil)
    - Eğer işin faaliyetleri uzun aralıklarla tekrarlanan duruş değişikliklerine sahipse veya işin yapıldığı zemin değişkense
- İşçinin nesneyi tutarken ne kadar iyi kavradığını belirleyin ve bunu “kavrayış” puanında kullanın.
- Gövde, boyun ve bacak puanlarını kullanarak Tablo A`dan ilgili puanı bulun.
- Üst kol, alt kol ve el bileği puanlarını kullanarak Tablo B`dan ilgili puanı bulun.
- Tablo A`dan elde edilen puan ile Kuvvet/Yük puanını toplayarak Puan A`yı veTablo B`den elde edilen puan ile Kavrayış puanını toplayarak Puan B`yi elde edin.
- Puan C`yi elde etmek için Tablo C`yi kullanın.

- Puan C`ye kas kullanımı/faaliyet puanını ekleyerek Nihai REBA Puanını bulun.
- Eğer vücudun diğer tarafı için de gerekliyse adımları tekrarlayın.

Yöntemde kullanılacak gerekli ekipman aşağıda belirtilmiştir:

- Ağırlık ölçer, itme/çekme kuvvet ölçeri ve/veya el kavrama/kıstırma kuvveti ölçüm aleti kuvvet/yük büyüklüğünü ölçmek için tavsiye edilmektedir. Eğer gerekli ekipman sağlanamazsa işçiyi çalışırken gözlemek ve kuvvet/yük seviyelerini belirlemek için tahminde bulunmak uygun olabilir.
- Açıların ölçümü için iletki ya da gönye (veya bunlar tahmini olarak da bulunabilir).
- Gerekli olmasa da bir fotoğraf makinesi ya da kamera kullanışlı olabilir.
- Mecburi olmasa da bir kronometre de kullanılabilir.

REBA, işçinin maruz kaldığı riskin seviyesini temsil eden bir nihai puan belirler. REBA, vücudun hem sağ hem de sol tarafına ayrı ayrı uygulanmalıdır. REBA, nihai puana göre yapılabilecekleri gösteren bir derecelendirmeye sahiptir:

- 1: risk “gözardı” edilebilir ve herhangi bir önleme ihtiyaç yoktur (Tedbir Seviyesi=0)
- 2 veya 3: risk seviyesi “düşük”tür ve başka bir bilgi de varsa önlem alınması gerekebilir (Tedbir Seviyesi=1)
- 4 ila 7: risk seviyesi “orta”dır ve önlem alınması gereklidir (Tedbir Seviyesi=2)
- 8 ila 10: risk seviyesi “yüksek”tir ve ileri önlemlerin hızlıca alınması gereklidir (Tedbir Seviyesi=3)
- 11+: risk “çok yüksek”tir ve ileri önlemler “hemen” alınmalıdır (Tedbir Seviyesi=4)

Yöntemin kısıtları şunlardır [11]:

- REBA, öncelikli olarak elle taşıma işlerinin değerlendirilmesi için önerilmemiştir.
- Bununla beraber REBA, özellikle çalışma duruşlarına odaklanarak kuvvetleri ve faaliyeti değerlendirir.
- Yöntem, işin toplam süresini, toparlanma süresini veya titreşimi dikkate almaz.
- Çok çeşitli ve/veya değişken faaliyetleri içeren işleri değerlendirmek için uygun değildir. Yöntem, vücudun sağ ve sol taraflarını ayrı ayrı değerlendirmeye izin verir ve bu puanları birleştiren tüm vücut puanı diye bir sonuç yoktur. Bir andaki tek noktayı veya gözlemlenen işteki "en kötü" duruşu değerlendirmeye izin verir.
- İşin yürütümü süresince yapılan tüm faaliyetlerin toplam etkisi dikkate alınmaz.
- Eğer iş alışılmadık, kategorize edilmesi zor veya gözlenemez parçalara sahipse iş ile ilgili risk nihai puana yeterince yansıtılamaz.

REBA`nın yer aldığı orijinal makalede, işlerin ya da faaliyetlerin nasıl seçileceği açıkca belirtilmemiştir. Hem "en kötü" duruş hem de "en sık kullanılan" duruş ifadeleri belirtilmiş olmasına rağmen bunların nasıl seçileceği ve bunlardan hangisinin seçileceği söylenmemiştir. "En kötü" duruş ile sadece aralıklı olarak kısa süreli tutma sağlanırken "en sık kullanılan" duruş güvenli olarak tanımlanmayabilir. Bu seçilen duruşa bağlı olarak çok farklı puanların hesaplanmasına yol açabilir [14].

RULA`da olduğu gibi REBA`da da bakış açısı tanımlanmamıştır (bkz. ilgili bölüm).

Yeterli veriyi elde etmek için gereken belirlenmiş örnek alma periyodu/sıklığı, orijinal makalede belirtilmemiştir. Bununla beraber en kötü ya da en sık kullanılan duruşu analizinde hangi duruş olacağını tespit edebilmek için en azından bir tüm vardiya gözlenmelidir. Daha sonra analiz için kısa bir video veya duruşun bir fotoğrafı yeterli olacaktır. Fakat tekrarlamayı (dakikada 4 veya daha çok kez) içeren bir "faaliyet" puanı olduğu için faaliyeti değerlendirebilmek adına işin en azından bir dakika gözlenmesi gerekir.

RULA`da, işin ve duruşun seçimi için işçinin "birkaç vardiya" boyunca gözlenmesi ve ardından bir vardiyadaki her duruşun değerlendirilmesi önerilmiştir. Bazı durumlarda, örneğin vardiya uzun veya duruş çeşitliyse düzenli aralıklarla bir değerlendirme yapmak daha uygun olacaktır.

2.6.3. Zorlanma indeksi (SI)

1995`te Wisconsin Üniversitesinden Moore ve Garg tarafından.

SI, belirli bir iş ile ilgili el, el bileği, ön kol veya dirsek rahatsızlığı oluşturabilecek risk seviyesini tespit edebilmek için tasarlanmış bir risk değerlendirme yöntemidir. SI, işin hangi kısımlarının değiştirilmesi gerektiğini belirlemede yardımcı olur [12].

SI uygulanırken; tüm işle beraber, ilk olarak elin yoğun bir şekilde maruz kaldığı faktörler analiz edilmelidir. Her iş ve her el için altı değişkene bakılmalıdır: 1) uygulanan kuvvetin şiddeti, 2) kuvvet uygulama süresi, 3) kuvvet uygulama sayısı, 4) el/bilek duruşu, 5) çalışma hızı ve 6) günlük çalışma süresi.

- *Uygulanan kuvvetin şiddeti*, harcanan eforun hafif (0-2), kısmen zor (3), zor (4-5), çok zor (6-7) ve yüksek derecede zor (8-10) şeklinde puanlanmasıyla tahmin edilir.
    - İşçiden yaptığı işin eforunu Borg`un 10 üzerinden yukarıdaki şekilde sınıflandırılmış ölçeğine göre puanlaması istenir.
- *Kuvvet uygulama süresi*, gözlem süresi içerisindeki kuvvet uygulanan tüm süreleri (saniye) ölçüp toplam gözlem süresine (saniye) bölünmesi ve 100 ile çarpılması ile bulunur.
- *Kuvvet uygulama sayısı*, gözlem süresi içerisindeki uygulanan kuvvet sayısının toplam gözlem süresine (dakika) bölünmesi ile bulunur.
- *El/bilek duruşu*, yapılacak gözlem neticesine göre "çok iyi" ile "çok kötü" arasında değerlendirilir.

- *Çalışma hızı*, yapılacak gözlem neticesine göre "çok yavaş" ile "çok hızı" arasında değerlendirilir.
- *Çalışma süresi*, gün/vardiya süresince elin kullanıldığı faaliyetin toplam süresidir.
- Her değişkenin sonucu "puan" olarak ele alınır ve tüm bu puanlar toplanarak bir SI puanı elde edilir.

SI yönteminin uygulamasında bir kronometre kullanılması tavsiye edilmektedir.

5`ten büyük SI puanına sahip olan işler üst uzuvlarda kas iskelet sistemi hastalıklarına sebep olabilir. 3`ten daha küçük SI puanı genel olarak "güvenli" sayılır. 7`den daha büyük SI puanı "tehlikeli" olarak adlandırılır [12].

- SI<3: hemen her işçi için güvenli sayılır
- 3≤SI<5: güvenilmez, işi kas iskelet sistemi hastalıkları açısından gözlemleyin
- 5≤SI<7: yükseltilmiş risk seviyesi, kas iskelet sistemi hastalıkları raporları gözlemleyin ve kontrol önlemlerini uygulayın
- 7≤SI: yüksek seviyede riskli, kontrol önlemlerinin bir an önce uygulanması kesinlikle tavsiye edilir (tehlikeli iş)

Yöntemin kısıtları şunlardır:

- Bağlardaki gerilimi (yumuşak doku sıkışması), soğuk havaları veya üst uzuvlardaki titreşimi dikkate almamaktadır [12].
- Kasılmalar arasındaki toparlanma süresini dikkate almamaktadır.
- Sadece dirseklerden ellere üst uzuvlardaki kas iskelet sistemi hastalıklarını kapsamaktadır.
- SI puanının hesaplanması için gereken altı değişkenin üçünü gözlemcinin (katılımcı ile müşterek) tahmin etmesi istenilmektedir. Bunlar uygulanan kuvvetin şiddeti, el/bilek duruşu ve çalışma hızıdır [15].

SI puanının hesaplanması için gereken altı değişkenin her birinin nasıl elde edileceğinin yöntemi orijinal makalede açıkca belirtilmiştir [12]. Bu yöntemde belirtilmeyen en büyük eksiklik gözlemcinin (katılımcı ile müşterek) uygulanan kuvvetin şiddeti, el/bilek duruşu ve çalışma hızını nasıl tespit edeceğidir.

Gözlemin yapılacağı süre, "işin gereklerini temsil edecek verinin kabul edilebilir bir seviyede olması için gereken süre" şeklinde tanımlanmıştır [12]. "Dakikadaki kuvvet uygulama sayısı" değişkeninden de anlaşılacağı üzere en azından bir dakikalık periyotlar halinde gözlem yapılmalıdır. Ayrıca "günlük çalışma süresi" de dikkate alınarak gözlem, en azından bir tam vardiya süresince sürdürülmelidir.

3. ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

Çalışmanın bu bölümünde, tez kapsamında geliştirilen risk değerlendirme modelinde kullanılan, çok ölçütlü karar verme ve AHP`nin teorik temelleri hakkında genel bilgiler verilmiş; AHP`yi oluşturan önemli tanımlar, aksiyomlar, ölçme, tutarlılık oranları ve fayda/maliyet analizleri ile yöntemin matematiksel açıdan tanıtımı yapılmıştır.

3.1. Çok Ölçütlü Karar Verme

İnsanlar yaşamlarını sürdürebilmeleri ve gelecekte başarılı olabilmeleri için karar vermek zorundadırlar. Bunu yaparken bilimsel ölçütleri dikkate almaları daha iyi kararlar vermelerini sağlar.

Karar verme gereksinimi farklı durumlarda örneğin, hoşnutsuzluk, yeni bir sorunun varlığı ya da yeni bir durumdan daha çok fayda beklentisiyle ortaya çıkabilir. Bu tür durumlarda aşağıdaki adımlar izlenir:

1. Problem tanımlama veya bir karara gereksinim duyma
2. Analiz ve alternatif oluşturma
3. Alternatiflerden birini seçme
4. Kararın uygulanması
5. Karar sonuçlarının izlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi
6. Geri beslenmenin sağlanması

Karar verme problemi en genel anlamda; bir seçenek kümesinden en az bir amaç veya ölçüte göre en uygunun seçimi, şeklinde tanımlanabilir. Buna göre bir karar probleminin elemanlarını karar verici, alternatifler, kriterler, sonuçlar, çevre ve karar vericinin öncelikleri oluşturur. En basit halde bir karar problemi bir amaç veya ölçüte göre alternatifler arasından bir seçim yapma gibi düşünülebilir. Karar verme problemleri genel olarak üç şekilde karşımıza çıkabilir:

1. Belirlilik altında karar verme: Alternatifler bilinmekte, alternatiflerin oluşturduğu şartlar bilinmekte, sonuçlar da belirlidir.
2. Risk altında karar verme: Alternatifler ve ilgili şartlar bilinmemekte, fakat olasılıkları tahmin edilebilmektedir.
3. Belirsizlik altında karar verme: Alternatifler, alternatiflerin sayısı, ilgili şartlar ve olasılıklar bilinmemektedir.

Yöneticilerin verecekleri kararlarda ve karar verilecek alternatifler üzerinde bulunulan şartların önemli etkileri vardır. Değişen çevre- ve teknolojik etkenler sonucunda etkili kararların verilebilmesi, aynı anda birden fazla kriteri göz önünde bulundurmakla mümkün hale gelmiştir. Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen AHP tekniği birden fazla kriteri göz önünde bulunduran ve bu kriterleri ağırlıklandırarak en güvenilir ve objektif kararın verilmesini sağlayan çok ölçütlü karar verme tekniklerinden biridir.

3.2. Analitik Hiyerarşi Prosesi

İnsanlık tarihinde karar verme sürekli önemli görülmüştür. Bu kararlar bazen çok çok önemli bazen de sıradan olmuştur. Çok çok önemli kararlar kişilerin, kurumların veya sistemin varlığını ve verimini doğrudan etkilemektedir. Bu durum, karar verme problemi olarak tanımlanır. Genellikle, insanlar ileri sürülenin tersine, karar verme aşamasında var olan karar yöntemlerinden yararlanıp düşünce ve inançlarının doğruluğunu araştırmayı göz ardı etmişlerdir. İnsanlar kendi değer yargılarını ve ne istediklerini kesin olarak bildiklerini sanırlar. İnsanlar, başkalarının kendilerine ait bir dizi düşünceleri düzenleyip daha iyi karar vermelerine yardımcı olabileceklerini kolay kabullenmezler. Oysa yapılan araştırmalar, insanların kendi beyin kapasitelerinin karmaşık kararların sezgisel ve etkin bir şekilde sentezini yapmaya yeterli olmadığını ortaya koymaktadır [29].

Karar verme problemlerinde insan yargılarının kullanımı son zamanlarda dikkat çeken bir ölçüde artmıştır. Karar verme süreçlerinde insan yargılarının da kullanıldığı bir metot Thomas L. Saaty tarafından 1977 yılında geliştirilen ve literatüre

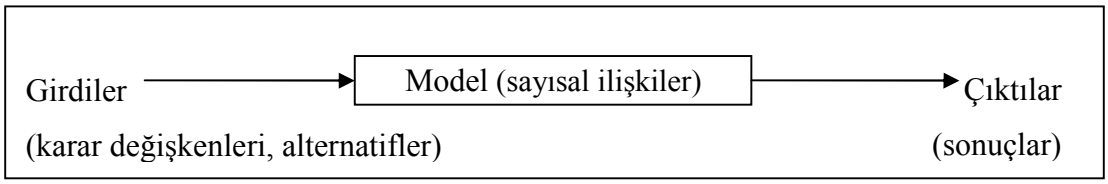
kazandırılan AHP`dir. Yöntemle karar vericilerin farklı psikolojik ve sosyolojik durumlardaki gözlemleri de dikkate alınarak kendi karar verme mekanizmalarını tanıma olanağı sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu yöntemle karar vericilerin daha etkin karar vermeleri amaçlanmıştır. Yöntem, oldukça büyük bir ilgi görmüş ve çok amaçlı karar verme problemlerinde kullanılmıştır. Ayrıca bu yöntem, çok amaçlı karar verme tekniklerinden biri olarak da bilinmektedir. Çok kriterli karar verme analizlerine benzer olarak bu metodda da alternatifler, farklı kriterler ve bir hedef kümesi vardır [16].

Karar verici konumundaki kişiler iki çeşit kararla karşı karşıyadır. Birisi sezgisel, diğeri ise analitik yaklaşımdır. Sezgisel kararlar herhangi bir veri veya doküman tarafından desteklenmezler ve bütünüyle keyfi olarak görülebilirler. Günümüzde özellikle küçük işletmelerde verilen kararların çoğu sezgisel kararlardır. Kişiler bu tip yerlerde tamamen kendi bilgi ve tecrübelerine göre kararları çok kısa bir sürede alırlar. Gerçekte karar verme alternatifler arasında karşılaştırmalı bir analiz neticesinde yapılmalıdır. Sezgisel kararlar, artık büyük şirketler, hükümetler ve benzeri yerler için yetersiz olmaktadır. Sezgiye dayanılarak alınan kararları herkesin kabul etmesi oldukça güçtür. Karar verici mantıksal olarak ilgili kişileri ikna edemez, daha çok kendi görüş ve düşünceleri ön plandadır. Böyle kararlarda grup katılımı söz konusu değildir. Gelişen teknoloji ve karmaşıklık sonucunda karar vermek artık tek bir kişinin sorumluluğundan çıkmış ve özellikle bilgiye ve tecrübeye dayanılarak verilen kararların sağlıklı olmadığı görülmektedir. Organizasyonların devamlılıklarını sürdürebilmeleri, uzun vadede aldıkları stratejik kararlarla önemli ölçüde ilişkilidir. Özellikle günümüzde büyük organizasyonlarda kararlar uzman bir grup tarafından uzun tartışmalar ve beyin fırtınaları sonucunda alınmaktadır [29].

Son yıllarda karar alma sürecinde önemli bir yaklaşım sergilenmektedir. Thomas L. Saaty tarafından literatüre kazandırılan bu yaklaşım, kararlarda tek bir kişinin değil konularında uzman kişilerin yargılarının da etkili olmasını sağlamaktadır. Kısaca karar verme aşamasında kişilerin uzmanlık alanlarına göre mesleki bilgi ve deneyimleri, bu yöntemde etkin olarak kullanılmaktadır.

Analitik karar verme ise, sorunların hiyerarşik bir biçimde anlamlı daha küçük alt bölümlere ayrıştırılarak, daha etkin çözümlenebileceği esasına dayanır [17]. Burada bir analitik yaklaşım, verilerin ortak paylaşımına öncülük eder. Kararlar stratejik bir kümeye dönüştürülür. Kriterler karar alma esnasında tüm seviyelerde tekrar tekrar gösterilir. Analitik yaklaşımda karar problemini üç aşamada ele almak mümkündür Bunlar modelleme aşaması, karar aşaması ve kararların uygulanmasıdır [16].

Modelleme aşaması: Yöneticiler, karar değişkenleri, alternatifler ve ilgilenilen çıktılar arasında bir ilişki arar. Bu ilişkiler için olabildiğince sayısal tanımlar oluşturulmaya çalışılır. Modelleme aşaması ve bir sonraki adım olan karar aşaması sonucunda değişik alternatifleri değerlendirmek için kullanılabilecek bir model oluşturulur. Böyle bir model şematik olarak Şekil 3.1`de gösterilmiştir. Karar değişkenlerine örnek olarak fiyat, üretim miktarı ve sabit maliyetler gösterilebilir. Sonuçlar ise kar ve satışlar olarak gösterilebilir.



Şekil 3.1. Analitik yaklaşımda modelleme aşaması

Karar aşaması: Bu aşamada, probleme ilişkin elde edilen veriler detaylı olarak analiz edilir.

Kararlara uygulanması: İkinci aşama sonucunda elde edilen kararların uygulanarak sonuçlarının gözlenmesinden oluşur. Belirli analiz sonucunda elde edilen kararlar ile gerçekteki uygulaması incelenir. İlgili uygulamada bir aksaklık varsa tekrar başa dönülerek probleme ilişkin değerlendirmeler tekrarlanır.

3.2.1. Analitik

AHP`de problem hiyerarşik olarak belirlendikten sonra hiyerarşiyi oluşturan elemanların nispi öncelikleri hesaplanır. Nispi öncelikler karar verme sürecinde matrislerle ifade edilen rakamsal ifadelere dönüştürülür. Bu aşamadan sonra problemin çözümü için matematik kullanılır. Bu şekilde kararı tanımlamaya çalışan metotlar analitiktir [18, 19].

3.2.2. Hiyerarşi

Hiyerarşi kelimesinin sözlük anlamı kademe, makam sırası, basamak, silsile ve derece olarak geçmektedir. Hiyerarşi, insan beyninin karmaşık durumları analiz ettiğini gösteren bir modeldir. Uygulamada hiyerarşiye dahil edilecek ölçüt ve öğeleri oluşturmak için belirli bir yöntem olmamasına karşın, konu ile ilgili tüm kaynakların gözden geçirilmesi veya konu ile ilgili kişiler ile beyin fırtınası yapılması önerilebilir [20].

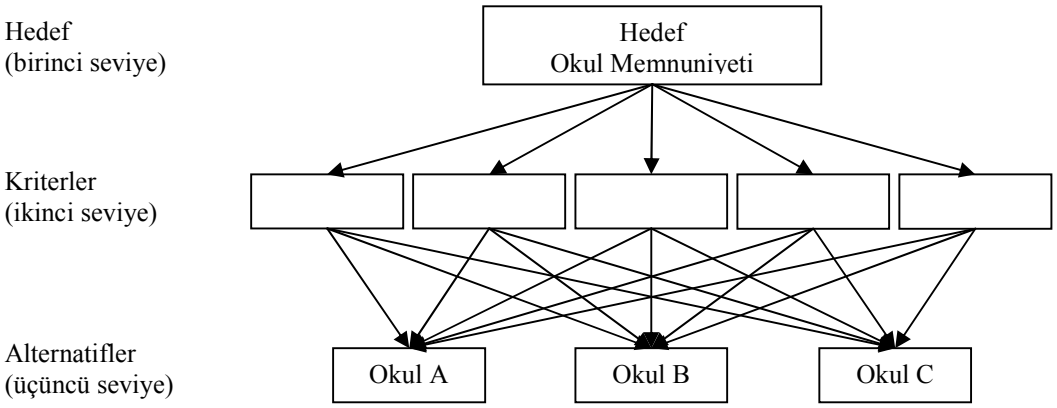
Hiyerarşi oluşturulurken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta öğeleri değil seviyeleri oluşturmaktır. Seviyeleri doğru sıralarla belirlemek önemli ölçüde öğelerin de doğru seçilmesine olanak sağlar. Hiyerarşi oluşturulurken aynı seviyedeki öğelerin birbirinden bağımsız oldukları varsayılır. AHP`de karar problemleri, mevcut durumun daha iyi anlaşılması için derecelendirilmektedir. Bunlar hedefler, kriterler ve alternatifler olarak sıralanmaktadır. Ancak bu ayrıştırmanın belirli bir düzeyi geçmemesi önerilmektedir [18]. Miller yasası olarak bilinen “kişi aynı anda yalnızca 7±2 konuyu karşılaştırabilir” iddiası da bunu desteklemektedir.

Problemler AHP`de bir dizi basamaklara bölünür. Karar verici basamaklar arası ilişkiden yararlanarak problemin çözümüne gider. Hiyerarşinin birinci seviyesi ile en alt seviyesi aralardaki seviyeler vasıtasıyla birbirleri ile ilişkilidir. Genelde birinci seviye hariç diğer seviyelerde daha çok eleman vardır. Her bir seviyede bulunan elemanların birbirleri ile bağımsız olması gerekmektedir. Seviyeler ise birbirleri ile

etkileşimlidir. Alt seviyedeki elemanlarla bir üst seviyedeki elemanlar birbirleri ile etkileşimlidir. Hiyerarşi tam ve tam olmayan şeklinde ikiye ayrılmaktadır.

Tam hiyerarşi modeli:

Bir alt düzeydeki elemanların üst düzeydeki tüm elemanları etkiledikleri hiyerarşilere tam hiyerarşi denir [18]. Tam hiyerarşiye ilişkin model Şekil 3.2`de verilmiştir.

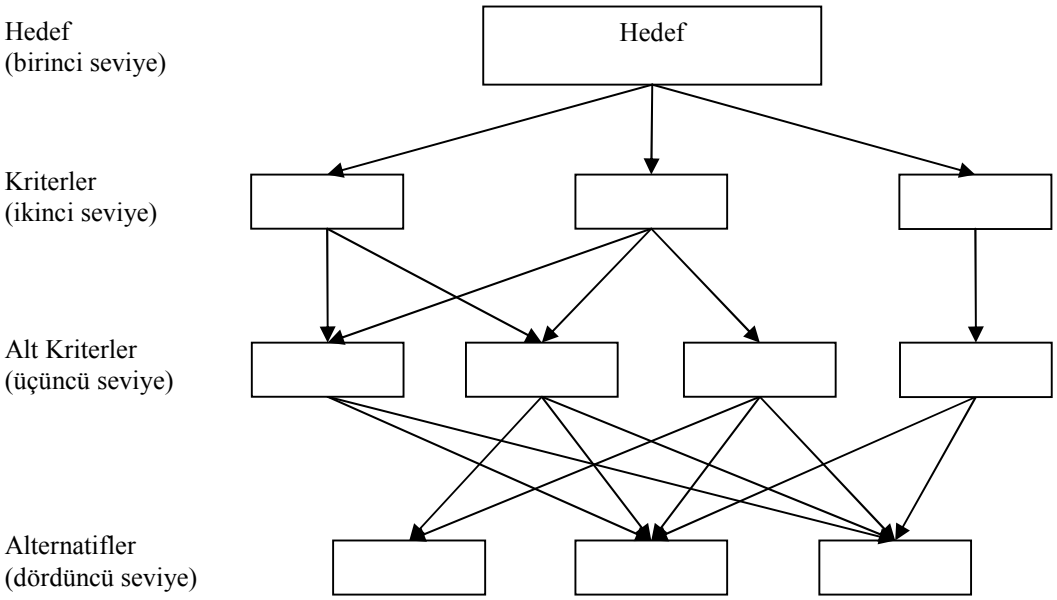


Şekil 3.2. Tam hiyerarşi modeli

Yukarıdaki hiyerarşi modelinde birinci seviye okuldan memnuniyeti yani hedefi oluşturmaktadır. İkinci seviye ise kriterleri oluşturmaktadır. Üçüncü seviyede ise seçenekler gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi alt alta bir etkileşim söz konusudur.

Tam olmayan hiyerarşi modeli:

Bir düzeydeki elemanların üst düzeydeki elemanların tümünü etkilemediği, yalnızca bir veya bir kaçını etkilediği hiyerarşik modeller, tam olmayan hiyerarşi olarak ifade edilmektedir [16].



Şekil 3.3. Tam olmayan hiyerarşi modeli

Şekil 3.3`de içi boş hiyerarşi modelinde hedef bir şirketin en iyi tedarikçiyi seçmesi iken, kriterlerden bir tanesi maliyet, alt kriterlerden bir tanesi birim maliyet olabilir. Seçenekler kısmında ise potansiyel tedarikçiler yer alabilir.

Hiyerarşinin avantajları şu şekilde sıralanabilir [18]:

1. Bir sistemin hiyerarşik gösterimi, üst düzeylerdeki önceliklerin değişiminin, alt sevilerdeki öğelerin öncelikleri üzerindeki etkisini açıklamada kullanılır.
2. Bir sistemin alt düzeylerindeki yapısı ve fonksiyonları hakkında detaylı bilgi verir ve üst düzeylerdeki elemanlar ve hedefler hakkında genel bir görüş sağlar.
3. Hiyerarşiler kararlı ve esnektir. Küçük değişikliklerin küçük etkileri olduğu için kararlı ve iyi yapılandırılmış bir hiyerarşiye yapılacak eklerin performansı etkilemeyecek olmasından dolayı esnektir.

3.2.3. Proses

Önemli bazı kararlar tek bir aşamada sonuçlandırılamaz. Kararlar belli aşamalardan geçerek verilebilir. Çok kriterli karar problemleri detaylı bir araştırma, öğrenme, tartışma ve kişinin önceliklerini gözden geçirme sürecini kapsar. Bu süreçlerin değerlendirilmesi belli bir zaman alabilir. AHP, bu sürece yardım etmek ve süreci kısaltmak için kullanılmaktadır [21].

3.3. AHP`de Ölçek Kullanımı

AHP uygulanması esnasında, ilgilenilen konuyla doğrudan doğruya ilgili kişilerle yüz yüze görüşerek bir anketle veya mülakatla onların seçenekler karşısındaki görüşleri alınır. Sonuçların tutarlı olması için bu kişilerin konularında uzman veya orta derecede bilgili olmaları tercih edilir. Kişilerin konuyu bilmeleri tercih edilir. Çünkü AHP`nin sonuçları tamamen bu kişilerin vereceği ikili karşılaştırma yargılarına bağlıdır. Bu yargılara bağlı olarak AHP`de bir üstünlük, yargı veya ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulur. Sözü edilen bu matris yargıların sayısal değerlere dönüştürülmesi ile oluşturulur [18].

Saaty ve arkadaşları skala değer olarak 1-9 ölçeğini geliştirmiş ve çalışmalarında da kullanmışlardır. 1-9 ölçeği en iyi sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Bunun dışındaki 1-5, 1-7, 1-15 ve 1-20 gibi ölçekler uygun çözümü elde etmede yetersiz kalmaktadır. Çizelge 3.1`de ölçek değerler ve anlamları açıklanmıştır [16, 18, 22].

Çizelge 3.1. AHP`de kullanılan temel ölçek ve tanımları

Önem Derecesi	**Tanım**	**Açıklama**
1	Eşit önemli	İki seçenek de eşit derecede öneme sahip
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı biraz üstün kılmakta
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı oldukça üstün kılmakta
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir kriter diğerine göre üstün sayılmıştır
9	Kesin önemli	Bir kriterin diğerinden üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenilirliğe sahiptir
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler

Eğer i kriteri j kriteri ile karşılaştırıldığında Çizelge 3.1`de bulunan değerlerden birini alıyorsa, j kriteri ile i kriterinin karşılaştırma değeri i ve j kriterlerinin aldığı değerin çarpmaya göre tersidir. Kısaca, $a_{ji}=1/a_{ij}$`dir.

Nitelik bakımından farklılıkları oluşturma zayıf, vasat, orta, iyi ve çok iyi gibi 5 simge ile iyi bir şekilde temsil edilebilir. Bu 5 ana gruba ilave olarak, birbirine yakın cevaplar arasında uzlaşma olan ara değerler de eklendiğinde toplam 9`a yükselmektedir. Bu rakam Çizelge 3.1`de verilen 1-9 ölçeği ile uyuşmaktadır [23].

AHP çözümlenirken Çizelge 3.1`de de görüldüğü gibi üst sınır olarak 9 ile sınırlandırılmıştır. Bunun çeşitli nedenleri vardır [18, 22].

1. Nitelik bakımından farklılıklar pratikte anlamlı olup, karşılaştırılan sayıların

aynı büyüklük sırasından gelmesi ya da karşılaştırmayı yapmak için kullanılan özellikler ile ilgili olarak birbirine yakın olması yapılan çalışmaya büyük bir doğruluk kazandırmaktadır.

2. Nitelik bakımından farklılıkları oluşturma 5 simge tarafından (zayıf, vasat, orta, iyi ve çok iyi) iyi bir şekilde temsil edilebilir. Daha fazla doğruluk gerektiğinde, birbirine yakın simgeler arasında uzlaşmalar sağlanabilir.
3. Rakamları değerlendirmek için çoğu kez kullanılan pratik bir yöntem, hislerimizi üç kategoride sınıflandırmaktır. Bunlar yüksek, orta ve düşük seviyeleridir. Daha detaylı bir sınıflandırma için ise bu kategorilerin her biri tekrar kendi içinde yüksek, orta ve düşük sınıflamasına tabi tutulur. Buradan da anlaşılır ki anlam farklılıklarını her zaman 9 değişik tür ifade etmektedir. Bu nedenle 9 rakamının üstüne çıkılmaması gerekmektedir.
4. Anında yapılan karşılaştırmalarda 7±2 maddenin psikolojik limiti şunu önerir: Eğer birinci sebepte verilen tarife uygun 7+2 madde ele alınırsa ve bunların hepsi birbirinden çok az farklı ise bu farklılıkların gösterilebilmesi için dokuz noktaya ihtiyaç vardır. Bir kişi aynı anda 7±2 durumu değerlendirebilir. Saaty`nin geliştirdiği bu metot n<10 kriter için özellikle de 7 kriter için en iyi sonuçları vermektedir.
5. Bir matrisin elemanları çok büyük sayılardan oluşuyorsa, bu durum daha büyük tutarsızlıklar meydana getirebilir.

l-∞ arası bir ikili karşılaştırma cetvelinin kullanılmasının hiçbir zaman kullanışlı olmayacağını göz ardı etmemek gerekir. Bu durum kişiler ikili karşılaştırma yaparken ayrım yapma yeteneklerinin sınırlanmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerle 1-9 ölçeği temel ölçek olarak seçilmiştir [18].

Göreceli ve mutlak ölçümler: İkili karşılaştırmalar yapılırken iki çeşit ölçek kullanılır. Bunların birincisi, iki kriteri karşılaştırırken kişiden kişiye göre değişen göreceli ölçek, diğeri ise kriterlerin metrik ölçümlerle elde edilmiş değerlerini ifade eden mutlak ölçümlerdir. Göreceli ölçekleri elde etmek için Çizelge 3.1 kullanılır. Mutlak ölçümlerde ise ikili karşılaştırma matrisleri doğrudan ölçümlerin kendisi ile oluşturulur.

3.4. İkili Karşılaştırma Matrisi

AHP karar almada, grup veya bireyin önceliklerini de dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren matematiksel bir metottur. Günümüzde küreselleşen dünya iç içe girmiş bir problemler seti içermektedir. Örneğin; dünya ekonomisi enerji ve diğer kaynaklara bağlıdır. Enerjiye ulaşmak ise coğrafi ve politik şartlara bağlıdır. Politikalar ise askeri güce bağlıdır. Askeri güç ise teknolojiye bağlıdır. Teknoloji ise düşünce ve kaynaklara bağlıdır. Fikirler politikalara, kaynaklar ekonomiye bağlıdır. Süreç böyle iç içe karşılıklı etkileşimlerle devam etmektedir. Sistemde oluşan olayların nedenlerini ve sonuçlarını birbirinden kolayca ayırt etmek mümkün değildir. Bu nedenle ikili karşılaştırmalar yapılırken birine önemli gelen bir kavramın veya durumun bir başkasına göre önemi daha az veya daha fazla olabilir. İkili karşılaştırmalar AHP`nin en önemli aşamasıdır. İkili karşılaştırmalar, temelde psikoloji bilimindeki ölçekleme tekniğine dayanır. İkili karşılaştırma tekniğinde fark etme kavramı ayırt etme süreci, kişinin algılaması, tanıması, ayırt etmesi ya da tepkide bulunması olarak tanımlanır [18].

İkili karşılaştırmaları elde etmek için göreceli veya mutlak ölçümler kullanılır. Bunlardan elde edilen bilgilere göre AHP`de yargılar bir matrise dönüştürülür. a_{ij}, i. özellik ile j. özelliğin ikili karşılaştırma değeri olarak gösterilecek olursa, genel olarak ikili karşılaştırma matrisi;

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & . & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & . & a_{2n} \\ . & . & . & . \\ a_{n1} & . & . & a_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & . & a_{1n} \\ 1/a_{12} & a_{22} & . & a_{2n} \\ . & . & . & . \\ 1/a_{1n} & . & . & a_{mn} \end{pmatrix} \tag{3.1}$$

olur, a_{ji} ise j. özellik ile i. özelliğin karşılaştırma değeridir. Bu değer a_{ij} değeri verilmişse; $a_{ji}=1/a_{ij}$ eşitliğinden elde edilir. Bu özelliğe karşılık olma özelliği denir. Yukarıdaki ikili karşılaştırma matrisinin çözümünden elde edilecek ağırlık veya özdeğer vektörü $W=(w_1, w_2, ..., w_n)$ ile gösterilir. w_i, ağırlık veya özdeğer olarak tanımlanır. Bu değerlerden W^* matrisi elde edilir.

$$W^* = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & . & . & w_1/w_n \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ w_n/w_1 & . & . & w_n/w_n \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Eğer sonuçlar tutarlı ise A ve W^* matrislerinin elemanları arasında çok büyük farkların olmaması gerekir.

3.4.1. İkili karşılaştırma matrisinin temel özellikleri

1. Temel ölçek olarak AHP`de 1-9 skalası kullanıldığı için A matrisinin öğeleri daima pozitif ve kare matris olacaktır. Yani ikili karşılaştırma matrisi pozitif değerlerden oluşmaktadır [16].

$a_{ij}>0 \quad i, j=l, 2, .:., n \quad (3.3)$

2. İkili karşılaştırma matrisi veya yargı matrisi eğer tam tutarlı ise aşağıdaki eşitliği sağlar [16].

$a_{ij} . a_{jk} = a_{ik} \quad i, j, k=l, 2, ..., n \quad (3.4)$

$a_{ij} . a_{jk} = (w_i/w_j) . (w_j/w_k) = w_i/w_k = a_{ik} \quad i, j, k=l, 2, ..., n \quad (3.5)$

Bu özelliğin yani tam tutarlılığın göreceli karşılaştırmalarda elde edilmesi oldukça zordur. Bu nedenle AHP`de ağırlıkların veya öncelik vektörünün hesaplanmasında bazı farklı yöntemler kullanılmaktadır. Eğer A matrisi tam tutarlı ise öncelik veya ağırlık vektörlerini elde etmek oldukça kolaylaşmaktadır [18].

1. Eğer A matrisi tam tutarlı ise herhangi bir satırından matrisin diğer tüm öğeleri kolaylıkla elde edilebilir [18].
2. Toplam olarak C(n, 2) kadar karşılaştırma yapılır. Örneği 7 alternatifli bir durum için karar verici 21 ayrı ikili karşılaştırma yapacaktır [18].

3. Bu matrisin en büyük özdeğerine karşılık gelen özvektör matrisi AHP`de ağırlık veya öncelik vektörü olarak adlandırılır [18].
4. A matrisinin köşegen değerleri 1`e eşittir [18].

3.5. AHP`nin Teorik Temelleri

Saaty tarafından literatüre kazandırılan bu yöntem bir dizi aksiyom ve teoremlerden oluşmaktadır.

3.5.1. Aksiyomlar

Aksiyom 1 (karşılık olma): Eğer bir a kriteri b kriterine göre x kez daha önemli ise, b kriteri de a`ya göre l/x kez daha önemlidir. $a_{ij}=x$ ise $a_{ji}=l/x$`dir.

Aksiyom 2 (homojenlik): İkili karşılaştırmalarda a ve b kriterleri için biri diğerine göre ∞ kez üstün kabul edilemez. Yani $a_{ij}\neq\infty$ ($\forall$ i ve j`ler için) dir. Kullanılan ölçek 1-9 aralığında olduğu için a_{ij} değerleri de 1/9, 1/8, ..., 1, ..., 7, 8, 9 aralığında bir değer alacaktır.

Aksiyom 3 (bağımsızlık): Kriterler kendi aralarında ve alternatiflerden bağımsızdır.

Aksiyom 4(beklenti): Bir karar problemi hiyerarşik yapıda sunulabilir.

3.5.2. Teoremler

Teorem 1: A matrisinin özdeğerleri λ i (i=l, 2, ..., n) olarak gösterilsin. Bu özdeğerler aşağıdaki eşitliği sağlarlar.

$$\sum_{j,k=l^n} \lambda_i \lambda_k = 0 \qquad j\neq k \text{ için} \tag{3.6}$$

Teorem 2: $A=(a_{ij})$, $a_{ij} = a_{ij}^{-1}$ olmak üzere pozitif değerli ve n×n boyutlu bir kare matris olsun. A $\lambda_{max}=n$ ise tam tutarlıdır.

Teorem 3: ikili karşılaştırma matrisi tam tutarlı ise matrisin çeşitli derecelerden gücünü hesaplamak oldukça kolaydır. n, aktivite sayısını ve k da istenilen kuvveti göstermek üzere; $A^k=n^{k-1}.A$ eşitliğinden elde edilir.

3.6. Öncelik veya Ağırlık Vektörlerini Hesaplama Yöntemleri

İkili karşılaştırma veya yargı matrisi oluşturulduktan sonra izleyen aşama öncelik veya ağırlık vektörlerinin hesaplanmasıdır. AHP metodolojisine göre karşılaştırma matrisinin özdeğer ve özvektörleri öncelik sırasını belirlemeye yardımcı olur. En büyük özdeğere karşılık gelen özvektör öncelikleri belirlemektedir. A matrisinin en büyük özdeğeri λ_{max} olarak ele alınırsa, W öncelik vektörü olmak üzere; $(A-\lambda_{max}I)W=0$, denklem sisteminin çözümü ile elde edilir. Ancak bu denklem sisteminin özdeğer ve özvektörlerini hesaplamak özellikle büyük boyutlu matrisler (n>5) için çok karmaşık ve zaman alıcıdır.

Uygulamalarda, yukarıdaki denklem sisteminin çözümü yerine yaklaşık çözümler öneren ve hesaplaması daha kolay olan yöntemler tercih edilir. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

A, karşılaştırma matrisinin her bir satırındaki elemanlar toplanır. Daha sonra her satırın toplamı genel toplama bölünerek normalleştirilir. Böylece oluşturulan vektördeki ilk eleman, ilk aktivitenin önceliğini, ikinci eleman ikinci aktivitenin önceliğini gösterir ve bu şekilde sırasıyla diğer elemanlarda aynı anlamı taşır.

Tam tutarlı bir karşılaştırma matrisi için Saaty, öncelikleri belirlemede herhangi bir j, (j=l, 2, ..., n) kolonun normalleştirilmesinin yeterli olacağını söylemektedir. Her sütundaki elemanlar toplanarak bu toplamların tersleri alınır. Daha sonra her ters rakam, bu ters rakamların toplamına bölünerek normalleştirilir.

Her satırda bulunan n eleman birbiriyle çarpılır ve n. dereceden kökü alınır. Daha sonra sonuçlar diğer metotlarda olduğu gibi normalleştirilir [24]. Bu yöntem n<3 için özdeğer ve özvektör yöntemi çözümü ile aynı sonuçları vermektedir.

Her bir kolon kendi içinde normalleştirilir ve daha sonra her bir satır üzerinden ortalamalar elde edilir [24].

A matrisinden seçeneklerin öncelik değerlerini elde etmek için yukarıda belirtildiği gibi bir çok yol vardır. Öz değer yaklaşımı kesin çözümü vermektedir. Ancak; özdeğer ve özvektörlerin çözümleri kolay olmamaktadır. Özellikle n değerinin boyutu çözümü güçleştirmektedir. Gerçekte n>5 için genelde açık cebirsel çözümler bulunamayabilir. Beş ve daha yüksek derecede polinomial denklemlerin çözümü gerekmektedir. Bundan dolayı özdeğer ve özvektörler yaklaşık olarak çözülmektedir. Saaty`ye göre özdeğer vektörlerinin çözümü, ikili karşılaştırma matrisinden önceliklerin en üstününü elde etmede iyi bir yaklaşımdır. Özdeğer vektörleri için çözüm aşağıdaki adımların yapılmasıyla elde edilir [22].

1. Adım: En iyi çözümü elde etmenin kısa yolu karşılaştırma matrisinin kuvvetlerini alarak büyütmektir. Bunun için her defasında matrisin karesi alınır.
2. Adım: Satır toplamları hesaplanır ve normalleştirilir. Bu vektör en iyi çözümü verme özelliğine sahiptir.
3. Adım: Ardışık adımdaki satır toplamları arasındaki fark çok küçükse hesaplama sonlandırılacaktır. Burada karşılaştırma matrisinin elemanları 4 haneli olarak yazılıp hesaplamalar yapılırsa birden fazla iterasyona gerek olmadığı görülür.

Yukarıda anlatılan yöntemler arasında çok farklılıklar yoktur. Tek fark hesaplama kolaylığı sağlamalarıdır.

3.7. AHP`de Fayda/Maliyet Analizi

Maliyetler, çoğu karmaşık kararlarda sürece ilk andan itibaren dahil edilebilecekleri halde, alternatiflerin AHP ile hesaplanan faydalarına kadar kapsam veya hesaplama dışı tutulabilirler. Başka bir ifadeyle maliyet ayrı bir yapı olarak değerlendirilebilir. Bir programın veya alternatifin faydası ne kadar yüksek olursa olsun eğer maliyet kısıtı buna izin vermiyorsa ilgili alternatif çözüm dışıdır. Yararla birlikte maliyetleri tartışma bazen doğrusal cevaplar ve gelecek için birçok politikayı beraberinde getirebilir [25]. AHP her bir alternatifin yararlarını belirlemek için bir yapı sağlar. Fayda / Maliyet oranı = Fayda / Maliyet eşitliğinden elde edilir [18, 26]. Eşitlikteki maliyetlerin normalleştirilmesi karşılaştırma için daha uygun olmaktadır. Fayda / maliyet analizi sonuçlarına göre AHP uygulamalarında fayda/maliyet oranı en yüksek olan alternatif tercih edilir.

3.8. Tutarlılık İndeksi ve Rasgele İndeks (Tİ ve Rİ)

Hesaplama işlemlerinin sonucunda elde edilen öncelik vektörlerinin tutarlılığının kontrolü yapılabilir. Karşılaştırma matrisinin tutarlılığını hesaplayabilmek için özvektör yöntemi büyük kolaylık sağlamaktadır. İkili karşılaştırma matrisinin a_{ij} girdilerindeki değişiklikler matrisin en büyük λ_{max} özdeğerinde de değişime neden olur. Bundan dolayı λ_{max}-n farklı bir tutarlılık ölçüsü vermektedir. Karşılaştırma matrisinin büyüklüğüyle (n) bu ölçümün normalleştirilmesi Tİ olarak tanımlanmıştır [27].

$$Tİ = \lambda_{max}\text{-}n/n\text{-}1 \qquad (3.7)$$

Saaty ve arkadaşları bir tutarlılık oranı (TO) hesaplayabilmek için bir Rİ serisi oluşturmuşlardır. Bu Rİ, 1-15 boyutlu matrislerin her bir boyutunda öğeleri 1/9, 1/8, ..., 1, ..., 8 ve 9 olan 100`er karşılıklı değerli matris rasgele olarak doldurularak Tİ değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra her bir boyut için bu Tİ`lerin ortalaması

alınarak Rİ`ler oluşturulmuştur. Ancak 11-15 boyutlu matrislerin ortalama Rİ`lerine düzensiz artışlar gerçekleşmiştir. Matris boyutu arttıkça Rİ`lerin de artmasının beklenen bir sonuç olması nedeniyle matris boyutu 11-15 olan matrisler için 500`er rasgele ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak hesaplamalar tekrar edilmiştir. TO ise eldeki Tİ`nin aynı boyuttaki matrise karşılık gelen Rİ`ye oranlanmasıdır [16].

$$TO = Tİ / Rİ \tag{3.8}$$

TO`nun %10`dan küçük olması önerilir. Çünkü teorik olarak oluşturulan 100 ve 500`erlik ikili karşılaştırma matrisleriyle elde edilen TO`lar %10 ve altında çıkmıştır. Bundan dolayı %10, TO için üst sınır olarak kabul edilmiştir [24]. Ama uygulamalarda bu oran için %20`ye varan tolerans kabul edilmektedir. Eğer TO %10`dan daha büyükse karar vericilerin TO`yu istenilen seviyeye düşürmek için yargılarını yeniden gözden geçirmeleri gerekmektedir; Bunun için duyarlılık analizi yapılarak sorun ortadan kaldırılmaya çalışılır. Çizelge 3.2`de n`ye göre rasgele tutarlılık indeksleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Rİ sayıları

n	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***
Rİ	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35
n	***8***	***9***	***10***	***11***	***12***	***13***	***14***
Rİ	1,40	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57

3.9. Grup Kararları, Geometrik ve Aritmetik Ortalama

AHP`de kararları bir kişinin değil de birden çok kişinin örneğin iki kişinin aldığı varsayılsın. Gerçekten de bir kişinin karar vermesi doğru bir yaklaşım değildir. Grup üyelerinin değerlendirmelerinden tek bir yargı nasıl elde edilecektir? Bir değerlendirme karşısında birinci kişi 4, ikinci kişi 3 hükümlerini vermiş olsun. Böylelikle karşı gelme değerleri olarak 1/4 ve 1/3 değerleri elde edilecektir. Bu değerlerden tek bir hüküm çıkarmak gerekmektedir. Çok az da olsa bazı

araştırmacılar bunun için ortalamayı kullanmaktadırlar. Gerçekte aritmetik ortalama kesinlikle tutarlı değildir. Bu işlem için geometrik ortalama tam tutarlıdır.

Yukarıdaki örnekte 4+3=7`dir. Toplamın karşılık değeri 1/7`dir, oysa karşılıkların birlikte toplamı 1/4+1/3=7/12`dir. 1/7≠7/12 eşitsizliğinden de açıkça görüldüğü gibi aritmetik ortalama grup yargılarını tek bir hüküm olarak birleştirmede uygun bir yaklaşım değildir [28].

Aynı örnek için $\sqrt{3\times 4}$=3,46 , $1/\sqrt{3\times 4}=\sqrt{1/3\times 1/4}$ = 1/3,46`dır. Örnekte de görüldüğü gibi geometrik ortalama grup yargılarını tek bir hükümde birleştirmede tek ve kesin çözüm yöntemidir [28].

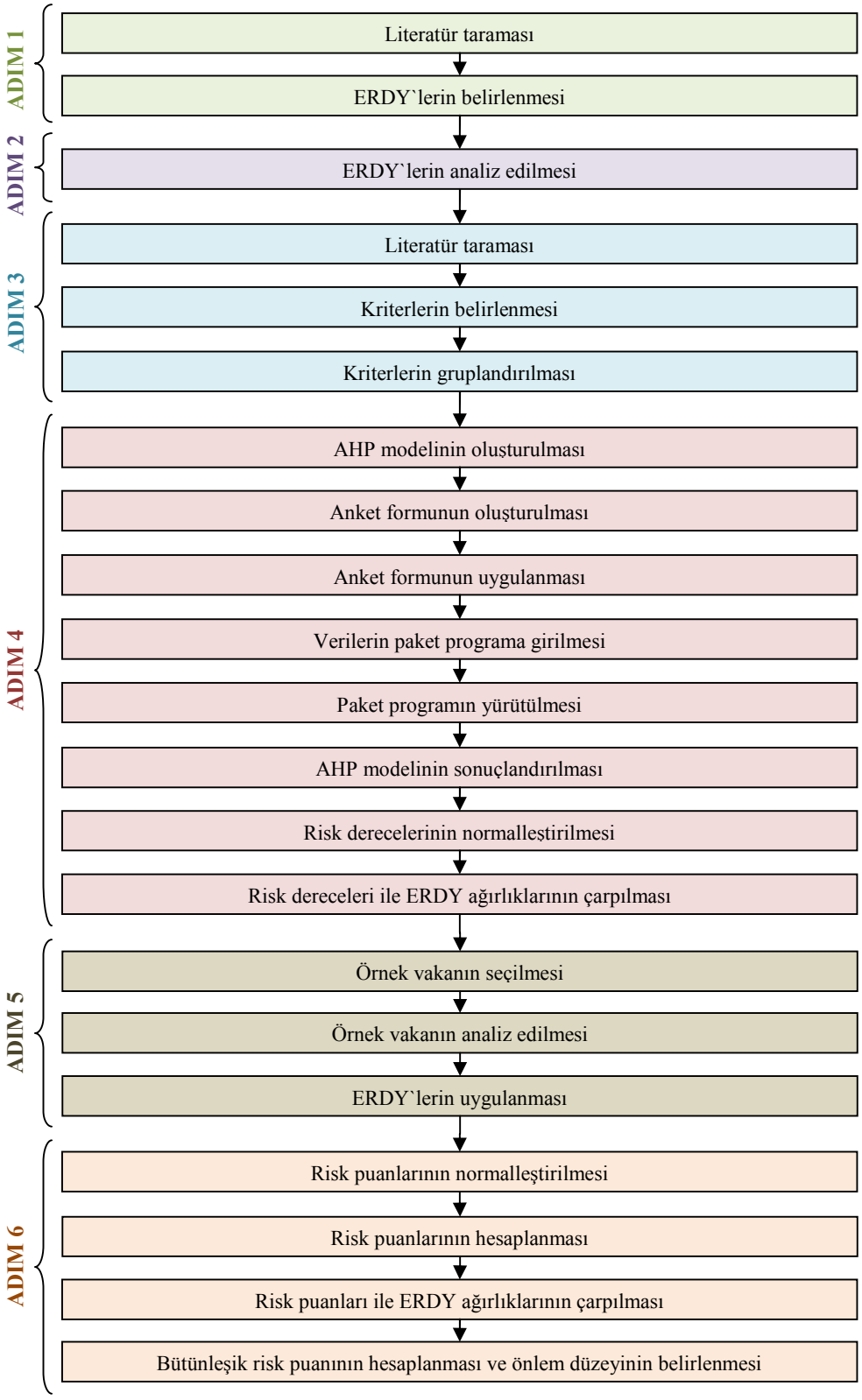
4. ÇALIŞMADA ÖNERİLEN MODEL

Çalışmada bütünleşik risk değerlendirme modelinin ortaya konuşabilmesi için öncelikle birbirine alternatif olabilecek ERDY`ler belirlenmiş, uzman ekibin kararları göz önünde bulundurularak AHP modeli kurulmuş ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Sonrasında ise örnek bir vaka üzerinde uygulanarak hesaplanan alternatif ERDY`lere ait sonuçlar, AHP yönteminden elde edilen sonuçlar ışığında değerlendirilmiştir. Çalışma boyunca takip edilen süreç Şekil 4.1`de verilmiş ve tüm adımlar aşağıda sıralanmıştır:

- Adım 1: Birbirine alternatif olabilecek ERDY`ler belirlenmiştir.
    - ERDY`lere ilişkin literatürün taraması.
    - ERDY`lerin seçilmesi.
- Adım 2: Belirlenen ERDY`lerin girdi ve çıktı verileri, kullanım gereksinimleri ve kısıtları üzerinde detaylı bir analiz yapılmıştır.
    - Orijinal makaleler ve belirlenen ERDY`ler üzerine yapılmış akademik çalışmaların taraması.
    - ERDY`lerin karşılaştırılarak bir tablo halinde özetlenmesi.
- Adım 3: Literatürdeki benzer çalışmalar göz önünde bulundurularak AHP modelinde kullanılacak kriter ve alt kriterler belirlenmiştir.
    - ERDY`lerin karşılaştırılmasına ve AHP`nin kullanılmasına ilişkin literatürün taraması.
    - ERDY`lerin karşılaştırılmasında kullanılacak kriterlerin belirlenmesi.
    - Belirlenen kriterlerin gruplandırılarak ana kriter-alt kriter formuna dönüştürülmesi.
- Adım 4: AHP modeli kurularak, AHP çözüm adımlarının sonucunda alternatif ERDY`ler ağırlıklandırılmıştır.
    - Hedef, ana ve alt kriterler ile alternatiflerden oluşan AHP modelinin oluşturulması.
    - AHP modeline ilişkin kriterler ve alternatifler temelinde karşılaştırmalara ait anket formunun oluşturulması.

- Oluşturulan anket formunun, uzman ekip tarafından doldurulması.
- Anket sonuçlarının geometrik ortalama ile birleştirilerek ikili karşılaştırma karar matrislerine aktarılması.
- Expert Choice [25] paket programında ikili karşılaştırma matrislerinin kriterler ve alternatifler bazında değerlendirilmesi.
- Paket programda problemin çözümü sonrasında ERDY`lerin ağırlıklarının belirlenmesi.
- Normalleştirme ve çeşitli hesaplama işlemlerinin her bir ERDY`ye ait derecelendirmelere de uygulanarak bütünleşik risk değerlendirme modelinin derecelendirmesinin oluşturulması.

- Adım 5: ERDY`ler örnek bir vaka üzerinde uygulanarak her birine ait risk puanları elde edilmiştir.
  - ERDY`lerin uygulanabileceği örnek bir vakanın seçilmesi.
  - Örnek vaka ile ilgili bilgi, belge, fotoğraf, video vb. toplanması.
  - Her bir ERDY`nin örnek vaka üzerine uygulanması.
  - Her bir ERDY`ye ait risk puanının hesaplanması.
- Adım 6: Örnek vaka üzerinde uygulanarak elde edilen risk puanları normalleştirilerek, ERDY`lerin ağırlıkları ile çarpılmış ve bütünleşik bir risk modeli kurulmuştur.
  - Her bir ERDY`ye ait risk puanının 100 üzerinden normalleştirilmesi.
  - Normalleştirilen risk puanlarının AHP çözümü sonucunda elde edilen ERDY`lere ait ağırlıklarla çarpılması.
  - Elde edilen çarpım sonuçlarının toplanarak bütünleşik risk puanının hesaplanması.
  - Bütünleşik risk puanının, elde edilen bütünleşik risk modeli derecelendirilmesine göre değerlendirilerek örnek vakanın risk düzeyinin bulunması.



Şekil 4.1. Çalışmada takip edilen süreç

5. UYGULAMA

Bu uygulamada, alternatif ERDY`ler AHP yöntemi ile ağırlıklandırılarak bütünleşik bir model ortaya konulmuştur. AHP yöntemine göre ERDY`leri ağırlıklandırmak için ilk olarak karşılaştırmada kullanılacak kriter ve alt kriterler belirlenmiştir. Kriter ve alt kriterler temelinde oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri, alternatif ERDY`lerin ağırlıklandırılmasında kullanılmıştır. Tüm işlemler sonunda belirlenen ağırlıklara göre son adımda örnek bir vaka üzerinde uygulanan tüm yöntemlerin sonuçları tek bir risk puanı olarak ifade edilmiştir.

5.1. Kriter ve Alt Kriterlerin Tanımlanması

AHP`de gerçekçi sonuçlara ulaşabilmek ve AHP`nin iskeletini oluşturan tutarlı ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulabilmesi için göz önünde bulundurulan kriter ve alt kriterlerin açık bir şekilde tanımlanması gerekir [29]. Aşağıda bu çalışmada kullanılan kriter ve alt kriterler tanıtılmıştır:

- Etkinlik: ERDY`nin iş ile ilgili kas iskelet sistemi rahatsızlıkları risklerinin tamamını ortaya koyabilmesi için öncelikle yöntemde kullanılacak girdilerin olabildiğince geniş bir yelpazede olması sonrasında ise değerlendirme sonrası ortaya konan çıktının amaca uygun bir formda oluşması gereklidir.
    - *Girdi verileri:* ERDY`ler, iş ile ilgili kas-iskelet sistemi hastalıkları risklerinin maruziyetini değerlendirmek ve işyerlerinin önleyici tasarımına yardımcı olmak için en az üç ana mekanik boyutu ele almalıdır:
        - Seviye: Kullanılan kuvvetlerin şiddeti.
        - Tekrarlama: Kuvvet düzeylerinin arasındaki devrin sıklığı.
        - Süre: Fiziksel aktivitenin yapılması için kullanılan zaman.

      Bu mekanik boyutlar, üç öncelikli risk faktörüyle doğrudan ilişkilidir: güçlü çaba, tekrarlama ve stresli pozisyon. İdeal olarak, bu araçlar, pozisyon değişimi, hareket hızı, titreşime maruz kalma ve

psikososyal/örgütsel faktörler gibi diğer önemli maruziyet faktörlerini de içermelidir [30, 31].

- *Çıktı verileri:* ERDY`ler aynı zamanda nesnel olarak riskleri değerlendirmeli, vücudun hangi kısmının risk altında olduğunu belirlemeli, yüksek riskli işleri düşük riskli işlerden ayırmalı ve muhtemel iyileştirmeler için değerlendiriciye yol göstermelidir [30].

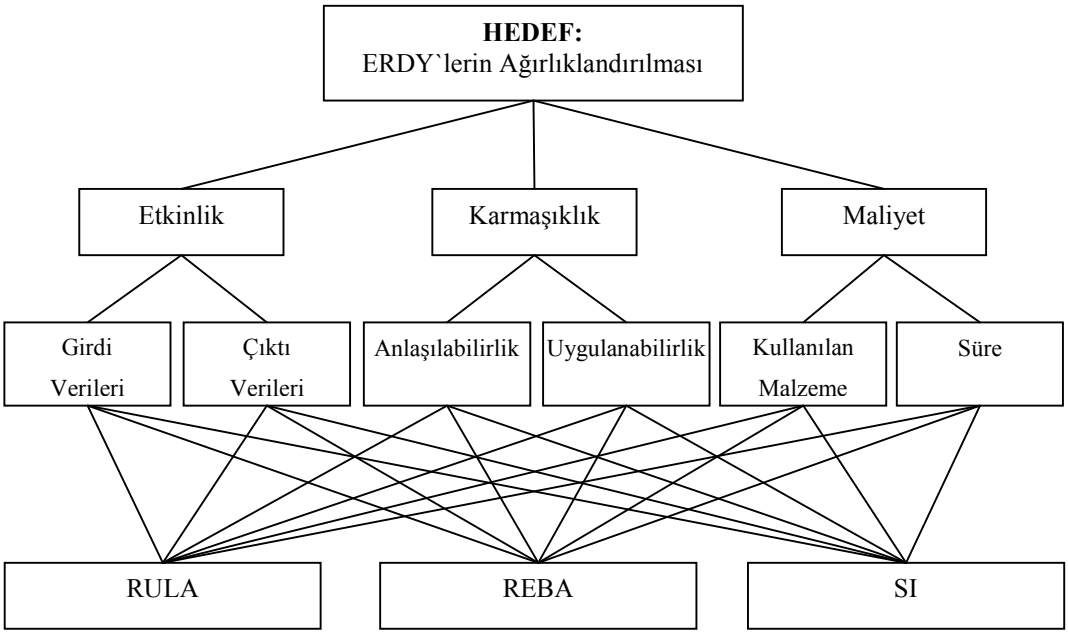
- Karmaşıklık: Değerlendirme aracının karmaşıklığı arttıkça, kullanmak için öğrenmeye ayrılan süre, uygulama için toplanması gereken veri ve çıktı önlemlerini bulmak için kullanılan verinin süreci de artmaktadır [30].
  - *Anlaşılabilirlik:* ERDY`nin uygulamaya başlanmadan önce gerekli tüm açıklamaları mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde kullanıcıya aktarması gerekmektedir.
  - *Uygulanabilirlik:* ERDY`nin mümkün olduğu kadar kısa, görsel öğelerle desteklenmiş, hesaplama gerektirmeyen yöntemlerin kullanılması değerlendiriciler açısından tercih sebebi olacaktır.
- Maliyet: ERDY geçerli, tekrar edilebilir, uygulamasının maliyeti düşük ve kullanımı kolay olmalıdır [30].
  - *Kullanılan malzeme:* ERDY uygulanırken kullanılan malzemelerin sayısı, niteliği ve karmaşıklığı arttıkça, değerlendiricinin süreci algılamasındaki ve yönetmesindeki konsantrasyonu ve motivasyonu doğru orantılı olarak azalacaktır.
  - *Süre:* ERDY`nin öğrenilmesinde ve uygulanmasında geçen süre değerlendiriciler için önemli bir maliyet kalemi olarak görülmektedir.

5.2. AHP Modeli

AHP modelleme süreci karar probleminin yapılandırılması, ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması, matrislerin paket program ile değerlendirilmesi ve bulunan global ağırlıklarla mevcut alternatiflerin değerlendirilmesi aşamalarından oluşur [29].

5.2.1. Problemin yapılandırılması

AHP`nin ilk adımı karar problemi için gerekli olan amaç, kriterler ve alt kriterleri içeren AHP modelinin hiyerarşik bir yaklaşımla kurulmasıdır. Oluşturulan hiyerarşik yapı problemi net bir şekilde ortaya koymalıdır [29]. Bu uygulama için kurulan hiyerarşik model Şekil 5.1`de verilmiştir. Problemin amacı birbirine alternatif ERDY`nin ağırlıklandırılması ve bu ağırlık puanlarına göre bütünleştirilmiş bir risk puanının elde edilmesidir. Bu amaç Şekil 5.1`de birinci seviyede verilmiştir. Bunu takip eden ikinci seviyede ise üç ana kriter bulunmaktadır. Bunlar etkinlik, karmaşıklık ve maliyettir. Bu kriterler, problemin çözüm sürecinde görev alan uzman ekip tarafından belirlenmiştir. Hiyerarşinin üçüncü seviyesini, ikinci seviyede tanımlanan üç ana kritere ilişkin alt kriterler oluşturur. Etkinlik ana kriterinin alt kriterleri girdi verileri ve çıktı verileri; karmaşıklık ana kriterinin alt kriterleri anlaşılabilirlik ve uygulanabilirlik; maliyet ana kriterinin alt kriterleri ise kullanılan malzeme ve süredir. Hiyerarşinin dördüncü seviyesinde ise ağırlıklandırılacak alternatif ERDY`ler bulunmaktadır. Bunlar RULA, REBA ve SI yöntemleridir.



Şekil 5.1. ERDY`lerin karşılaştırılmasın AHP tam hiyerarşi yapısı

5.2.2. İkili karşılaştırma karar matrislerinin oluşturulması

AHP hiyerarşisi kurulduktan sonra izleyen aşama hiyerarşideki kriter, alt kriter ve alternatifler için ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasıdır [29]. Hiyerarşinin her seviyesindeki elemanların karşılaştırmalarını belirlemek için Bölüm 3.3`de detaylı bir şekilde açıklanan Thomas L. Saaty tarafından önerilen dokuz noktalı değerlendirme skalası kullanılmıştır. Değerlendirmeyi yapacak ekipteki kişilere uygulanan anket (EK-1) neticesinde elde edilen bireysel ikili karşılaştırma karar matrisleri geometrik ortalama yaklaşımı ile grup ikili karşılaştırma karar matrislerine dönüştürülmüştür. Bu çalışmada değerlendirmeyi yapmak üzere bu konuyla ilgili 16 kişi belirlenmiştir. Bu kişiler ergonomi ve ergonomik risk değerlendirme konularında uzman kişilerdir.

Ana kriterlerin değerlendirilmesi sonucunda oluşturulan bireysel ikili karşılaştırma karar matrisleri geometrik ortalama yaklaşımı ile birleştirilmiş ve Çizelge 5.1`de verilen grup ikili karşılaştırma karar matrisi elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Ana kriterlere ilişkin grup ikili karşılaştırma karar matrisi

Ana Kriterler	*Etkinlik*	*Karmaşıklık*	*Maliyet*
Etkinlik	1	3,04	4,89
Karmaşıklık	0,33	1	3,8
Maliyet	0,21	0,26	1

Ana kriterlere ilişkin Çizelge 5.1`de verilen grup ikili karşılaştırma karar matrisi incelendiğinde bir ERDY seçilirken “etkinlik” ana kriterinin “karmaşıklık” ana kriterinden orta derecede, “maliyet” ana kriterinden ise kuvvetli derecede önemli bir kriter olduğu sonucuna varılır. Bunun yanında bir ERDY seçilirken “karmaşıklık” ana kriteri, “maliyet” ana kriterinden ne kuvvetli ne de orta derecede önemli bir kriterdir.

Ana kriterlere ilişkin grup ikili karşılaştırma karar matrisi oluşturulduktan sonra izleyen aşama her bir ana kritere ilişkin alt kriterlerin ikili karşılaştırma karar matrislerinin oluşturulmasıdır. Bu matrislerin oluşturulmasında da geometrik ortalama yaklaşımından faydalanılmıştır. "Etkinlik" kriterinin alt kriterlerine ilişkin grup ikili karşılaştırma karar matrisi Çizelge 5.2, "karmaşıklık" kriterinin alt kriterlerine ilişkin grup ikili karşılaştırma karar matrisi Çizelge 5.3 ve "maliyet" kriterinin alt kriterlerine ilişkin grup ikili karşılaştırma karar matrisi Çizelge 5.4`de verilmiştir.

Çizelge 5.2. "Etkinlik" kriterinin alt kriterlerine ilişkin grup ikili karşılaştırma karar matrisi

Alt Kriterler	*Girdi Verileri*	*Çıktı Verileri*
Girdi Verileri	1	2,97
Çıktı Verileri	0,34	1

Çizelge 5.2`de verilen grup ikili karşılaştırma karar matrisine göre bir ERDY seçilirken "girdi verileri" alt kriteri, "çıktı verileri" alt kriterine göre orta derecede önemli bir kriterdir.

Çizelge 5.3. "Karmaşıklık" kriterinin alt kriterlerine ilişkin grup ikili karşılaştırma karar matrisi

Alt Kriterler	*Anlaşılabilirlik*	*Uygulanabilirlik*
Anlaşılabilirlik	1	0,33
Uygulanabilirlik	3,07	1

Çizelge 5.3`de verilen grup ikili karşılaştırma karar matrisine göre bir ERDY seçilirken "uygulanabilirlik" alt kriteri, "anlaşılabilirlik" alt kriterine göre orta derecede önemli bir kriterdir.

Çizelge 5.4. "Maliyet" kriterinin alt kriterlerine ilişkin grup ikili karşılaştırma karar matrisi

Alt Kriterler	*Kullanılan Malzeme*	*Süre*
Kullanılan Malzeme	1	0,26
Süre	3,91	1

Çizelge 5.4`de verilen grup ikili karşılaştırma karar matrisine göre bir ERDY seçilirken "süre" alt kriteri, "kullanılan malzeme" alt kriterine göre ne kuvvetli ne de orta derecede önemli bir kriterdir.

5.2.3. İkili karşılaştırma karar matrislerinin değerlendirilmesi

AHP modelinin kurulması ve geometrik ortalama yaklaşımı ile grup ikili karşılaştırma karar matrislerinin oluşturulmasından sonra izleyen aşama, grup ikili karşılaştırma karar matrislerinin değerlendirilmesidir [29]. Bu değerlendirmede de Expert Choice [25] paket programı kullanılmıştır.

Karar matrislerinin değerlendirilmesinde ilk adım kriter ikili karşılaştırma karar matrislerinin değerlendirilmesidir. Geometrik ortalama yaklaşımı ile oluşturulan grup ikili karşılaştırma karar matrislerinden hareketle her bir kritere ilişkin lokal ağırlıklar ve yine oluşturulan matrisin tutarlılık oranı Expert Choice paket programı ile belirlenmiştir. Çizelge 5.5`da kriterlere ilişkin lokal ağırlıklar ve oluşturulan grup ikili karşılaştırma karar matrisinin tutarlılık oranı verilmiştir.

Çizelge 5.5. Ana kriterlere ilişkin lokal ağırlıklar ve TO değerleri

Kriterler	**Lokal Ağırlıklar**	**TO**
Etkinlik	0,628	0,08
Karmaşıklık	0,275	
Maliyet	0,096	

Ana kriterlere ilişkin grup ikili karşılaştırma karar matrisinin değerlendirilmesi sonucunda bir ERDY seçiminde "etkinlik" ana kriterinin en önemli kriter olduğu sonucuna varılmıştır. "Etkinlik" ana kriterinin lokal (normalleştirilmiş) ağırlığı 0,628 olarak belirlenmiştir, bunu sırasıyla 0,275 ile "karmaşıklık" ana kriteri ve 0,096 ile "maliyet" ana kriteri takip etmektedir. Oluşturulan grup ikili karşılaştırma karar matrisinin TO değeri 0,08 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç 0,10 değerinden küçük olduğu için oluşturulan grup ikili karşılaştırma karar matrisinin tutarlı olduğu sonucuna varılır.

İkili karşılaştırma karar matrislerinin değerlendirilmesinde ikinci adım kriterlere ait alt kriterler için oluşturulan grup ikili karşılaştırma karar matrislerinin değerlendirilmesidir. Alt kriterlere ilişkin lokal ağırlıklar Çizelge 5.6`da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Alt kriterlere ilişkin lokal ağırlıklar

"Etkinlik" Ana Kriterine Ait Alt Kriterler	**Lokal Ağırlıklar**
Girdi Verileri	0,748
Çıktı Verileri	0,252
"Karmaşıklık" Ana Kriterine Ait Alt Kriterler	**Lokal Ağırlıklar**
Anlaşılabilirlik	0,246
Uygulanabilirlik	0,754
"Maliyet" Ana Kriterine Ait Alt Kriterler	**Lokal Ağırlıklar**
Kullanılan Malzeme	0,204
Süre	0,796

"Etkinlik" ana kriterine ait alt kriterlerin lokal ağırlıklarına bakıldığında en çok öneme sahip olan alt kriterin 0,748 lokal ağırlık puanı ile "girdi verileri" olduğu görülür. Bunu 0,252 ile "çıktı verileri" alt kriteri takip etmektedir.

"Karmaşıklık" ana kriterine ait alt kriterlerin en önemlisinin "uygulanabilirlik" alt kriteri olduğu görülür. "Uygulanabilirlik" alt kriterinin lokal ağırlığı 0,754 olarak tespit edilmiştir. Bunu 0,246 ile "anlaşılabilirlik" alt kriteri takip etmektedir.

“Maliyet” ana kriterine ait alt kriterlerin lokal ağırlıklarına bakıldığında 0,796 lokal ağırlık puanı ile en çok öneme sahip olan alt kriterin “süre” olduğu görülür. Bunu 0,204 ile “kullanılan malzeme” alt kriteri takip etmektedir.

İkili karşılaştırma karar matrislerinin değerlendirilmesinde üçüncü adım kriterler için bulunan lokal ağırlıklar ile alt kriterler için bulunan lokal ağırlıkların birlikte değerlendirilerek her bir alt kriter için global ağırlıkların bulunmasıdır. Alt kriterlere ilişkin global ağırlıklar Çizelge 5.7`de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Alt kriterler için global ağırlıklar

Kriterler	**Lokal Ağırlıklar**	**Alt Kriterler**	**Lokal Ağırlıklar**	**Global Ağırlıklar**
Etkinlik	0,628	*Girdi Verileri*	0,748	0,470
		Çıktı Verileri	0,252	0,158
Karmaşıklık	0,275	*Anlaşılabilirlik*	0,246	0,068
		Uygulanabilirlik	0,754	0,207
Maliyet	0,096	*Kullanılan Malzeme*	0,204	0,020
		Süre	0,796	0,076

Alt kriterlere ait global ağırlıklar incelendiğinde bir ERDY seçilirken dikkate alınması gereken en önemli alt kriterin “etkinlik” ana kriterine bağlı “girdi verileri” alt kriteri olduğu görülmektedir. “Girdi verileri” alt kriterinin global ağırlığı 0,470 olarak tespit edilmiştir. “Girdi verileri” alt kriterinden sonra en fazla öneme sahip olan alt kriterler ise sırasıyla “uygulanabilirlik”, “çıktı verileri”, “süre” ve “anlaşılabilirlik” alt kriterleri olmuştur. Bir ERDY seçilirken en az dikkate alınacak alt kriter ise “maliyet” ana kriterine bağlı olan “kullanılan malzeme” alt kriteri olmuştur.

5.3. Alternatiflerin Ağırlıklandırılması

Tüm kriter ve alt kriterlerin ikili karşılaştırma karar matrisleri ile öncelikleri belirlendikten sonra birbirine alternatif ERDY`lerin alt kriterler temelinde ağırlıklandırılması ve ikili karşılaştırma karar matrislerinin oluşturulmasına geçilmiştir. Kriterlere ait ikili karşılaştırma karar matrislerinde olduğu gibi alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisleri de uzman ekibin değerlendirmesi sonucunda belirlenen bireysel ikili karşılaştırma karar matrislerinin geometrik ortalama yaklaşımı ile birleştirilmesiyle her bir alt kriter temelinde oluşturulmuştur.

"Girdi verileri" alt kriteri temelinde oluşturulan alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi Çizelge 5.8, "çıktı verileri" alt kriteri temelinde oluşturulan alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi Çizelge 5.9, "anlaşılabilirlik" alt kriteri temelinde oluşturulan alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi Çizelge 5.10, "uygulanabilirlik" alt kriteri temelinde oluşturulan alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi Çizelge 5.11, "kullanılan malzeme" alt kriteri temelinde oluşturulan alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi Çizelge 5.12 ve "süre" alt kriteri temelinde oluşturulan alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi Çizelge 5.13`de verilmiştir.

Çizelge 5.8. "Girdi verileri" alt kriterine göre alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi

Alternatifler	*RULA*	*REBA*	*SI*
RULA	1	0,25	0,35
REBA	3,95	1	0,49
SI	2,9	2,03	1

Çizelge 5.8`de verilen grup ikili karşılaştırma karar matrisi incelendiğinde "girdi verileri" alt kriteri temelinde REBA yöntemi RULA yöntemine göre üstünken SI yöntemi REBA`ya göre üstün bulunmuştur. Bunun en önemli nedeni SI yönteminin

girdi verilerinde, diğer yöntemlerde doğrudan değil de dolaylı olarak bulunan "günlük çalışma süresi" ve "çalışma hızı" gibi verilerin olmasıdır.

Çizelge 5.9. "Çıktı verileri" alt kriterine göre alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi

Alternatifler	*RULA*	*REBA*	*SI*
RULA	1	0,2	2,01
REBA	5,11	1	5,07
SI	0,5	0,2	1

Çizelge 5.9`da verilen grup ikili karşılaştırma karar matrisi incelendiğinde "çıktı verileri" alt kriteri temelinde REBA yöntemi hem RULA yöntemine göre hem de SI yöntemine göre neredeyse eşit derecede üstün bulunmuştur. Bunun en önemli nedeni REBA yönteminin RULA ve SI yöntemlerindekinin aksine tüm vücudun duruşunu değerlendirme imkanına sahip olmasıdır.

Çizelge 5.10."Anlaşılabilirlik" alt kriterine göre alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi

Alternatifler	*RULA*	*REBA*	*SI*
RULA	1	1,93	0,25
REBA	0,52	1	0,19
SI	3,97	5,21	1

Çizelge 5.10`da verilen grup ikili karşılaştırma karar matrisi incelendiğinde "anlaşılabilirlik" alt kriteri temelinde SI yöntemi hem REBA yöntemine göre hem de RULA yöntemine göre üstün bulunmuştur. Bunun en önemli nedeni SI yönteminin gözlem formunun ve değerlendirme için kullanılması gereken girdi verilerinin anlaşılmasının uzman ekip tarafından diğer iki yönteme göre kolay bulunmasıdır.

Çizelge 5.11.“Uygulanabilirlik” alt kriterine göre alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi

Alternatifler	*RULA*	*REBA*	*SI*
RULA	1	1,09	0,16
REBA	0,92	1	0,17
SI	6,09	6,04	1

Çizelge 5.11`de verilen grup ikili karşılaştırma karar matrisi incelendiğinde “uygulanabilirlik” alt kriteri temelinde SI yöntemi hem REBA yöntemine göre hem de RULA yöntemine göre açık ara üstün bulunmuştur. Bunun en önemli nedeni SI yönteminin uzman ekip tarafından diğer iki yönteme göre gözlem formunun uygulamasının basit ve hesaplamalarının kolay bulunmasıdır.

Çizelge 5.12.“Kullanılan malzeme” alt kriterine göre alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi

Alternatifler	*RULA*	*REBA*	*SI*
RULA	1	1	0,45
REBA	1	1	0,45
SI	2,2	2,2	1

Çizelge 5.12`de verilen grup ikili karşılaştırma karar matrisi incelendiğinde “kullanılan malzeme” alt kriteri temelinde SI yöntemi hem REBA yöntemine göre hem de RULA yöntemine göre üstün bulunurken RULA ve REBA yöntemleri birbirlerine denk bulunmuştur. Bunun nedeni SI yönteminin hem verilerinin toplanmasında hem de hesaplamalarının yapılmasında daha az malzeme kullanılmasıdır.

Çizelge 5.13. "Süre" alt kriterine göre alternatiflerin grup ikili karşılaştırma karar matrisi

Alternatifler	*RULA*	*REBA*	*SI*
RULA	1	1,86	0,32
REBA	0,54	1	0,24
SI	3,09	4,1	1

Çizelge 5.13`de verilen grup ikili karşılaştırma karar matrisi incelendiğinde "süre" alt kriteri temelinde SI yöntemi hem REBA yöntemine göre hem de RULA yöntemine göre üstün bulunmuştur. Bunun en önemli nedeni SI yönteminin hem verilerinin toplanmasında hem de hesaplamalarının yapılmasında harcanan sürenin daha az olmasıdır.

Alternatiflerin tüm alt kriterler temelinde grup ikili karşılaştırma karar matrislerinin oluşturulmasından sonra matrisler normalleştirilerek hem tutarlılık oranları hem de yüzde önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Tüm alt kriterler temelinde alternatiflere ait yüzde önem ağırlıkları ve tutarlılık oranları Çizelge 5.14`de verilmiştir.

Çizelge 5.14. Alt kriterler temelinde alternatiflerin yüzde önem ağırlıkları ve tutarlılık oranları

Alternatifler	*Girdi Verileri*	*Çıktı Verileri*	*Anlaşılabilirlik*	*Uygulanabilirlik*	*Kullanılan Malzeme*	*Süre*
RULA	0,127	0,176	0,197	0,127	0,238	0,229
REBA	0,357	0,713	0,116	0,121	0,238	0,138
SI	0,516	0,111	0,687	0,752	0,524	0,633
TO	0,09	0,05	0,02	0,00	0,00	0,01

Çizelge 5.14`e göre bir tek "çıktı verileri" alt kriteri hariç diğer tüm alt kriterlere göre SI yönteminin yüzde önem ağırlığı diğer iki yönteme göre daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca tüm alt kriterlere ilişkin matrislerin TO değerleri 0,1 değerinden düşük çıktığı için hepsinin tutarlı olduğu sonucuna varılır.

Alternatiflerin tüm alt kriterler temelinde yüzde önem ağırlıkları hesaplandıktan sonra ana kriterlerin ağırlıkları kullanılarak ana kriterler temelinde tüm alternatiflerin yüzde önem ağırlıkları ve tutarlılık oranları hesaplanmış ve Çizelge 5.15`de verilmiştir.

Çizelge 5.15.Ana kriterler temelinde alternatiflerin yüzde önem ağırlıkları ve tutarlılık oranları

Alternatifler	*Etkinlik*	*Karmaşıklık*	*Maliyet*
RULA	0,139	0,144	0,231
REBA	0,446	0,119	0,158
SI	0,414	0,736	0,611
TO	0,09	0,00	0,01

Çizelge 5.15`e göre "etkinlik" ana kriteri hariç diğer iki ana kritere göre SI yönteminin yüzde önem ağırlığı diğer iki yönteme oranla daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca tüm ana kriterlere ilişkin matrislerin TO değerleri 0,1 değerinden düşük çıktığı için hepsinin tutarlı olduğu sonucuna varılır.

AHP sürecinin son adımında kriterlerin önem ağırlıkları ile alternatiflerin önem ağırlıklarının matris çarpımı ile ERDY`lerin ağırlıklandırılması sağlanmıştır. Her bir alternatife ait ağırlık değerini gösteren değerler Çizelge 5.16`da verilmiştir. Çizelge 5.16`a göre SI yöntemi 0,522 değeri ile birinci öncelikli yöntem olmuştur. Bunu takiben ile 0,329 ile REBA yöntemi ve 0,150 ile RULA yöntemi izlemektedir.

Çizelge 5.16.Alternatiflerin ağırlıkları

Alternatifler	**Ağırlıklar**
RULA	0,150
REBA	0,329
SI	0,522

5.4. Bütünleşik Risk Değerlendirme Modelinin Derecelendirmesi

ERDY`lere ait orijinal makalelerde yer alan risk puanlarının derecelendirilmesi Çizelge 5.16`da verilen ağırlıklar yardımıyla normalleştirilmiş ve her biri ayrı ayrı Çizelge 5.17`de verilmiştir.

Çizelge 5.17.ERDY`lerin risk puanlarının derecelendirilmesi ve değerlerin normalleştirilmesi

ERDY	**ERDY Ağırlıkları**	**Derecelendirme**	**Normalleştirilmiş Derecelendirmeler**	**ERDY Ağırlıkları ile Normalleştirilmiş Derecelendirmelerinin Çarpımı**
RULA	0,150	RULA<3 3≤RULA<5 5≤RULA≤6 6<RULA	RULA<42,86 42,86≤RULA<71,43 71,43≤RULA≤85,71 85,71<RULA	RULA<0,064 0,064≤RULA<0,107 0,107≤RULA≤0,129 0,129<RULA
REBA	0,329	REBA<2 2≤REBA<4 4≤REBA<10 10≤REBA	REBA<16,67 16,67≤REBA<33,33 33,33≤REBA<83,33 83,33≤REBA	REBA<0,055 0,055≤REBA<0,110 0,110≤REBA<0,274 0,274≤REBA
SI	0,522	SI<3 3≤SI≤5 5≤SI<7 7≤SI	SI<11,77 11,77≤SI≤19,61 19,61≤SI<27,45 27,45≤SI	SI<0,061 0,061≤SI≤0,102 0,102≤SI<0,143 0,143≤SI

REBA yöntemindeki beş aşamadan oluşan derecelendirme hesaplamalarda kolaylık oluşturması için "risk" algısı dikkate alınarak dört aşamaya düşürülmüş, derecelendirmelere ait önlem düzeyleri de dil birliğinin sağlanması için daha kolay ifade edilen SI yönteminin önlem düzeyleri kullanılarak Çizelge 5.17`de her biri ayrı ayrı normalleştirilen ERDY`lerin risk puan aralıklarının toplanmasıyla ortaya çıkan BRDM`nin derecelendirilmesi ve önlem düzeyleri Çizelge 5.18`de verilmiştir.

Çizelge 5.18.Bütünleşik risk modelinin derecelendirilmesi ve açıklamaları

BRDM`nin Derecelendirmesi	BRDM`nin Önlem Düzeyleri
BRDM<0,180	Güvenli
0,180≤BRDM≤0,319	Güvenilmez
0,319≤BRDM<0,546	Kısmen Riskli
0,546<BRDM	Tehlikeli

5.5. Örnek Bir Vaka Üzerinde AHP Modelinin Uygulanması

Uygulamanın bu aşamasında tüm çalışmada kullanılan tüm ERDY`ler örnek bir vaka üzerinde uygulanmış ve çıkan sonuçlar ile AHP süreci neticesinde hesaplanan ağırlıklar birleştirilerek tek bir risk puanı elde edilmiştir. Ortaya konan bu hesaplamalarla bütünleşik bir model oluşturulmuştur.

5.5.1. Örnek vaka ile ilgili bilgiler

Örnek vakanın seçildiği işyeri Afyonkarahisar`da faaliyet gösteren bir mermer işletmesidir. İşletmede iri mermer blokları ocaktan çıkarıldıktan sonra farklı süreçlerde küçültülerek istenilen ürünler elde edilmektedir. Örnek vakada süreçte bloktan kesilerek elde edilen mermer tablalar, palette yan yana sıralanmış şekilde bir parti halinde istiflenmektedir. Çalışan, paletin açık olan yan (dar) kısımlarından mermer tablaları her birini iki eliyle alıp bazen gövdesinden destek alarak bazen de destek almadan kaldırmaktadır (Resim 5.1 - Resim 5.3). Daha sonra mermer tablayı bu şekilde belli bir mesafede taşımakta ve silme/cilalama işlemleri için makinenin yükleme bölümündeki banda yerleştirmektedir (Resim 5.4 - Resim 5.5). Makine çalıştığı ve makineye yüklenecek mermer tabla var olduğu sürece çalışan, makinenin yükleme bölümünden paletin yanına hiçbir şey taşımadan aynı işlemi tekrarlamak için geri dönmektedir.



Resim 5.1. Palette yan yana sıralanmış mermer tablalar (bir parti)



Resim 5.2. Mermer tablanın paletten alınması



Resim 5.3. Mermer tablanın kavranarak yerden (palet yüksekliğinden) kaldırılması



Resim 5.4. Mermer tablanın makineye taşınması



Resim 5.5. Mermer tablanın makinenin bandına yerleştirilmesi

Yapılan iş, işi yapan çalışan ve kaldırılan/taşınan/indirilen malzeme hakkındaki bilgiler Çizelge 5.19`da yer almaktadır.

Çizelge 5.19.Yapılan iş ile ilgili bilgiler

Yapılan İş	
Bir vardiyadaki çalışma süresi:	8 sa
Ortam sıcaklığı:	18-23 °C
Bir vardiyada gelen yüklü palet sayısı:	13 adet
Bir paletteki (parti) mermer tabla miktarı:	60 adet
Mermer tablanın yerden, tutma noktasına yüksekliği (Paletin yüksekliği: 15 cm):	40 cm
Mermer tablanın başlangıçta yukarı kaldırıldığı yükseklik (yaklaşık bel hizası):	80 cm
Mermer tablanın taşındığı mesafe:	325 cm
Ellerin vücuttan uzaklığı (Yatay uzaklık):	40 cm
İşi Yapan Çalışan	
Cinsiyeti:	Erkek
Boyu:	160 cm
Ağırlığı:	71kg
Kaldırılan/Taşınan/İndirilen Malzeme	
Mermer tablanın boyutları:	60 x 60 x 3,5 cm
Mermer tablanın ağırlığı:	24 kg

5.5.2. Örnek vakanın ergonomik risk değerlendirme yöntemleri ile değerlendirilmesi

Çalışanın işin yürütümü sırasında çekilen görüntülerden alınan Resim 5.6`daki duruşları uygunsuz çalışma duruşu olarak belirlenen risk değerlendirme yöntemlerinde kullanılmak üzere seçilmiştir.

RULA:

RULA, çalışanların üst uzuvlarında oluşabilecek iş ile ilgili rahatsızlıklara sebebiyet veren maruziyetleri hızlı bir şekilde gözlemleyebilmek ve statik ya da tekrarlanan

işlerde uygulanan kuvvetin/yükün neden olabileceği duruş bozukluğunu veya kas yorgunluğunu tespit edebilmek için tasarlanmıştır [10].



Resim 5.6. Çalışanın duruşu

Değerlendirme yapılırken çalışma duruşları, tekrarlayış ve kuvvet/yük kayıt edilmiştir (EK-2). Değişkenler (girdiler) yapılan işin üst uzuvlar üzerindeki ergonomik riskini sayısal olarak belirlemek için kullanılmıştır. Vücut grup A (üst kollar, alt kollar, el bileği ve omuz) ve grup B (boyun, gövde ve bacaklar) olmak üzere iki gruba ayrılmış, aşağıdaki adımlar uygulanarak nihai RULA puanı hesaplanmıştır:

- Adım 1: Duruşları tanımlayan resimlerden (Resim 5.6.) faydalanılarak üst kol puanı 3, alt kol puanı 2, el bileği puanı 3, boyun puanı 2, gövde puanı 2 ve bacak puanı 2 olarak belirlenmiş,
- Adım 2: Aşırı durumlar dikkate alınarak el bileğinin dönmesi 1 puan olarak belirlenmiş,

- Adım 3: Tablolar kullanılarak el bileği duruş puanı 3 ve gövde duruş puanı 3 olarak belirlenmiş,
- Adım 4: Kaldırılan/taşınan yükün 24kg olduğu göz önünde bulundurularak duruş puanları 3`er puan arttırılmış,
- Adım 5: Uzuvlara ait ara puanlar kullanılmış ve nihai RULA puanı 7 olarak hesaplanmıştır.

Nihai RULA puanının 7 olması ivedi bir araştırma ve değişiklik gerekeceğine işaret etmektedir [10].

REBA:

REBA, tüm vücuttaki iş ile ilgili kas iskelet sistemi rahatsızlıkları riskini değerlendirebilmek için tasarlanmıştır [11].

Değerlendirme yapılırken çalışma duruşları, tekrarlayış ve kuvvet/yük kayıt edilmiştir (EK-3). Değişkenler (girdiler) yapılan işin tüm vücut üzerindeki ergonomik riskini sayısal olarak belirlemek için kullanılmıştır.

Aşağıdaki adımlar uygulanarak nihai REBA puanı hesaplanmıştır:

- Adım 1: Duruşları tanımlayan resimlerden (Resim 5.6.) faydalanılarak boyun puanı 1, gövde puanı 2, bacak puanı 3, üst kol puanı 2, alt kol puanı 2 ve el bileği puanı 3 olarak belirlenmiş,
- Adım 2: Aşırı durumlar dikkate alınarak el bileğinin dönmesi 1 puan arttırılmış,
- Adım 3: Kaldırılan/taşınan yükün 24kg olduğu göz önünde bulundurularak duruş puanı 2 ve elle tutuşun kötü olduğu gözlemlenerek kavrayış puanı 2 puan arttırılmış,
- Adım 4: Faaliyetin uzun aralıklarla tekrarlanan duruş değişikliklerinde gerçekleştirildiği gözlemlenerek faaliyet puanı 1 olarak belirlenmiş,

- Adım 5: Tablo A`dan duruş puanı A 4, Tablo B`den duruş puanı B 4 ve bulunan duruş puanlarına kuvvet/yük puanı, kavrayış puanı eklenerek Tablo C`den 8 puan belirlenmiş ve faaliyet puanı ile toplanarak nihai REBA puanı 9 olarak hesaplanmıştır.

Nihai REBA puanının 9 olması "risk" seviyesinin yüksek olduğu ve ileri önlemlerin hızlıca alınması gerektiğini ifade etmektedir [11].

SI:

Kasılma İndeksi (SI), "eklemden uzak üst uzuvlardaki rahatsızlıklarla ilişkili işler ile ilişkili olmayan işlerin tam olarak belirlenmesini sağlayacak yöntem" olarak tasarlanmıştır [12].

Değerlendirme yapılırken çalışanın görüşü alınarak uygulanan kuvvetin şiddeti "zor" olarak belirlenmiştir. Gözlem süresi içerisindeki kuvvet uygulanan tüm süreler (saniye) ölçülerek toplam gözlem süresine (saniye) bölünmüş ve çıkan sonuç 100 ile çarpılarak 37,45 sayısı hesaplanmıştır. Yine gözlem süresi içerisindeki uygulanan kuvvet sayısı (taşınan yük sayısı) toplam gözlem süresine (dakika) bölünerek 1,25 sayısı hesaplanmıştır. Duruşları tanımlayan resimlerden (Resim 5.6), el/bilek duruşunda belirgin bir sapma olduğu gözlenmiştir. Çalışanın hızı ise "normal" olarak belirlenmiştir. Günlük çalışma süresinin 8 saat olduğu göz önüne alınarak Moore-Garg zorlanma indeksine ait formda (EK-4) bulunan sayı değerleri ile eşleştirilen tüm bu gözlemler ve yapılan hesaplamalar sonrasında SI puanı 12,5 olarak bulunmuştur. SI puanı 7`den yüksek çıktığı için yapılan iş ölçeklendirmeye göre "tehlikeli" olarak belirlenmiştir.

5.5.3. Örnek vakanın bütünleşik risk modeli puanının hesaplanması

Çalışmanın bu bölümünde bir önceki bölümde elde edilen ERDY`lerin ağırlıkları ile örnek vaka üzerine uygulanan ERDY sonuçları birleştirilmiş ve bütünleşik bir model

ortaya konulmuştur. ERDY`lerin ağırlıkları ile örnek vaka üzerine uygulanan ERDY sonuçları Çizelge 5.20`de verilmiştir.

Çizelge 5.20. ERDY`lerin ağırlıkları ile örnek vaka üzerine uygulanan ERDY sonuçları

ERDY	**ERDY Ağırlıkları**	**ERDY Sonuçları**
RULA	0,150	7
REBA	0,329	9
SI	0,522	12,5

Orijinal makaleler incelendiğinde RULA yönteminin en çok 7, REBA yönteminin en çok 12 ve SI yönteminin en çok 25,5 puan alabileceği görülmektedir. Çizelge 5.20`deki ERDY sonuçları bu değerlere göre normalleştirildiğinde RULA, REBA ve SI yöntemlerinin 100 üzerinden örnek vakanın risk puanları sırasıyla 100, 75 ve 49 bulunmuştur. Tüm ERDY`lerin ağırlıklarının örnek vakanın normalleştirilmiş risk puanları ile çarpılması ve elde edilen değerlerin toplanmasıyla oluşturulan bütünleşik modelin ortak risk puanı hesaplanmış olur. Bu adımları ve nihai sonucu gösteren değerler Çizelge 5.21`de verilmiştir.

Çizelge 5.21. Bütünleşik risk değerlendirme modelinin (BRDM) hesaplamaları ve ortak risk puanı

ERDY	**ERDY Ağırlıkları**	**ERDY Sonuçları**	**Normalleştirilmiş ERDY Sonuçları**	**ERDY Ağırlıkları ile Normalleştirilmiş ERDY Sonuçlarının Çarpımı**
RULA	0,150	7	100/100	0,150
REBA	0,329	9	75/100	0,247
SI	0,522	12,5	49/100	0,256
BÜTÜNLEŞİK MODELİN RİSK PUANI				**0,653**

Yapılan hesaplamalar sonrasında %65,3 bulunan örnek vakanın bütünleşik risk puanı, Çizelge 5.18`de ki derecelendirmeye göre değerlendirildiğinde yapılan iş "tehlikeli" bulunmuştur.

6. SONUÇ

Günümüzde artan tüketici nüfusunun ihtiyaçlarının karşılanması için endüstri işletmelerinde çalışanların üzerindeki yükler gün geçtikçe daha da artmaktadır. Bu şartlar içerisinde işyerlerinde, mesleki kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları azaltılarak sağlık ve güvenliğin iyileştirilmesi, konforun, moralin ve iş doyumunun geliştirilmesi, personel devir oranının ve çalışanların tazminat maliyetlerinin azaltılması ve verimliliğin artırılması için ergonomik programların uygulanması kaçınılmaz olmuştur.

İşyerlerinde ergonomik programların uygulamalarının başında ergonomik açıdan işyeri risklerinin değerlendirilmesi gelmektedir. Risk değerlendirme çalışmaları sonucunda mevcut olan risk faktörleri ve faktörlerin kaynağı olan noktalar belirlenebilmektedir. Bu noktalar üzerinde yapılacak iyileştirme çalışmaları ile ergonomi prensiplerine uygun işyerleri tasarlamak mümkündür.

İşletmelerde ergonomik risk değerlendirme yapabilmek için işletmedeki risk faktörlerine uygun bir yöntem seçimi uygulamadaki en büyük problemdir. Ayrıca birbirine alternatif yöntemler aynı iş üzerine uygulandığında çok farklı risk düzeyleri de elde edilebilmektedir. Tam ve doğru bir sonuca varmak için işletmelerdeki uzmanlar zaman zaman birden fazla yöntemi uygulamak zorunda kalmaktadırlar.

Bu tez çalışmasında birbirine alternatif olabilecek ERDY`lerin AHP ile ağırlıklandırılmasıyla elde edilen her bir alternatife ait ağırlık değerleri, her bir ERDY`nin örnek bir vaka üzerinde uygulaması sonrasında elde edilen risk puanları ile çarpılarak örnek vakaya ait bütünleşik bir risk puanı hesaplanmıştır. Aynı hesaplamalar ERDY`lerin birbirinden bağımsız risk derecelendirme ve önlem düzeyleri için de uygulanarak, bütünleşik risk puanına ait önlem düzeyi belirlenmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre bütünleşik bir yaklaşımla ortak bir risk puanının elde edilmesi süreci örnek bir BRDM olacaktır. İşletmelerdeki

uygulayıcıların farklı yöntemlerle elde ettikleri farklı sonuçları tek bir algı düzeyine indirgeyebilmesine yardımcı olabilecek bu yöntemle önlem düzeyi de tek bir şekilde ifade edilebilecektir.

Ayrıca AHP yönteminin kullanılmasıyla birbirine alternatif ERDY`lerin sayısal bir teknikle karşılaştırılması da sağlanmıştır. Tespit edilen kriterler temel alınarak oluşturulan AHP modelinin çözümü sonrasında hangi ERDY`nin algılanmasının, uygulanmasının, çözümünün ve sonucunun daha çok tercih edilebilir olabileceği de ortaya konulmuştur.

AHP modeli sürecinde belirlenen kriter ve alt kriterlerin ya da alternatif ERDY`lerin farklılaştırılması ya da arttırılmasıyla yapılacak çalışmalarda çok daha farklı sonuçların elde edilmesi mümkündür. Bunun yanında farklı ergonomik risk faktörleri için geliştirilmiş ERDY`ler için farklı bir uygulama yapılarak benzer bir BRDM de kurulabilir.

ERDY`lerin yanı sıra sadece ergonomik değil işyerlerindeki tüm riskleri değerlendirebilecek risk değerlendirme yöntemleri kullanılarak çalışma daha da genişletilebilir.

KAYNAKLAR

1. Su, B.A., "Ergonomi", ***Atılım Üniversitesi Yayınları – 5***, Ankara, (2001).

2. Dul, J., Weerdmeester, B., "Ergonomics for Beginners a quick reference guide, 2nd Ed". ***Taylor&Francis Inc***, (2001).

3. İnternet: U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration (OSHA) "Ergonomics: The Study of Work". http://www.fop.org/downloads/OSHA%20Ergonomics.pdf (2000).

4. İnternet: SistEM "Ergonomi Bilinç Eğitimi (Çeviri: H. Okan Durmuş)" http://www.sistems.org/ergomomi_bilinc_a.htm.

5. Akay, D., Dağdeviren, M., Kurt, M., "Çalışma duruşlarının ergonomik analizi", ***Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi***, 18 (3), 73-84 (2003).

6. Güler, Ç., "Ergonomiye Giriş Ders Notları", ***Ankara Tabip Odası***, Ankara, Bölüm 13, (2001).

7. Erdem, M. A., "Ergonomik İş İstasyonu Tasarımı", ***Gazi Üniversitesi***, Ankara, (2000).

8. *Wely P.,* "Design and Disease", ***Applied Ergonomics***, 1 (5): 262-269, (1970).

9. İnternet: Workers' Compensation Board Alberta "Office Ergonomics Remembering the Basics", 7-22, http://www.wcb.ab.ca/pdfs/ergobk.pdf.

10. McAtamney, L., Corlett, E.N., "RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders", ***Applied Ergonomics***, 24 (2) : 91-99 (1993).

11. Hignett, S., McAtamney, L., "Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA)", ***Applied Ergonomics***, 31 : 201-205 (2000).

12. Moore, J.S., Garg, A., "The Strain Index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders", ***American Industrial Hygiene Association Journal***, 56 (5) : 443-458 (1995).

13. "Musculoskeletal Disorders Prevention Series", Occupational Health and Safety Council of Ontario (OHSCO), Ontario, (2007).

14. Coyle, A., Comparison of two different assessment tools in the supermarket industry". ***Work***, 24 : 111-116 (2005).

15. Cabecas, J. M., "The risk of distal upper limb disorder in cleaners: A modified application of the Strain Index method", ***International Journal of Industrial Ergonomics***, 37 (6) : 563-571 (2007).

16. Saaty, T., "The Analytic Hierarchy Process", ***McGraw-Hill International Book Company***, USA (1980).

17. Albayrak, C., Albayrak, E., "Kredi taleplerinin değerlendirilmesinde AHP yönteminin kullanılması", ***Kara Harp Okulu 1. Sistem Mühendisliği ve Savunma Uygulamaları Sempozyumu, Bildiriler***, 593-599 (1995).

18. Saaty, T., "The Analytic Hierarchy and Analytic Processes", ***MCDM XVth International Conference***, Ankara (2000).

19. Barbeau, E., "Reciprocal matrices of order", ***Mathematical Modelling***, 9 : 3-5, 321-326 (1987).

20. Aladağ, Z. ve Ulusoy, S., "Lastik sektöründe AHP yöntemi ile ürün geliştirme sürecinin incelenmesi", ***Kara Harp Okulu 1. Sistem Mühendisliği ve Savunma Uygulamaları Sempozyumu, Bildiriler***, 673-683 (1995).

21. Uyar, Y., "İş güvenliği ve yatırımlarında etkin karar verme stratejileri oluşturmak için analitik hiyerarşi prosesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi", ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*** (2001).

22. Saaty, T., "Physice as a decision theory", ***European Journal of Operational Research***, 48, 98-104 (1990).

23. Tam, M.C.Y. ve Tummala, V.M.R., "An application of the AHP in Vendor Selection of a Telecommunications System", ***The International Journal of Management Science***, 29 (2) : 171-182 (2001).

24. Saaty, T., "Some mathematical concepts of the analytic hierarchy process", ***Behaviormetrika***, 29 : 1-9 (1991).

25. İnternet: Expert Choice "Expert Choice Desktop Limited Academic Version" www.expertchoice.com

26. Arbel, A., "Venturing into new technological markers", ***Mathematical Modelling***, 9 : 3-5, 293-298 (1987).

27. Golden, B.L., Wang, Q., "An alternate measure of consistency", ***College of Business and Management, University of Maryland College Park*** (1989).

28. Saaty, T., "The Analytic Hierarchy Process for Decision Making", Kobe, Japan (1999).

29. Dağdeviren, M., "Analitik hiyerarşi prosesi ile yeni bir analitik iş değerlendirme tekniğinin geliştirilmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi", ***Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*** (2002).

30. David, D.C., “Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders”, ***Occupational Medicine***, 55 : 190-199 (2005).

31. Chaffin, D.B., Andersson, G., Martin, B.J., “Occupational Biomechanics, Fourth ed.”, ***John Wiley & Sons***, Hoboken, New Jersey (2006).

EKLER

EK-1. Değerlendirmeyi yapacak ekipteki kişilere uygulanan anket

ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİNİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ VE BÜTÜNLEŞİK BİR MODEL ÖNERİSİ

ANKET FORMU

Değerli Katılımcı;

Yapılacak bu çalışma ile üç farklı (RULA, REBA ve SI) ergonomik risk değerlendirme yönteminin (ERDY), çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan analitik hiyerarşi prosesi ile ağırlıklandırılması hedeflenmiştir. Böylece benzer içerikte geliştirilmiş mevcut araçlar farklı kriterlere göre kantitatif bir şekilde değerlendirilmiş olacaktır. Elinizdeki bu anket sonucunda, önceden belirlenen kriter ve alt kriterlerin ağırlıklandırılması sağlanarak çıktılar yapılacak akademik çalışmada kullanılacaktır. Lütfen açıklamalar kısmını dikkatle okuyunuz ve formu daha sonra doldurunuz.

Bu süreç içerisinde yapacağınız tüm katkı ve yapıcı eleştirileriniz için şimdiden teşekkür eder, sağlıklı ve güvenli günler dileriz.

AÇIKLAMALAR:
Anket 3 (üç) bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde her bir kriterin altında yer alan tüm alt kriterlerin kendi aralarında göreli önemlerini derecelendirmeniz istenecek, ikinci bölümde aynı işlemler kriterler seviyesinde yapılacak, üçüncü bölümde ise alternatiflerin tamamı tüm alt kriterler temelinde karşılaştırılarak süreç tamamlanacaktır. Göreli önem dereceleri belirlenirken, sizden sorulan sorulara göre verilecek 1-9 değerlendirme ölçeğine göre kriter kümelerini karşılaştırarak seçiminizi yapmanız istenecektir. Bunların değerleri: 1, ikisi eşit derecede önemli; 3, biri diğerine göre orta derecede önemli; 5, biri diğerine göre kuvvetli derecede önemli; 7, biri diğerine göre çok kuvvetli derecede önemli; 9, biri diğerine göre kesin önemli; 2, 4, 6 ve 8 değerleri ara değerlerdir. Değerlendirmenizi yaparken hangi kriter kümesinin daha etkili olduğunu düşünüyorsanız o kriter kümesine yakın olan rakamlardan size göre uygun olanı (X ile) işaretleyiniz.

Örneğin;

Alternatif seçimi açısından belirlenen kriterlerden hangisi görece daha önemlidir?

1. Kriter	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**2. Kriter**
Kriter A							X											*Kriter B*

Yorum: Alternatif seçimi açısından belirlenen kriterlerden Kriter A, Kriter B`ye göre orta derecede önemlidir.

EK-1 (Devam). Değerlendirmeyi yapacak ekipteki kişilere uygulanan anket

DEĞERLENDİRİLMESİ İSTENİLEN KRİTER VE ALT KRİTERLERE İLİŞKİN GENEL BİLGİLER:

1. **Etkinlik:** ERDY`nin iş ile ilgili kas iskelet sistemi rahatsızlıkları risklerinin tamamını ortaya koyabilmesi için öncelikle yöntemde kullanılacak girdilerin olabildiğince geniş bir yelpazede olması sonrasında ise değerlendirme sonrası ortaya konan çıktının amaca uygun bir formda oluşması gereklidir.

   1.1. Girdi verileri: ERDY`ler, iş ile ilgili kas-iskelet sistemi hastalıkları risklerinin maruziyetini değerlendirmek ve işyerlerinin önleyici tasarımına yardımcı olmak için en az üç ana mekanik boyutu ele almalıdır:

   - Seviye: Kullanılan kuvvetlerin şiddeti
   - Tekrarlama: Kuvvet düzeylerinin arasındaki devrin sıklığı
   - Süre: Fiziksel aktivitenin yapılması için kullanılan zaman

   Bu mekanik boyutlar, üç öncelikli risk faktörüyle doğrudan ilişkilidir: güçlü çaba, tekrarlama ve stresli pozisyon. İdeal olarak, bu araçlar, pozisyon değişimi, hareket hızı, titreşime maruz kalma ve psikososyal/örgütsel faktörler gibi diğer önemli maruziyet faktörlerini de içermelidir.

   1.2. Çıktı verileri: ERDY`ler aynı zamanda nesnel olarak riskleri değerlendirmeli, vücudun hangi kısmının risk altında olduğunu belirlemeli, yüksek riskli işleri düşük riskli işlerden ayırmalı ve muhtemel iyileştirmeler için değerlendiriciye yol göstermelidir.

2. **Karmaşıklık:** Değerlendirme aracının karmaşıklığı arttıkça, kullanmak için öğrenmeye ayrılan süre, uygulama için toplanması gereken veri ve çıktı önlemlerini bulmak için kullanılan verinin süreci de artmaktadır.

   2.1. Anlaşılabilirlik: ERDY`nin uygulamaya başlanmadan önce gerekli tüm açıklamaları mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde kullanıcıya aktarması gerekmektedir.

   2.2. Uygulanabilirlik: ERDY`nin mümkün olduğu kadar kısa, görsel öğelerle desteklenmiş, hesaplama gerektirmeyen yöntemlerin kullanılması değerlendiriciler açısından tercih sebebi olacaktır.

3. **Maliyet:** ERDY geçerli, tekrar edilebilir, uygulamasının maliyeti düşük ve kullanımı kolay olmalıdır.

   3.1. Kullanılan malzeme: ERDY uygulanırken kullanılan malzemelerin sayısı, niteliği ve karmaşıklığı arttıkça, değerlendiricinin süreci algılamasındaki ve yönetmesindeki konsantrasyonu ve motivasyonu doğru orantılı olarak azalacaktır.

   3.2. Süre: ERDY`nin öğrenilmesinde ve uygulanmasında geçen süre değerlendiriciler için önemli bir maliyet kalemi olarak görülmektedir.

EK-1 (Devam). Değerlendirmeyi yapacak ekipteki kişilere uygulanan anket

DEĞERLENDİRME:

A) Alt Kriterler:

"Etkinlik" kriteri altında yer alan aşağıdaki alt kriterlerden hangisi sizce ergonomik risk değerlendirme yöntemi seçiminde daha önemlidir?

1. Alt Kriter	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**2. Alt Kriter**
Girdi verileri																		*Çıktı verileri*

"Karmaşıklık" kriteri altında yer alan aşağıdaki alt kriterlerden hangisi sizce ergonomik risk değerlendirme yöntemi seçiminde daha önemlidir?

1. Alt Kriter	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**2. Alt Kriter**
Anlaşılabilirlik																		*Uygulanabilirlik*

"Maliyet" kriteri altında yer alan aşağıdaki alt kriterlerden hangisi sizce ergonomik risk değerlendirme yöntemi seçiminde daha önemlidir?

1. Alt Kriter	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**2. Alt Kriter**
Kullanılan malz.																		*Süre*

B) Kriterler:

Aşağıdaki kriterlerden hangisi sizce ergonomik risk değerlendirme yöntemi seçiminde daha önemlidir?

1. Alt Kriter	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**2. Alt Kriter**
Etkinlik																		*Karmaşıklık*
Etkinlik																		*Maliyet*
Karmaşıklık																		*Maliyet*

C) Alternatifler

"Girdi verileri" alt kriteri altında yer alan aşağıdaki alternatiflerden hangisi sizce daha tercih edilebilirdir?

1. Alternatif	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**2. Alternatif**
RULA																		*REBA*
RULA																		*SI*
REBA																		*SI*

"Çıktı verileri" alt kriteri altında yer alan aşağıdaki alternatiflerden hangisi sizce daha tercih edilebilirdir?

1. Alternatif	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**2. Alternatif**
RULA																		*REBA*
RULA																		*SI*
REBA																		*SI*

EK-1 (Devam). Değerlendirmeyi yapacak ekipteki kişilere uygulanan anket

"Anlaşılabilirlik" alt kriteri altında yer alan aşağıdaki alternatiflerden hangisi sizce daha tercih edilebilirdir?

1. Alternatif	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**2. Alternatif**
RULA																		*REBA*
RULA																		*SI*
REBA																		*SI*

"Uygulanabilirlik" alt kriteri altında yer alan aşağıdaki alternatiflerden hangisi sizce daha tercih edilebilirdir?

1. Alternatif	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**2. Alternatif**
RULA																		*REBA*
RULA																		*SI*
REBA																		*SI*

"Kullanılan malzeme" alt kriteri altında yer alan aşağıdaki alternatiflerden hangisi sizce daha tercih edilebilirdir?

1. Alternatif	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**2. Alternatif**
RULA																		*REBA*
RULA																		*SI*
REBA																		*SI*

"Süre" alt kriteri altında yer alan aşağıdaki alternatiflerden hangisi sizce daha tercih edilebilirdir?

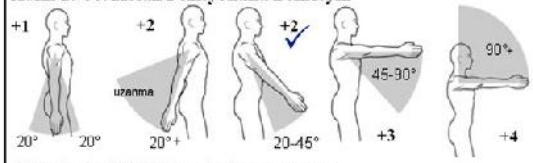
1. Alternatif	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**2. Alternatif**
RULA																		*REBA*
RULA																		*SI*
REBA																		*SI*

RULA İşçi Değerlendirme Formu

RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, McAtamney & Corlett, Applied Ergonomics 1993, 24(2), 91-99

A. Kol ve El Bileği Analizleri

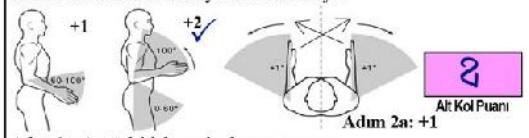
Adım 1: Üst Kolun Pozisyonunu Belirleyin



Adım 1a: Aşağıdaki durumlarda puanı artırın;
Eğer omuzlar da yükselmişse: +1
Eğer üst kol dışa doğru açılmışsa: +1
Eğer kol desteklenmiş veya kişi bir yere dayanmışsa: -1

2 — Üst Kol Puanı

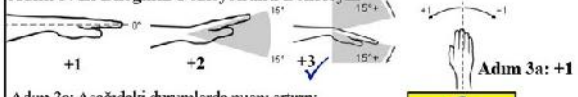
Adım 2: Alt Kolun Pozisyonunu Belirleyin



2 — Alt Kol Puanı

Adım 2a: Aşağıdaki durumlarda puanı artırın;
Eğer her iki kol orta hat çaprazında veya vücudun dışına doğru hareket ediyorsa: +1

Adım 3: El Bileğinin Pozisyonunu Belirleyin



Adım 3a: Aşağıdaki durumlarda puanı artırın;
Eğer el bileği yana doğru eğilmişse: +1

3 — El Bileği Puanı

Adım 4: El Bileğinin Dönmesi
Eğer el bileği kendi ekseninde dönmüşse: +1
Eğer el bileği dönerek sınırına yaklaşmışsa: +2

1 — El Bileğinin Dönmesi Puanı

Adım 5: Tablo A'dan Duruş Puanını Bulun
Yukarıdaki 1'den 4'e kadar olan adımlardan elde edilen değerleri kullanarak Tablo A'dan puanı bulun.

3 — Duruş Puanı A

\+

Adım 6: Kas Kullanım Puanını Bulun
Eğer duruş çoğunlukla statikse (Örn. tutuş>1dk.), veya faaliyet dakikada 4'den fazla tekrarlanıyorsa: +1

\- — Kas Kullanım Puanı

\+

Adım 7: Kuvvet/Yük Puanını Ekleyin
Eğer yük < 2kg ise (aralıklı): +0
Eğer yük 2 ila 10kg ise (aralıklı): +1
Eğer yük 2 ila 10kg ise (statik veya tekrarlanan): +2
Eğer 10kg'dan fazla ise ya da tekrarlanan veya ani ise: +3

3 — Kuvvet/Yük Puanı

=

Adım 8: Tablo C'den Satırı Bulun
El Bileği ve Kol Puanını bulmak için 5 ila 7. adımlardaki değerleri ekleyin. Tablo C'deki satırı bulun.

6 — El Bileği & Kol Puanı

PUANLAR

Tablo A: El Bileği Duruş Puanı

Üst Kol	Alt Kol	1 (El Bileğinin Dönmesi 1)	1 (El Bileğinin Dönmesi 2)	2 (El Bileğinin Dönmesi 1)	2 (El Bileğinin Dönmesi 2)	3 (El Bileğinin Dönmesi 1)	3 (El Bileğinin Dönmesi 2)	4 (El Bileğinin Dönmesi 1)	4 (El Bileğinin Dönmesi 2)
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Tablo C: Boyun, gövde ve bacak puanı

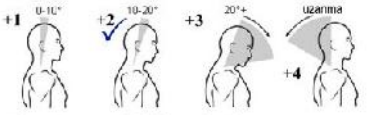
El Bileği ve Kol Puanı	1	2	3	4	5	6	7+
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8+	5	5	6	7	7	7	7

Puanlama (nihai puan Tablo C'den alınacak)
1 veya 2 = kabul edilebilir duruş
3 veya 4 = ileri araştırma, değişiklik gerekebilir
5 veya 6 = ileri araştırma ve hızlı değişiklik
7 = araştır ve değişiklikleri uygula

7 — Nihai RULA Puanı

B. Boyun, Gövde ve Bacak Analizleri

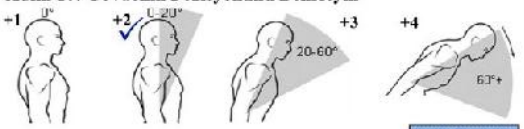
Adım 9: Boynun Pozisyonunu Belirleyin



Adım 9a: Aşağıdaki durumlarda puanı artırın;
Eğer boyun kendi ekseninde döndürülüyorsa: +1
Eğer boyun yana doğru eğiliyorsa: +1

2 — Boyun Puanı

Adım 10: Gövdenin Pozisyonunu Belirleyin



Adım 10a: Aşağıdaki durumlarda puanı artırın;
Eğer gövde kendi ekseninde döndürülüyorsa: +1
Eğer gövde yana doğru eğiliyorsa: +1

2 — Gövde Puanı

Adım 11: Bacaklar
Eğer bacaklar ve ayak destelenmişse: +1
Değilse: +2

2 — Bacak Puanı

Tablo B: Gövde Duruş Puanı

Boyun Duruş Puanı	1 Bacaklar 1	1 Bacaklar 2	2 Bacaklar 1	2 Bacaklar 2	3 Bacaklar 1	3 Bacaklar 2	4 Bacaklar 1	4 Bacaklar 2	5 Bacaklar 1	5 Bacaklar 2	6 Bacaklar 1	6 Bacaklar 2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9

Adım 12: Tablo B'den Duruş Puanını Bulun
Yukarıdaki 9'dan 11'e kadar olan adımlardan elde edilen değerleri kullanarak Tablo B'den puanı bulun.

3 — Duruş Puanı B

\+

Adım 13: Kas Kullanım Puanını Bulun
Eğer duruş çoğunlukla statikse (Örn. tutuş>1dk.), veya faaliyet dakikada 4'den fazla tekrarlanıyorsa: +1

\- — Kas Kullanım Puanı

\+

Adım 14: Kuvvet/Yük Puanını Ekleyin
Eğer yük < 2kg ise (aralıklı): +0
Eğer yük 2 ila 10kg ise (aralıklı): +1
Eğer yük 2 ila 10kg ise (statik veya tekrarlanan): +2
Eğer 10kg'dan fazla ise ya da tekrarlanan veya ani ise: +3

3 — Kuvvet/Yük Puanı

=

Adım 15: Tablo C'den Sütunu Bulun
Boyun, Gövde ve Bacak Puanını bulmak için 12 ila 14. adımlardaki değerleri ekleyin. Tablo C'deki sütunu bulun.

6 — Boyun, Gövde & Bacak Puanı

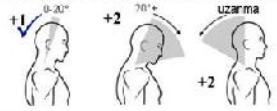
İşin adı: Silme/cilalama makinesine mermer tablanın taşınması Gözlemci: Furkan Kahraman Tarih: 31 / 07 / 2011

REBA - İşçi Değerlendirme Formu

Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-205

A. Boyun, Gövde ve Bacak Analizleri

Adım 1: Boynun Pozisyonunu Belirleyin



Adım 1a: Aşağıdaki durumlarda puanı artırın:
Eğer boyun kendi ekseninde döndürülüyorsa: +1
Eğer boyun yana doğru eğiliyorsa: +1

1 — Boyun Puanı

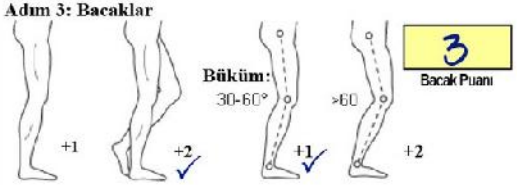
Adım 2: Gövdenin Pozisyonunu Belirleyin



Adım 2a: Aşağıdaki durumlarda puanı artırın:
Eğer gövde kendi ekseninde döndürülüyorsa: +1
Eğer gövde yana doğru eğiliyorsa: +1

2 — Gövde Puanı

Adım 3: Bacaklar



3 — Bacak Puanı

Adım 4: Tablo A'dan Duruş Puanını Bulun
Yukarıdaki 1'den 3'e kadar olan adımlardan elde edilen değerleri kullanarak Tablo A'dan puanı bulun

4 — Duruş Puanı A

Adım 5: Kuvvet/Yük Puanını Ekleyin
Eğer yük < 5kg ise: +0
Eğer yük 5 ila 10kg ise: +1
Eğer yük > 10kg ise: +2
Ayrıca eğer kuvvet hızla veya birden artıyorsa: +1

+

2 — Kuvvet/Yük Puanı

=

Adım 6: Puan A'yı Tablo C Satırlarından Bulun
Puan A'yı bulmak için 4 ve 5. adımlardaki değerleri ekleyin. Tablo C'deki satıra bakın.

6 — Puan A

Puanlama:
1 = gözardı edilebilir risk
2 veya 3 = düşük risk, değişiklik gerekebilir
4 ila 7 = orta risk, ileri araştırma ve hızlı değişiklik
8 ila 10 = yüksek risk, araştır ve değişiklikleri uygula
11+ = çok yüksek risk, değişiklikleri uygula

PUANLAR

Tablo A

Gövde Duruş Puanı	Boyun 1 – Bacaklar 1	2	3	4	Boyun 2 – Bacaklar 1	2	3	4	Boyun 3 – Bacaklar 1	2	3	4
1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Tablo B

Üst Kol Puanı	Alt Kol 1 – El Bileği 1	2	3	Alt Kol 2 – El Bileği 1	2	3
1	1	2	2	1	2	3
2	1	2	3	2	3	4
3	3	4	5	4	5	5
4	4	5	5	5	6	7
5	6	7	8	7	8	8
6	7	8	8	8	9	9

Tablo C

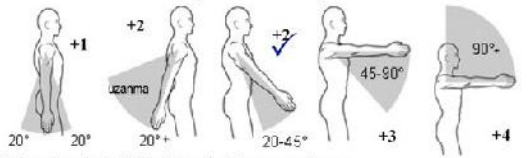
Puan A (Tablo A puanı + kuvvet/yük puanı)	Puan B (Tablo B değeri + kavrayış puanı) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	12	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

8 — Tablo C Puanı + 1 — Faaliyet Puanı

9 — Nihai REBA Puanı

B. Kol ve El Bileği Analizleri

Adım 7: Üst Kolun Pozisyonunu Belirleyin



Adım 7a: Aşağıdaki durumlarda puanı artırın:
Eğer omuzlar da yükselmişse: +1
Eğer üst kol dışa doğru açılmışsa: +1
Eğer kol desteklenmiş veya kişi bir yere dayanmışsa: -1

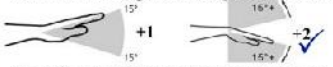
2 — Üst Kol Puanı

Adım 8: Alt Kolun Pozisyonunu Belirleyin



2 — Alt Kol Puanı

Adım 9: El Bileğinin Pozisyonunu Belirleyin



Adım 9a. Aşağıdaki durumlarda puanı artırın:
Eğer el bileği yana doğru eğilmiş veya kendi ekseninde dönmüşse: +1

3 — El Bileği Puanı

Adım 10: Tablo B'den Duruş Puanını Bulun
Yukarıdaki 7'den 9'a kadar olan adımlardan elde edilen değerleri kullanarak Tablo B'den puanı bulun.

4 — Duruş Puanı B

+

Adım 11: Kavrayış Puanını Ekleyin
İyi bir tutuş ve sağlam bir kavrama, *iyi: +0*
Kabul edilebilir ama ideal bir tutuş ya da kavrama yok, *orta: +1*
Elle tutuş kabul edilemez fakat mümkün, *kötü: +2*
Elle tutma yok, biçimsiz, güvenli bir parçası yok, *kabul edilemez: +3*

2 — Kavrayış Puanı

=

Adım 12: Puan B'yi Tablo C'den bulun
Puan B'yi elde etmek için 10 ve 11. adımları ekleyin. Tablo C Puanını elde etmek için Tablo C'deki sütunu, 6. adımdaki satırdan bulunan Puan A ile eşleştirin.

6 — Puan B

Adım 13: Faaliyet Puanı
+1 1 veya daha fazla vücut parçası 1 dakikadan daha fazla kullanılıyor (statik)
+1 Kısa aralıklarla tekrarlanan faaliyetler (dakikada 4'den fazla)
+1 Uzun aralıklarla tekrarlanan duruş değişiklikleri veya sabit olmayan zemin

İşin adı: Silme/cilalama makinesine mermer tablanın taşınması Gözlemci: Furkan Kahraman Tarih: 31 / 07 / 2011

EK-4. SI Değerlendirme Formu

Moore-Garg Zorlanma İndeksi (Strain Index)*

Zorlanma İndeksi (SI), Moore ve Garg tarafından eklemlerden uzak vücudun üst tarafının (el, el bileği, dirsek) iş ile ilgili kas iskelet sistemi rahatsızlıkları riskinin değerlendirilmesi için önerilmiştir.

Bir işi eylemlere bölün. Altı farklı risk faktörünü gözönünde bulundurarak her bir eylem ve her bir el için değerlendirme yapın. Aşağıdaki form bu süreç için tasarlanmıştır. Her bir kategori için puanlamayı unutmayın. Zorlanma İndeksi, altı puandan üretilecektir.

İşin Adı	Silme/cilalama makinesine mermer tablanın taşınması	Gözlemci	Furkan Kahraman
		Tarih	31/07/2011

Zorlanma İndeksi (SI)	*Her bir risk faktörü için puanlamayı bulup toplayın.*	SI < 3 : Güvenli 3 ≤ SI < 5: Güvenilmez 5 ≤ SI < 7: Kısmen Riskli 7 < SI : Tehlikeli ✓		12.5	
Risk Faktörü	**Puanlama Kriteri**	**Gözlem Puanları**		**Sol**	**Sağ**
Uygulanan Kuvvet Şiddeti *(Parantez içindekiler Borg Ölçeği'nden alınmıştır)*	Hafif	*Çok az dikkate değer veya rahat bir efor [0-2]*	1		
	Kısmen Zor	*Hissedilir veya kesin bir çaba [3]*	3		
	Zor ✓	*Apaçık bir çaba; Değişmez açıcı kas [4-5]*	(6)	6	
	Çok Zor	*Önemli bir çaba; Değişken açıcı kas [6-7]*	9		
	Yüksek Derecede Zor	*Kuvvet için omuz veya gövde kullanılır [8-10]*	13		
Kuvvet Uygulama Süresi (Çevrim %'si)	< % 10	*Kuvvet uygulama süresi, gözlem süresi içerisindeki kuvvet uygulanan tüm süreleri (saniye) ölçüp toplam gözlem süresine (saniye) bölünmesi ve 100 ile çarpılması ile bulunur.*	0.5		
	% 10-29		1.0		
	% 30-49 ✓		1.5		
	% 50-79		(2.0)	2	
	> % 80		3.0		
Dakikadaki Kuvvet Uygulama Sayısı	< 4 ✓	*Dakikadaki kuvvet uygulama sayısı, gözlem süresi içerisindeki uygulanan kuvvet sayısının toplam gözlem süresine (dakika) bölünmesi ile bulunur.*	(0.5)	0.5	
	4 - 8		1.0		
	9 - 14		1.5		
	15 - 19		2.0		
	> 20		3.0		
El/Bilek Duruşu	Çok İyi	*Gerçek Doğal Duruş*	1.0		
	İyi	*Neredeyse Doğal Duruş*	1.0		
	Orta	*Doğal Olmayan Duruş*	1.5		
	Kötü ✓	*Belirgin Bir Sapma*	(2.0)	2	
	Çok Kötü	*Neredeyse En Uç Noktada Duruş*	3.0		
Çalışma Hızı	Çok Yavaş	*Son derece rahat yürüme adımları*	1.0		
	Yavaş	*"Birisinin zamanını alıyormuşcasına"*	1.0		
	Orta ✓	*"Normal" hareket hızı*	(1.0)	1	
	Hızlı	*Aceleci, fakat yetişmek mümkün*	1.5		
	Çok Hızlı	*Aceleci ve yetişmek çok zor/mümkün değil*	2.0		
Günlük Çalışma Süresi (Saat)	<1		0.25		
	1 - 2		0.50		
	2 - 4		0.75		
	4 - 8 ✓		(1.00)	1	
	> 8		1.50		

*J. Steven Moore ve Arun Garg, The Strain Index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders; *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 56:443-458, 1995.

ÖZGEÇMİŞ

1 Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KAHRAMAN, Muhammed Furkan

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 04.09.1984 - Akhisar

Medeni hali : Evli

Telefon : 0 (507) 237 08 92

E-posta : furkah@hotmail.com

2 Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Kırıkkale Üniv. / End. Müh. Böl.	2006
Lise	Kırıkkale Anadolu Öğretmen Lisesi	2002

3 İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-…	Çalş ve Sos. Güv. Bak.	İş Sağ. ve Güv. Uz. Yrd.
2007-2009	Tuğba Giyim Ltd. Şti.	Üretim Müdürü

4 Yabancı Dil

İngilizce

5 Hobiler

Resim, Edebiyat, Sinema, Fotoğraf, Bilgisayar teknolojileri