KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ÇALIŞMA DURUŞLARININ OWAS YÖNTEMİ İLE ANALİZİNDE YÖNTEM GÜVENİLİRLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

HATİCE ESEN

KOCAELİ 2013

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ÇALIŞMA DURUŞLARININ OWAS YÖNTEMİ İLE ANALİZİNDE YÖNTEM GÜVENİLİRLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

HATİCE ESEN

Prof.Dr.Nilgün FIĞLALI Danışman, Kocaeli Üniv.	.....
Doç.Dr.M. Kemal GÜLLÜ Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.	.....
Prof.Dr.Coşkun ÖZKAN Jüri Üyesi, Yıldız Teknik Üniv.	.....
Yrd.Doç.Dr. Pınar YILDIZ KUMRU Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.	.....
Yrd.Doç.Dr.Berrin DENİZHAN Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.	.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 13.12.2013

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıkları (KİSR)'nın da içinde yer aldığı kronik hastalıkların önemli bir halk sağlığı sorunu olmasının temel nedeni yaşamsal bir risk oluşturmamasına karşın, oldukça yaygın olması, iş gücü kaybına yol açması ve kişinin yaşam kalitesini bozmasıdır. Bu faktörler açısından KİSR tüm dünyada önde gelen hastalık nedenleri arasında yer almakta ve hem kişiye, hem topluma önemli olumsuz etkileri bulunmaktadır. Özellikle kişinin yaşam kalitesini ve iş verimini etkilemekte, sakatlıklara yol açmakta ve sağlık sistemine büyük ölçüde yük getirmektedir.

Bu tez çalışmasında; tüm dünyada hem çalışan kesim üzerinde ciddi sağlık problemleri oluşturan hem de ülke ekonomilerine önemli maddi yükler getiren ve iş ortamında KİSR'na neden olan uygunsuz çalışma duruşlarının belirlenmesine yönelik olarak sıklıkla kullanılan, özellikle de fiziksel ağırlıklı çalışmalarda tüm vücudun hareketlerini dikkate alan ve gözleme dayalı olarak gerçekleştirilen yöntemlerden biri olan OWAS (Ovako Working Posture Analysing System) yönteminin güvenilirliğinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu konu üzerinde çalışmam için beni teşvik eden, tezin yönlendirilmesinde emeği geçen ve her konuda beni destekleyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Nilgün FIĞLALI'ya ve çalışmamın her aşamasında fikirleriyle beni aydınlatan değerli hocam Prof. Dr. Alpaslan FIĞLALI'ya, hiçbir fedakarlıktan kaçınmayarak her konuda bana destek olan eşime ve enerjisiyle beni motive eden oğluma, hayatım boyunca tüm çalışmalarımda bana destek olan aileme, çalışma arkadaşım Ahmet Cihan'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca Doktora öğrenimim boyunca Yurt İçi Doktora Bursu'nu aldığım Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na da teşekkürlerimi sunarım.

Kasım – 2013 Hatice ESEN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iii
TABLOLAR DİZİNİ iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET ix
ABSTRACT x
GİRİŞ 1
1. KAS İSKELET SİSTEMİ ve RAHATSIZLIKLARI 6
1.1. Kemikler 7
1.2. Eklemler ve Eklem Hareketleri 7
1.3. Kaslar 10
1.4. İnsan Hareketlerinin Sınırları ve Ergonomik Açıdan Değerlendirilmesi 10
1.4.1. Baş hareketleri 11
1.4.2. Gövde ve el kol hareketleri 11
1.4.3. Ayak ve bacak hareketleri 13
1.4.4. Maksimum kavrama noktaları 14
1.5. Çalışma Duruşu ve Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıkları 15
2. KİSR'NİN ÖNLENMESİNDE UYGULANABİLECEK ANA İLKELER VE BİLİMSEL YÖNTEMLER 22
2.1. Çalışma Ortamlarının Tasarımı ve Etkin Kullanımında Dikkate Alınması Gereken Ana İlkeler 22
2.2. Çalışma Duruşu Analizinde Kullanılan Bilimsel Yöntemler 25
2.2.1. Yük kaldırma görevleri ile ilgili yöntemler 26
2.2.2. Gözlem veya ankete dayalı yöntemler 27
2.2.3. Kontrol listeleri 29
2.2.4. Sayısal biyomekanik ölçüler 30
3. OWAS VE LİTERATÜRDEKİ UYGULAMALARI 35
4. GÖZLEM SÜRE VE ARALIKLARININ ANALİZİ 58
4.1. Çalışma Planı 61
4.2. İstatistiksel Analizler 62
4.3. OWAS Güvenilirliğinin Geliştirilmesine Yönelik İstatistiksel Analizler 64
4.3.1. Klasik OWAS analizi 64
4.3.2. Birikimli rassal OWAS analizi 89
4.3.3. Tam rassal OWAS analizi 97
4.3.4. OWAS güvenilirliğinin geliştirilmesine yönelik deneysel çalışmalar 103
4.4. İstatistiksel Sonuçların Yorumlanması 120
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 132
KAYNAKLAR 132
EKLER 138
KİŞiSEL YAYIN VE ESERLER 114
ÖZGEÇMİŞ 114

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Eklemlerin hareketliliği 8
Şekil 1.2. Üst ve alt etraf eklemlerinin hareketlilik dereceleri..... 9
Şekil 1.3. Başın boyun ekleminde hareketliliği 11
Şekil 1.4. El ve kol hareketlerinin boyutları 12
Şekil 1.5. Ayak ve bacak hareketlerinin boyutları 13
Şekil 1.6. Kavrama Noktaları..... 14
Şekil 1.7. Vücut duruşunun elverişsiz olmasından doğan sonuçlar..... 17
Şekil 3.1. OWAS ile duruşların sınıflandırılması 36
Şekil 3.2. OWAS yöntemi ile duruşların kodlanması..... 38
Şekil 4.1. Ki-kare karar modeli..... 63
Şekil 4.2. Disk kumlama işine ait örnek film kareleri..... 66
Şekil 4.3. Jant imalatı-1 işine ait örnek film kareleri 71
Şekil 4.4. Jant imalatı-2 işine ait örnek film kareleri 73
Şekil 4.5. Matkapla delme işine ait örnek film kareleri 76
Şekil 4.6. Lastik hammadde hazırlama işine ait örnek film kareleri..... 79
Şekil 4.7. Kapı boyama işine ait örnek film kareleri..... 83
Şekil 4.8. Kayrak taşı kaplama işine ait örnek film kareleri 86

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Kavrama Noktaları 15
Tablo 1.2. Vücut Hareketleri ve Etkiledikleri Bölgeler 18
Tablo 1.3. KİSR'na ait Mesleki Risk Faktörleri ve Semptomlar 21
Tablo 3.1. OWAS yöntemi ile yapılmış çalışmalar 39
Tablo 4.1. Güven düzeyleri için Z_{kritik} değerleri 60
Tablo 4.2. Klasik OWAS analizinde kullanılan deney düzeni 65
Tablo 4.3. Disk kumlama işine ait OWAS analiz sonuçları 67
Tablo 4.4. Disk kumlama işinde 300 adet gözlem için Ki-Kare analiz hesabı 68
Tablo 4.5. Disk kumlama, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları 69
Tablo 4.6. Jant imalatı-1 işine ait OWAS analiz sonuçları 70
Tablo 4.7. Jant imalatı-1, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları 72
Tablo 4.8. Jant imalatı-2 işine ait OWAS analiz sonuçları 74
Tablo 4.9. Jant imalatı-2, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları 75
Tablo 4.10. Matkapla delme işine ait OWAS analiz sonuçları 77
Tablo 4.11. Matkapla delme, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları 77
Tablo 4.12. Lastik hammadde hazırlama işine ait OWAS analiz sonuçları 80
Tablo 4.13. Lastik hammadde hazırlama, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları 81
Tablo 4.14. Kapı boyama işine ait OWAS analiz sonuçları 82
Tablo 4.15. Kapı boyama, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları 84
Tablo 4.16. Kayrak taşı kaplama işine ait OWAS analiz sonuçları 87
Tablo 4.17. Kayrak taşı kaplama, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları 88
Tablo 4.18. Kayrak taşı kaplama işinde 300 gözleme ait OWAS analiz sonuçları 88
Tablo 4.19. Birikimli rassal analizlerde kullanılan deney düzeni 90
Tablo 4.20. Disk kumlama, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları 91
Tablo 4.21. Jant imalatı-1, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları 92
Tablo 4.22. Jant imalatı-2, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları 92
Tablo 4.23. Matkapla delme, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları 93
Tablo 4.24. Lastik hammadde hazırlama, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları 95
Tablo 4.25. Kapı boyama, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları 96
Tablo 4.26. Kayrak taşı kaplama, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları 96
Tablo 4.27. Tam rassal analizlerde kullanılan deney düzeni 97
Tablo 4.28. Disk kumlama, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları 98

Tablo 4.29. Jant imalatı-1, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları..... 98
Tablo 4.30. Jant imalatı-2, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları..... 99
Tablo 4.31. Matkapla delme, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları..... 100
Tablo 4.32. Lastik hammadde hazırlama, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları 101
Tablo 4.33. Kapı boyama, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları 102
Tablo 4.34. Kayrak taşı kaplama, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları 102
Tablo 4.35. Disk kumlama, klasik OWAS analizindeki kodların frekans farklılığı analizi 1 104
Tablo 4.36. Disk kumlama, klasik OWAS analizindeki kodların frekans farklılığı analizi 2 104
Tablo 4.37. Disk kumlama, birikimli rassal OWAS analizindeki kodların frekans farklılığı analizi 1 105
Tablo 4.38. Disk kumlama, birikimli rassal OWAS analizindeki kodların frekans farklılığı analizi 2 105
Tablo 4.39. Disk kumlama, tam rassal OWAS analizindeki kodların frekans farklılığı analizi 1 106
Tablo 4.40. Disk kumlama, tam rassal OWAS analizindeki kodların frekans farklılığı analizi 2 106
Tablo 4.41. Jant imalatı-1, düşük frekanslı kod farklılığına göre klasik OWAS analizi 108
Tablo 4.42. Jant imalatı-2, düşük frekanslı kod farklılığına göre klasik OWAS analizi 109
Tablo 4.43. Matkapla delme işine ait çevrim bazında OWAS analiz sonuçları 111
Tablo 4.44. Matkapla delme-çevrimli, OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları 112
Tablo 4.45. Lastik hammadde hazırlama-çevrimli, OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları..... 114
Tablo 4.46. Lastik hammadde hazırlama-beş çevrimli, OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları..... 116
Tablo 4.47. Lastik hammadde hazırlama çevrim sırası değiştirilmiş OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları..... 117
Tablo 4.48. Tek sayıda gözlem sayısı içeren aynı çevrimin tekrarlaması durumundaki çevrimler arası farklılık analizi 118
Tablo 4.49. Çift sayıda gözlem sayısı içeren aynı çevrimin tekrarlaması durumundaki çevrimler arası farklılık analizi 1 119
Tablo 4.50. Çift sayıda gözlem sayısı içeren aynı çevrimin tekrarlaması durumundaki çevrimler arası farklılık analizi 2 120
Tablo 4.51. Disk kumlama işi için iki farklı deneme planına ait Ki-Kare değerleri..... 121
Tablo 4.52. Disk kumlama, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları..... 122
Tablo 4.53. Jant imalatı-1, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları 123
Tablo 4.54. Jant imalatı-2, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları 123
Tablo 4.55. Matkapla delme, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları 124
Tablo 4.56. Matkapla delme-çevrimli, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları 125

Tablo 4.57. Lastik hammadde hazırlama, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları 125
Tablo 4.58. Lastik hammadde hazırlama-çevrimli, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları 126
Tablo 4.59. Kapı boyama, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları..... 127
Tablo 4.60. Kayrak taşı kaplama, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları 127
Tablo 4.61. 300 gözlem için elde edilmiş Ki-Kare değerleri..... 128
Tablo 4.62. 300 gözlem için Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları 129
Tablo 4.63. 80 dakikalık gözlem süresi için elde edilmiş Ki-Kare değerleri..... 129
Tablo 4.64. 80 dakikalık gözlem süresi için Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları 130
Tablo 4.65. 80 dakikalık gözlem süresine sahip analizlerde bulunan kod çeşitleri 130
Tablo 5.1. Analiz edilen işler bazında farklı deneme planlarının karşılaştırılması 132
Tablo 5.2. Çevrim etkisine göre analiz edilen işler..... 133

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

α	: Önem düzeyi
μ	: Beklenen değer
σ	: Standart sapma
o_i	: Gözlenen frekans
e_i	: Beklenen frekans
H_0	: Boş hipotez
H_1	: Alternatif hipotez
χ^2	: Ki-Kare test istatistiği
s.d	: Serbestlik derecesi
Z	: Standart normal dağılım tablo değeri
p	: Test istatistiği
GS	: Gözlem süresi
GA	: Gözlem Aralığı
GSa	: Gözlem Sayısı
R	: Replikasyon

Kısaltmalar

ACGIH	: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Resmi Endüstriyel Hijyenist Amerikan Konferansı)
CCOHS	: Canadian Centre for Occupational Safety and Health (Kanada Mesleki Güvenlik ve Sağlık Merkezi)
EMG	: Electromyography (Elektromiyografi)
ICOH	: International Commision on Occupational Health (Uluslararası Meslek Sağlığı Komisyonu)
İSGGM	: İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü
KİSR	: Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıkları
MTM	: Methods Time Measurement (Zaman Ölçüm Metotları)
NIOSH	: National Institute for Occupational Safety and Health (Ulusal Mesleki Sağlık ve Güvenlik Enstitütsü)
OCRA	: Occupational Repetitive Actions (Mesleki Tekrarlı Hareketler)
OSHA	: Occupational Safety & Health Administration (Mesleki Sağlık ve Güvenlik Yönetimi
OWAS	: Ovako Working Posture Analysing System (Ovako Çalışma Duruşu Analiz Sistemi)
REBA	: Rapid Entire Body Assessment (Hızlı Tüm Vücut Değerlendirmesi)
RULA	: Rapid Upper Limb Assessments (Hızlı Üst Ektremite Değerlendirmesi)
TRAC	: Task Recording and Analysis on Computer (Bilgisayarda Görev Kayıt ve Analizi)
UAW-GM	: United Auto Workers- General Motor (General Motor Otomotiv Çalışanları Sendikası)
VAS	: Visual Analog Scale (Görsel Analog Skala)
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

WISHA : Washington Industrial Safety and Health Act (Washington Endüstriyel Güvenlik ve Sağlık Yasası)
YSA : Yapay Sinir Ağı

ÇALIŞMA DURUŞLARININ OWAS YÖNTEMİ İLE ANALİZİNDE YÖNTEM GÜVENİLİRLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Büyük sağlık problemlerine ve sosyal kaynak tüketimine neden olan Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıkları (KİSR), çalışan nüfusu en yaygın olarak etkileyen olumsuzluklardandır. Tüm sağlık problemleri içinde, yapılan harcamalar sıralamasında üst sıralarda yer alan ve çalışanı iş verimi, yaşam kalitesi, fiziksel ve sosyal fonksiyonlar açısından olumsuz etkileyen KİSR, önemli oranda uygun olmayan çalışma duruşlarından kaynaklanmaktadır. Literatürde çalışma duruşlarını analiz etmeyi amaçlayan yöntemler arasında yer alan OWAS; çok çeşitli işlerde uygulanabilen ve vücudun her bölümündeki duruşları değerlendirmeye katan başarısı yüksek bir yöntemdir.

OWAS, gerçek çalışmayı temsil etmek üzere belirli zaman aralıkları ile alınan çalışma duruşu örneklerinin iş örneklemesi mantığıyla analizine dayalı bir yöntemdir. OWAS yönteminde ana kütle analiz edilen iş, örnek hacim ise belirli gözlem süre ve gözlem aralığı ile elde edilen örnek çalışma duruşları kümesidir.

Literatürde OWAS yönteminin, hemen her çalışmada farklı bir gözlem süresinde kayıt alınarak değişik örnek hacimleriyle uygulandığı göze çarpmaktadır. Bu çalışmalarda seçilen analiz koşullarında (gözlem süresi ve gözlem aralığı) herhangi bir değişiklik olması durumunda analiz sonuçlarının nasıl etkileneceği ile ilgili bilgi bulunmamakla birlikte seçilen bir işin OWAS yöntemiyle istatistiksel olarak güvenilir analiz edebilmesi için toplam filme kaydetme süresi (gözlem süresi) ve filmi durdurarak örnek çalışma duruşlarının elde edilme aralıklarına ilişkin (gözlem aralıkları) bilimsel standartların da mevcut olmadığı, bu konuda daha önceki çalışmaların referans gösterildiği veya sezgisel kararlar verildiği de görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, OWAS yönteminin farklı süre ve özellik gerektiren işlerin analizinde de istatistiksel olarak belirli düzeyde güvenilir sonuçlar elde edebilmesi için gerekli olan analiz koşullarının (gözlem süre ve gözlem aralık kombinasyonu) belirlenmesi amaçlanmaktadır. Farklı iş gruplarına ait örnek işler için oluşturulan çeşitli gözlem süre ve aralık kombinasyonları, Ki-Kare uygunluk testi ile değerlendirilerek analiz koşullarını belirlemeye yönelik öneriler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çalışma Duruşu Analizi, Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıkları, OWAS

IMPROVING THE METHODOLOGY RELIABILITY IN THE ANALYSIS OF WORKING POSTURE BY USING OWAS METHODOLOGY

ABSTRACT

Musculoskeletal Disorders (MSDs) that lead to important health problems and the depletion of social resources are the most common drawbacks affecting the working population. MSDs that are at the top of the list showing the expenditures for all disorders, and affecting the job efficiency, life quality and physical and social functions of a worker in a negative way, is generally due to the poor working postures. One of the several methods aiming to analyze the working postures in the literature, OWAS, is a successful methodology that can be employed in a diverse range of jobs and also considers the postures at all parts of a body.

OWAS, is a methodology based on the work sampling, analysis of the working postures samples collected at separate intervals to represent the actual work. At OWAS methodology, the population is the work analyzed, while the sample size is a collection of working postures obtained within specific observation duration and separated with a specific observation interval.

It is observed that in the literature, the OWAS methodology is employed with different sample sizes that have different observation durations at every study. In these studies, there is no information about how the results would be affected when there is a change in the analysis conditions (observation duration and interval) and also there is no scientific standards for total movie recording time (observation duration) and for observation intervals during the recording is stopped to get sample working postures (observation intervals) to be able to apply OWAS into a certain job with a statistically credible manner; past studies are referenced or intuitive decisions are made about that.

In this thesis study, it is aimed to determine the analysis conditions (observation time and observation interval combination) that are needed to obtain statistically reliable results at the analysis of the jobs which require different time and specialization with OWAS methodology. Besides, some suggestions are made for the determination of the analysis conditions after the evaluation of the several observation duration and observation interval combinations constructed for the sample works of different work groups by using the chi-squared test.

Keywords: Working Posture Analysis, Musculoskeletal Disorders, OWAS

GİRİŞ

Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıkları (KİSR) Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Komisyonu'nun (ICOH=International Commision on Occupational Health) da tanımladığı gibi kas-iskelet sisteminde oluşan ve işten kaynaklanan rahatsızlıklar veya hastalıklardır. "İşten kaynaklanan" terimi Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization=WHO) tarafından iş performansı ve iş çevresi gibi iki faktörün etkisiyle başlayan çok etkenli bir hastalığın bilimsel nedenini tanımlamak için kullanılmaktadır (Cohen ve diğ., 1997). Çalışma hayatında KİSR; tendon, kas, sinir ve diğer yumuşak dokularda hasara sebep olan tekrarlayıcı fiziksel hareketler nedeniyle oluşmaktadır. Uygun olmayan duruş ve ergonomik koşullarda çalışma, stres, tekrarlı, şiddetli aktiviteler ve mola vermeden uzun süre çalışma başlıca risk faktörleri arasında sayılmakta ve bel, boyun ve üst ekstremite (el bileği, el, dirsek ve omuz) hastalıkları olarak sınıflandırılmaktadır. Kas zorlanması, incinmesi, boyun tutulması, boyun fıtığı, bel fıtığı, karpal tünel sendromu işten kaynaklanan başlıca kas iskelet sistemi hastalıklarıdır (Bernacki ve diğ., 1999).

KİSR'nın da içinde yer aldığı kronik hastalıkların önemli bir halk sağlığı sorunu olmasının temel nedeni ölüm oranlarının (mortalite) yüksek olmasından ziyade, iş gücü kaybına yol açmaları, kişinin yaşam kalitesini bozması ve prevalanslarının yüksek olmasıdır. Bu faktörler açısından KİSR tüm dünyada hastalıkların (morbidite) önde gelen nedenleri arasında yer almaktadır ve hem kişiye, hem topluma önemli olumsuz etkileri bulunmaktadır. Özellikle kişinin yaşam kalitesini ve iş verimini etkilemekte, sakatlıklara yol açmakta ve sağlık sistemine büyük ölçüde yük getirmektedir.

Dünya ölçeğinde saptanan tüm KİSR'nın yaklaşık %30'unun işe bağlı olduğu belirtilmektedir. KİSR, meslek hastalıkları ve iş kazalarının neden olduğu tüm işgünü kayıplarının yaklaşık %34'ünü oluşturmaktadır (Leigh ve diğ., 1999). AB'de 46 bin kişiyle yapılan çalışmada katılımcıların %24'ünün sırt ağrısından ve %22'sinin kas

ağrısından yakındığı, ağrıların en yaygın nedeninin %34 ile osteoartrit (kireçlenme) olduğu bildirilmiştir. Almanya'da KİSR nedeniyle oluşan kayıp gün sayısı, hastalık nedeniyle kaybedilen tüm çalışma günlerinin nerdeyse % 30'una karşılık gelirken Hollanda'da bu oran % 46'dır. İngiltere'de her yıl işle ilgili KİSR nedeniyle yaklaşık 10 milyon iş günü kaybedilmekte ve bunların, yaklaşık %50'si sırt şikayetleri, %30'u boyun ve kollarla ilgili şikayetler ve %20'si de bacaklarda görülen şikayetler nedeniyle yitirilmektedir (OSHA, 2012). Avusturalya'da yapılan çalışmalarda ise osteoartrit erkeklerde %3,9 ile 9. sırada, kadınlarda %5,7 ile 3. sırada yer almaktadır. Amerika'da meslek hastalıklarının %42 gibi büyük bir oranını KİSR oluşturmakta (Bernard, 1997), 45 yaş üzeri 40 milyondan fazla insanı etkilediği ve 2030 yılında nüfusun %22'sini etkileyeceği tahmin edilmektedir (Lubeck, 2003). Türkiye'de Hacettepe Üniversitesi Sağlık Kontrolü Ünitesi'nin 2003 Yılı Sağlık Merkezleri Çalışma Raporu'na göre; 40 – 65 yaş arası akademik ve idari personele uygulanan "Periyodik Sağlık Kontrolü" sonuçlarına göre KİSR %13,5 ile ikinci sırada yer almaktadır. Çimento fabrikasında çalışan işçilerin sağlık sorunlarının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada da KİSR %16,3 ile üçüncü sırada bildirilmektedir (Budakoğlu ve Akgün, 2007). Gelişmiş ülkelerde işe bağlı KİSR sıklığının ve maliyetinin hızla artışı nedeniyle, risk etkenleri, iş günü kaybı ve maliyeti konusunda çalışmalar son yıllarda hız kazanmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde ise, travma ve aşırı yüklenme, ağır ve ergonomik olmayan çalışma koşullarının yaygınlığı bilinmekte olup, KİSR'nın işe bağlı olup olmadığının tanısında büyük güçlükler yaşandığı gözlenmektedir.

KİSR'nın maliyeti üç grupta incelenmektedir. Bunlar direk, dolaylı ve görünmeyen maliyetlerdir. Direk maliyetler: hekim muayenesi, tanı testleri, ilaç kullanımı, hastane yatışı gibi tıbbi bakım maliyetlerini içermektedir. ABD'de 1995 yılında KİSR'na bağlı olarak ortaya çıkan 215 milyar dolarlık maliyetin %37'sini de direk maliyetler oluşturmaktadır. Dolaylı maliyetler ise iş gücü kayıpları ve aktivitelerdeki azalmanın maliyetini göstermekte ve toplam maliyetin %52'si civarında olduğu bildirilmektedir. Görünmeyen maliyetler ise; yaşam kalitesinin, fiziksel ve sosyal fonksiyonun azalması olarak ifade edilmektedir (Lubeck, 2003).

İngiltere'de yapılan benzer bir çalışmada ise KİSR'nın tıbbi maliyetinin 84 milyon ile 254 milyon sterlin arasında olduğu tahmin edilmektedir. İşle ilgili sırt

problemlerinin maliyetinin 43 milyon ile 127 milyon sterlin arasında, kollarda ve boyunda görülen rahatsızlıkların maliyetinin 32 milyon ile 104 milyon sterlin arasında ve alt uzuvlarda görülen işle ilgili hastalıkların maliyetinin de 17 milyon ile 55 milyon sterlin arasında olduğu düşünülmektedir (OSHA, 2012).

Yaşanan sağlık problemleri, bu rahatsızlıklar için yapılan harcamalar sıralamasında üst sıralarda yer alan ve çalışanı iş verimi, yaşam kalitesi, fiziksel ve sosyal fonksiyonlar açısından olumsuz etkileyen KİSR önemli oranda uygun olmayan çalışma duruşları ve ortamlardan kaynaklanmaktadır. Çalışma duruşlarını bilimsel yöntemler ile incelemek, analiz etmek ve gerekli iyileştirme ve düzenlemeleri yapmak çalışma performansının etkili bir şekilde kontrol edilmesi ve KİSR'nın azaltılması konularında önemli katkılar sağlamaktadır.

Literatürde KİSR'na yol açan çalışma duruşlarının belirlenmesi için çeşitli yöntemler yer almaktadır. Bu yöntemler; yük kaldırma ile ilgili yöntemler (Snook Tabloları, Revize Edilmiş NIOSH Kaldırma Eşitliği, İndirme, itme, çekme ve taşıma modeli v.b.), gözleme veya ankete dayalı yöntemler (OWAS - Ovako Working Posture Analysing System, RULA - Rapid Upper Limb Assesment, REBA - Rapid Entire Body Assesment, İş Zorlanma İndeksi -Job Strain Index-, Hızlı Maruziyet Değerlendirme -Quick Exposure Check-, etc.) ve Ergonomik Kontrol Listesi (ACGIH - El/kol Titreşim Eşik Limit Değeri, Risk Faktör etc.) olarak sınıflandırılabilir (Eriş ve diğ., 2009).

Bu tez çalışmasında; tüm dünyada hem çalışan kesim üzerinde ciddi sağlık problemleri oluşturan hem de ülke ekonomilerine önemli maddi yükler getiren ve iş ortamında KİSR'na neden olan uygunsuz çalışma duruşlarının belirlenmesine yönelik olarak sıklıkla kullanılan, özellikle de fiziksel ağırlıklı çalışmalarda tüm vücudun hareketlerini dikkate alan ve gözleme dayalı olarak gerçekleştirilen yöntemlerden biri olan OWAS (Ovako Working Posture Analysing System) yönteminin etkinliğinin arttırılması amaçlanmaktadır.

OWAS, çalışanın kas-iskelet sistemindeki yüklenmeyi ve sistemin neden olduğu kötü duruşları belirlemeye yarayan, gözleme dayalı bir çalışma duruşu analiz yöntemidir. OWAS yöntemi, iş etütçülerine hizmet etmeye yarayan bir analiz aracı

olarak tasarlanmış olup gerçek çalışma sırasındaki vücut duruşlarını temsil etmek üzere belirli zaman aralıkları ile alınan çalışma duruşu örneklerinin analizine dayalı bir iş örneklemesi aracıdır. İş örneklemesinde, örnek hacmin ana kütleyi güvenilir bir biçimde temsil edebilmesi temel kriterdir. OWAS yönteminde ana kütle analiz edilen iş, örnek hacim ise belirli gözlem süre ve gözlem aralığı ile elde edilen örnek çalışma duruşları kümesidir. Literatürdeki çalışmalar bu açıdan değerlendirildiğinde kullanılan gözlem süre ve aralıklarının belirlenmesinde herhangi bir kural veya istatistiksel bir yöntemin bulunmadığı ve önceki literatüre veya deneyimlere dayalı olarak seçim yapıldığı görülmektedir. OWAS yönteminin gerçeği daha iyi temsil edecek analizler ile etkinliğinin ve güvenilirliğinin artırılması amacıyla bu tez çalışmasında; uygulamalarda ana kütleyi yani gözlemlenen işi minimum gözlem sayısı ile güvenilir olarak temsil edecek gözlem süre ve gözlem aralığı kombinasyonunun belirlenmesine yönelik analiz koşullarına ait kural ve/veya genelleştirilebilir öneriler sunulmaktadır.

Altı bölümden oluşan tez çalışmasının ilk bölümü; seçilen konunun öneminin vurgulandığı hem literatüre hem de uygulamaya yönelik katkılarının belirtildiği giriş bölümüdür. Bu amaçla bu bölümde KİSR'nin dünyadaki ve ülkemizdeki görülme sıklıkları ile ilgili detaylı bilgi verilmekte sebep olduğu maliyetlere de değinilmektedir. Bu bölümde ayrıca çalışmanın kapsamı ve aşamaları ve sunulmaktadır.

Uygun olmayan çalışma duruşlarını endüstride önemli kılan faktörler KİSR ve bu rahatsızlıkların verimliliğe, kaliteye ve maliyete olan yansımalarıdır. Bu nedenle tez çalışmasının ikinci bölümünde Kas-İskelet Sistemi'ne ve KİSR'na detaylı olarak yer verilmektedir. Kemiklerin, kasların ve eklemlerin yapıları ile eklem hareketleri hakkında bilgiler verilmekte, insan hareketleri de ele alınarak sınırları incelenmekte ve ergonomik açıdan değerlendirilmektedir. Bu bölümde ayrıca çalışma duruşunun tanımı yapılarak uygunsuz çalışma duruşlarının KİSR ile olan ilişkisi de vurgulanmakta ve KİSR'nin ortaya çıkmasına neden olan risk faktörleri, rahatsızlık çeşitleri ve belirtileri özetlenmektedir.

Üçüncü bölümde KİSR'nı önlemek için kullanılabilecek ana ilkeler sunulmakta ve KİSR'ye neden olan, farklı iş gruplarında ve vücut bölümlerinde rastlanan farklı

çalışma duruşlarına ait risk düzeylerinin belirlenmesinde kullanılan bilimsel yöntemler sınıflandırılarak tanıtılmaktadır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde fiziksel ağırlıklı çalışmalarda çalışma duruş ve hareketlerini gözlem yoluyla analiz eden yöntemlerden; literatürde çok çeşitli alanlarda uygulamalarına rastlanan, kabul görmüş ve bu tez çalışması kapsamında da yöntem etkinliği arttırılmaya çalışılan, OWAS yöntemine detaylı olarak yer verilmektedir. İlk olarak yöntemin kullanım amaçları ve uygulama aşamaları anlatılmaktadır. Daha sonra ise literatürde inşaat sektöründen otomotiv sektörüne, tamir bakım işlerinden ev işlerine, sağlık hizmetlerinden büyükbaş hayvan yetiştiriciliğine kadar çok çeşitli alanlarda uygulamasına rastladığımız OWAS yöntemi ile yapılan çalışmalar hakkında detaylı bilgiler sunulmaktadır.

Çalışmanın beşinci bölümünü, uygulamada OWAS yönteminin güvenilirliğini arttıracak analiz koşullarını belirlemeye yönelik önerilerin elde edilmesi amacıyla, alınan örnek işlerin farklı gözlem süre ve aralıklarına ait analizleri oluşturmaktadır. Bu bölümde ayrıca analiz edilen işlerin istatistiksel analiz sonuçları da yer almaktadır.

Çalışmanın sonuç ve önerileri altıncı bölümde sunulmaktadır. Bu bölümde, yapılan istatistiksel analizler sonucunda elde edilen gözlem süre ve aralıklarının en uygun bileşimine ilişkin bulgular ve OWAS yönteminin güvenilirliğini arttıracak analiz koşullarını belirlemeye yönelik öneriler sunulmaktadır. Daha sonraki çalışmalarda yapılabilecek geliştirmeler hakkındaki yorum ve öneriler de yine bu bölümde yer almaktadır.

1. KAS İSKELET SİSTEMİ ve RAHATSIZLIKLARI

İnsan vücudu, eklemlerle birbirine bağlanmış ve kaslarla desteklenmiş kemiklerden oluşan bir hareket sistemine sahiptir (Su, 2001). İnsanların kemiklerden oluşan iskeleti, tüm insan varlığının üzerine ya da içine yerleştiği ve taşındığı, bir destek doku oluşturmaktadır. İskelet; kollar, bacaklar ve gövde omurlarında oluşmuş eklemler etrafında hareketlidir. Bütün hareketli kısımlar çeşitli kaldıraç yasalarına göre görev yapmaktadır. Basit mekanik kurallar içinde incelenirse, insan vücudundaki kaldıraç sistemlerinin verimi ya da zayıf noktaları kolayca saptanabilmektedir. Nitekim kol ve bacakların eklemlerinde kas gücü ile gerçekleştirilen hareketler akıcı bir şekilde ve kolayca oluştuğu halde kuvvet kolu ve direnç kolu ilişkilerine göre mekanik özellikleri zayıf olan, bel bölgesindeki omurlar arasındaki kaldıraç hareketleri önemli sorunlar çıkarabilmektedir.

İnsanların tüm yaşamı boyu işlevini koruyabilen eklemlerin hareketli yüzeyleri, bir kıkırdak doku ile kaplanmıştır ve eklemlerin içinde yüz yüze gelen kısımlar ise pürüzsüz, dayanıklı ve kaygan bir yapılaşma göstermektedir. Eklem noktalarından birbirine bağlı olan kemiklerin tüm hareketleri için gerekli kuvvet, iskelet kaslarından gelmektedir. Kasların dengeli bir şekilde uzaması ya da kısalması ile insan vücudu tüm biyomekanik yeteneklerini sergilemektedir.

Kemikler, eklemler ve kaslar dışında vücudun hareket etmesinde önemli rol oynayan sistem ve dokular bulunmaktadır. Bunların arasında; kasların uyarılmasını sağlayan sinir sistemi, beslenmesini sağlayan sindirim ve dolaşım sistemi, atıkların dışarı atılmasını sağlayan boşaltım sistemi ve tüm organların bir arada tutulmasını sağlayan deri özellikle önemlidir. Kasların ihtiyacı olan yakıtı dokulara ulaştıran dolaşım sistemi içerisinde yer alan ve biyokimyasal enerjinin oluşması için gerekli oksijeni vücuda sokarken, metabolizma atığı karbondioksiti dışarı atan akciğerler ayrı bir önem taşımaktadır. Bu arada sinir sistemi içerisinde yer alan beyin, beyincik, omurilik ve omurilik soğanı ile ergonomik açıdan çok önemli olan göz, kulak gibi duyu organları da hareket sistemine önemli katkılar sağlamaktadır (Erkan, 2003).

1.1. Kemikler

İnsan iskeletinde, çeşitli kısımların hareket etmesine olanak verecek bir şekilde, eklemlerle bağlanmış 206 kemik bulunmaktadır. İnsanların iş yapmasında, doğrudan görev alan kollar ve bacaklarda uzun kemikler yer almaktadır. Uzun kemikler olarak sınıflanan bu kemiklerin arasında, el ve ayak parmakları gibi kısa görüntülü olanlar da bulunmaktadır. Kemikler, temel yapıları itibariyle sert ve dayanıklı bir yüzeysel yapı göstermektedirler. Kemiklerin içyapıları incelendiğinde delikli ve adeta süngerimsi bir yapılaşma görülmektedir. Bu yapı dikkatle incelenirse yapılaşmanın, kemik dokusuna binecek yükü taşımaya elverişli bir destek doku olarak şekillendiği görülmektedir.

Kemiklerin yüzeyindeki bazı girinti ve çıkıntılar, kasların bağlantı noktalarını, bağ dokularının geçitlerini ve çeşitli mekanik avantajları sağlayabilecek bir yapılaşmayı temsil etmektedirler. Ayrıca kemiklerin yüzeyinde, ilk bakışta dikkati çekmeyen, çok sayıda delikler ve buradan başlayarak kemiklerin iç dokularına ulaşan kanallar bulunmaktadır. Kemiğin beslenmesini sağlayan kan damarları ile kemik dokusunun sinirleri bu özel kanallardan kemik içine ulaşmaktadır (Erkan, 2003).

1.2. Eklemler ve Eklem Hareketleri

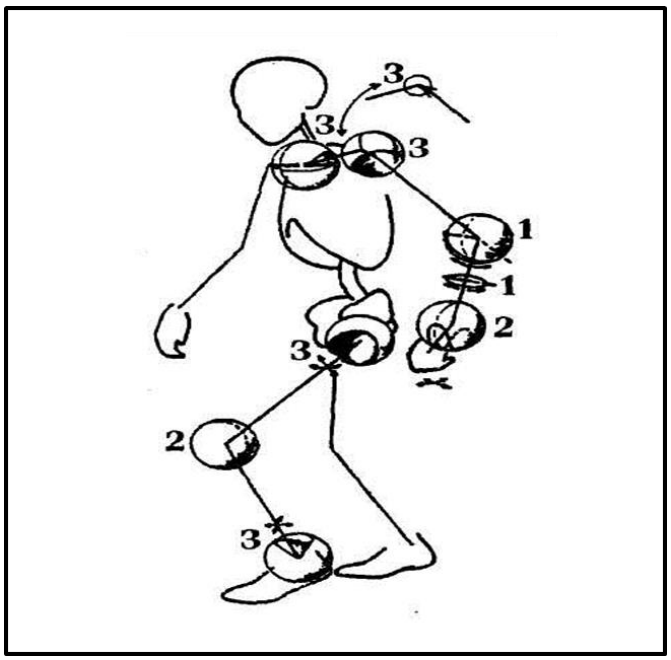
Bedensel aktivite hareketle mümkündür; hareket ise hareketi gerçekleştirecek elemanların birbirlerine göre konum değiştirebilmelerini gerektirmektedir. Kemikleri birbirine hareket esnekliği sağlayacak şekilde bağlayan elemanlara eklem denir. Eklemler iki ya da daha çok kemiğin birleşme yeridir (Babalık, 2005).

Eklemlerin etrafında, kollajen yapıda ve çekmeye dayanıklı zengin liflerden oluşmuş bir destek dokusu bulunmaktadır. Bu kollajen liflerin arasında, daha az esnek olan dokular da bulunmaktadır. Kollajen lif dokusu ayrıca, ligamentler diye adlandırılan, bağ dokularının da temel yapısını oluşturmaktadır. Bağların ve iki kemiği birbirine bağlayan tüm dokuların teşkil ettiği eklem kapsülü, çok dayanıklı ve esnek bir kılıf özelliği göstermektedir. Fibroelastik kıkırdak dokuları ile destekli omurlar arası eklemlerin etrafında da bir kapsül oluşturan zengin bağ dokuları bulunmaktadır (Erkan, 2003).

Eklemler hareket yeteneklerine göre sınıflandırılmaktadır. Kemiklerin çok az hareket edebildiği eklemlere statik eklem (yarı oynar eklem); kasların da katkısıyla rahat hareket eden aktif eklemlere dinamik eklem denir. Dinamik eklemler uzun süre ayakta durarak veya uzun süre oturarak çalışma gibi statik zorlanma hallerine uygun eklemler değildirler. Böyle zorlanmalarda dinamik eklemlerdeki kıkırdak doku daha kolay hasar görmektedir. Dinamik eklemler, statik zorlanmaya maruz kaldıklarında hasarı önleyebilmek için eklemi koruyucu destek mekanizmaları devreye girerek, kapsül bantları ve kaslar gerginleşmektedir. Bu kaslar görevlerini yerine getirebilmek için çok daha fazla enerji harcamakta, verimleri de daha düşük olmakta, bu nedenle statik yük altında dinamik yüke nazaran daha çabuk yorulmaktadırlar.

Aşağıda eklemlerde karşılaşılan hareketlere örnekler verilebilmektedir (Babalık, 2005).

1. Abdüksiyon: Kollar yana sarkık ve el ayası vücuda dönük duruşta kolun yandan omuz yüksekliğine kaldırılması
2. Addüksiyon: Yana kaldırılmış kolun aşağı indirilerek gövdeye yaklaştırılması
3. Fleksiyon: Dirsek ekleminde, kalça ekleminde eğme bükme hareketi
4. Ekstansiyon: Dirsek ve kalçayı düz konumda germe hareketi
5. Rotasyon: Kolun veya bacağın içe veya dışa döndürülmesi



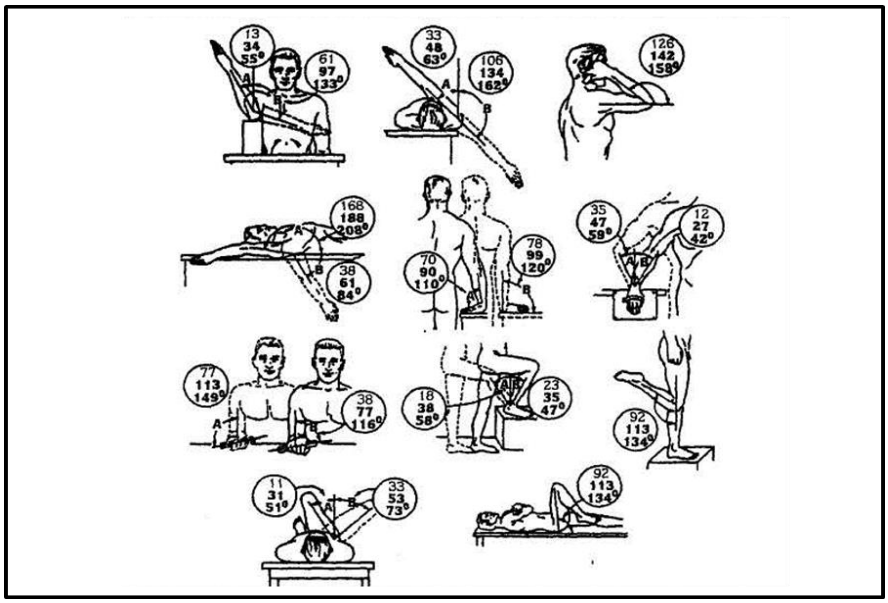
Şekil 1.1. Eklemlerin hareketliliği (Erkan, 2003)

Vücudumuzdaki eklemlerin hareketliliği Şekil 1.1.'de görülmektedir. Eklem noktalarındaki sayılar, ilgili eklemin kaç doğrultuda hareket edebildiğini göstermektedir. Eklem noktalarındaki küreler üzerindeki kronik çukurlar, eklemin hareket boyutlarını temsil etmektedir.

Hareketli eklemler, konumlarına göre bir, iki ya da üç planda hareket edebilmektedir. Her hareketli eklemin, eklem başının merkezinden geçtiği kabul edilen bir ekseni bulunmaktadır. Eklemin hareket özelliğine göre hareket ekseni belirlenebilmektedir.

Eklemlerin hareketleri goniyometre ve primetre gibi basit araçlarla saptanabildiği gibi daha incelikli ölçüler için çok yönlü film analizleri de kullanılmaktadır. Bu alanda çeşitli araştırmalar yapılmış ve 39 askerden oluşan denek grubu üzerinde yapılan bir araştırma sonucunda elde edilen değerler de Şekil 1.2.'de verilmektedir.

Bu şekilde her eklem için bulunan istatistik ortalamalar ortadaki rakamlarla gösterilmektedir. Üstteki sayılar deneklerin 5'inci ve alttaki sayılar 95'inci dağılım yüzdelerindeki açısal değerleri göstermektedir (Erkan, 2003).



Şekil 1.2. Üst ve alt etraf eklemlerinin hareketlilik dereceleri (Erkan, 2003)

1.3. Kaslar

Vücudumuzun her tarafına yayılmış bulunan kaslar, hareket sistemimizin kuvvet kollarıdır. Kemikler ve eklemlerin hareket edebilmeleri ancak kaslarla mümkün olmaktadır. Kaslar, hareket sistemimizin kuvvet ile işlevsel bir birim oluşturan kas hücrelerinden oluşmakta ve kasılmaları çeki kuvvetini doğurmaktadır. Kaslar vücut ağırlığının %40'ını meydana getirmektedir (Babalık, 2005).

Kaslar yapılarına ve çalışma şekillerine bağlı olarak üç grupta incelenebilmektedir: Birinci grupta, isteğe bağlı olarak çalışan çizgili kaslar yer almaktadır. İkinci grupta, otonom sinir sistemi altında çalışan düz kaslar bulunmaktadır. Üçüncü grup ise, yapı olarak birinci gruba, çalışma şekli bakımından da ikinci gruba benzeyen kalbin çizgili kaslarından oluşmaktadır. Ergonomik açıdan, en önemli kas grubu isteğe bağlı olarak çalışan çizgili kaslardır. Kas dokusunun en önemli özelliği, kasılabilme yeteneğidir. Bir kas, normal boyunun yarısı kadar kasılabilmektedir. Dolayısıyla, tam olarak kasılmış bir kasın iş yapabilme gücü kasın orijinal boyu ile orantılıdır. Her kas lifi belirli bir kuvvet ile kasılmaktadır. Bir lif demetinde kasılan kasların kasılma kuvvetlerinin toplamı, kasın toplam kasılma kuvvetini vermektedir. Bir insandaki maksimum kas kasılması, kasın her cm^2 için yaklaşık 40 N 'dur. Kasılmanın başlangıcında maksimum olan kas kuvveti, kasın boyu kısaldıkça azalmaktadır. Kasılma kuvveti, sadece liflerin uzunluğuna bağlı olmamaktadır. Aynı zamanda aktif olarak kasılan lif gruplarının sayısına da bağlı olmaktadır. Uzun süreli kasılmalarda, lif grupları nöbetleşe kasılarak, tüm kas sistemine ait kasılmanın sürekli olmasını sağlamaktadır. Bu şekilde, kasılma sırasında lif gruplarının bir düzen içinde birbirlerini dinlendirmeleri sağlanmaktadır (Erkan, 2003).

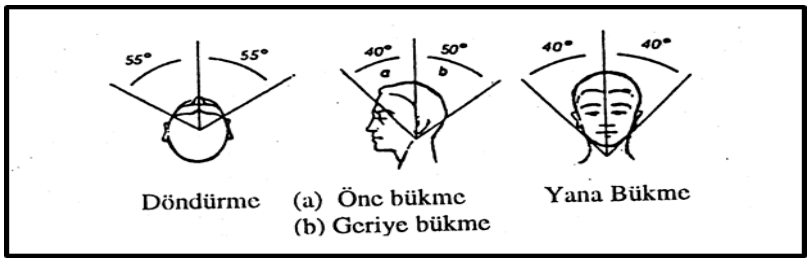
1.4. İnsan Hareketlerinin Sınırları ve Ergonomik Açıdan Değerlendirilmesi

İnsan hareketlerinin sınırları incelendiğinde, anatomik özelliklerin önemli etkisi kolayca görülmektedir. Hareket sınırları; eklem kapsülünün yapısına, eklem etrafındaki dokulara ve yapılan hareketin doğrultusuna göre değişik boyutlar göstermektedir. Ayrıca yaş, cinsiyet, kalıtımsal özellikler, çeşitli hastalıklar ve yaralanmalar gibi etkenler de hareket sınırlarında değişiklikler yapabilmektedir. Bu

nedenle hareket sınırları alanında yapılacak araştırmaların yeterli örnekleme ile ve bulguların istatistik dağılımının da dikkate alınarak saptanması gerekmektedir.

1.4.1. Baş hareketleri

Baş hareketlerinin açısal boyutları Şekil 1.3.'te gösterilmiştir. Baş rotasyon hareketleri dikkate alındığı zaman, sağa ve sola dönüşlerin açısal ortalamasının 55° olduğu görülmektedir. Ergonomik yaklaşımlarda bu harekete, gözlerin yuvalarında dönme hareketleri de dikkate alınarak, daha geniş açılarda bir hareket boyutu varsayımı ile yaklaşılmaktadır. Başın sağa ve sola dönüşü şüphesiz, boyun omurlarının işlekliği ve boyundaki kas ve bağ dokularının esnekliğine bağlı olmaktadır. Göz hareketleri ise burada önemli bir kolaylık ve avantaj sağlayabilmektedir.



Şekil 1.3. Başın boyun ekleminde hareketliliği (Erkan, 2003)

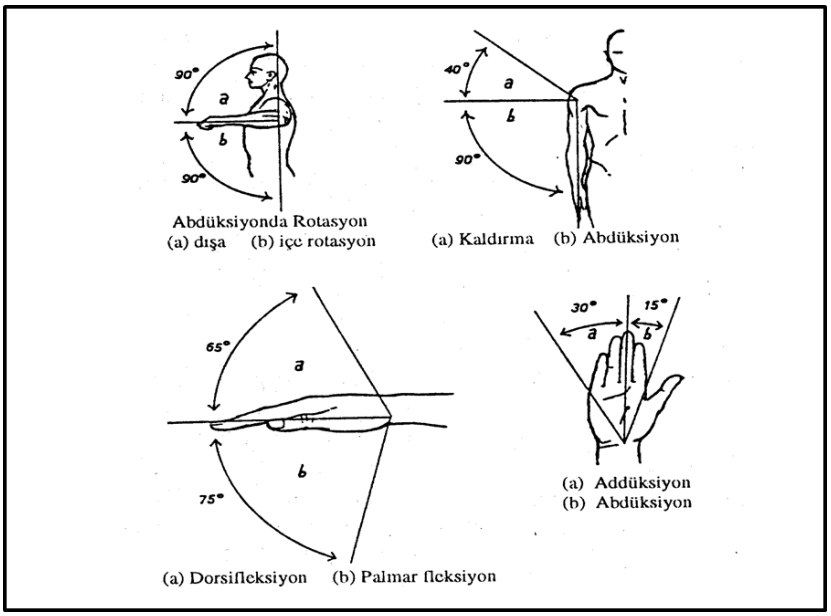
Başın geriye bükülmesi ortalama 50^{o} gibi değerlere ulaşabilmesine rağmen, ergonomik açıdan başın, bu ölçülerde geriye bükülmüş duruşu herhangi bir yarar sağlamamaktadır. Nitekim zorlanarak geriye bükülen baş pozisyonunda yutkunma güçleşmekte ve başı uzun süre bu pozisyonda tutmak rahatsız edici bir boyuta ulaşmaktadır. Başın öne bükülmesi daha rahat bir pozisyondur fakat yine de gözle takip gerektiren göstergelerin, baş hareketlerini zorlamayacak bir şekilde göz bakış açılarına göre yerleştirilmesi prensip kabul edilmektedir. Özellikle, uzun süreli izleme gerektiren göstergeler hiç bir zaman normal göz bakış açılarının dışına yerleştirilmemelidir (Erkan, 2003).

1.4.2. Gövde ve el kol hareketleri

El kol hareketlerinin büyük bir bölümünde gövde hareket hudutlarının da kullanılarak çalışılması söz konusudur. Gövdenin sağa ve sola dönüş hareketleri 40°

civarındadır. Ancak, bu tür gövde döndürme hareketleri statik bir şekilde ve uzun süreli olmamalıdır. Gövdenin öne ve geriye bükülmesi konusunda da aynı sakınca söz konusudur. Özellikle, gövdenin öne bükülüş duruşunda, sağa ve sola döndürme hareketleri ve kuvvet gerektiren kas zorlamaları yapmak sakıncalı olmaktadır. Bu tür zorlamalarda kalıcı sakatlıklara neden olan eklem zedelenmeleri görülebilmektedir.

Omuz ekleminin yuvarlak eklem başı ve oldukça düz eklem yuvası, bu eklemin geniş açısal hareketini kolaylaştırmaktadır. Omuz eklemi hareketine dirsek ve el bileği hareketleri de katıldığı takdirde, gövde etrafında geniş bir erişme alanı oluşmaktadır. Ancak, el ve kol hareketleriyle ve duyarlı bir şekilde gerçekleştirilebilen hareketlerin uygulama alanı sınırlıdır. El ve kolların hareketi söz konusu olunca, hareket etkinlik alanı oldukça daralmaktadır. Omuz, dirsek ve el bileğinin ortalama hareket açıları Şekil 1.4.'te gösterilmektedir.

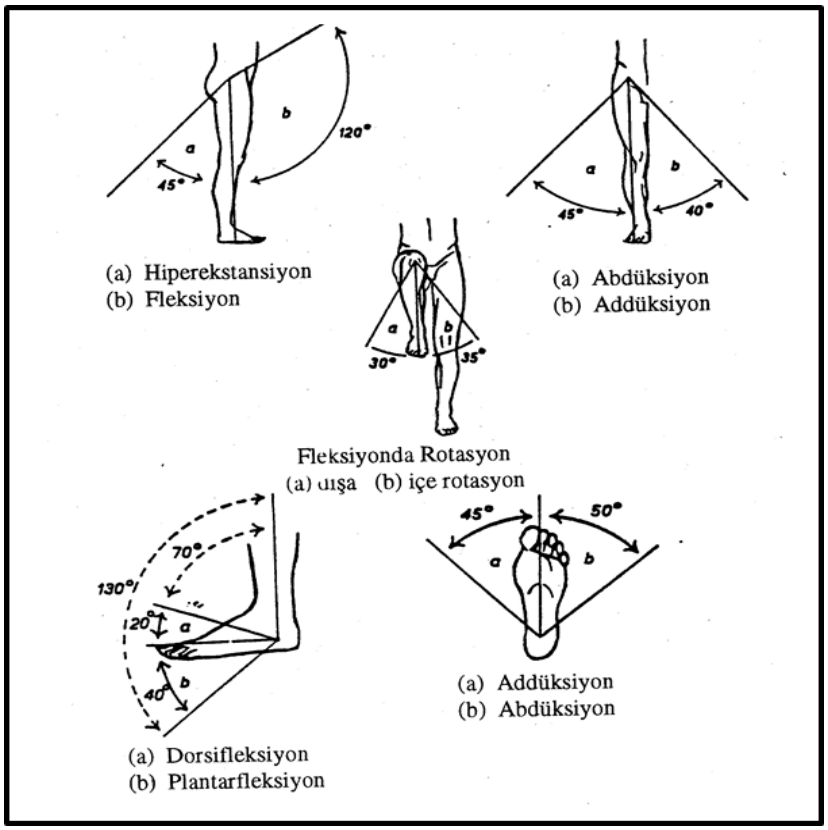


Şekil 1.4. El ve kol hareketlerinin boyutları (Erkan, 2003)

Normal olarak kolların duruşu, omuzdan sarkık ve avuç içi gövdeye dönük bir duruştur. Oturan bir insanın rahat çalışma pozisyonu ayrıca değerlendirilmelidir. Çünkü bu duruş kolun dirsekten 90° bükülü, alttan desteklenmiş ve parmakların hafifçe bükülü ve avuç içlerinin de birbirine dönük olduğu bir duruştur (Erkan, 2003).

1.4.3. Ayak ve bacak hareketleri

Ayakta dururken dizlerin normal duruşu, vücut ağırlığını taşıyan kemiklerin düşey doğrultuda tutulabilmesi için tam gergin bir duruştur. Oysa otururken ve sırtüstü yatarken dizlerin en rahat pozisyonu 70°-130° açılar içinde fleksiyon halindeki duruşudur.



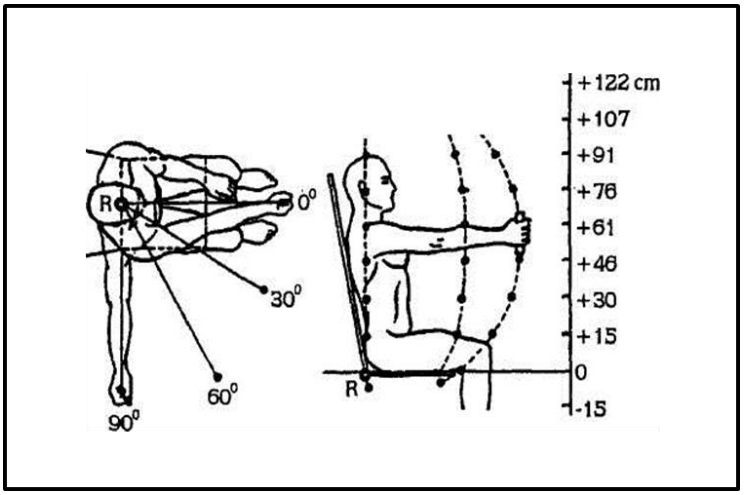
Şekil 1.5. Ayak ve bacak hareketlerinin boyutları (Erkan, 2003)

Kalça ekleminin eklem kapsülü derin olduğu için, omuz eklemi ile kıyaslandığında hareketlerinin önemli ölçülerde sınırlı olduğu görülmektedir. Bacağın, kalça ekleminden fleksiyon hareketi 120° civarındadır. Ancak, çoğu insan bu hareketi diz bükülü iken gerçekleştirebilmektedir. Kalçadan gerçekleştirilebilen hiperekstansiyon (geriye bükülme) ise 45° civarındadır. Şekil 1.5.'te görülen kalça, diz ve bilek eklemi hareketleri ergonomik tasarımlar açısından önemlidir. Oturan bir makine operatörünün ayaklarda kuvvet uygulamaları, diz ve kalçadan fleksiyon hareketlerinin desteğinde, oldukça geniş bir tasarım alanı ve hacmi sağlamaktadır. Ayakta duran bir insanın bir kontrol pedalı üzerinde yaratabileceği kuvvet kişinin ağırlığı ile bağlantılı olduğu gibi, ayak pedallarının yerleştirme alanı da sınırlı

olmaktadır. Oturan bir operatörün sırt bölgesine iyi bir destek sağlandığında, diz ve kalça açılarının farklı değerlerinde, oldukça önemli ölçülerde kuvvet uygulanabilmektedir. Örneğin; otururken, dizin 165° 'lik bir açı içinde tutuluşunda, ayak pedalına 350 kilogram kadar kuvvet uygulanabilmektedir. Dizin açısı değiştikçe bu kuvvet azalmaktadır. Ergonomik açıdan önemli olan sadece kuvvet uygulaması değildir. Eklemlerin hareketliliğine göre, reaksiyon zamanı en kısa uygulama pozisyonu, en uzun süre uygulamalarla elverişli noktalar gibi gereksinimler de dikkate alındığından, el ve ayakların çeşitli eklem açıları içinde hareketleri bu yaklaşımlarla da incelenmektedir (Erkan, 2003).

1.4.4. Maksimum kavrama noktaları

İnsanların üst etraf boyutları ve eklemlerinin işlerliği ile orantılı olan maksimum kavrama noktaları, ergonomik yaklaşıma bir örnek teşkil etmekte ve endüstriyel uygulamalar açısından da önemli tasarım boyutlarını ortaya koymaktadır. Bu konuda sistematik araştırmalar 1950'lerde tamamlanmıştır.



Şekil 1.6. Kavrama Noktaları (Erkan, 2003)

Şekil 1.6.'da şematize edilen ölçme yaklaşımları ile sınırlı sayıda denek üzerinde yapılan çalışmaları değerlendiren Hertzberg, elde edilen değerlerin istatistik dağılımını da yaparak, işyeri tasarımı açısından önemli veriler ortaya koymuştur. Hertzberg ve onu izleyen araştırmacıların en önemli katkısı insan - makine ara kesitine fonksiyonel anatomi yaklaşımını getirmeleridir. Hertzberg'in 1956 yılında yapmış olduğu çalışmadaki deneklerin R referans noktası ve 0° ekseninden çeşitli

açısal doğrultularda (0°, 30°, 60°, 90°) ve oturma düzleminden çeşitli yükseklikte (-15 ile +122 cm arası) normal gergin kol ile erişebildikleri kavrama noktaları Tablo 1.1.'de görülmektedir (Erkan, 2003).

Tablo 1.1. Kavrama Noktaları (Erkan, 2003)

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

1.5. Çalışma Duruşu ve Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıkları

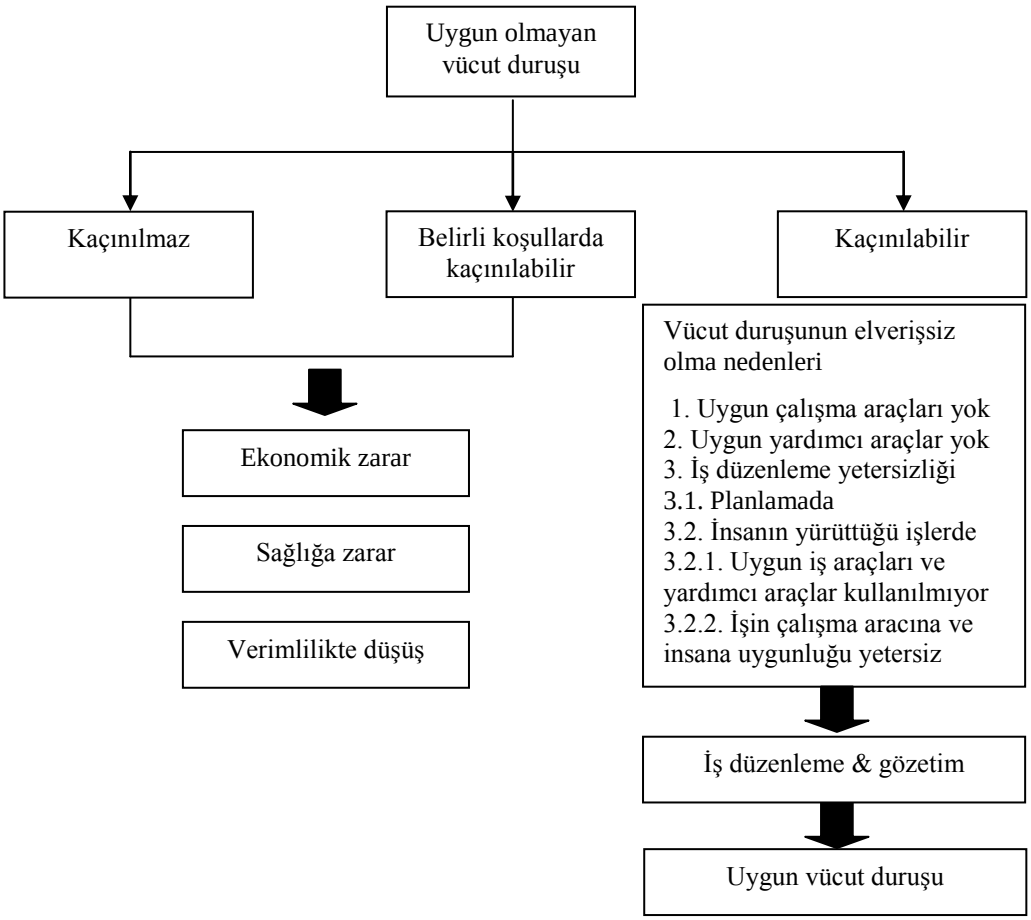
En genel tanımıyla duruş (postür); "vücudun, başın, gövdenin, kol ve bacak bölümlerinin hareket esnasındaki konumları" olarak tanımlanmaktadır. Çalışma duruşu ise bu tanıma bağlı olarak, vücudun, başın, gövdenin, kol ve bacakların yapılan işe ve işin özelliklerine göre konumlanması şeklinde tanımlanmaktadır (Haslegrave, 1994). Uygun olmayan duruş ise bir veya birden fazla uzvun, hareketsiz vücut duruşundan sapması olarak tanımlanmaktadır (Westgaard ve Aaras,1984). İyi bir çalışma duruşunun önemi 18.yy'ın başlarında Ramazzini'nin düzensiz ve tekrarlı çalışma hareketlerinin ve doğal olmayan vücut duruşlarının, çalışanlar için nasıl zararlı sonuçlar doğurduğunu açıklamasıyla anlaşılmıştır. Bu çalışma ayrıca, çeşitli KİSR'nın yüksek oranda durağan görevler yapan operatörlerde ortaya çıktığını ve hatta bunların uzun dönemde ciddi rahatsızlıklara sebep olacağını belirtmektedir.

Duruş, stres ve iş sırasında duyulan rahatsızlığın minimize edilmesi ve sağlıklı çalışmayı sağlamak, işin performans değeri kadar önemlidir. Eğer duruş doğru değilse, bu operatöre stres, yorgunluk ve ağrı olarak geri dönmektedir. Çalışan,

kasları kendini yenileyene kadar çalışmasına ara vermek zorunda kalmaktadır. Uygun olmayan çalışma duruşlarını endüstride önemli kılan KİSR'na neden olması ve bu rahatsızlıkların sağlığa, verimliliğe, kaliteye ve maliyete olan yansımalarıdır (Akay, 2003).

Çalışanların sağlık ve güvenliğini sağlamak eski zamanlardan beri işletme yöneticilerinin sorumluluğundadır. Ergonomik çalışmalar, hangi duruşların çalışan sağlığı açısından daha riskli olduğunu belirlemeye yardımcı olmaktadır (Santos ve diğ. 2007). Çalışanlar; ergonomik prensiplere göre tasarlanmamış görevleri, antropometrik prensipler dikkate alınmadan tasarlanmış iş istasyonlarında gerçekleştirmeleri sonucunda genellikle uygun olmayan vücut duruşları ile çalışmak zorunda kalmaktadırlar. Sürekli işlerdeki riskli duruşlar KİSR ile sonuçlanmaktadır (Vedder, 1998). Uygun olmayan vücut duruşundan doğan sonuçlar ise Şekil 1.7.'de gösterilmektedir. Uygun çalışma duruşlarının, çalışanların kas-iskelet sistemi üzerinde olumlu etkisi bulunmaktadır. Bu duruşlar, çalışma performansının etkili bir şekilde kontrol edilmesini ve mesleki rahatsızlıkların azaltılmasını sağlamaktadır (Mattila ve diğ. 1993).

KİSR Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Komisyonu'nun da tanımladığı gibi kas-iskelet sisteminde oluşan ve işten kaynaklanan rahatsızlıklar veya hastalıklardır. "İşten kaynaklanan" terimi Dünya Sağlık Örgütü tarafından iş performansı ve iş çevresi gibi iki faktörün etkisiyle başlayan çok etkenli bir hastalığın bilimsel nedenini tanımlamak için kullanılmıştır.



Şekil 1.7. Vücut duruşunun elverişsiz olmasından doğan sonuçlar (MPM-REFA, 1988)

KİSR; kaslarda, sinirlerde, tendonlarda, kıkırdakta, bağlarda, birleşme noktalarında ve disklerde (omurga) meydana gelen rahatsızlıklardır. İskelet ve kas sistemi sendromları eğilme, doğrulma, tutma, kavrama, bükme ve uzanma gibi sıradan vücut hareketlerinden meydana gelmektedir. Bu hareketler günlük yaşamda zararlı hareketler değildirler. Bu hareketleri zararlı yapan, iş yaşamında sürekli tekrar edilmeleri, güç gerektirmeleri ve/veya hızlı olmalarıdır. İskelet ve kas sistemi sendromları anında gelişen bir rahatsızlık değil zaman içerisinde derece derece, yavaş yavaş gelişen travmalardır (Cohen ve diğ. 1997).

KİSR'nin gelişmesinde fiziksel ve psikososyal faktörlerin önemli rol oynadığı konusunda bilimsel çalışmalar bulunmaktadır. KİSR'ye sebep olan bu risk faktörleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilmektedir:

Vücut pozisyonu: Boynun ve omuzların sabit pozisyonda olması KİSR'nın oluşmasında etkili olan bir durumdur. Üst uzuvların kontrollü hareketleri esnasında çalışanların omuz-boyun bölgesinin dengesini sağlamaları gerekmektedir. Omuz ve boyundaki kaslar kasılmakta ve görevin gerektirdiği süre boyunca sabit pozisyonda durabilmek için kasılmaya devam etmektedir. Kasılan kaslar damarları sıkıştırmakta bu da rahatsızlıklara sebep olmaktadır. İş istasyonlarının düzensiz yerleşimi ve uygun olmayan araç ve ekipman seçimi veya tasarımı da bu riskli vücut hareketlerinin oluşmasında etkili olmaktadır.

Tekrar: Çalışanların yaptığı çok sayıda tekrar içeren görevler kas iskelet rahatsızlıkları için büyük risk oluşturmaktadır. Bu görevler genellikle sabit vücut pozisyonu ve güç gibi diğer risk faktörlerini de içeren tekrarlı hareketlerdir. Bilek, dirsek ve omuz eklemlerinin kabul edilebilir limitler dışındaki tekrarlı hareketlerini içeren görevler, bu bölgelerde ağrıların oluşmasına sebep olmaktadır. Tablo 1.2'de bu tür hareketlerin örnekleri yer almaktadır.

Tablo 1.2. Vücut Hareketleri ve Etkiledikleri Bölgeler (CCOHS, 2012)

Vücut Hareketi	**Ağrı Bölgesi**
Kabul edilebilir limitler dışında bileğin tekrarlı, yatay veya düşey hareketleri Bileğin kabul edilebilir limitler dışındaki pozisyonlarında parmakların hareketi	Avuç içi ve Bilek
Dirseğin nötral pozisyonundan tekrarlı olarak bükülmesi ve düzleştirilmesi Önkol ve bileğin döndürülmesi	Dirsek
Omuz seviyesinin yukarısına uzanma Gövdenin arkasına uzanma Vücudun önünde uzağa uzanmak Kolun döndürülmesi	Omuz ve Boyun

Mola vermeden uzun süre çalışma: Üst üste tekrarlı hareketler içeren işler yorucu olmakta ve çalışan, görevler arasında verilen kısa molalarda tam anlamıyla dinlenememektedir. Tekrarlı hareketler minimum güç gerektirse bile bu hareketlerin zaman içinde sürdürülmesi için gerekli çaba düzenli olarak artmaktadır. Artan yorgunluğa rağmen çalışma aktivitesine mola verilmeden devam edilmesi incinmelere neden olmaktadır.

Güç: Elle ağır iş yapma, kaldırma, taşıma vb. görevleri yerine getirmek için gerekli olan güç KİSR'nın başlamasında önemli bir rol oynamaktadır. Daha fazla güç daha fazla çabaya eşit olduğundan görevler arasında dinlenmek için daha uzun zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Tekrarlı hareketler içeren işlerde dinlenmek için yeterli zaman olmadığında daha fazla güç gerektiren hareketler yorgunluğun ve rahatsızlıkların daha çabuk ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

İşin hızı: Yapılan işin hızı, görevdeki çevrimler arasında verilmesi gereken mola zamanını tespit etmekte belirleyici olmaktadır. İşin yüksek hızlarda yapılması durumunda dinlenmek için daha az zaman kalmakta bu da stres düzeyini arttırmaktadır. Stres düzeyinin artması ile ortaya çıkan kas gerginliği yorgunluğa sebep olarak KİSR'na temel oluşturmaktadır.

Çalışma ortamının ısısı: Sıcaklık ve nem, tekrarlı işlerde çalışan performansını etkilemektedir. Eğer çalışma ortamı çok sıcak ve çok nemli ise çalışanlar daha çabuk yorulmakta ve bunun sonucunda da incinmelere daha duyarlı olmaktadırlar. Diğer taraftan düşük sıcaklıklarda ise kas ve eklem esnekliği azalmakta bu da incinme olasılığını arttırmaktadır.

Titreşim: Titreşim; tendon, kas, eklem ve sinirleri etkilemektedir. Çalışanlar titreşimli araçlar kullandıklarında parmaklarında uyuşukluk, dokunma ve kavrama kaybı ve ağrı ile karşı karşıya kalmaktadırlar (CCOHS, 2012).

Ayrıca iş organizasyonunun yetersizliği, yüksek iş talebi, iş üzerindeki kontrolün azlığı, düşük iş memnuniyeti, zaman baskısı, çalışma arkadaşı ve yöneticilerden destek görememek, stres, mola vermeden uzun süre çalışma da KİSR için işyerinde risk oluşturan diğer faktörlerdir (Bernacki, 1999).

İşyerindeki risk faktörlerinin yanında fiziksel kapasite, yaş, kondisyon yetersizliği, aşırı kilo alımı ve sigara kullanımı gibi kişisel faktörler de KİSR oluşumda etkilidir (OSHA, 2012).

Bu risk faktörlerinin hiçbiri tek başına KİSR'na sebep olmamaktadır. KİSR genellikle bu faktörlerin kombinasyonu ve etkileşimi sonucunda meydana gelmektedir. Sayılan bu risk faktörlerine maruz kalma sonucunda çalışanın

vücudunda kan akımında azalma veya lokal kas yorgunluğu gibi etkiler oluşmaktadır. Eğer uygun dinlenme aralıkları verilmez, belirlenen noktalarda düzeltici faaliyetler yapılmaz ve bu faktörlere sürekli maruz kalınırsa KİSR oluşmaktadır (CCOHS, 2012).

Yukarıda sayılan risk faktörleri dikkate alındığında; çiftçilik, ormancılık, balıkçılık, madencilik, üretim ve makine operatörlüğü, terzilik, yükleme ve boşaltma işçiliği, inşaat işçiliği, bahçıvanlık, şoförlük, hemşirelik, temizlik işçiliği, perakende satış işçiliği, otel ve restoran işçiliği ve sekreterlik gibi işlerin KİSR'nin sıkça ortaya çıktığı gruplar olduğu görülmektedir (OSHA, 2012).

KİSR; bel, boyun ve üst ekstremite (el bileği, el, dirsek ve omuz) hastalıkları olarak sınıflandırılmaktadır (Bernacki, 1999). Bel ve sırt ağrıları, kas zorlanması ve incinmesi, boyun tutulması, boyun fıtığı, bel fıtığı, karpal tünel sendromu, gergin boyun sendromu ve kas kuvveti dengesizlikleri işten kaynaklanan başlıca KİSR'dır (Bernard, 1997). KİSR'de en sık tutulan bölgeler bel, boyun, eller, el bilekleri, dirsekler ve omuzlardır (Özcan ve Kesiktaş, 2007).

Ağrı, KİSR'nda görülen en yaygın semptomdur. Bazı durumlarda eklem sertliği, kas gerginliği, kızarıklık ve etkilenen bölgenin şişmesi gibi semptomlara da rastlanmaktadır. Bazı çalışanlar karıncalanma duygusu, hissizlik, cilt renginde değişme ve ellerin terlemesinde artış yaşamaktadırlar. Tablo 1.3., üst vücut bölgelerinde görülen bazı KİSR'ndaki mesleki risk faktörlerini ve semptomları göstermektedir.

İnsanın çalışması sırasındaki vücut duruşu ve hareketlerinin doğruluğu, iş yaşamını ne kadar sağlıklı ve başarılı geçirebileceği ile ilgili bir gösterge oluşturmaktadır. Uygun ve doğru olmayan vücut duruş ve hareketlerinin tekrarlı olarak icra edilmesi neticesinde KİSR ortaya çıkmakta ve hem çalışan, hem işveren hem de devlet açısından, maddi ve manevi, ciddi kayıplara neden olmaktadır. Yaşanan sağlık problemleri, bu rahatsızlıklar için yapılan harcamalar sıralamasında üst sıralarda yer alan ve çalışanı iş verimi, yaşam kalitesi, fiziksel ve sosyal fonksiyonlar açısından olumsuz etkileyen KİSR, önemle ele alınması ve bilimsel yöntemlerle çözülmesi gereken bir konudur.

Tablo 1.3. KİSR'na ait Mesleki Risk Faktörleri ve Semptomlar (CCOHS, 2012)

Rahatsızlık	**Mesleki Risk Faktörü**	**Semptomlar**
Tendon İltihabı	Tekrarlı bilek hareketi Tekrarlı omuz hareketi Omuzlara uzun süreli yüklenme	Ağrı, güçsüzlük, şişme, etkilenen bölgenin üzerinde yanma hissi ve acı
Epikondilit (Dirsek Tendonu İltihabı)	Önkolun zorlayıcı veya tekrarlı rotasyonu esnasında bileğin bükülmesi	Ağrı, güçsüzlük, şişme, etkilenen bölgenin üzerinde yanma hissi ve acı
Karpal Tünel Sendromu	Tekrarlı bilek hareketleri	Ağrı, hissizlik, karıncalanma, yanma hissi, avuç içinin kuruması,
Baş Parmak Tendon Sıkışması	Tekrarlı olarak elin bükülmesi ve güç sarf ederek kavrama	Baş parmak tabanında ağrı
Torasik Outlet Sendromu	Omuzların sürekli bükülmesi Omuz üzerinde yük taşıma Kolların omuz hizasının üzerine uzanması	Ağrı, hissizlik, ellerde şişme
Gergin Boyun Sendromu	Kısıtlı vücut duruşunda uzun süreli bulunma	Ağrı

2. KİSR'NİN ÖNLENMESİNDE UYGULANABİLECEK ANA İLKELER VE BİLİMSEL YÖNTEMLER

Hem çalışma hayatı boyunca sağlığını koruyarak çalışanın moralini, motivasyonunu ve performansını arttırabilmek hem de ülke endüstrisine ve ekonomisine katkıda bulunabilmek açısından önemli bir yere sahip olan KİSR'nin önlenmesi konusu; bilimsel yöntemler ile incelenmesi ve analiz edilmesi gereken bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde; KİSR'nın oluşmasını önlemek amacıyla, uygun çalışma ortamlarının tasarlanması ve ihtiyaç duyulan iyileştirmelerin yapılmasında yararlanılabilecek ana ilkeler ve KİSR'na sebep olan uygunsuz çalışma duruşlarına ait risk düzeylerinin belirlenmesinde kullanılan bilimsel yöntemler yer almaktadır. Bu bölümde hem ana ilkelere değinilmekte hem de bu kapsamdaki bilimsel yöntemler sınıflandırılarak tanıtılmaktadır.

2.1. Çalışma Ortamlarının Tasarımı ve Etkin Kullanımında Dikkate Alınması Gereken Ana İlkeler

Gerçek çalışma ortamlarını ergonomik koşullara uygun tasarlamak ve çalışanların daha sağlıklı çalışma duruşları ile iş yapmalarını sağlamak amacıyla kullanılabilecek çeşitli ilkeler mevcuttur. Bu ilkelerin ışığında gerçekleştirilecek ergonomik bir tasarımın getirebileceği ek maliyet, bu ana ilkeler ışığında tasarlanmamış sağlık ve güvenlik açısından yetersiz koşullara sahip çalışma ortamlarında iş yapmaktan dolayı ortaya çıkacak maliyet ile karşılaştırıldığında, çok düşük ve önemsiz kalmaktadır. Çalışma ortamlarında karşılaşılan sorunların birçoğu mevcut sağlık ve güvenlik yönetmelikleriyle ve iyi uygulama örneklerine ilişkin rehberlerin takip edilmesiyle önlenebilmektedir. Bu kapsamda, işyerindeki görevlerin değerlendirilmesi, önleyici tedbirlerin alınması, bu tedbirlerin etkinliğinin ve sürekliliğinin kontrol edilmesi önemli bir yere sahiptir. Devlet ve işverenler çalışanlarını korumak için daha çok çaba göstermeli ve çalışanlar da kendi sağlıklarını yakından ilgilendiren KİSR'na ilişkin riskler konusunda daha bilinçli olmalıdır.

KİSR'da en önemli risk kaynağını işlerin gereksiz tekrarları oluşturmaktadır. Uygulanan güç, sabit vücut pozisyonları, benzer hareketlerin defalarca tekrarını gerektiren iş adımları da KİSR'na sebep olan faktörlerdir. Çalışanları bu rahatsızlıklardan koruyabilmek için alınacak önlemlerin amacı, uygun iş tasarımı aracılığıyla işteki tekrarların azaltılması olmalıdır. İş tasarımları; makineleştirme, iş rotasyonu, iş zenginleştirme veya takım çalışması dikkate alınarak yapılmalıdır.

İş rotasyonu çalışanın farklı görevler yapmasını ve farklı kas gruplarını çalıştırmasını sağlamaktadır. İş zenginleştirme ile işteki görevlerin çeşitliliği artmakta bu da işteki monotonluğu ortadan kaldırarak vücudun belli bölgelerindeki aşırı yüklenmeyi azaltmaktadır. Takım çalışması ise kassal çalışmaların dengeli bir şekilde dağılımını ve çalışanlar arasındaki görev değişimleri aracılığıyla çeşitlilik sağlamaktadır.

Uygun iş tasarımları ile işteki tekrarların azaltılamaması durumunda ise işyeri düzenleme, kullanılan araç ve ekipmanların tasarımı ve uygun iş tasarımı çalışmaları gibi önleyici stratejiler dikkate alınmalıdır.

Çalışma yeri tasarımında amaç çalışma ortamının çalışana uygun hale getirilmesidir. Çalışma yerinin değerlendirilmesi sonucunda KİSR'nin kaynakları belirlenebilmektedir. İş istasyonlarının uygun tasarımı, çalışma pozisyonu için gerekli olan gücün azaltılmasını sağlamaktadır (CCOHS, 2012). Bu noktada çalışana ait tek bir ideal pozisyon olmadığı da unutulmamalıdır. Her çalışanın yaptığı iş ve çalışma ortamı tek tek ele alınarak incelenmeli ve bu noktada fizyolojik, biyomekanik ve antropometrik tasarım prensiplerinden yararlanılmalıdır.

Biyomekanik; mekanik ve fizik kurallara göre insan vücudunun hareketlerini ve bu hareketleri yaparken veya vücudun bir duruşu sırasında kas veya kas gruplarına düşen mekanik yükü tahmin etmek ve azaltmak amacı ile çalışan bir bilim dalıdır. Bunu bazı prensipler aracılığı ile gerçekleştirmektedir:

- ✓ Vücut duruşları ve hareketleri mümkün olduğu kadar vücudun doğal yapısına uygun olmalıdır. Çünkü vücudun doğal duruşundaki yüklenme ve zorlanmalar en az seviyededir.
- ✓ Yapılan iş mümkün olduğu kadar vücuda yakın yapılmalıdır.
- ✓ Vücudun öne doğru eğilmesinden ve döndürülmesinden kaçınılmalıdır.

- ✓ Ani hareketler ve kuvvet sarfları, sırtta ve bel bölgesinde ani ağrılara neden olmaktadır. Herhangi bir duruş veya hareket uzun süre devam ettirilmemelidir. Sabit duruşlar veya tekrarlı hareketler uzun dönemde kaslarda ve eklemlerde rahatsızlıklara neden olmaktadır.
- ✓ Uzun süre statik kassal çalışma veya durma kas yorulmasına ve kas performansının düşmesine neden olmaktadır.
- ✓ Kas gücünün tamamen tüketilmesinden kaçınmak gerekmektedir. Çünkü böyle bir durumda kasın eski gücüne dönmesi uzun zaman almaktadır.
- ✓ Çalışma sırasında uzun ve tek bir ara vermektense kısa ve çok sayıda mola vermek daha iyi olmaktadır.

Fizyoloji; canlının hayati fonksiyonlarını ve sistemlerinin işleyişini inceleyen bir bilim dalıdır. Fizyolojik tasarım prensipleri;

- ✓ İnsanın çalışması sırasında yapmış olduğu duruş ve hareketler nedeni ile kasların ihtiyaç duyacağı enerji miktarının belirlenmesi ve sağlıkla ilgili problemler oluşturmayacak şekilde tüketilecek bu enerjinin sınırlandırılması,
- ✓ Çalışma sırasında metabolizmanın yaşadığı değişiklikleri kontrol altında tutabilmek amacıyla, çeşitli fizyolojik göstergelerin kabul edilebilir sınırlarının belirlenmesi,
- ✓ Sürekli kassal çaba neticesinde kasta oluşan yorgunluğun ve genel olarak vücutta oluşan yorgunluğun belirlenmesi ve buna bağlı olarak sürekli çalışma ve dinlenme zamanlarını hesaplanması konularında insan-makine sistemi tasarımına destek vermektedir.

Antropometri; insanın vücut ölçülerinin belirlenmesi ve uygulamaya aktarılması ile ilgilenen bilim dalıdır. Çalışma yerlerinin, gerekli araç ve ekipmanların tasarımında:

- ✓ İnsan vücudunun tümünün ve iş açısından baş, el, kol, ayak, bacak gibi önemli organlarının boyutları,
- ✓ Vücudun doğal konumu,
- ✓ Eklemlerin hareket alanı, eklemlerle birbirine bağlı elemanların boyutları ve buradan elde edilen ulaşım mesafeleri,
- ✓ Ulaşılabilen hacim içerisinde uygulanabilen kuvvetler,

- ✓ Anatomik-optik, bakış ve görüş alanlarının sınır şartlarını ve gözün rahat bakış eksenini de dikkate alarak hacimsel olarak görülebilecek bölgenin belirlenmesi konularında antropometriden yararlanılmaktadır.

Çalışan insanların fiziksel rahatlıkları ve beden yeteneklerini en üst düzeyde kullanabilmeleri öncelikle, kullandıkları malzemeler, çalışma yüzeyleri ve hacimlerin onların boyutlarına uygun olmasına bağlıdır. Her türlü araç gereci kullanan çalışanların boyut farklılıklarını dikkate alarak tasarım yapmak, çalışanların performansları açısından çok önemlidir. Bu nedenle iş istasyonları; çalışana oturma veya ayakta durma pozisyonları için seçenekler sağlamalı, çalışanın vücut ölçülerine ve şekline uygun ve ayarlanabilir olmalıdır (Fığlalı, 2013).

Araç ve ekipmanın uygun tasarımı, görevi tamamlamak için gerekli olan gücü önemli ölçüde azaltmaktadır. Çalışanlara, görevleri için uygun bağlama düzenleri ve şablonların sağlanması uygunsuz pozisyonlardaki kassal çabayı azaltmaktadır.

İyi tasarlanmış çalışma alanı ve uygun araçlar ile desteklenmiş bir iş, çalışanın gereksiz boyun, omuzlar ve üst uzuv hareketlerinden korunabilmesini sağlamaktadır. Tekrarlı görevler içeren işleri yapan çalışanlar için eğitim verilmelidir. Çalışanların, görev ve bireysel ihtiyaçlarına göre iş istasyonlarını nasıl ayarlayabileceklerini bilmeleri gerekmektedir. Çalışanlara verilecek eğitimler, kasları rahatlatmak için görevler arasında verilecek kısa süreli molaların ve dinlenme zamanlarının önemini vurgulayarak avantajlarını öğretmelidir. Eğitimlerde ayrıca çalışanlara bütün vardiya boyunca oluşabilecek kas gerginliğini bilinçli bir şekilde nasıl kontrol altına alabileceklerine dair bilgiler de verilmelidir (CCOHS, 2012).

2.2. Çalışma Duruşu Analizinde Kullanılan Bilimsel Yöntemler

KİSR'da çalışma duruşu oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle KİSR'na sebep olan uygun olmayan çalışma duruşlarını bilimsel yöntemler ile incelemek, analiz etmek ve gerekli iyileştirme ve düzenlemeleri yapmak çalışma performansının etkili bir şekilde kontrol edilmesi ve KİSR'nın azaltılması konularında önemli katkılar sağlamaktadır. KİSR'na neden olan uygunsuz çalışma duruşlarını ve bunların risk düzeylerini belirleyebilmek ve bu konularda yapılacak iyileştirme ve geliştirme planlarına ışık tutmak amacıyla literatürde de birçok yöntem yer almaktadır.

Çalışma sırasında hangi duruşların çalışan sağlığı açısından daha riskli olduğunun belirlenmesi Ergonominin önemli bir alanıdır (Santos ve diğ., 2007). Zaman zaman çalışanlar; antropometrik karakteristikler dikkate alınmadan tasarlanmış iş istasyonlarında ve/veya ergonomik prensipler doğrultusunda tasarlanmamış görevleri yerine getirmek üzere uygun olmayan vücut duruşları ile çalışmak zorunda kalmaktadırlar (Vedder, 1998). Çalışma duruşlarının uygunluğu, çalışma performansının etkili bir şekilde kontrol edilmesini ve KİSR'nın azaltılmasını sağlamaktadır (Mattila ve diğ., 1993).

Verimlilik, kalite ve maliyet açısından çeşitli kayıplara sebep olan KİSR'nın azaltılabilmesi, çalışma duruşlarının değişik bakış açılarında ele alınarak farklı yönlerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi ile mümkündür. Literatürde bu amaçla kullanılan yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür:

2.2.1. Yük kaldırma görevleri ile ilgili yöntemler

Snook'un Tabloları (Snook's Tables): Snook ve Ciriello (1991) tarafından geliştirilen yöntem Snook Tabloları adı verilen tablolar yardımıyla, maksimum kabul edilebilir yük miktarlarını belirlemeye çalışmaktadır. Bu yöntemin amacı, elle gerçekleştirilen yük kaldırma işleri için güvenilir kaldırma limitlerini belirlemektir. Yöntem çalışanlardan, kişisel algılamalarına göre ağırlığı, gerilme ve yorgunluğu belirlemelerini istemektedir. Literatürde yöntemin; ambulans hizmeti, yemek dağıtımı, çamaşırhane, ev temizliği, hasta bakımı, kargo, çöp toplama, bakım evleri gibi elle gerçekleştirilen kaldırma işleri için uygulandığı görülmektedir (Snook ve Ciriello, 1991).

Revize Edilmiş NIOSH Kaldırma Eşitliğ: ABD Ulusal Mesleki Sağlık ve Güvenlik Enstitüsü tarafından bir seri değerin (yükün kaldırılması esnasında kaldırmanın başlangıç ve bitiş yüksekliği, yükün dikey kaldırılma mesafesi, uzanma mesafesi, açısal yer değiştirme, kaldırma sıklığı, tutma şekli katsayısı**)** çarpılarak elde edildiği 'Önerilen Ağırlık Limiti'ni belirleyen matematiksel bir eşitlik geliştirilmiştir. Bu eşitlik yük kaldırma ve indirme hareketlerini içeren görevlerde, belde oluşan zorlanmayı belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Kaldırılan yükün önerilen ağırlık limitine bölümü ile elde edilen Kaldırma İndeksi farklı görevler için

hesaplanabilmekte ve bu indeks yardımıyla hangi kaldırma görevlerinin problem oluşturabileceği belirlenebilmektedir (Waters ve diğ., 1993).

İndirme, İtme, Çekme ve Taşıma Modeli (Lowering, Pushing, Pulling and Carrying Model): Bu yöntemde biyomekanik, fizyolojik ve psikofiziksel kriterleri dikkate alan denklemler aracılığıyla indirme, itme, çekme ve taşıma için kapasiteler hesaplanmaktadır (Shoaf ve diğ., 1997). Literatürde yöntemin, eczacıların ve kalfaların ilaçların bulunduğu soğuk depolardan girerken kapıları çekmesi, hemşirelerin, hemşire yardımcılarının ve hastabakıcıların hastaları indirmesi, temizlik personelinin çöpleri taşıması, depo işçilerinin tıbbi malzeme kutularını taşıması, çamaşırhane işçilerinin çamaşır arabalarını itmesi vb. işlerde uygulamalarını görmek mümkündür.

2.2.2. Gözlem veya ankete dayalı yöntemler

OWAS (Ovako Working Posture Analysing System): OWAS, çalışanın kas-iskelet sistemindeki yüklenmeyi ve sistemin neden olduğu kötü duruşları belirlemeye yarayan, gözleme dayalı bir çalışma duruşu analiz yöntemidir. Ayrıca, iş yerinin verimlilik, konfor ve mesleki sağlık açısından değerlendirilmesini ve insan makine ara kesitinin sistematik bir biçimde incelenmesini sağlamaktadır. Bu yönteme göre duruşlar sınıflandırılmakta ve işgöreni rahatsız edici unsurları ortadan kaldırmak amacı ile tasarıma yönelik sistematik iyileştirmeler ve geliştirmeler yapılmaktadır (Akay ve diğ., 2003). Literatürde yöntemin inşaat işlerinde, tamir bakım işlerinde, sağlık sektöründe, hayvancılıkta, taşıma ve dağıtım işçiliklerinde, imalat sektöründe ve tarımcılık işlerinde uygulandığı görülmektedir.

RULA (Rapid Upper Limb Assessment): RULA, görev için gerekli olan gücü ve tekrarlı hareketleri dikkate alarak işle ilgili üst uzuv rahatsızlıklarını ortaya çıkarmak amacıyla geliştirilmiş çalışma duruşlarını analiz eden subjektif gözlem yöntemlerinden biridir (Dockrell ve diğ., 2012). Bu yöntem, üst uzuv (el-bilek-dirsek-alt kol-üst kol-omuz-boyun) rahatsızlıklarına neden olan kas-iskelet yüklenmelerine maruz kalan çalışanları değerlendirmek amacıyla puanlandırma sistemine dayalı olarak tasarlanmıştır. Yönteme göre üst organ, boyun, sırt ve bacak duruşlarının önceden belirlenmiş sınıflandırmaları ve sayısal değerleri gözlenen

duruşun risk puanını belirlemek için kullanılmaktadır (Hoy ve diğ., 2005). Yöntem, az ekipman ve çevre değişikliği ile hızlıca sonuç vermekte fazla tecrübe ve beceri gerektirmemekte ve kolayca öğrenilebilmektedir (Dockrell ve diğ., 2012). Yöntem; hastabakıcılık, onarım işleri, kasiyer hizmetleri, telefon operatörleri, ultrason teknisyenleri, diş hekimlerine ait çalışma duruşlarının değerlendirilmesinde başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir.

REBA (Rapid Entire Body Assessment): REBA yöntemi, dinamik ve statik duruşlarda söz konusu olan yüklenmeyi, insan-yük etkileşimini göz önüne alarak işgörenin tüm vücudunun duruşsal riskini değerlendirmektedir. Bu analiz aynı zamanda, bir iyileştirme yapıldığı zaman, iyileştirmenin öncesinde ve sonrasında rahatsızlık risklerinin azalıp azalmadığını değerlendirmek için de kullanılmaktadır. REBA yöntemi, RULA yönteminden türetilmiştir. Ancak REBA yöntemi tüm vücudu göz önüne alır ve dolayısıyla sırt, bacaklar ve dizleri de değerlendirir. Hemşirelik hizmetleri, hastabakıcılar, ev temizliği hizmetleri, ultrason teknisyenleri, diş hekimlerinin yaptıkları işler REBA yöntemi ile değerlendirilebilmektedir (Hignett, 1996).

İş Zorlanma İndeksi (Job Strain Index): El, bilek ve dirsek (Distal üst ekstremite) duruşlarını göz önüne alan bu yöntem yapılan işleri; duruş şekilleri, hareket sıklıkları ve uygulanan kuvvete göre değerlendirmektedir. Yöntemde titreşim ya da stres faktörleri dikkate alınmamakta ve göreceli risk durumları indekslerle belirlenmektedir. Et paketlemede, küçük parçaların montajında, klavye kullanımında ve diğer fazla tekrarlı el hareketlerinin söz konusu olduğu işlerde kullanılmaktadır. Özellikle karpal tünel sendromu gibi kas-tendon rahatsızlıklarının oluşmasına neden olabilecek duruşları belirlemek için kullanılmaktadır (Moore ve Garg, 1995).

Hızlı Maruziyet Değerlendirme (Quick Exposure Check): Hızlı Maruziyet Değerlendirme, dört vücut bölgesinin (bel, omuzlar ve kollar, eller ve el bilekleri ve boyun) ergonomik iyileştirmeler yapılmadan önce ve yapıldıktan sonra, kas iskelet sistemi risk faktörlerine maruz kalma durumundaki değişiklikleri değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Yöntem aynı işi yapan iki veya daha fazla insan veya farklı işleri yapan insanlar arasındaki maruziyeti karşılaştırmaktadır. Hem çalışan hem de değerlendiren kişinin cevaplaması gereken soruların yer aldığı ve bu sorulara

verilen cevaplar sonucunda skorların hesaplandığı bir yöntemdir. Yöntem, elle kaldırma görevlerinin yapıldığı birçok işe rahatça uygulanabilmektedir (Özcan ve Kesiktaş, 2007).

OCRA indeksi; herhangi bir işteki tekrarlı hareketlere ait risk faktörlerini tanımlamak için kullanılmaktadır. OCRA indeksi üst uzuvlarla yapılan tekrarlı hareketlerin sayısı ile buna karşılık tavsiye edilen aksiyon sayısı arasındaki ilişkiyi sayısallaştırmaktadır. Bu oran vardiyada uygulanan teknik aksiyon sayısının aynı vardiyada tavsiye edilen teknik aksiyon sayısına bölümü ile elde edilmektedir. Tavsiye edilen teknik aksiyon sayısı, hareketlerin sıklığı ve tekrarı, uygulanan güç, duruşun çeşidi ve vibrasyon vb. ek faktörleri de dikkate alarak elde edilmektedir. OCRA yöntemu vücudun sağ ve sol tarafı için iki farklı indeks (omuz ve dirsek/bilek/el) oluşturmaktadır (Chiasson ve diğ., 2012).

2.2.3. Kontrol listeleri

ACGIH El/Kol Titreşim Eşik Limit Değeri (Hand/Arm Vibration Threshold Limit Values) : ACGIH yöntemi, iki eli kullanarak, vücudu sağ ve sol yanlara ayıran sagittal alandan 30 derece sapma ile gerçekleştirilen tek kişilik kaldırma hareketlerine odaklanmıştır. ACGIH aynı zamanda kaldırma hareketleri esnasında saatte 360'dan fazla kaldırma hareketi yapıldığı, günde 8 saatten daha fazla sürelerde çalışıldığı ve kaldırma görevi yapıldığı, fazla asimetrik çalışıldığı (sagital alandan 30 dereceden fazla sapma ile), tek elle kaldırma yapıldığı, oturarak ya da dizler üzerine çökerek kaldırma hareketi yapıldığı, sıvılar gibi dengede olmayan yükler kaldırıldığı, kaldırma hareketlerinde tutamaçlar kullanılmadığı ve ayakların dengede olmadığı koşullar oluştuğu zaman da profesyonel önerilerde bulunabilmektedir. Bu yöntem; endüstriyel hijyen ile ilgilenenlerin, çalışma ortamındaki farklı fiziksel etkenlerle karşı karşıya kalma durumlarında, bu etkenlerin güvenilir seviyelerini belirleyen kararların verilebilmesi için bu etkenlerin eşik limit değerlerini belirlemekte ve bir kılavuz oluşturarak yayınlamaktadır. Bu yöntem sadece el, kol titreşiminin söz konusu olduğu işler için kullanılmaktadır (Shergill, 2009).

Risk Faktör Kontrol Listesi (UAW-GM Risk Factor Checklist): General Motor Merkezindeki, Oto İşçileri Birliği tarafından hazırlanan Ergonomik Risk Faktörü

Kontrol Listesi; tekrar sıklığı, güç, uygunsuz duruşlar, zorlanma, titreşim gibi faktörleri belirlemektedir. Bu yöntem her ne kadar otomotiv işçileri için geliştirilmiş olsa da yemek servisinde çalışanlar, çamaşırhane işçileri, ev temizliğinde çalışanlar, hastabakıcılar, depo işçileri, hemşireler ve ambulans hizmetlerinde çalışanlar için de kullanılmaktadır (Lavender ve diğ., 1997).

Washington Eyaleti Yasaları Ek-B (Washington State Regulations Appendix-B): Bu yöntem, fiziksel risk faktörlerini içeren faaliyetleri barındıran işler olarak tanımlanan tehlikeli alanlarda yapılan işlerle ilgili yaralanmalara sebep olan iş yeri risklerini sınıflandırmaktadır. Bu işler, ergonomik farkındalık ve iş kazası analizi eğitimlerini gerektirecek derecede riske sahip işlerdir. Her bir iş için fiziksel risk faktörü bulunmaktadır. Bu yöntem; gözlemlenen işlerin uygun olmayan duruşlar içermesi, ellerin aşırı kuvvet maruz kalması, hareketlerin fazla tekrar etmesi, tekrarlanan darbeler içermesi, ağır, sık ve uygunsuz kaldırma gibi risk faktörlerini içermesi durumunda kullanılmaktadır (WISHA, 2009).

Finlandiya Meslek Sağlık Enstitüsü tarafından geliştirilen Ergonomik İşyeri Analiz Yöntemi; iş istasyonu tasarımı, fiziksel iş yükü, kaldırma, çalışma duruş ve hareketleri, kaza riski, görev içerikleri, görev kısıtlamaları, kişisel ilişki ve haberleşme, karar verme, gereken ilgi, tekrar, aydınlatma, termal çevre ve gürültü konularında kapsamlı bir ergonomik analiz sağlamaktadır. Gözlemci her bir maddeyi dört ya da beş seviyeli skalada derecelendirmektedir. Skaladaki yüksek seviyeler çalışan sağlığı açısından risk olduğunu gösterirken, düşük seviyeler kabul edilebilir ve güvenli çalışma koşullarını ifade etmektedir (Chiasson ve diğ., 2012).

2.2.4. Sayısal biyomekanik ölçüler

Sayısal biyomekanik ölçüler, diğer yöntemlere göre daha güvenilir ve daha kesin sonuçlar vermektedir. Bu grup yöntemlerde yapılan direk ölçümler ile, farklı görevler içeren işler için detaylı ve kesin değerler elde edilmektedir. Fakat bu ölçümlerde kullanılan cihazların yapısı karmaşık olup, yapılan görevin performansını etkileyebilmektedir. Ayrıca ölçümler sonucunda elde edilen verilerin miktarı büyük olduğu için bu verilerin bilgilerin yönetimi de zor olabilmektedir.

Goniometre, Eğimölçer, Potansiyometrik Elektrogoniometre ve Esnek Goniometre direk ölçüm yapabilen cihazlardır. Goniometreler, çalışma duruş ve hareketlerini ölçebilen en basit cihazlardır. Bu cihazlar genellikle hareket aralıklarını sayısallaştırmak amacıyla 1910 yılından bu yana kullanılmaktadır. Goniometereler tüm eklemlerin hareketlerini sayısallaştırabildikleri için 1949 yılında universal goniometreler olarak adlandırılmıştır. 1955 yılında Leighton tarafından ileri sürülen Eğimölçer, omurga hareketlerini ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Tekil veya çoğul eksene sahip olan Potansiyometrik Elektrogoniometreler ise sürekli hareketlerin kayıt edilmesine olanak tanımaktadır. Esnek Goniometreler de duruş ve hareketlerin sürekli olarak kaydedilmesinde kullanılmaktadır. Eksen doğrultularıyla ilgili biomekanik problemlere meydan vermemeleri için bu cihazların eksenleri bulunmamaktadır. Bu durum ölçümlerin doğruluğunu arttırmaktadır. Bu üstünlük bu cihazların potansiyometrik goniometrelere tercih edilmesini sağlamaktadır (Vieira, 2004).

Direk ölçüm yapılmasına olanak sağlayan fotoğraf ve video analiz sistemleri maliyet ve kullanım üstünlükleri sebebiyle yıllardan beri çalışma duruşlarının analiz edilmesinde kullanılmaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji ile erişilebilirlikleri ve avantajları artan bu araçlar, çalışmada belirtilen diğer tüm çalışma duruş analiz yöntemlerinin uygulanmasına destek vermek amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Çalışma duruşlarının analizine ve risk düzeylerinin belirlenmesine yönelik olarak literatürde yer alan ve yukarıda sayılan yöntemleri etkinleştirebilmek veya çalışma duruşlarını incelemeyi bilgisayar destekli olarak gerçekleştirmek üzere yapılmış çalışmalar da aşağıda özetlenmektedir:

Woldstad ve Stewart, 1993 yılında yaptıkları çalışmalarında, ergonomi alanında kullanılmak üzere, video çekimlerinden insan vücut duruşlarını 3 boyutlu kaydetmeye olanak sağlayan bilgisayar tabanlı “duruş kayıt yöntemini” geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntemin değerlendirilebilmesi için 30 kişinin katıldığı bir doğrulama deneyi yapılmıştır. Çalışmada deneklerden, geliştirilen yöntem aracılığıyla 5 farklı pozisyonda (oturma, itme, kaldırma, uzanma ve çömelme) ve 3 farklı görüş açısında (ön, sağ ve eğik) alınan duruşları kodlamaları istenmiştir.

Denekler tarafından kodlanan duruşlar araştırmacı tarafından alınan standart kayıtlar ile karşılaştırıldığında yöntemin güvenilir olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca bu yöntemle kaydedilen duruşların doğruluğunda ve hızında, kayıt aracının ortamı algılama yeteneğinin bir etkisi bulunmadığı belirtilmektedir (Woldstad ve Stewart, 1993).

Wang ve diğerleri'nin (1996), elle taşıma yapılan görevlerdeki riskleri değerlendirmek amacıyla geliştirdikleri sistem, çalışma duruşlarını belirlemek için bilgisayar görüntü tekniklerini kullanmakta ve sonrasında belde oluşan baskı kuvvetini hesaplamak için biyomekanik model ve antropometrik verileri birleştirmektedir. Sistem, elde edilen sonuçları belirli standart limitler ile karşılaştırarak görevin risk seviyesini belirleyebilmektedir (Wang ve diğ., 1996).

Murphy ve diğerleri, 2002 yılındaki çalışmalarında, 11-14 yaş arası okul çağı çocuklarında bel ağrısı görülme oranının yüksek olduğunu belirtmekte ve bu amaçla okul çocuklarının sınıftaki oturma duruşlarının yoğunluğu, süresi ve sıklığını gözlemlemektedirler. Çalışmada, 18 çocuğa ait oturma duruşları 3 farklı yöntem kullanılarak kaydedilmekte ve yöntemler kıyaslanmaktadır (Murphy ve diğ., 2002).

Van Der Beek ve diğerleri, 1992 yılındaki çalışmalarında kamyon şoförlerinin çalışma duruşları için gözlemciler arası güvenilirliği istatistiksel olarak test etmektedirler. Bu güvenilirlik çalışmasının sonucunda TRAC (Task Recording and Analysis on Computer) yönteminin geliştirilmiş bir versiyonu önerilmektedir. TRAC yöntemi, gözlemciye değişkenleri belirleme ve seçme olanağı tanımaktadır. Bu yöntemde iş ortamında herhangi bir işaretleyici bulunmaksızın kayıt alınmakta ve analizler kayıt sonrasında yapılabilmektedir (Van Der Beek ve diğ., 1992).

Zhang ve diğerleri, 2010 yılındaki çalışmalarında ölçülen vücut verisini, farklı duruşlar arasında dönüştürmek için kullanılabilecek bir yaklaşım sunmaktadırlar. Bu çalışmada belirli vücut duruşlarını tanımlamak için veri dönüştürücü olarak uygun işaretler kümesi kullanılmaktadır. Çalışmada, demografik veri ve verilerin dönüşümünü tanımlayan işaretlerin koordinatlarını Yapay Sinir Ağı (YSA) girdi olarak alan bir sınıflandırma kullanılmaktadır. Çıktı seti ise dönüştürülen duruşları tanımlayan işaretlerdir. Çalışmanın sonuçları kümelemeye dayalı dönüşüm

yönteminin, tüm vücuda dayalı duruş dönüşüm yöntemine göre sayısal olarak daha etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca çalışmada işaretlerin kümelenmesinin yöntemin güvenilirliğine katkıda bulunduğu da belirtilmektedir (Zhang ve diğ., 2010).

ERGONOM, Swat ve Krzychowicz tarafından 1996 yılındaki çalışmalarında kullandıkları, Nofer Mesleki Tıp Enstitüsü'nde geliştirilmiş, çalışma alanındaki duruşlarla ilişkili ergonomik stres değerlendirme yöntemidir. Bu bilgisayar programı önceden var olan yükün, tasarım aşamasında tahminine olanak sağlamaktadır. ERGONOM sistemi 3 bilgisayar programını içermektedir: ERGONOM 1, antropometrik ölçüleri bilinen herhangi bir çalışan grubu için duruş şekline bağlı bölgelerin sınırlarını (yükseklikler) tanımlamaktadır. ERGONOM 2, tasarımın erken aşamalarında bir makine veya diğer bir teknik objenin ergonomik teşhisi için kullanılan programdır. ERGONOM 3, çalışanın duruşsal aktivitelerine ait tüm verilerin analizine dayanan, makine prototiplerinin ergonomik testi için kullanılan çalışma duruşu değerlendirme sistemidir. Bu sistemde tasarımcı, tatmin edici çözümleri ergonomik olarak elde etmek için değişik manuel kontrolleri ve çalışma alanı düzenlemelerini test edebilmektedir. Sistem ayrıca satın alınan makinelerin ulusal çalışan nüfusun antropometrik ölçülerine uygunluğunu test etmeye de imkan vermektedir (Swat ve Krzychowicz, 1996).

Keyserling ve Budnick tarafından 3 boyutlu vücut açılarını ölçmek için 1987 yılında geliştirilen sistem, çalışma duruşlarını analiz etmektedir. Çalışma duruşları videoteyp kullanılarak kaydedilmekte ve kaydedilen duruşların vücut açıları bilgisayar destekli sayısallaştırma sistemi aracılığıyla laboratuar ortamında elde edilmektedir. Çalışmanın sonuçları hesaplanan çoğu eklem açıları için ölçüm hatalarının küçük olduğunu göstermektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan sistem, direk ölçümlerin mümkün olmadığı durumlarda 3 boyutlu vücut açılarını belirlemek için yararlı bir araç olarak sunulmaktadır (Keyserling ve Budnick, 1987).

KİSR'nin azaltılmasını amaçlayan çalışma duruşu analiz yöntemlerinin bir kısmı uygulamada tek başına kullanılabildikleri gibi daha detaylı ve güvenilir sonuçlar elde etmek amacıyla bir arada da kullanılabilmektedir. Ayrıca günümüzde bilişim teknolojilerinin gelişimi yukarıda sayılan yöntemlerin etkinlik, güvenilirlik ve yaygın

kullanımına katkı sağlamakta ve gelecek için potansiyel bir çalışma alanı vaat etmektedir.

Bu tez kapsamında, fiziksel ağırlıklı çalışmalarda özellikle ayakta ve dinamik çalışma duruşlarında kas-iskelet sisteminde gerçekleşen yüklenmeleri ve problemleri analiz edebilmek için kullanılan ve literatürde çok çeşitli uygulamalarına rastlanan OWAS yöntem güvenilirliğinin arttırılması amaçlanmaktadır. Çalışmanın 4. bölümünde bu yöntemin uygulama aşamalarına ve literatürdeki çeşitli uygulamalarına ayrıntılı olarak yer verilmektedir.

3. OWAS VE LİTERATÜRDEKİ UYGULAMALARI

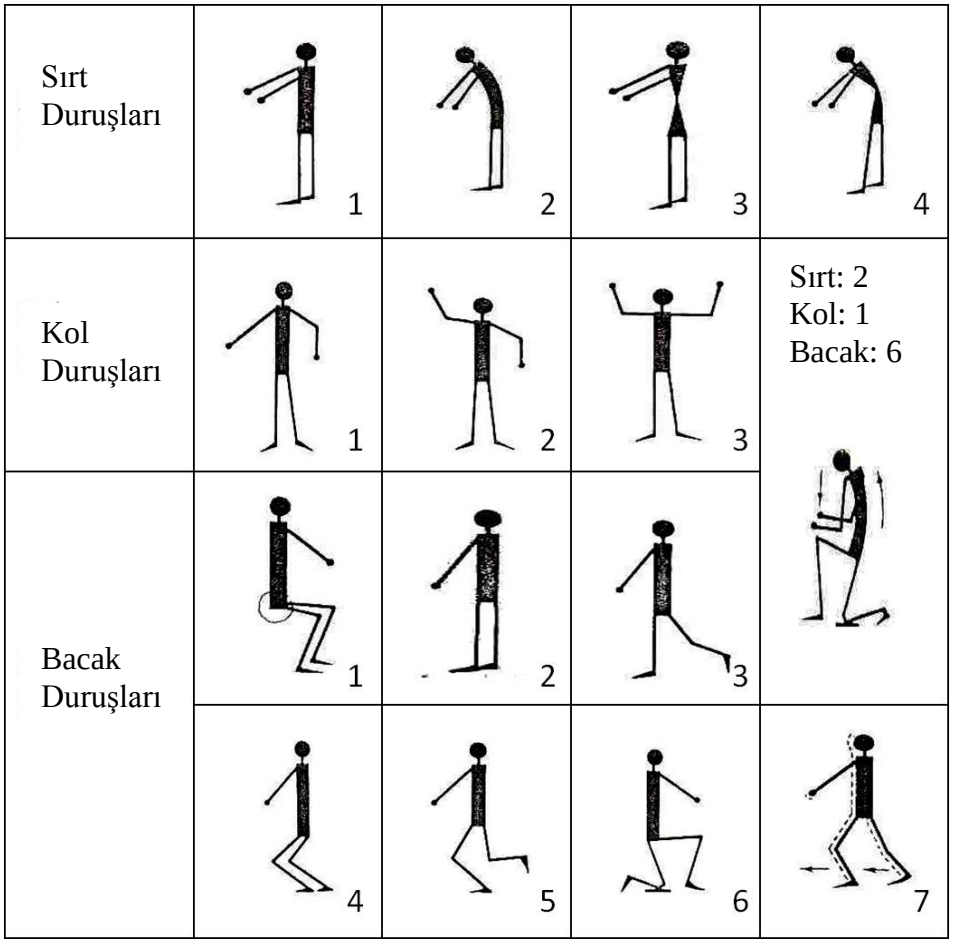
OWAS (Ovako Working Posture Analysing System), çalışanın kas-iskelet sistemindeki yüklenmeyi ve sistemin neden olduğu kötü duruşları belirlemeye yarayan, gözleme dayalı bir çalışma duruşu analiz yöntemidir. OWAS yöntemi, iş etütçülerine hizmet etmeye yarayan bir analiz aracı olarak tasarlanmış olup gerçek çalışma sırasındaki vücut duruşlarını temsil etmek üzere belirli zaman aralıkları ile alınan çalışma duruşu örneklerinin analizine dayalı bir iş örneklemesi aracıdır (Akay ve diğ., 2003). İlk olarak çelik endüstrisinde kullanılan OWAS yöntemi, birçok endüstri dalında geniş olarak uygulanmaktadır (Luopajarvi, 1990). İlk uygulamaları özel basılı formlar ve elle hesaplamalar kullanılarak yapılmış olan bu yöntemin, günümüzdeki uygulamaları için yarı bilgisayarlı sistemler geliştirilmiştir (Pinzke ve Kopp, 2001). Günümüzde bu analiz yöntemi ile duruşların kaydedilmesi aşamasında video-kamera kullanılabilmekte ve görüntüler incelenen işe göre farklı zaman aralıkları ile incelenmektedir (Mattila ve diğ. 1993).

İşgörenlerin çalışma esnasındaki duruşları standartlaştırılarak "OWAS Çalışma Duruşları" olarak endüstride uygulanmıştır. OWAS yöntemi kullanılarak sınıflandırılan sırt, kol ve bacak duruşları Şekil 3.1.'de gösterilmektedir. OWAS yöntemi kötü duruşların ve faaliyetlerin tespit edilmesine, tekrarlanan sistemin çalışanı ne kadar zorladığının ortaya çıkarılmasına ve optimal iş yöntemlerinin tahmin edilmesine imkan vermektedir. Ayrıca, iş yerinin verimlilik, konfor ve mesleki sağlık açısından değerlendirilmesini ve insan makine ara kesitinin sistematik bir biçimde incelenmesini sağlamaktadır. Bu yönteme göre duruşlar sınıflandırılmakta ve işgöreni rahatsız edici unsurları ortadan kaldırmak amacı ile tasarıma yönelik sistematik iyileştirmeler ve geliştirmeler yapılmaktadır (Akay ve diğ. 2003).

Değişik endüstriyel uygulamalarda başarılı bir şekilde kullanılan OWAS yöntemi;

- Duruşsal yükün ergonomik olarak değerlendirilmesi ve kas-iskelet sistemindeki yüklenmelerinin azaltılması,
- Çalışma ortamlarının, çalışma yöntemlerinin, makine ve kullanılan araçların geliştirilmesi ve planlanması,
- Mesleki sağlık incelemeleri,
- Güvenlik ve verimliliğin sağlanması

amacıyla uygulanmaktadır (Mattila ve diğ. 1993).



Şekil 3.1. OWAS ile duruşların sınıflandırılması (Loupajarvi, 1990)

Bu yöntemde analist gözlemler yoluyla sırt, kollar ve eller için kullanılan çalışma duruşlarını ve maruz kalınan yükün ağırlığını değerlendirerek çalışma prosesleri boyunca çalışan hareketlerinin kalitatif analizini gerçekleştirmektedir. Çalışanların vücut duruşları sarf edilen güce bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. OWAS yöntemi direk gözlemlerle gerçekleştirildiği için zaman alıcı olmaktadır (Jin ve diğ. 2002).

Riskli çalışma duruşlarını tanımlamak ve değerlendirmek amacıyla yaygın olarak kullanılan OWAS yönteminde 4 sırt, 3 kol, 7 bacak duruşu ve 3 farklı yük seviyesi dikkate alındığında 252 standart duruş ve yük kombinasyonu elde edilmektedir. Bu yöntemin kullanımı ile yapılan analiz kapsamında her bir duruş için harcanan zaman ve o duruşun görülme sıklığı değerlendirilmektedir (Pinzke ve Kopp, 2001).

Yöntemin uygulanmasında duruşlar Şekil 3.2.'de gösterilen 4 haneli kodlama sistemine uygun olarak kaydedilmektedir. Analizin her bir aşamasındaki yüksek kod numaraları arzu edilmeyen duruşları temsil etmektedir (Hoy ve diğ. 2005).

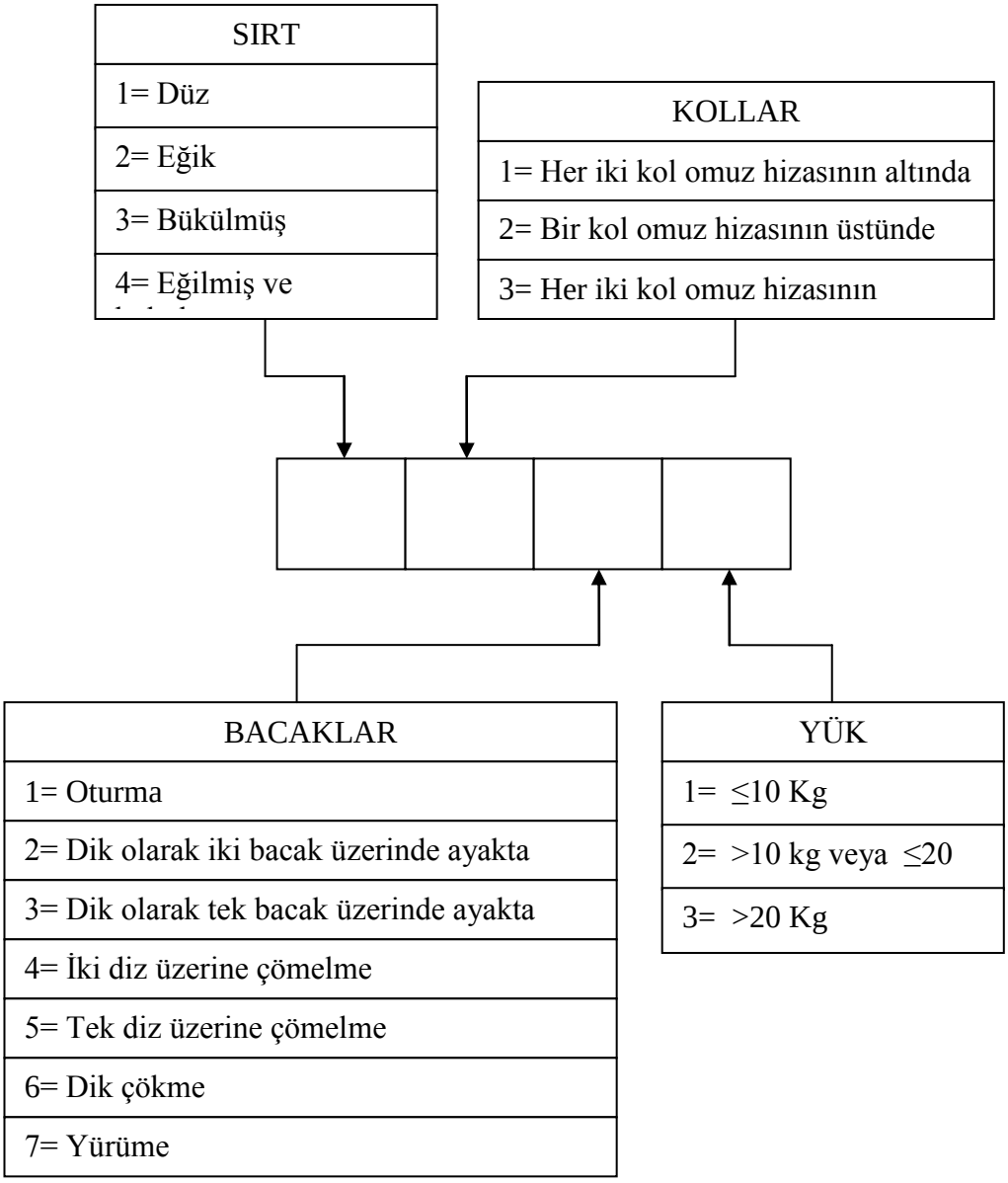
Gözlenen duruş kombinasyonları, 4 risk kategorisine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, her bir çalışma duruşunun ve duruş kombinasyonunun kas-iskelet sistemi üzerinde oluşturduğu sağlık risklerinin uzmanlar tarafından öngörülmesine dayanmaktadır. Riskli duruşların düzeltilmesindeki öncelik durumlarını belirleyen risk kategorileri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

Kategori 1: Çalışma duruşlarının kas-iskelet sistemi üzerinde herhangi bir zararlı etkisi bulunmamaktadır. Bu duruşlar için, ergonomik düzenleme gerekmemektedir.

Kategori 2: Çalışma duruşlarının kas-iskelet sistemi üzerinde bazı zararlı etkileri mevcuttur. Gerekli ergonomik düzenlemelerin gelecek planları içerisinde yer alması gerekmektedir.

Kategori 3: Çalışma duruşlarının kas-iskelet sistemi üzerinde açıkça zararlı etkileri mevcuttur. Mümkün olan en kısa sürede çalışma duruşlarında gerekli ergonomik düzenlemelerin yapılması gerekmektedir.

Kategori 4: Çalışma duruşlarının kas-iskelet sistemi üzerinde oldukça zararlı etkileri mevcuttur. Bu duruşlar için gerekli ergonomik düzenlemelerin derhal yapılması gerekmektedir (Mattila ve diğ. 1993).



Şekil 3.2. OWAS yöntemi ile duruşların kodlanması (Hoy ve diğ. 2005)

Literatürde OWAS yönteminin çok farklı sektörlerde ve çok farklı çalışma ortamlarında başarılı ve güvenilir olarak uygulandığı görülmektedir. Bu çalışmalar inşaat sektöründen otomotiv sektörüne, tamir bakım işlerinden ev işlerine, sağlık hizmetlerinden büyükbaş hayvan yetiştiriciliğine kadar çok yaygın bir uygulama alanını kapsamaktadır: İnşaat sektöründe [Kivi ve Mattila (1991), Burdorf ve diğ. (1991), Mattila ve diğ. (1993), Buchhnolz ve diğ. (1996), Louhevaara (1999), Saurin ve De Macedo Guimarães (2006)]; tamir bakım işlerinde [Kant ve diğ. (1990), Akay ve diğ. (2003)]; sağlık sektöründe [Engels ve diğ. (1994,1998), Doormaal ve diğ. (1995), Hignett (1996), White ve Kirby (2003)]; hayvancılıkta [Nevala-Puranen (1995), Nevala-Puranen ve diğ. (1996), Scott ve Lambe (1996), Perkiö-Mäkelä ve

Hentilä (2005)]; taşıma ve dağıtımda [Wright ve Haslam (1999), Olendorf and Drury (2001)], okul sırası tasarımında Saarni ve diğ. (2007); fiber iplik üretiminde Vedder (1998); otomotiv sektöründe Engström ve Medbo (1997); tarımda Tuure (1992); supermarket kasa tasarımında Carassco ve diğ. (1995); mobilya üretim sektöründe Santos ve diğ. (2007); Kiremit fabrikasında Yücel ve diğ. (2006); Kağıt fabrikasında Hoy ve diğ. (2005); teorik model geliştirmede [De Brujin ve diğ. (1998), Takala ve Freund (2002), Pinzke ve Kopp (2001)].

Tablo 3.1' de literatürde, OWAS yöntemi ile yapılan çalışmaların adı, konusu, gözlem süre-gözlem arlığı ile ilgili bilgiler listelenmektedir.

Tablo 3.1. OWAS yöntemi ile yapılmış çalışmalar

Çalışmanın Adı	**Çalışmanın Konusu**	**Gözlem Süresi (dakika veya örnek)**	**Gözlem Aralığı (saniye)**
Garajlardaki çalışma duruşlarının OWAS yöntemi ile gözlenmesi ve işyükünü azaltılmasına ilişkin öneriler Kant ve diğ. (1990)	Tamir Bakım İşleri	45 dk.	30
Yapı elemanları üretiminde çalışanların bel ağrıları ve çalışma yüklenmeleri Burdorf ve diğ. (1991)	İnşaat Sektörü	30 dk.	20
İnşaat endüstrisindeki çalışma duruşlarının analizi ve geliştirilmesi: Bilgisayarlı OWAS metodunun uygulanması Kivi ve Mattila (1991)	İnşaat Sektörü	90 dk.	30
Tarım işinde fiziksel gerilimin belirlenmesi Tuure (1992)	Tarım sektörü	15-30 dk.	4/10
İnşaat sektöründe çekiç kullanılarak yapılan görevler için çalışma duruşlarının bilgisayarlı OWAS metodu ile analizi Mattila ve diğ. (1993)	İnşaat Sektörü	593 örnek	5/15
Hemşirelerin çalışma duruşlarının OWAS'a dayalı analizi Engels ve diğ. (1994)	Sağlık Sektörü	450 dk.	60
Çiftçilerin çalışma duruş yüklerinin azaltılması Nevala-Puranen (1995)	Tarım Sektörü	-	10
Müşteriler için ürünler paketleme Carrasco ve diğ. (1995)	Süpermarket Kasa Dizaynı	-	15
Ambulans çalışanlarının fiziksel işyükü Doormaal ve diğ. (1995)	Sağlık Sektörü	7082 örnek	30

Tablo 3.1.(Devam) OWAS yöntemi ile yapılmış çalışmalar

Çalışmanın Adı	Çalışmanın Konusu	Gözlem Süresi (dakika veya örnek)	Gözlem Aralığı (saniye)
Süt sağma işindeki fiziksel yüklenme ve zorlanma Nevala-Puranen ve diğ. (1996)	Hayvancılık Sektörü	30 dk.	10
Hastabakıcıların çalışma duruşlarının analizi Hignett (1996)	Sağlık Sektörü	25 dk.	15
İnşaat ve diğer tekrarsız işler için iş örneklemesine dayalı bir ergonomik iş analizi yaklaşımı Buchholz ve diğ. (1996)	İnşaat Sektörü	15-45 dk.	45
Ovako Çalışma Duruş Analiz Sistemi (OWAS) yardımıyla kümes hayvancılığında çalışma yöntemi uygulamaları Scott ve Lambe (1996)	Hayvancılık Sektörü	-	-
El ile yapılan işlerle ilgili verilerin video kaydı ve kişisel bilgisayar teknikleri kullanılarak toplanması ve analizi Engström ve Medbo (1997)	Montaj Hattı (Otomotiv Sektörü)	-	-
Gemi bakımında fiziksel yük: İşyeri incelemesi aracılığıyla risk değerlendirme De Joode ve diğ. (1997)	Tamir Bakım İşleri	90 dk.	20
OWAS gözlem(lerinin) güvenilirliğinin basit bir metot ile değerlendirilmesi De Brujin ve diğ. (1998)	Teorik	45 örnek	30
Ergonomik eğitim kurslarının etkisi Engels ve diğ. (1998)	Sağlık Çalışanları (Hemşire)	-	30
Ev işlerinde yüklenme ve zorlanmanın azaltılması için katılımcı ergonomi Pohjonen ve diğ. (1998)	Ev İşleri	63 dk.	30
Video kayıtlarına dayalı olay örneklemesi ile duruşsal risklerin belirlenmesi Vedder (1998)	Fiber İplik Üretimi	-	-
Alkolsüz içecek dağıtım merkezindeki malzeme taşıma riskleri Wright ve Haslam (1999)	Lojistik Sektörü (Dağıtım merkezi)	100 örnek	20
Genç ve yaşlı mavi yakalı çalışanlarda fiziksel iş yükü eşit midir? Louhevaara (1999)	İnşaat İşçiliği	-	-
Revize OWAS: Biomekanik hesaplamalar ve yüklemenin zamana göre durumu Takala ve Freund (2000)	Teorik	25 dk.	30

Tablo 3.1.(Devam) OWAS yöntemi ile yapılmış çalışmalar

Çalışmanın Adı	Çalışmanın Konusu	Gözlem Süresi (dakika veya örnek)	Gözlem Aralığı (saniye)
Duruşsal rahatsızlıklar ve standardize edilmiş yük kaldırma duruşlarında algılanan zorluk seviyesi Olendorf ve Drury (2001)	Yük Kaldırma ve Taşıma	168 örnek	20
Çalışma duruşlarının izlenmesi için işaretleyici kullanılmayan (Marker-less) sistemleri-İki deneyin sonuçları Pinzke ve Kopp (2001)	Teorik (Model Geliştirme)	138 örnek	1/0.5
Çalışma duruşlarının ergonomik analizi Akay ve diğ. (2003)	Oto-Servis İstasyonu	105 dk.	30
Sağlık hizmetleri çalışanları için tekerlekli sandalyeleri katlama ve açma işlemlerinin ergonomik açıdan değerlendirmesi White ve Kirby (2003)	Sağlık Hizmetleri	-	-
Forklift sürücülerinde görülen bel ağrıları için risk faktörü oluşturan vücut titreşimi ve duruşları Hoy ve diğ. (2005)	Kağıt Fabrikası	-	-
Büyükbaş hayvancılıkta ahır çalışanlarında oluşan fiziksel zorlanma Perkiö-Mäkelä ve Hentilä (2005)	Büyükbaş Hayvan Yetiştiriciliği	120 dk.	10
Duruş rahatsızlıkları ve gücün vücuttaki algısı Drury ve diğ. (2006)	Teorik	20 örnek	20
Askıya alınmış yapı iskelelerinin ergonomik değerlendirmesi Saurin ve De Macedo Guimarães (2006)	İnşaat Sektörü	25 dk.	15
bilgileri Çalışma esnasında potansiyel yüklenmenin OWAS metodu ile incelenmesi Yücel ve diğ. (2006)	Kiremit Fabrikası	60 dk.	-
Okul çocukları arasındaki çalışma duruşları- Yeni tasarlanan çalışma yerlerinin etkisi üzerinde bir çalışma Saarni ve diğ. (2007)	Okul Sırası Tasarımı	36,5 dk.	15
Tekrarlanmayan üretim proseslerinde ergonomik yazılım kullanımı: Bir örnek olay Santos ve diğ. (2007)	Mobilya Üretim Sektörü	-	-

Tablo 3.1'de listelenen ve literatürde yer alan OWAS yöntemi ile yapılan çalışmalara ait detaylı bilgiler aşağıda aktarılmaktadır.

Mevcut istatistiklere dayanarak KİSR'nın önemli bir sebebinin uygunsuz vücut duruşları olduğunu belirten Kivi ve Mattila (1991), fiziksel iş yükü gerektiren ve ergonomik açıdan problemli olan işler için detaylı analizlerin yapılması gerektiğini vurgulanmaktadırlar. Çalışmalarında OWAS'ı daha önce uygulanmamış bir sektör olan İnşaat Sektörü'nde kullanmaktadırlar. Çalışmada inşaat sektöründeki 39 temel görev gerektiren 12 iş seçilmekte ve bu görevlere ait çalışma duruşları OWAS yöntemi kullanılarak analiz edilmektedir. Her bir görev için toplam gözlem periyodu 1,5 saat olarak belirlenmekte ve gözlemler 30 saniyelik aralıklarla elde edilmektedir. Toplam olarak 12 iş için, 6457 duruş gözlemlenmektedir. Çalışmada ayrıca sahada yapılan gözlemlerin anında kodlanabileceği ve daha sonra bir arayüzle analiz yapılarak bilgisayara aktarılabileceği, taşınabilir bilgisayar sistemi kullanılmaktadır. Çalışmalarının sonucunda uygunsuz çalışma duruşlarının en çok çimento işlerinde ortaya çıktığını vurgulamaktadırlar. Bu ve diğer uygunsuz çalışma duruşlarını ve üretim yöntemlerini iyileştirmek için firma tarafından özel bir grup kurulması sağlanmakta ve grubun çalışmaları sonucunda ortaya çıkan 58 düzeltici faaliyet sunulmaktadır. Tuğla örme ustasının uygun yükseklik ile çalışabilmesi için hidrolik iskele kullanması bu düzeltici faaliyetlerden bir tanesi olarak aktarılmaktadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen tüm verilerin firma tarafından eğitim materyali olarak kullanılması sağlanmaktadır.

Tuure (1992)'nin çiftçiliğe ait işleri yaparken ortaya çıkan fiziksel zorlanmanın belirlenmesinde kullanılabilecek uygun yöntem veya yöntem kombinasyonlarının tespit edilmesi amacıyla üç örnek işi (dinamik yüklenme: balya yapmak, statik zorlanma: domateslerin tenzil edilmesi, çalışma duruşundan kaynaklanan zorlanma: kerestelerin mekanik yüklenmesi ve nakliyesi) ele almaktadır. Oksijen tüketimi, nabız-tansiyon ölçümü, Elektromiyografi, OWAS ve deneklerin subjektif zorlanmalarının tahmini için Borg RPE skalası çalışmanın gerek duyulan aşamalarında işe ait fiziksel zorlanmanın ölçümü için kullanılmaktadır. Deneyler gerçek çalışma koşullarında 4 test çalışanı kullanılarak yapılmaktadır. Seçilen yöntemlerin uygulanması eş zamanlı olarak yapılmakta ve ölçümlerin süresi 15-30 dakika sürmektedir. Balya yapma işinin OWAS yöntemi ile analizinde gözlem aralığı 4 saniye alınırken domateslerin tenzil edilmesinde ve kerestelerin nakliyesinde 10 saniye olarak alınmaktadır.

Çalışmada yer alan tüm yöntemlerin kullanımı ile yapılan analizlerin sonuçlarına göre dinamik işlerdeki zorlanma en iyi oksijen tüketimi veya kalp atım sıklığı yardımıyla incelenmektedir. Ayrıca bu yöntemler işlerin sınıflandırılmasını da mümkün kılmaktadır. Statik zorlanma ise test çalışanlarının zorlanmayı kişisel algılamaları ile ve elektromiyografik kayıtlara göre kas gerilmesindeki değişimler aracılığı ile belirlenebilmektedir. Statik zorlanma ayrıca kalp atım sıklığını ve kan basıncını etkilemektedir. OWAS yöntemi en azından belli bir kısmında hareket etmeyi gerektiren tüm vücut çalışmalarını içeren tarım işlerinde kullanılabilecek en iyi yöntem olarak belirtilmektedir.

Mattila ve diğ. (1993) inşaat sektöründe çekiçle yapılan görevlerdeki çalışma duruşlarını analiz etmek, çekiçle yapılan farklı görevlerde en çok karşılaşılan sorunlu davranışları ve bu görevler ile ilgili işyeri faktörlerini belirlemek, inşaat sektöründe bu görevlerin iyileştirilmesinde kullanılabilecek öneriler geliştirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaya 3 farklı firmadan yaş ortalamaları 41.6 olan 18 inşaat işçisi katılmaktadır. 3 farklı çeşit (0.45 kg, 0.57 kg, 0.62 kg) çekiç kullanılarak yapılan görevler 2 ay boyunca gözlemlenmektedir. Çalışmada bazı görevler 5 saniye bazıları ise 15 saniye gözlem aralığı kullanılarak analiz edilmektedir. Toplamda 18 işçiye ait 593 duruş elde edilmektedir. Duruşların gözlemlenmesine ek olarak her bir çalışana görevleri ile ilgili ergonomik faktörler hakkında sorular sorulmakta, rahatsızlıkları ile ilgili şikayetleri ve son 3 yılda geçirmiş oldukları hastalıkları belirtmeleri istenmektedir. Ayrıca yerine getirdikleri görevlerde çekiç kullanmalarından dolayı hissettikleri kol zorlanmalarını, verilen 6 skalaya göre ifade etmeleri istenmektedir. 593 çalışma duruşunun OWAS yöntemi ile analizinde uygunsuz duruşlar en sık olarak çatı kızaklıklarının yapılması görevinde görülmektedir. Bu uygunsuz duruşların ortadan kaldırılabilmesi için işyerlerinin yeniden tasarlanması gerektiği belirtilmektedir. Çalışmada çekiçle yapılan işlerin farklı firmalarda benzer olduğu fakat görevlerin ve çalışma koşullarının değiştiği vurgulanmaktadır. Çalışma kapsamında yapılan tüm analizler sonucunda, uygunsuz çalışma duruşlarının dikkatsiz bir biçimde çekiç kullanımından ortaya çıktığı ve duruşların değerlendirilmesi açısından çalışmada kullanılan çekiçler arasında bir fark olmadığı ortaya konmaktadır.

Nevala-Puranen'in 1995 yılında yapmış olduğu çalışmanın amacı mesleğe yönelik medikal rehabilitasyon kurslarının bayan çalışanların duruş yüklenmelerine olan etkisini analiz etmektir. Çalışmada dört farklı rehabilitasyon kursuna katılan yaşları 32 ila 52 arasında değişen 27 bayan çiftlik çalışanı ele alınmaktadır. Rehabilitasyon kursunun ana amacı, çalışanların fiziksel ve psikolojik kapasitelerini arttırmak ve çalışanlara kas-iskelet sistemindeki yüklenmeyi optimize eden çalışma teknikleri uygulamaktır. Her bir kurs, ilk 3 haftalık periyot ve ilk periyodun üzerinden 6 ay geçtikten sonraki 1 haftalık periyot şeklinde iki periyottan oluşmaktadır. Çalışma duruşları kursun ilk periyodunun başında, sonunda ve ikinci periyot süresince değerlendirilmektedir. Günlük rutin işler (süt sağma, ineklerin fırçalanması, yemlerin yüklenmesi ve boşaltımı) rehabilitasyon kursu boyunca aynı ahırda 12 dakika boyunca videoya kaydedilmiştir. Çekim sırasında çalışanlara normal çalışma rutininde kullandıkları teknik sorulmaktadır. Çalışma duruşlarının OWAS yöntemi ile analizinde 10 saniyelik gözlem aralığı kullanılarak toplam 5593 gözlem elde edilmektedir.

Gözlemlerin analizinden elde edilen sonuçlara göre; kursun ilk 3 haftalık periyodunda yeni çalışma tekniklerinin öğrenilmesiyle birlikte hem eğilmiş hem de bükülmüş konumdaki sırt duruşları %34'ten %4'e, bir veye iki kolun omuz hizasından yukarıda olduğu kol duruşları ise %44'ten %24'e düşmektedir. 6 aylık periyodun ardından yapılan kontrol çalışması yeni çalışma tekniklerine olan adaptasyonun kararlılığını ortaya koymaktadır. Bu çalışma bayan çalışanların rehabilitasyon periyodu boyunca çalışma tekniklerini değiştirdiklerini ve bu değişiklikleri 6 ay sonra da koruduklarını göstermektedir.

Nevala-Puranen ve diğ. (1996)'nin yapmış oldukları çalışmanın amacı süt sağma işindeki fiziksel işyükü ve zorlanmanın analizidir. Çalışmada 5 farklı çiftlikte çalışan 3 bayan 3 erkek çiftçi yer almaktadır. Her bir çiftlikte süt sağma birimlerinin otomatik kaldırma sistemi bulunmaktadır. Çalışmada ölçümler her bir çiftçinin günlük çalışma periyodunun son iki saatinde yapılmaktadır. Çalışmada süt sağma işindeki fiziksel yüklenme ve zorlanmanın analizi oksijen tüketimi, kalp atım hızı ve üst trapez kaslarındaki kas aktivitesinin ölçümü (EMG) ile yapılmaktadır. Ayrıca çalışmada algılanan zorlanma düzeyi tahmin edilmekte ve çalışma duruş yüklenmesi OWAS yöntemi kullanılarak değerlendirilmektedir. 30 dakikalık gözlem süresi

boyunca 10 saniyelik gözlem aralığı kullanılarak çalışmada 2160 adet gözlem elde edilmektedir. Çalışmanın sonuçlarına göre süt sağma işinin 0,6 lt/dk'lık oksijen tüketimi ve dakikada 95 kalp atım hızı ile hafif bir iş olduğu görülmektedir. Çalışanlar çalışma sürelerinin %85'inde düz bir sırt duruşu ile, %76'sında ise iki kolları da omuz hizasının altındaki çalışma duruşu ile görülmektedir. Çalışma sonucunda elde edilen tüm bu sonuçlara göre süt sağma işi kalp ve kas iskelet sistemi için hafif bir iş olarak değerlendirilmektedir.

Bel ağrısı, hastabakıcılık mesleğinde yaygın olarak görülen bir mesleki risk olarak kabul edilmektedir. Hignett tarafından 1996 yılında yapılmış olan çalışmada canlı (hasta) ve cansız yüklerin hastabakıcılar tarafından manuel olarak taşınması sırasında ortaya çıkan çalışma duruşlarının ağırlığını hesaplamak amacıyla OWAS yöntemi kullanılmaktadır. Çalışmanın amacı, canlı ve cansız manuel yük kaldırma işlerindeki çalışma duruş ağırlıkları açısından önemli bir farklılık olup olmadığını tespit etmektir. Bu amaçla kullanılan OWAS yönteminde 26 hastabakıcı en az 25 dakika olmak üzere 31 sefer gözlemlenmekte ve toplam 4299 adet gözlem elde edilmektedir. Analizde gözlem aralığı olarak 15 saniye kullanılmaktadır.

Analiz sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucunda hasta kaldırma, taşıma görevlerindeki zararlı duruşların cansız yük kaldırma görevlerindeki zararlı duruşlara göre daha yüksek bir yüzdeye sahip olduğu ve bu iki grup arasında istatistiksel bir farkın olduğu ortaya konmaktadır. Bu sonuç hastaların bakım (kaldırma, taşıma vb.) görevlerinin hastabakıcılık mesleğinde yüksek oranda karşımıza çıkan kas-iskelet rahatsızlıklarında rol oynayan önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Hignett, Sağlık Hizmetleri Endüstrisi'nde yüksek oranda görülen duruşsal zorlanmalardan hareketle konunun dikkatli bir şekilde ele alınması gerektiğini ve mevcut hastabakıcıların çektiği sıkıntıların azaltılması amacıyla kişisel davranışlarla ilgili değişikliklerin yapılması gerektiğini belirtmektedir.

Daha önce kümes hayvancılığında uygulanmamış olan OWAS yöntemi, hem yöntemin uygulanabilirliğini hem de daha iyi bir tasarıma destek olabilirliğini göstermek amacıyla Scott ve Lambe tarafından 1996 yıllarında yapmış oldukları çalışmalarında kullanılmıştır. Çiftlik çalışanları kümesteki rutin görevlerini yerine getirirken (kuluçka kontrolü, her bir tünekte hayvanların bakımı, zeminden

yumurtaların toplanması, kuluçka kutusundan yumurtaların toplanması) video kaydedilmiş ve vücut pozisyonları OWAS yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda tüneğin ortasına uzanmak ve yeniden yumurtaların toplanması esnasındaki vücut pozisyonlarının uygunsuz olduğu ve zorlanmaya sebep olduğu ortaya konmaktadır. OWAS yöntemine göre sınıflandırılmış olan tırmanma hareketi (tüneklere tırmanma) yapılan çalışma boyunca son derece rahatsızlık verdiği belirtilmektedir. Benzer şekilde; kuluçka kutusunun kontrolü sırasındaki eğilmenin de uygunsuz duruşa ve zorlanmaya sebep olduğu dile getirilmektedir.

Scott ve Lambe yaptıkları çalışmanın sonuçlarına dayanarak mevcut kümeslerde çeşitli modifikasyonlar yapılarak çalışma koşullarının geliştirilebileceğini ve OWAS tekniğinin kümeslerin tasarımında da destek amaçlı kullanılabileceğini belirtmektedirler. Çalışmada mevcut yumurta toplama sistemi yerine mekanik toplama sistemi önerilmektedir. Zemine yayılan yumurta sayısının azaltılabilmesi için hayvanların kuluçka kutularını kullanmalarının desteklenmesi gerektiğini belirtilmektedir. Ayrıca çalışanların eğilmesinin engellenerek çalışma duruşlarının iyileştirilebilmesi için hayvanların yatıp yumurtalarını bıraktıkları otların yerleştirilmelerinin tekrar gözden geçirilmesi önerilmektedir.

Engström ve Medbo (1997), el ile ilgili işlerle ilgili veri toplamak ve bu işleri analiz etmek için otomobil kapılarının imal edildiği montaj hatlarında kişisel bilgisayar ve video kayıt tekniklerini kullanarak bir çalışma yapmaktadırlar. Çalışmada; analiz sırasında kişisel bilgisayar ve video kaydının aynı anda kullanılmasının, üretim bölümüne ait gerçek verilerin toplanmasını kolaylaştırmanın yanında ergonomik durumları ve çalışma performanslarını da içeren bir analiz prosedürü oluşturulmasını sağladığı belirtilmektedir. Bu çalışmada; araba kapılarında kullanılan metal tabakaların preslenmesi işlemine ait verilerin toplanması ve analizi için bir ekipman prototipi yapılmakta ve çalışma duruşlarının ergonomik analizi üzerinde durulmaktadır. Bu noktada OWAS yönteminden yararlanılmaktadır. Çalışmada sunulan ekipman sayesinde elde edilen yeni deneysel veriler aracılığıyla farklı montaj sistemi tasarımları değerlendirilmekte ve video analiz zamanının büyük ölçüde azaldığı vurgulanmaktadır.

Van Wendel de Joode ve diğ. (1997) ise çalışmalarında, 2 bakım şirketinde görev yapan 32 bakım çalışanının maruz kaldığı fiziksel yüklenmeleri ölçmek için OWAS yöntemini kullanarak bir işyeri incelemesi yapmaktadırlar. Çalışma duruşlarının değerlendirilebilmesi amacıyla günün 3 farklı zamanında toplam 1,5 saat gözlem alınmaktadır. Yapılan duruş analizi sonuçlarına göre gemi bakım işlerinde aşırı derece uygunsuz duruşlar ile çalışıldığı, itme, çekme ve kaldırma faaliyetlerinde sarf edilen gücün olması gerekenden fazla olduğu belirtilmekte gemi bakım faaliyetlerinin çalışanın özellikle sırt, boyun ve omuz bölgelerinin kas- iskelet sistemi rahatsızlıkları açısından risk oluşturduğu savunulmuştur. Gemi bakım işlerinde görülen toplam fiziksel yüklenme, fiziksel çaba gerektiren işlerle (çimento işçiliği, balıkçılık, araba tamiri) karşılaştırıldığında orta düzeyde çıkmaktadır. Gemi omurgası altında çalışmak ve yüksek basınçlı su ile temizlik yapmak fiziksel yüklenmenin önemli belirleyici faktörleri olarak tespit edilmektedir. Risk değerlendirme sonuçları gemi bakım işlerinin güç ve enerji sarf etmeyi gerektiren işler olduğu ve bu işler için ergonomik iyileştirmelerin gerektiği vurgulanmaktadır.

De Brujin ve diğ. (1998) çalışmalarında, OWAS gözlemlerinin güvenilirliğini değerlendirmek için geliştirdikleri basit yöntemi aktarmaktadırlar. Bu yöntemde, gözlemciler arasındaki güvenilirliği değerlendirmek için 2 gözlemciye 45 resim gösterilerek birbirinden ayrı olarak kodlamaları istenmektedir. Gözlemcilerin kendi iç güvenilirliklerini değerlendirmek için ise kodlamış oldukları resimleri 4 hafta sonra tekrar kodlamaları istenmektedir. İkinci kodlamada hatırlama etkisinden sakınmak için resimler gözlemciye karıştırılarak sunulmaktadır. Ayrıca birinci ve ikinci kodlama arasında geçen sürede gözlemcinin OWAS yöntemi ile ilgili bir eğitim almamasına dikkat edilmektedir. Çalışma boyunca ek uygulama yapmanın gözlemcilerin kendi iç güvenilirliklerine olan etkisini değerlendirmek için daha uzun vadeli bir çalışma yapılmaktadır. Gözlemcinin ilk kodlaması ile ikinci kodlaması arasında 3.5 ay geçmektedir. Elde edilen tüm verilere kapa istatistik testi uygulanmıştır. Çalışmada gözlemciler arası güvenilirliğin %89, gözlemcilerin kendi içlerindeki güvenilirliğin kısa zaman aralığında (4 hafta) %91, uzun zaman aralığında (3.5 ay) ise %90 olarak bulunduğu aktarılmaktadır.

Engels ve diğ. (1998), ergonomik eğitim kurslarının hemşireler üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak amacıyla yaptıkları çalışmalarında zararlı duruşlar ile ergonomik ve

biyomekanik hataları ergonomik eğitim kursu öncesinde ve sonrasında değerlendirmektedirler. Çalışmada ayrıca algılanan fiziksel çaba üzerinde de durulmaktadır. Kursa katılan 12 hemşire ve eğitim almamış olan 12 hemşire standart görevlerini yaparken videoya kaydedilmekte ve hemşireler aynı hastane koğuşundan seçilmektedir. Hemşirelerin çalışmaları ilk olarak kurstan 1-2 hafta önce daha sonra ise kurstan 3 ay ve 15 ay sonra kayda alınmaktadır. Zararlı duruşlar OWAS yöntemiyle yapılan hatalar kontrol listeleri ile, algılanan çaba ise Borg CR-10 skalası kullanılarak ölçülmektedir. Çalışmadaki ölçümlerin eğitim öncesi ve eğitim sonrası değerleri karşılaştırıldığında zararlı duruş ile ergonomik ve biyomekanik hataların sayı ve yüzdelerinde önemli bir iyileşme olduğu savunulmaktadır. Ergonomik eğitim kursu sonrasında farklı çalışma yöntemlerinden dolayı algılanan fiziksel çabada bir farklılık olmadığı görülmektedir.

Pohjonen ve diğ. (1998) çalışmalarında, ev işlerinde yüklenme ve zorlanmanın azaltılmasında katılımcı ergonominin etkilerini araştırmaktadırlar. Bu amaçla yapılan çalışmaya Helsinki'de yaşayan ve yaşları 42±5 olan 70 bayan katılmaktadır. Katılımcıların 34'ü deney grubunda 36'sı ise kontrol grubunda yer almıştır. Ev işlerindeki statik duruşların ve algılanan yüklenmenin ölçülmesi için anket, iş örneklemesi çalışması ve fizyolojik iş ölçümlerinden oluşan bir çalışma yöntemi izlenmektedir. Statik duruş yüklenmelerinin gözlenmesi ve değerlendirilmesi OWAS yöntemi ile yapılmakta ve gözlemler 63 dakikalık bir periyotta ve 30 saniyelik örnek aralığı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Elde edilen veriler OWASAN programı aracılığıyla analiz edilmektedir. Deneklerin kalp atış hızları, 8 saatlik süre boyunca "Sport Tester PM 3000" sistemi kullanılarak 15 saniyede bir düzenli olarak kaydedilmektedir. Ayrıca deneklere işin psikososyal faktörlerini içeren bir anket uygulanmaktadır. Elde edilen tüm çalışma sonuçları katılımcı ergonominin; ev işlerinde çalışan bayanların fiziksel ağırlıklı görevlerindeki iş yüklenmelerini azaltan, iş memnuniyetlerini arttıran etkili ve uygulanabilir bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Vedder (1998) çalışmasında, fiber iplik üretimindeki duruş risklerini belirlemek için videoya dayalı olay örneklemesi yöntemini kullanmaktadır. Fabrikada 12 gündüz ve 12 gece vardiyasında sabit kamera kullanılarak kayıt yapılmaktadır. Bu video kayıtlarından, olay örneklemesi kullanılarak elde edilen 8130 adet duruş OWAS

yöntemi ile kodlanmaktadır. OWAS yöntemindeki kritik duruşları değerlendirmek için kullanılan 4 kategorili sistem yerine 3 renk bölgenin olduğu bir sistem geliştirilmektedir. Geliştirilen sistemde OWAS yöntemindeki kategori 1 yeşil renk, kategori 2 sarı renk, kategori 3 ve 4 ise kırmızı renk kullanılarak tanımlanmaktadır. Çalışmada işçilerin olası şikayetlerini belirlemek amacıyla bir anket düzenlenmektedir. Anket sonuçlarına göre çalışanların %70'i bel ağrısı, %40'ı boyun ve omuz ağrısı çektiklerini belirtmektedir. Riskli duruşların ve yapılan anketin değerlendirilmesinden elde edilen sonuçlar uygunsuz duruşların kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına katkıda bulunan bir faktör olduğunu göstermektedir. Ayrıca sağlık riskleri ve çalışma koşulları arasında çok yönlü ve karmaşık bir ilişkinin var olduğu belirtilerek kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını ortadan kaldırmak veya azaltmak için kapsamlı bir çalışmaya ihtiyaç olduğu vurgulanmaktadır.

Wright ve Halsam (1999), içecek dağıtım merkezindeki malzeme taşıma risklerini anlattıkları çalışmalarında yarı yapılandırılmış görüşme, doküman analizi, eğitim analizi, OWAS duruş analizi ve NIOSH denklemini kullanmaktadırlar. Çalışmada depo operatörleri ve sevkiyat sürücüleri ele alınmakta ve palet veya kafes içeren iki farklı taşıma yöntemi karşılaştırılmaktadır. Yapılan analizler sonucunda zararlı duruşlar açısından bu iki yöntem arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Palet kullanılan yöntemde, kafes kullanılan yönteme göre depo operatörlerinin daha uygunsuz vücut duruşları ile çalışmaya maruz kaldıkları, sevkiyat sürücüleri açısından bakıldığında ise iki yöntem arasında çok fark olmamakla birlikte palet kullanımının çalışan sağlığı açısından daha zararlı olduğu ortaya konulmaktadır. Çalışmada elde edilen veriler ışığında depo ve sevkiyat alanlarında malzeme taşıma riskleri bulunmakta ve bazıları NIOSH denklemine göre aşırı olarak nitelendirilmektedir.

Louhevaara (1999), inşaat işinde ve araç kontrolünde çalışan mavi yakalı işçilerde fiziksel iş yükünü ölçmek ve 45 yaş üstü çalışanlar ile genç çalışanlar arasında iş yükü faktörlerini karşılaştırmak amacıyla bir çalışma yapmaktadır. Çalışmaya katılan genç işçilerin yaş ortalaması 33, yaşlı işçilerin yaş ortalaması ise 52'dir. Çalışmada işyerindeki dinamik iş yükü (Edholm skalası ve kalp atış hızı), statik iş yükü (OWAS yöntemi) ve algılanan iş yükü değerlendirilmektedir. Enerji harcama, kalp atış hızı ve uygunsuz vücut duruşlarının oranı genç ve yaşlı çalışanlarda kendi mesleki grupları

içinde karşılaştırıldığında benzer sonuçlar ortaya çıktığı vurgulanmaktadır. OWAS yöntemi ile yapılan analiz sonucunda uygunsuz duruşlar, inşaat işçilerinde en çok sırt bölgesinde, araç kontrolünde çalışan işçilerde ise boyun-kol bölgesinde görülmektedir. Çalışmanın sonucunda, verimsizliğin en önemli sebeplerinden biri olarak iş yükü faktörleri ile çalışanların bireysel kapasiteleri ve ihtiyaçları arasında uyumlu bir ilişkinin olmaması gösterilmektedir. İş yeteneklerini desteklemek için; yeni mesleki yeteneklerin hayat boyu öğrenilmesi, çeşitli ergonomik, iş organizasyonu ile ilgili ve bireysel ölçülerin uygun bir şekilde bir araya getirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Takala ve Freund 2000 yılında biyomekanik hesaplamalar ve yüklenmenin zamana göre durumunu ele alarak OWAS yöntemini revize etmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışma duruşlarına ait OWAS kodlarının girdi olarak kullanıldığı 3-D biyomekanik insan modeli bel ve omuzdaki biyomekanik yüklenmenin zamana göre fonksiyonunu çıktı olarak vermektedir. Bu yeni yaklaşım, basit duruşsal gözlemlerin ardışık zamanlarda farklı vücut kısımlarının eş zamanlı olarak biyomekanik bir yolla analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Çalışmada tasarlanan modelin kullanımını göstermek amacıyla temizlikçilere ait 25 dakikalık bir iş analiz edilmektedir. Analiz sonucunda bel bölgesi yüklenmelerde çeşitli pik noktaları görülmesine karşın omuzlardaki yüklenmelere ait pik noktaları genellikle seçilen referans seviyesinin altında yer almaktadır. Çalışmada ele alınan örnek, yeni yaklaşımın geleneksel gözlemsel analizlere ek anlayışlar kattığını göstermektedir. Sıklıkları saptarken kullanılan zaman serilerinin, sonuçların sunumunda yer alması işlerin tekrar tasarlanmasında farklı görev sıralarının değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Gözlemlerin video kayıtlarından yapılması durumunda; grafiksel çıktılarda en çok yüklenmenin olduğu periyotların görülmesi ve ergonomik önlemlerin bu periyotlara yönlendirilmesi kolay olmaktadır.

Pinzke ve Kopp (2001) çalışmalarında OWAS duruşlarının video filmlerinden, otomatik olarak kayıt edilebilmesi için görüntü analizinde işaretleyici kullanılmayan (marker-less) farklı yaklaşımların kullanılabilirliğini test etmek için 2 deney yapmaktadırlar. Deney 1'de OWAS duruşlarının belirlenebilmesi amacıyla, video kayıtları alınan kişilerin şekilleri ile ilişki kurmak ve arka planları kişinin görüntüsünden ayırmak için, görüntü analizine dayalı parametrik bir yöntem

geliştirilmektedir. Bu yöntemde örnekler 1 saniyelik gözlem aralığı kullanılarak elde edilmektedir. Deney 1 kapsamında geliştirilen yöntem ile ele alınan görüntü 12 aşamada analiz edilmekte ve sınıflandırılmaktadır. Bu yöntem özellikle sırtın eğilmiş olduğu durumlarda kol pozisyonlarını tanımlamada başarılı sonuçlar vermemektedir. Deney 2'de ise kişi görüntülerinin OWAS duruşları ile ilişkilendirilebilmesi için bilgisayar sinir ağı 53 görüntü ile eğitilmektedir. Başlangıç (eşik) değerinin 0.85 olarak kabul edildiği ilk testte 138 görüntüden 18'i tanımlanamamakta 13'ü ise yanlış tanımlanmaktadır. Başlangıç (eşik) değerinin 0.84 olarak kabul edildiği ikinci testte 138 görüntüden 15'i tanımlanamamakta 15'i ise yanlış tanımlanmaktadır. Başlangıç (eşik) değerinin 0.65'e düşürüldüğü son testte ise 138 görüntüden 1'i tanımlanamamakta 21'i ise yanlış tanımlanmaktadır. Bu çalışmada yürütülen deneylerden elde edilen sonuçlar, çalışma duruşlarının izlenmesi ve değerlendirilmesinde görüntü analizi kullanımının umut verici olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmada ayrıca, OWAS yöntemi ile uygunsuz çalışma duruşlarının belirlenmesi ve değerlendirilmesinin daha kullanışlı olabilmesi için farklı insan modellerinin ve sinir ağlarının test edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Akay ve diğ. (2003) çalışma duruşlarının ergonomik analizini yapabilmek amacıyla önce çalışma duruşlarının tanımını yapmakta daha sonra KİSR'nın ve verimlik-kalite-maliyet üçgeninin çalışma duruşlarını endüstride önemli kılan faktörler olduğunu belirtmektedirler. Oto-servis istasyonunda çalışma duruşlarının ergonomik analizi kapsamında OWAS yöntemi kullanılarak çalışma duruşları sınıflandırılmakta ve işgöreni rahatsız eden duruşları ortadan kaldırmak için sistematik bir çalışma yapılmaktadır. Çalışmada 2 bakım görevlisinin 1 saat 45 dakika boyunca 30 saniye zaman aralıklarında gözlemlenmesi sonucunda elde edilen 420 duruş, WinOWAS paket programı kullanılarak analiz edilmektedir. Oto-servis istasyonunda çalışma duruşlarının iyileştirilebilmesi amacıyla kaldıraç kullanımının, iş rotasyonu uygulamasının ve çalışan eğitimlerinin gerekliliği vurgulanmaktadır.

White ve Kirby (2003), sağlık hizmetleri çalışanlarının tekerlekli sandalyeleri katlama ve açma işlemlerinde çeşitli yöntemleri kullandıkları ve bu yöntemlerin birçoğunun, incinme riskinin yüksek olduğu, eğilmiş ve bükülmüş sırt duruşlarını içerdiği hipotezlerini test etmek amacıyla 20 sağlık çalışanının katıldığı bir çalışma yapmaktadırlar. Çalışmaya katılanların yaş, cinsiyet, eğitim, deneyim ve geçmiş

rahatsızlıklarını belirlemek amacıyla anket düzenlenmektedir. Daha sonra sağlık çalışanları kendi yöntemlerini kullanarak tekerlekli sandalyeleri katlama ve açma işlemlerini yaparken video kaydı alınmaktadır. Objektif bir değerlendirme yapabilmek için görsel analog skalası (Visual Analog Scale-VAS) kullanarak kişilerin algıladıkları çabayı ve sırt zorlanmalarını rakamlarla ifade etmeleri sağlanmaktadır. Video kayıtları aracılığı ile çalışma duruşları OWAS yöntemi kullanılarak kodlanmakta ve analiz edilmektedir. Elde edilen tüm veriler kullanılarak yapılan istatistiksel analiz sonuçları, test edilen hipotezleri doğrulamaktadır. Ayrıca sağlık çalışanları tarafından yaygın olarak 3 hareketin (çömelme hareketi, yana yatırma hareketi ve yukarı kaldırma hareketi) kullanıldığı ortaya konmaktadır. Gelecek çalışmalarda bu hareketlerin kullanımının etkili olup olmadığının, tekerlekli sandalye kullanımı ile ilişkili olan incinmeleri azaltıp azaltmadığının daha büyük örnek hacmi kullanılarak test edilebilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Hoy ve diğ. (2005), forklift sürücülerinde bel ağrısının görülme yaygınlığını belirlemek, sürücüler tarafından benimsenmiş farklı duruşların risklerini değerlendirmek ve forkliftlerde görülen titreşimi ölçmek amacıyla bir çalışma yapmaktadırlar. Çalışmada sürücülerin geçmiş sağlık bilgilerini (genel bilgi, kas-iskelet sağlığı bilgileri, iş çevresi bilgileri, iş memnuniyeti) elde etmek amacıyla bir anket düzenlenmektedir. Çalışma duruşlarının analizi OWAS yöntemi ve RULA (Rapid Upper Limb Assessment) tekniği kullanılarak yapılmaktadır. Çalışanların oturduğu koltukta ortaya çıkan titreşimler, gerçek çalışma koşulları altında ISO 2631-1'e uygun olarak 3 eksende ölçülmektedir. Çalışma sonuçlarına göre bel ağrısının forklift sürücülerinde yaygın olarak görüldüğü, gövdenin eğilmiş ya da bükülmüş olduğu sürüş duruşlarının bel ağrısı için büyük risk oluşturduğu, forkliftlerin x ve y eksenlerinde görülen titreşimin kabul edilebilir seviyenin (0.5 m/s^2) altında, z ekseninde ise bu seviyeyi aştığı ortaya konmaktadır.

Perkilö-Mäkelä ve Hentilä (2005), ahır çalışanlarında oluşan fiziksel yüklenme ve zorlanmanın belirlenebilmesi amacıyla yaptıkları çalışmalarında süt sağma, hayvanların yemlenmesi ve temizlik işlerinde fiziksel yüklenme ve zorlanma, kalp atış hızı (HR) ile çalışma duruşları ise OWAS yöntemi ile analiz edilmektedir. Çalışmaya sağlıklı ve bu konularda deneyimli 10 bayan ile 10 erkek ahır çalışanı katılmaktadır. Kalp atış hızı "Polar S810 Sport Tester" cihazı kullanılarak

ölçülmektedir. Algılanan çaba, yapılan her görevin ardından Borg RPE-20 skalası kullanılarak belirlenmektedir. Çalışma duruşları OWAS yöntemi ile 10 saniyelik gözlem aralıkları kullanılarak analiz edilmektedir. Çalışma sonuçları süt sağmanın en hafif iş, hayvanların yemlenmesinin ise kısmen daha ağır bir iş olduğunu göstermektedir. Ayrıca buzağıların yemlenmesi ve gübrelerinin taşınması işlerindeki duruşların sırt için en fazla yüklenmeye neden olan çalışma duruşları olduğu saptanmaktadır. Çalışmanın sonuç bölümünde otomasyonun, ahır çalışanlarının fiziksel iş yükünü azaltacağı belirtilmekte ve bunun için yeni bir ahır inşa edilirken hayvanların otomatik beslenmeleri ve temizlik sistemleri için yeterli alan bırakılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Saurin ve de Macedo Guimarães (2006), farklı boyut ve tertibata sahip askıya alınmış hafif ve ağır yapı iskelelerinin değerlendirmesini yapmaktadırlar. İş koşulları hakkında çalışanların algıları, yüzey kaplama aktiviteleri ve yapı iskelesi operasyonları boyunca benimsenen çalışma duruşları (OWAS yöntemi), her iki aktivite için fiziksel iş yükü (kalp atış hızı yüksekliği), iskele hızının kestirimi ve iskele kaldıraçlarındaki operasyonlar süresince hareket tekrarlarının ölçümü değerlendirme parametreleri olarak belirlenmektedir. İş koşulları hakkında çalışanların algılarının tespit edilebilmesi amacıyla çalışanlar ile görüşme ve anket yapılarak, çalışanların maruz kaldıkları problemleri önceliklendirmeleri sağlanmaktadır. Çalışma duruşlarının değerlendirilmesi için OWAS yöntemi kullanılmaktadır. 25 dakikalık gözlem boyunca 15 saniyede bir örnek alınmaktadır. Kalp atış hızı ve kabul edilebilir kalp atış hızı aralığı kullanılarak fiziksel iş yükü ölçümü yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre her iki yapı iskelesi ile çalışmada oldukça fazla fiziksel iş yüküne maruz kalındığı ve uygunsuz vücut duruşları ile çalışıldığı ortaya konmaktadır. Yapı iskelesi kullanımında çalışma şartlarını iyileştirmek için iş istasyonu dizaynı, iş organizasyonu ve ürün geliştirme yapılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Yücel ve diğ. (2006), çalışmalarında Kütahya ilinde bir kiremit fabrikasının yükleme bölümünde, işgörenler üzerindeki potansiyel yüklenmeleri değerlendirmek için, OWAS yöntemini kullanmaktadırlar. Yükleme bölümünde işgörenlerin duruşları sınıflandırılmakta ve yapılan çalışma sonucunda potansiyel yüklenmenin işgörenlerin sağlığını etkilediği gözlemlenmektedir. Ayrıca işgörenlerin sağlığını korumaya

yönelik ergonomik bir çalışma yapılmaktadır. Bu ergonomik çalışma kapsamında yükleme bölümündeki işgörenlere çalışma duruşlarının iyileştirilebilmesi için elle yapılan yükleme yerine forklift yardımıyla yükleme yapılması önerilmekte ve bu önerilen yöntemin kullanımı ile işgören sağlığı açısından riskli duruşlar için yaklaşık %10'luk bir iyileştirme sağlandığı vurgulanmaktadır.

Santos ve diğ. (2007), çalışmalarını parça çeşit hacimlerinde büyük değişkenliğe sahip, küçük partiler halinde üretim yapan mobilya imalat sektöründe faaliyet gösteren bir KOBİ'de gerçekleştirmektedirler. Ergonomik analiz öncesinde her bir çalışanın hareketleri MTM-1 (Methods Time Measurement) görev sınıflandırmasına uygun bir şekilde kodlanarak MTM çalışması gerçekleştirilmektedir. Daha sonra 3 farklı ergonomik analiz (OWAS, Burondt-Schultetus Hand-Arm Forced Analysis, LIFT Analysis) yapılmaktadır. OWAS yöntemi, yüksek güç gerektiren hareketlerin çalışan sağlığı için tehlikeli olduğunu ispatlamaktadır. Ayrıca OWAS kullanımı, simülasyon esnasında duruşların analiz edilmesini ve etkilerinin görsel olarak sunulmasını sağlamaktadır. Burondt-Schultetus El-Kol Zorlanma Analizi (Burondt-Schultetus Hand-Arm Forced Analysis), ne ellerin ne de kolların dikkate alınan süreç boyunca zarar görmediğini göstermektedir. Yük analizi (LIFT Analysis) sonucunda ise çalışanların kaldırabilecekleri en fazla yük miktarı belirlenmektedir. Mevcut durumda kaldırma indeksinin %50'yi geçmediği ortaya çıkmaktadır. MTM ve bu 3 ergonomik analiz tekniğinin uygulanması sonucunda yeni bir çalışma yöntemi geliştirilmekte ve simülasyon modeli oluşturulmaktadır. Önerilen modelin kullanımı, mevcut durum üzerinde çeşitli senaryoları deneme olanağı sağlamasının yanı sıra yeni süreçlerin uygulanmasından önce test edilmesine olanak sağlamaktadır. Çalışmada, KOBİ'lerin özdeş parçalar üretmediği ve her bir parçanın çevrim süresinin farklı olduğu belirtilmektedir. KOBİ'lerde ergonomik ve verimlilik problemlerinin tekrarlı üretimin yapıldığı firmalarla benzer olduğu fakat her bir üretim çevriminin farklı olmasından dolayı modelleme sürecinin zahmetli olduğu vurgulanmaktadır.

Yukarıda detayları sunulan ve literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde hemen hemen hepsinde OWAS yönteminin herhangi bir alana veya iş koluna uygulandığı görülmektedir. Bu uygulamalardan elde edilen sonuçlara göre analiz edilen işin

niteliği (hafif ya da ağır iş) hakkında yorumlar yapılarak çalışanda sebep olduğu yüklenmeler tespit edilmekte ve bunun giderilmesine yönelik öneriler sunulmaktadır.

Tablo 3.1'deki değerlerden de görülebileceği gibi hemen her çalışmada farklı bir gözlem süresinde kayıt alınarak değişik örnek hacimleriyle analiz yapılmış olduğu göze çarpmaktadır. Sayılan bu çalışmalarda kullanılan gözlem süre ve aralıklarının ya daha önceki çalışmalar referans gösterilerek belirlendiği ya da yazarların kendi sezgileri ile belirlenmiş olduğu görülmektedir. Referans gösterilen önceki çalışmalarda da yazarlar gözlem süre ve aralıklarını herhangi bir kurala bağlı olmaksızın kendi sezgilerine dayanarak belirlemişlerdir. Çeşitli alanlardaki tüm bu çalışmalarda seçilen analiz koşullarına ait (gözlem süresi ve gözlem aralığı) herhangi bir değişiklik olması durumunda sonuçların nasıl etkileneceği ile ilgili bir bilgi bulunmamakla birlikte seçilen bir işin OWAS yöntemiyle istatistiksel olarak güvenilir analiz edebilmesi için toplam filme kaydetme süresi (gözlem süresi) ve filmi durdurarak örnek çalışma duruşlarının elde edilme aralıklarına ilişkin (gözlem aralıkları) bilimsel standartların mevcut olmadığı görülmektedir.

İstatistiksel olarak güvenilir analizlerin yapılabilmesi ve sonuçların daha sağlıklı yorumlanabilmesi için seçilmiş olan bu sürelerin yapılan analizin sonuçlarına olan etkisini gösteren, yöntemin uygulanış koşullarını değerlendiren yöntemolojik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu noktadan hareketle bu tez çalışmasında, farklı iş gruplarında uygulanan OWAS yönteminin güvenilirliğini arttıracak analiz koşullarını belirlemeye yönelik önerilerin elde edilmesi hedeflenmekte ve bunun gereği olarak da çalışma duruşlarının OWAS yöntemi ile analizinde gözlem süre ve aralıklarına ait istatistiksel çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar bir sonraki bölümde detaylı olarak sunulmaktadır.

4. GÖZLEM SÜRE VE ARALIKLARININ ANALİZİ

Bir önceki bölümde detaylı olarak incelenen OWAS yöntemi ile çalışma duruşlarının değerlendirilmesine yönelik literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında istatistiksel olarak güvenilir analizlerin yapılabilmesi ve sonuçların daha sağlıklı yorumlanabilmesi için yöntemin uygulanış koşullarını değerlendiren metodolojik bir çalışmanın bulunmadığı göze çarpmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasının amacı, OWAS yönteminin güvenilirliğini arttıracak analiz koşullarını (gözlem süre- aralık kombinasyonu) belirlemeye yönelik önerilerin elde edilmesidir.

OWAS yöntemi, iş etütçülerine hizmet etmeye yarayan bir analiz aracı olarak tasarlanmış olup her duruşta oluşan zamanlara dayalı bir iş örneklemesi aracıdır (Heinsalmi, 1986). Çalışma duruşlarının OWAS yöntemi ile analizi boyunca yapılan gözlemler, her bir duruşun aralığını ve sıklığını veren iş örneklemesine dayanmaktadır (Loupajärvi, 1990).

Veri toplama yöntemlerinden biri olan örnekleme, bir ana kütleden rassal olarak seçilmiş ve daha az sayıda birimden oluşan bir örneklemi inceleyerek ana kütle hakkında genel yargılara varma işlemidir (Aytaç, 1999). Örnekleme sayesinde tamamının gözlenmesi mümkün olmayan sonsuz yığınlar ile zaman ve masraftan tasarruf amacıyla tamamı gözlenemeyen büyük sonlu yığınların istatistik ölçülerinin tahmini yapılabilmekte veya yığınların bu ölçüleri hakkındaki iddiaların geçerliliği araştırılabilmektedir (Öztürkcan, 2002).

Tam sayım yöntemi ana kütle hakkında tam ve kesin bir fikir verse de zor ve pahalı bir yöntem olması nedeniyle bazı durumlarda uygulanması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle daha ucuz, daha kolay ve daha çabuk bilgi edinme gibi yararları sebebi ile örnekleme çok yaygın bir alanda kullanılmaktadır (Aytaç, 1999). Örneklemede en önemli konulardan biri örnek hacminin seçimidir. Örnek hacminin alındığı ana kütleyi temsil etmesi önde gelen koşuldur. Örneklemede belirsizlik tam olarak ortadan kaldırılamayacağına göre hatalı karar verme olasılığı az da olsa daima

mevcuttur. Dolayısı ile örneklemenin temel amacı doğru karar verme olasılığını arttırmaktır (Öztürkcan, 2002). Eğer alınan örnek yeter derecede elamandan oluşuyorsa örneğin karakteristikleri ana kütlenin karakteristiklerine yaklaşmaktadır.

Diğer bir ifade ile örnek hacmi arttıkça örnek karakteristikleri ile ana kütle karakteristikleri arasındaki fark azalmaktadır (Özok, 1973). Fakat her zaman örnek hacmi istenilen büyüklükte alınamamaktadır. Bu nedenle örneklemede daha az örnek içeren fakat ana kütleyi temsil yeteneği yüksek olan örnek hacimlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla tez çalışmasında OWAS ile yapılan analizlerin güvenilirliğini arttıracak analiz koşulları (gözlem süre-gözlem aralık kombinasyonları), çeşitli örnekler işler üzerinde analizler yapılarak, belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan kabuller aşağıdaki gibidir:

1. OWAS yöntemi, iş örneklemesi prensiplerine göre analiz yapan bir yöntemdir.
2. Örneklemede, örnek hacminin alınabildiği ölçüde büyük seçilmesi ana kütleyi temsil yeteneğini arttırmakta ve hatalı karar verme olasılığını azaltmaktadır.
3. Gözlemlenen işte işgören her zaman aynı iş akışı ile çalışmaktadır.
4. Gözlemlenen işler, yeterince uzmanlaşmış işinde tecrübe sahibi sağlıklı sağ kişiler tarafından gerçekleştirilmiştir. Gün içerisinde yaşanabilecek performans değişikliğinin ihmal edilebilir olduğu kabul edilmektedir.
5. Bu tez çalışmasında minimum gözlem sayısı (kritik gözlem sayısı) 271 olarak kabul edilmiştir:

OWAS yöntemi, iş örneklemesi prensiplerine göre analiz yapan bir yöntemdir. İş örneklemesi, sınırlı ya da sınırsız eleman içeren bir ana kütleden (yığın) karakteri ana kütlenin karakterine mümkün olduğu kadar yakın olan belli sayıda elamanın alınmasıdır. Eğer alınan örnek yeter derecede elamandan oluşuyorsa örneğin karakteristikleri ana kütlenin karakteristiklerine yaklaşmaktadır. Diğer bir ifade ile örnek hacmi arttıkça örnek karakteristikleri ile ana kütle karakteristikleri arasındaki fark azalmaktadır (Özok, 1973). İş örneklemesinde alınması gereken örnek (gözlem) sayısı Denklem (4.1) ile hesaplanmaktadır;

$$n = Z^2 \frac{p(1-p)}{(h_p)^2} \quad (4.1)$$

n: Gözlem sayısı

p: Göz önüne alınan iş elemanının oranı

h_p: İstenen hata oranı ($0,01 \leq h_p \leq 0,05$)

Z: Güven düzeyi için kritik değerler

Güven düzeyinin saptanması için normal dağılım eğrisinden yararlanılmaktadır. Normal dağılım eğrisi yardımıyla istenilen güven düzeyine ait kritik değer (z) tespit edilmektedir. Formülün uygulanabilmesi için öncelikle p değerinin tespit edilmesi yani bir miktar gözlem yapılmış olması gerekmektedir. Bu oran daha önce yapılmış çalışmalardan alınabilmektedir. Bu ilk gözlemler sırasında elde edilen iş elemanı oranı formülde yerine yerleştirilerek alınması gereken örnek (gözlem) sayısı bulunmaktadır. Bulunan örnek (gözlem) sayısına ulaşılıncaya kadar gözlem yapmaya devam edilmektedir. h_p hata payını dolayısıyla hassasiyeti göstermektedir. Dolayısıyla istenen güven düzeyi (Tablo 4.1) ve istenen hassasiyet (daha az hata aralığı) arttıkça yapılması gereken gözlem sayısı da artacaktır.

Tablo 4.1. Güven düzeyleri için Z_{kritik} değerleri

Güven Düzeyi	Z_{kritik}
%90 (α önem düzeyi=0,10)	1,645
%95 (α önem düzeyi =0,05)	1,960
%99 (α önem düzeyi =0,01)	2,576

Çalışma duruşlarının OWAS yöntemi ile analizinde alınan örneklerin (gözlem) seçilen işi temsil etmesi için alınması gereken en düşük gözlem sayısı da Denklem (4.1)' den hesaplanabilmektedir. Alınması gereken en düşük gözlem sayısı bulunmak istendiği için en düşük güvenilirlik düzeyi (%90) ve en yüksek hata oranı (%5) dikkate alınmaktadır. Ayrıca p=0,50 olduğu durumda p ile (1-p)'nin çarpımı için maksimum değer elde edilerek n için en büyük değere ulaşılacaktır.

$$n = (1,645)^2 \frac{0,50(1-0,50)}{(0,05)^2} = 271$$

4.1. Çalışma Planı

OWAS çalışma duruşu analizlerinin güvenilirliğini arttıracak analiz koşullarının (gözlem sayısı-gözlem süresi kombinasyonları) belirlenmesi amacıyla bu tez çalışmasında aşağıdaki çalışma planı takip edilmiştir:

1. Analizlerin yapılabilmesi için seçilen farklı özelliklerdeki örnek işlerin video kamera kullanılarak gerçek çalışma ortamında kaydedilmesi,
2. Kaydedilen işin 1 saniye aralıklarla durdurulması sonucunda işe ait tüm film karelerinin (ana kütle) elde edilmesi,
3. Elde edilen bu film karelerindeki çalışma duruşlarının OWAS kod yapısına uygun olarak manuel kodlanması,
4. Kodlanan duruşlara ait sıklıkların, oluşturulan Excel makrolar aracılığıyla, elde edilerek OWAS analizinin tamamlanması,

OWAS yönteminde 4 sırt, 3 kol, 7 bacak duruşu ve 3 farklı yük seviyesi dikkate alındığında 252 standart duruş ve yük kombinasyonu elde edilmektedir ve bu kombinasyonlar, 4 risk kategorisine göre sınıflandırılmaktadır. Bu tez çalışmasında değerlendirmenin daha hassas yapılabilmesi için sıklıklar kod bazında değerlendirilmektedir.

5. Elde edilen analiz sonuçlarının istatistiksel olarak seçilen işi ne kadar temsil ettiğini ortaya koyabilmek amacıyla oluşturulan deney düzenleri kapsamında Ki-Kare uygunluk testlerinin, geliştirilen Excel makrolar yardımıyla, aşağıdaki farklı deneme planları kullanılarak yapılması;

a) Klasik OWAS analizi
b) Birikimli rassal OWAS analizi
c) Tam rassal OWAS analizi
d) OWAS güvenilirliğini arttırmaya yönelik deneysel çalışmalar

- Kod frekanslarındaki küçük farkların analiz sonuçlarına etkisi
- Düşük frekanslı kodların analiz sonuçları üzerine etkisi
- Gözlem süresinin tam sayıda çevrim içerip içermemesinin analiz sonuçlarına etkisi
- Çevrimler arası farklılıkların analiz sonuçları üzerine etkisi

6. İstatistiksel testler sonucunda elde edilen sonuçların yorumlanması.

4.2. İstatistiksel Analizler

Bu tez çalışmasının amacı çeşitli işlerde uygulanan OWAS yönteminin güvenilirliğini arttıracak analiz koşullarını belirlemeye yönelik önerilerin elde edilmesidir. Tez çalışmasının beşinci bölümünde bu amaca yönelik olarak yapılan çalışma duruşlarının OWAS yöntemi ile analizindeki gözlem süre ve aralık kombinasyonlarına ait istatistiksel çalışmalara yer verilmektedir. Bu istatistiksel analizlerde kullanılan farklı gözlem süre ve gözlem aralık kombinasyonları ile elde edilen çalışma duruş yüzdeleri arasında, istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla "Ki-Kare Uygunluk Testi" yöntemi kullanılmıştır.

Ki–Kare; aritmetik ortalaması sıfır ve varyansı bir olan normal bölünmeli bir anakütleden her biri diğerinden bağımsız olarak seçilen n birimli bir örnekleme ait değerlerin karelerinin toplamı demektir. Yani, Z_i, $i=1,...,n$ olmak üzere, n tane bağımsız standart normal dağılım için $Z_1^2, Z_2^2, ..., Z_n^2$ toplamı ile, n serbestlik dereceli Ki-Kare dağılımı elde edilir. Yani, $X_n^2 \approx \sum_i^n Z_i^2$ olur. Ki–Kare; iki veya daha fazla veri seti arasında önemli farkın olup olmadığını belirlemede araştırmacının kullanabileceği bir istatistiksel analiz yöntemidir. Bu yöntemde gözlenen değerler ile beklenen değerler kıyaslanır. Ki-Kare dağılımı; uygunluk, bağımsızlık, varyans, homojenlik ve bağımlı grupların testinde oldukça sık kullanılır.

Ki-Kare uygunluk testi belli bir hipoteze uygunluk ve ihtimal dağılımlarına uygunluk testi olarak iki kısımda incelenmektedir. Bu çalışmada belirli bir hipoteze uygunluk testi üzerinde durulacaktır. Belirli bir hipoteze uygunluk testinde; gözlenen frekansların (o_i), belli bir hipoteze göre elde edilen beklenen frekanslara (e_i) uygun olup olmadığı araştırılır. N birimlik veri, r kategoriden oluşmak üzere, bu testin safhaları aşağıdaki gibi olur.

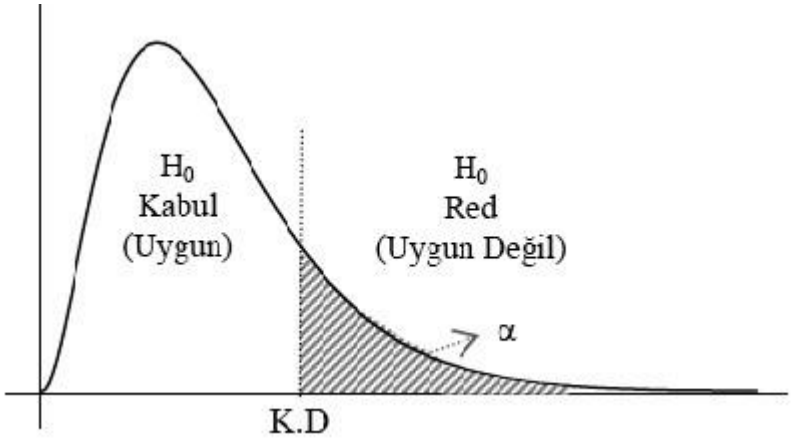
$H_o : o_i = e_i, i = 1,2,...,r$, $(o_1 = e_1, o_2 = e_2, ..., o_r = e_r)$ (Gözlenen frekanslar beklenen frekanslara uygundur)

$H_1 : o_i \neq e_i$ (Gözlenen frekanslar beklenen frekanslara uygun değildir. Fark önemlidir)

Test istatistiği χ^2 aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır;

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{r} \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \tag{4.2}$$

Görüldüğü gibi i o_i' lerin e_i' lere yaklaşması durumunda X^2 istatistiği sıfıra yaklaşacaktır.



Şekil 4.1. Ki-kare karar modeli

Ki-Kare uygunluk testi sağ kuyruk testidir. Çünkü, $(o_i - e_i)$ farklarının kareleri alınarak X^2 test istatistiği hesaplanır. Fark büyüdükçe, farkların kareleri pozitif yönde sonsuza doğru büyür. Böylece red bölgesi daima dağılımın sağ kuyruğunda olur. Karar modeli Şekil 4.1' de gösterilmiştir.

Kritik değer (K.D), α önem seviyesi ve $s.d = r - 1 - m$ serbestlik derecesine göre hazırlanmış X^2 kritik değerler tablosundan (Ek A) belirlenmektedir. Burada m tahmin edilen parametre sayısıdır. Örnek olarak; normal dağılım için tahmin edilen parametreler μ ve σ olduğundan $m = 2$ alınır. Bu sebeple kritik değer,

$$K.D. = X^2_{\alpha;r-1-m} \tag{4.3}$$

olarak sembolize edilir.

Test istatistiğinde hesaplanan X^2 değeri ile kritik $X^2_{\alpha;r-1-m}$ değeri, karar modeline göre mukayese edilerek karar verilir. Buna göre, $X^2 < X^2_{\alpha;r-1-m}$ ise, H_0 hipotezi kabul edilerek gözlenen değerlerle beklenen değerlerin birbirine (o_i'lerin e_i'lere) uygun olduğuna, görülen farklılığın önemsiz olduğuna α önem seviyesinde karar verilir. $X^2 > X^2_{\alpha;r-1-m}$ ise, H_0 hipotezi reddedilerek gözlenen değerlerle beklenen değerlerin birbirine (o_i'lerin e_i'lere) uygun olmadığına α önem seviyesinde karar verilir.

Testten daha güvenilir sonuç almak için şu iki durum dikkate alınmalıdır:

1) İki kategori varsa her bir beklenen frekans 10 veya daha büyük olmalıdır.

2) Kategori sayısı ikiden fazla ise $(r > 2)$ her bir beklenen frekans beş veya daha büyük olmalıdır.

Ki–Kare testi yaparken, çok sık yapılan yanlış kullanma hatalarından birisi küçük beklenen frekanslarla çalışılmasıdır. Küçük bir beklenen frekansın X^2 ye katkısı büyük olacaktır. e_i küçüldükçe X^2 büyüyecektir. Bu durum H_0 hipotezinin reddedilmesi ihtimalini arttırmaktadır (Bircan ve diğ., 2003).

4.3. OWAS Güvenilirliğinin Geliştirilmesine Yönelik İstatistiksel Analizler

Bu tez çalışmasında OWAS yönteminin güvenilirliğini arttıracak analiz koşullarını belirlemeye yönelik önerilerin elde edilmesi amacıyla aşağıdaki deneme planları çerçevesinde çeşitli örnek işlerin analizleri yapılmıştır.

4.3.1. Klasik OWAS analizi

Klasik OWAS analizinde; gerçek çalışma ortamında kaydedilen işin 1 saniye aralıklarla durdurulması sonucunda elde edilen işe ait tüm film karelerindeki (ana kütle) çalışma duruşlarının OWAS kod yapısına uygun olarak manuel kodlanması sonrasında yapılan istatistiksel çalışmalarda Tablo 4.2'deki deney düzeni kullanılmıştır. Tablonun sütununda dakika cinsinden gözlem süresi (5-10-20-40-80 dk.) değerleri, satırında saniye cinsinden gözlem aralığı değerleri (1-2-4-8-16 sn.), satır ve sütunların kesişen hücrelerinde ise alınan gözlem sayısı değeri yer almaktadır. Literatürde OWAS yöntemi ile çalışma duruşlarının değerlendirilmesine

yönelik yapılan çalışmalarda farklı gözlem süresi ve gözlem aralık değerlerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu tez çalışmasında, literatürdeki tüm bu değerlerin kapsanabilmesi ve farklı gözlem süresi gözlem aralığı kombinasyonuna ait aynı gözlem sayılarının seçilen işi temsil yeteneğini karşılaştırılabilmek amacıyla böyle bir deney düzeni tasarlanmıştır. Ayrıca çevrim süresinin dikkate alındığı durumlarda 5-10-20-40-80 dakikalık gözlem süresi değerleri yerine çevrim sayısı kullanılarak değerlendirmeler yapılmaktadır.

Tablo 4.2. Klasik OWAS analizinde kullanılan deney düzeni

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300	600	1200	2400	4800
2		300	600	1200	2400
4			300	600	1200
8				300	600
16					300

GS: Gözlem Süresi (dakika) GA: Gözlem Aralığı (saniye)

Bu tez çalışmasında yapılan OWAS analizlerinde alınan örneklerin (gözlem) seçilen işi temsil etmesi için alınması gereken en düşük gözlem sayısı (kritik gözlem sayısı) 271 olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle 271 gözlemden daha düşük gözlem sayısına sahip gözlem süre ve aralık kombinasyonları mevcut deney düzeninde istatistiksel olarak incelemeye alınmamıştır. İncelemeye alınmayan bu gözlem sayıları Tablo 4.2' den de görülebileceği gibi gözlem süresi-gözlem aralığı matrisine ait köşegenin altında kalan değerlerdir.

Tablo 4.2' deki deney düzeni kullanılarak klasik OWAS analizi yapılan işler aşağıda verilmektedir:

Disk Kumlama: Disk kumlama işinde çalışan, kumlama makinesinden çıkan disklerin -jantın bir parçası- bir sonraki üretim aşamasına aktarılması için diskleri askılardan alarak istiflemektedir. İşin çevrim süresi yaklaşık 10 saniye civarındadır. Bu işe ait birkaç film karesi Şekil 4.2' de verilmektedir.



Şekil 4.2. Disk kumlama işine ait örnek film kareleri

Örneklemede, örnek hacminin alınabildiği ölçüde büyük seçilmesi ana kütleyi temsil yeteneğini arttırmakta ve hatalı karar verme olasılığını azaltmaktadır varsayımından hareketle bu tez çalışmasında 80 dakika gözlem süresi boyunca 1 saniye aralıklarla örnek (gözlem) almanın seçilen işi en iyi temsil ettiği kabul edilmektedir. Ki-kare uygunluk testlerinde değişik sayılarda alınan gözlemlerin analiz sonuçları 4800 adet gözleme (80 dk.-1 sn.) ait analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Disk kumlama işi için ana kütle olarak kabul edilmiş 4800 gözleme ait OWAS analiz sonuçları Tablo 4.3' te verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi analizde 24 farklı kod çeşidi bulunmaktadır.

Tablo 4.3. Disk kumlama işine ait OWAS analiz sonuçları

OWAS Kodu	Sıklığı (Gözlenen Değer)
31210	35
11320	579
21420	34
21210	15
11310	567
21320	95
21520	608
21310	80
31220	5
31310	20
11210	2208
11220	55
41210	5
11710	5
21510	194
11520	15
31410	5
41310	34
11510	10
11420	5
11410	10
31420	5
21610	196
21410	15
Toplam	4800

Disk kumlama işinde Ki-Kare uygunluk testi için kritik değer tespit edilirken serbestlik derecesinin saptanması gerekmektedir. Bu işe ait 24 adet kod çeşidi bulunduğundan serbestlik derecesi 24-1=23 olarak hesaplanmaktadır. Bu serbestlik derecesine ait kritik değer (X^2) ise Ek A'dan da görülebileceği gibi %90 güven düzeyi için 32,01'dir.

Tablo 4.4. Disk kumlama işinde 300 adet gözlem için Ki-Kare analiz hesabı

OWAS Kodu	Sıklığı (Gözlenen Değer)	Beklenen Değer	Ki-Kare
31210	5	2,19	3,62
11320	45	36,19	2,15
21420	2	2,13	0,01
21210	2	0,94	1,20
11310	51	35,44	6,83
21320	7	5,94	0,19
21520	27	38,00	3,18
21310	5	5,00	0,00
31220	1	0,31	1,51
31310	1	1,25	0,05
11210	122	138,00	1,86
11220	11	3,44	16,64
41210	1	0,31	1,51
11710	1	0,31	1,51
21510	8	12,13	1,40
11520	2	0,94	1,20
31410	1	0,31	1,51
41310	7	2,13	11,18
11510	1	0,63	0,23
11420	0	0,31	0,31
11410	0	0,63	0,63
31420	0	0,31	0,31
21610	0	12,25	12,25
21410	0	0,94	0,94
Toplam	300	Ki-Kare Değeri	70,23

Bu tez çalışmasında tasarlanan deney düzeninde yer alan gözlem sayıları için yapılan OWAS analiz sonuçları 4800 gözlem alma durumu için yapılan OWAS analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında yapılan Ki-Kare uygunluk testine ait X^2 değerleri Tablo 4.5' te yer almaktadır.

Tablo 4.4'te ise disk kumlama işinde 5 dakika gözlem süresi boyunca 1'er saniye aralıklarla 300 gözlem alma durumu için Ki-Kare analiz hesabının detayı gösterilmektedir. Ki-Kare analizlerinde karşılaştırma yapılan gözlem sayılarına ait kod sıklıklarının ana kütle oranı ölçüsünde beklendiği kabul edilmiştir. Beklenen değer hesaplanırken öncelikle ana kütlede alınan gözlem sayısı (4800) Ki-Kare analizi yapılmak istenen gözlem sayısına (300) bölünerek bir oran elde edilmektedir (4800/300=16). 4800 adet gözlem alma durumundaki gözlem sıklığı (Tablo 4.4'ten 35) elde edilen bu orana bölünerek 300 adet gözlemin herhangi bir koduna ait gözlem sıklığının beklenen değeri hesaplanmaktadır (35/16=2,19). Son olarak Denklem (4.2) yardımıyla tüm kodlara ait beklenen değer ve gözlenen değer (örneğin 31320 kodu için beklenen değer=2,19 ve gözlenen değer=5) verileri kullanılarak Ki-Kare hesabı yapılmaktadır. Ayrıca hesaplarda teorik düzeyde karşılaştırma yapılacağından Ki-Kare analiz hassasiyetlerinin bozulmaması için gözlem kod sıklıklarına ait beklenen değerler tam sayıya yuvarlatılmadan kullanılmıştır.

Tablo 4.5. Disk kumlama, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 **70,23**	600 31,40	1200 12,38	2400 10,88	4800 -
2		300 31,29	600 18,06	1200 14,20	2400 4,13
4			300 20,99	600 15,13	1200 11,49
8				300 16,11	600 12,78
16					300 14,72

Tablo 4.5'teki değerler incelendiğinde 5 dakikalık gözlem süresi boyunca 1'er saniye aralıklarla 300 gözlem alma durumu dışındaki tüm kombinasyonlara ait X^2 değerlerinin bu analiz için kritik değer olan 32,01'den küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği görülmektedir. Bu sonuca göre 1'er saniye aralıklarla 300 gözlem alma durumu dışındaki tüm kombinasyonların disk kumlama işini istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde temsil ettiği söylenebilmektedir. Daha detaylı yorum yapabilmek için her bir kombinasyona ait X^2 değerlerine bakmak mümkündür. Tabloda satırlarda soldan sağa doğru gidildikçe ve sütunlarda aşağıdan yukarı çıkıldıkça genellikle X^2 değerlerinin küçüldüğü yani seçilen işi temsil etme

yeteneğinin arttığı görülmektedir. Farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. Örneğin 80 dakika boyunca 8'şer saniye aralıklarla 600 gözlem alınarak yapılan analiz (X^2=12,78), 10 dakika boyunca 1'er saniye aralıklarla 600 gözlem alınarak yapılan analize (X^2=31,40) göre disk kumlama işini daha iyi temsil etmektedir.

Jant İmalatı 1: Jant imalatı-1 işinde çalışan, bir önceki çalışma istasyonundan gelen jant parçaları üzerinde çeşitli işlemler (kaynak vb.) ve kontroller yaptıktan sonra bir sonraki üretim aşamasına aktarılmaktadır. İşin çevrim süresi yaklaşık 30 saniye civarındadır. Bu işe ait birkaç film karesi Şekil 4.3' te verilmektedir. Jant imalatı-1 işi için ana kütle olarak kabul edilmiş 4800 gözleme ait OWAS analiz sonuçları Tablo 4.6' da verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi analizde 7 farklı kod çeşidi bulunmaktadır.

Tablo 4.6. Jant imalatı-1 işine ait OWAS analiz sonuçları

OWAS Kodu	Sıklığı (Gözlenen Değer)
11210	1694
31210	617
41310	18
31310	12
11220	6
41210	1756
21210	697
Toplam	4800

Jant imalatı-1 işinde Ki-Kare uygunluk testi için kritik değer tespit edilirken serbestlik derecesinin saptanması gerekmektedir. Bu işe ait 7 adet kod çeşidi bulunduğundan serbestlik derecesi 7-1=6 olarak hesaplanmaktadır. Bu serbestlik derecesine ait kritik değer (X^2) ise Ek A'dan da görülebileceği gibi %90 güven düzeyi için 10,65'dir.



Şekil 4.3. Jant imalatı-1 işine ait örnek film kareleri

Bu tez çalışmasında tasarlanan deney düzeninde yer alan gözlem sayıları için yapılan OWAS analiz sonuçları 4800 gözlem alma durumu için yapılan OWAS analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında jant imalatı-1 işi yapılan Ki-Kare uygunluk testine ait X^2 değerleri Tablo 4.7' de yer almaktadır.

Tablo 4.7. Jant imalatı-1, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 **11,67**	600 2,34	1200 2,21	2400 0,51	4800 -
2		300 1,86	600 3,65	1200 6,86	2400 **15,43**
4			300 3,97	600 5,58	1200 12,07
8				300 4,26	600 6,03
16					300 5,02

Tablo 4.7' deki değerler incelendiğinde 5 dakikalık gözlem süresi boyunca 1'er saniye aralıklarla 300 gözlem alma durumu ve 80 dakikalık gözlem süresi boyunca 2'şer saniye aralıklarla 2400 gözlem alma durumu dışındaki tüm kombinasyonlara ait X^2 değerlerinin bu analiz için kritik değer olan 10,65'ten küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği görülmektedir. Bu sonuca göre bu iki gözlem süresi-aralığı kombinasyonları dışındaki tüm kombinasyonlarının jant imalatı-1 işini istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde temsil ettiği söylenebilmektedir.

Jant İmalatı 2: Jant imalatı-2 işinde çalışan, bir önceki çalışma istasyonundan gelen jant parçaları üzerinde çeşitli işlemler ve kontroller yaptıktan sonra bir sonraki üretim aşamasına aktarılmaktadır. İşin çevrim süresi yaklaşık 30 saniye civarındadır. Bu işe ait birkaç film karesi Şekil 4.4' te verilmektedir. Jant imalatı-2 işi için ana kütle olarak kabul edilmiş 4800 gözleme ait OWAS analiz sonuçları Tablo 4.8' de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi analizde 16 farklı kod çeşidi bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Jant imalatı-2 işine ait örnek film kareleri

Tablo 4.8. Jant imalatı-2 işine ait OWAS analiz sonuçları

OWAS Kodu	Sıklığı (Gözlenen Değer)
21210	2134
41210	1264
21310	31
41310	7
31220	64
11210	483
11310	492
11220	70
21220	39
41220	44
31310	68
31210	74
12220	6
11510	12
21410	6
41410	6
Toplam	4800

Jant imalatı-2 işinde Ki-Kare uygunluk testi için kritik değer tespit edilirken serbestlik derecesinin saptanması gerekmektedir. Bu işe ait 16 adet kod çeşidi bulunduğundan serbestlik derecesi 16-1=15 olarak hesaplanmaktadır. Bu serbestlik derecesine ait kritik değer (X^2) ise Ek A'dan da görülebileceği gibi %90 güven düzeyi için 22,31'dir

Bu tez çalışmasında tasarlanan deney düzeninde yer alan gözlem sayıları için yapılan OWAS analiz sonuçları 4800 gözlem alma durumu için yapılan OWAS analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında jant imalatı-2 işi yapılan Ki-Kare uygunluk testine ait X^2 değerleri Tablo 4.9' da yer almaktadır.

Tablo 4.9' daki değerler incelendiğinde 80 dakikalık gözlem süresi boyunca 2'şer saniye aralıklarla 2400 gözlem alma durumu dışındaki tüm kombinasyonlara ait X^2 değerlerinin bu analiz için kritik değer olan 22,31'den küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği görülmektedir. Bu sonuca göre bu gözlem süresi-aralığı kombinasyonu

dışındaki tüm kombinasyonların jant imalatı-2 işini istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde temsil edebildiği söylenebilmektedir.

Tablo 4.9. Jant imalatı-2, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 18,63	600 2,16	1200 4,86	2400 0,19	4800 -
2		300 4,76	600 8,28	1200 14,69	2400 **30,78**
4			300 4,79	600 8,87	1200 15,06
8				300 4,58	600 8,06
16					300 4,56

Matkapla Delme: Matkapla delme işinde çalışan, matkap tezgahında gerekli ayarlamaları yaparak tezgaha bağladığı parça üzerinde açılması gereken delikleri açmaktadır. İşin çevrim süresi yaklaşık 3 dakika civarındadır. Bu işe ait birkaç film karesi Şekil 4.5' te verilmektedir. Matkapla delme işi için ana kütle olarak kabul edilmiş 4800 gözleme ait OWAS analiz sonuçları Tablo 4.10' da verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi analizde 10 farklı kod çeşidi bulunmaktadır.

Matkapla delme işinde Ki-Kare uygunluk testi için kritik değer tespit edilirken serbestlik derecesinin saptanması gerekmektedir. Bu işe ait 10 adet kod çeşidi bulunduğundan serbestlik derecesi 10-1=9 olarak hesaplanmaktadır. Bu serbestlik derecesine ait kritik değer (X^2) ise Ek A'dan da görülebileceği gibi %90 güven düzeyi için 14,68'dir.



Şekil 4.5. Matkapla delme işine ait örnek film kareleri

Tablo 4.10. Matkapla delme işine ait OWAS analiz sonuçları

OWAS Kodu	Sıklığı (Gözlenen Değer)
11210	1132
21210	504
41210	21
31310	48
21310	1290
11310	1623
41310	25
13310	36
11710	118
22210	3
Toplam	4800

Bu tez çalışmasında tasarlanan deney düzeninde yer alan gözlem sayıları için yapılan OWAS analiz sonuçları 4800 gözlem alma durumu için yapılan OWAS analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında matkapla delme işinde yapılan Ki-Kare uygunluk testine ait X^2 değerleri Tablo 4.11'de yer almaktadır.

Tablo 4.11. Matkapla delme, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300	600	1200	2400	4800
	84,71	**39,99**	8,80	5,36	-
2		300	600	1200	2400
		21,22	5,55	3,10	0,28
4			300	600	1200
			6,27	2,44	0,78
8				300	600
				2,29	1,31
16					300
					2,00

Tablo 4.11'deki değerler incelendiğinde 5 dakikalık gözlem süresi boyunca 1'er saniye aralıklarla 300 gözlem alma durumu, 10 dakikalık gözlem süresi boyunca 1'er saniye aralıklarla 600 gözlem alma durumu ve 10 dakikalık gözlem süresi boyunca 2'şer saniye aralıklarla 300 gözlem alma durumu dışındaki tüm kombinasyonlara ait X^2 değerlerinin bu analiz için kritik değer olan 14,68'den küçük olduğu ve

hipotezlerin kabul edildiği görülmektedir. Bu sonuca göre bu gözlem süresi-aralığı kombinasyonu dışındaki tüm kombinasyonların matkapla delme işini istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde temsil ettiği söylenebilmektedir. Daha detaylı yorum yapabilmek için her bir kombinasyona ait X^2 değerlerine bakmak mümkündür. Tabloda satırlarda soldan sağa doğru gidildikçe tüm X^2 değerlerinin küçüldüğü yani seçilen işi temsil etme yeteneğinin arttığı görülmektedir. Farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. Örneğin 80 dakika boyunca 8'er saniye aralıklarla 600 gözlem alınarak yapılan analize ait Ki-Kare değeri (X^2=1,31), 20 dakika boyunca 1'er saniye aralıklarla 600 gözlem alınarak yapılan analize ait Ki-Kare değerine (X^2=5,55) göre küçük bir değerdir. Buna göre 80 dakika boyunca 8'er saniye aralıklarla 600 gözlem alınarak yapılan analiz, matkapla delme işini daha iyi temsil etmektedir. Tabloda aynı gözlem sayılarına ait tüm ikili karşılaştırma sonuçlarından; kısa çekim yaparak küçük gözlem aralıkları ile analiz yapmak yerine daha uzun süreli çekimler yaparak daha büyük gözlem aralıkları ile analiz yaparak daha güvenilir sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

Lastik hammadde hazırlama: Lastik hammadde hazırlama işinde çalışan, üretilecek lastik cinsine göre hazırlanmış imalat reçetesindeki malzemeleri, istiflenmiş oldukları raflardan gerekli miktarda karışım kazanına taşımakta ve bu kazanı karışım makinasına yerleştirmektedir. Ayrıca gerekli gördüğünde karışım makinasının yüzey temizliğine de yapmaktadır. İşin çevrim süresi reçetedeki malzeme sayısına ve bu malzemelerin istiflendiği yere göre değişiklik gösterdiğinden yaklaşık 10-12 dakika civarında değişiklik göstermektedir. Bu işe ait birkaç film karesi Şekil 4.6'da verilmektedir.

Lastik hammadde hazırlama işi için ana kütle olarak kabul edilmiş 4800 gözleme ait OWAS analiz sonuçları Tablo 4.12' de verilmiştir. Bu işe ait 55 adet kod çeşidi bulunduğundan serbestlik derecesi 55-1=54 olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 4.6. Lastik hammadde hazırlama işine ait örnek film kareleri

Bu serbestlik derecesine ait kritik değer (X^2), Ek A'daki Ki-Kare (X^2) kritik değerler tablosunda yer almadığından interpolasyon yapılarak elde edilmiştir. 55 serbestlik derecesine ait kritik değer (X^2), %90 güven düzeyi için 67,84'tür.

Tablo 4.12. Lastik hammadde hazırlama işine ait OWAS analiz sonuçları

OWAS Kodu	Sıklığı (Gözlenen Değer)	OWAS Kodu	Sıklığı (Gözlenen Değer)
11210	1016	41420	21
11310	381	41510	3
21210	245	21710	160
21520	38	22320	2
21310	385	32210	63
21320	37	12210	276
11410	21	32520	2
11710	769	32320	2
21510	58	33210	36
31210	169	33310	24
41410	28	42410	24
21410	85	43410	14
31310	198	22410	2
31510	3	21530	4
41310	198	13210	34
21420	49	13310	9
21430	7	41220	15
21330	16	11320	6
21220	20	22310	4
41520	6	21720	96
41210	73	11510	8
11220	17	31410	11
41320	36	31220	11
21730	24	41720	2
12310	39	11720	2
31320	18	11420	1
32310	29	31420	1
42310	2		
Toplam	3967	Toplam	833
	Genel Toplam	4800	

Bu tez çalışmasında tasarlanan deney düzeninde yer alan gözlem sayıları için yapılan OWAS analiz sonuçları 4800 gözlem alma durumu için yapılan OWAS analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında lastik hammadde hazırlama işinde yapılan Ki-Kare uygunluk testine ait X^2 değerleri Tablo 4.13'te yer almaktadır.

Tablo 4.13'teki değerler incelendiğinde 5 ve 10 dakikalık tüm gözlem sürelerinde, 20 dakika boyunca 1'er ve 2'şer saniye aralıklarla 1200 ve 600 gözlem alma durumu ve 80 dakikalık gözlem süresi boyunca 8'er saniye aralıklarla 600 gözlem alma durumu dışındaki kombinasyonlara ait X^2 değerlerinin bu analiz için kritik değer olan 67,84'ten küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği görülmektedir.

Tablo 4.13. Lastik hammadde hazırlama, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları

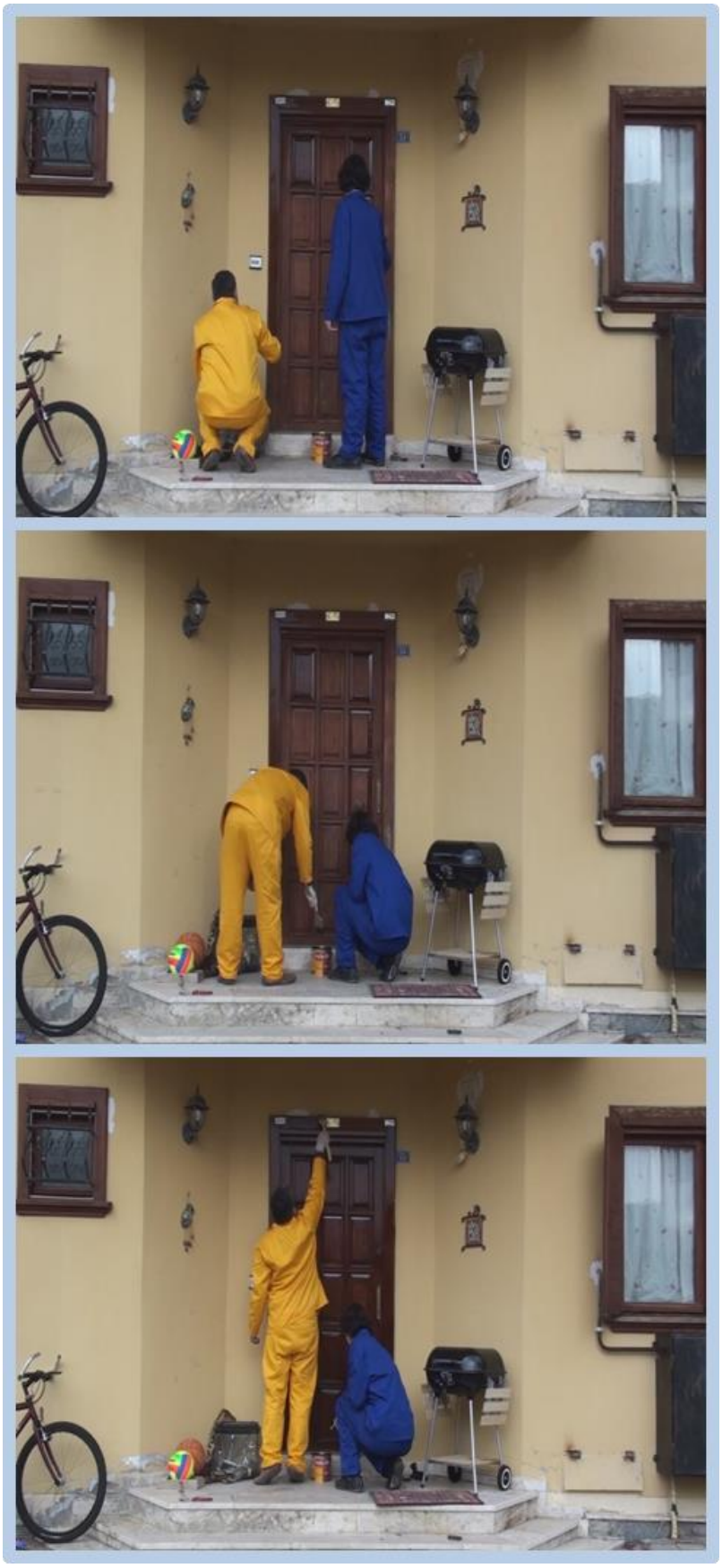
GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300	600	1200	2400	4800
	210,93	**278,94**	**121,20**	11,38	-
2		300	600	1200	2400
		169,83	**80,64**	18,55	20,62
4			300	600	1200
			60,66	33,85	48,33
8				300	600
				66,21	**102,40**
16					300
					60,09

Bu sonuca göre bu gözlem süresi-aralığı kombinasyonları dışındaki kombinasyonların lastik hammadde hazırlama işini istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde temsil ettiği söylenebilmektedir. Farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. 5 ve 10 dakikalık gözlem süresi ile 300 adet gözlem alınarak yapılan analizler seçilen işi temsil etmezken, 80 dakika boyunca 16'şar saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analize ait Ki-Kare değeri (X^2 =60,09) 40 dakika boyunca 8'er saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analize ait Ki-Kare değerine (X^2=66,21) göre küçük bir değerdir. Buna göre 80 dakika boyunca 16'şar saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analiz lastik hammadde hazırlama işini daha iyi temsil etmektedir.

Kapı boyama: Kapı boyama işinde çalışan, boyanacak olan kapı üzerinde gerekli zımparalama işlemlerini yaptıktan sonra kapının boyama işlemini yapmaktadır. İşin çevrim süresi yaklaşık 40 dakika civarındadır. Bu işe ait birkaç film karesi Şekil 4.7' de verilmektedir. Kapı boyama işi için ana kütle olarak kabul edilmiş 4800 gözleme ait OWAS analiz sonuçları Tablo 4.14' te verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi analizde 30 farklı kod çeşidi bulunmaktadır.

Tablo 4.14. Kapı boyama işine ait OWAS analiz sonuçları

OWAS Kodu	Sıklığı (Gözlenen Değer)
32310	113
31210	182
11210	1274
41210	115
12210	291
21210	939
41410	123
11310	55
32220	172
21410	395
22220	2
12320	2
12310	28
32210	413
21310	36
13310	2
33320	12
33220	11
11710	54
21510	22
41510	2
41310	2
32320	4
31510	2
31310	10
11410	288
42210	2
13210	2
12220	2
31410	245
Toplam	4800



Şekil 4.7. Kapı boyama işine ait örnek film kareleri

Kapı boyama işinde Ki-Kare uygunluk testi için kritik değer tespit edilirken serbestlik derecesinin saptanması gerekmektedir. Bu işe ait 30 adet kod çeşidi bulunduğundan serbestlik derecesi 30-1=29 olarak hesaplanmaktadır. Bu serbestlik derecesine ait kritik değer (X^2) ise Ek A'dan da görülebileceği gibi %90 güven düzeyi için 39,09'dur. Bu tez çalışmasında tasarlanan deney düzeninde yer alan gözlem sayıları için yapılan OWAS analiz sonuçları 4800 gözlem alma durumu için yapılan OWAS analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında kapı boyama işinde yapılan Ki-Kare uygunluk testine ait X^2 değerleri Tablo 4.15' te yer almaktadır.

Tablo 4.15. Kapı boyama, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 **364,50**	600 **294,64**	1200 **70,94**	2400 4,30	4800 -
2		300 **138,52**	600 33,50	1200 9,23	2400 6,54
4			300 25,75	600 15,38	1200 7,82
8				300 20,92	600 11,41
16					300 18,69

Tablo 4.15' deki değerler incelendiğinde 5 ve 10 dakikalık tüm gözlem sürelerinde, 20 dakika boyunca 1'er saniye aralıklarla 1200 gözlem alma durumu dışındaki kombinasyonlara ait X^2 değerlerinin bu analiz için kritik değer olan 39,09'dan küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği görülmektedir. Bu sonuca göre bu gözlem süresi-aralığı kombinasyonları dışındaki kombinasyonların kapı boyama işini istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde temsil ettiği söylenebilmektedir. Daha detaylı yorum yapabilmek için her bir kombinasyona ait X^2 değerlerine bakmak mümkündür. Tabloda satırlarda soldan sağa doğru ve sütunlarda aşağıdan yukarı doğru gidildikçe tüm X^2 değerlerinin küçüldüğü yani seçilen işi temsil etme yeteneğinin arttığı görülmektedir. Farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. 5 ve 10 dakikalık gözlem süresi ile 300 adet gözlem alınarak yapılan analizler seçilen işi temsil etmezken, 80 dakika boyunca

16’şar saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analize ait Ki-Kare değeri (X^2 =18,69) 20 dakika boyunca 4’er saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analize ait Ki-Kare değerine (X^2=25,75) göre küçük bir değerdir. Buna göre 80 dakika boyunca 16’şar saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analiz kapı boyama işini daha iyi temsil etmektedir.

Tabloda aynı gözlem sayılarına ait tüm ikili karşılaştırma sonuçlarından; kısa çekim yaparak küçük gözlem aralıkları ile analiz yapmak yerine daha uzun süreli çekimler yaparak daha büyük gözlem aralıkları ile analiz yaparak daha güvenilir sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

Kayrak taşı kaplama: Kayrak taşı kaplama işinde çalışan, taşların kaplanması için gereken harcı hazırlayarak bu harcı duvara sıvamaktadır. Sonrasında istiflenmiş olan taşlar arasından gerekli boyutta taşı seçip alarak duvara yapıştırmaktadır. İşin çevrim süresi yaklaşık 60 dakika civarındadır. Bu işe ait birkaç film karesi Şekil 4.8’de verilmektedir.

Kayrak taşı kaplama işi için ana kütle olarak kabul edilmiş 4800 gözleme ait OWAS analiz sonuçları Tablo 4.16’da verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi analizde 22 farklı kod çeşidi bulunmaktadır.



Şekil 4.8. Kayrak taşı kaplama işine ait örnek film kareleri

Tablo 4.16. Kayrak taşı kaplama işine ait OWAS analiz sonuçları

OWAS Kodu	Sıklığı (Gözlenen Değer)
11710	250
31210	284
13310	15
13210	3
12310	14
12210	48
31310	93
11210	733
21410	842
11310	173
41310	191
22410	2
21210	884
21310	296
21510	14
41210	336
41410	403
32210	1
41510	25
31410	143
11410	46
31510	4
Toplam	4800

Kayrak taşı kaplama işinde Ki-Kare uygunluk testi için kritik değer tespit edilirken serbestlik derecesinin saptanması gerekmektedir. Bu işe ait 30 adet kod çeşidi bulunduğundan serbestlik derecesi 22-1=21 olarak hesaplanmaktadır. Bu serbestlik derecesine ait kritik değer (X^2) ise Ek A'dan da görülebileceği gibi %90 güven düzeyi için 29,62'dir.

Bu tez çalışmasında tasarlanan deney düzeninde yer alan gözlem sayıları için yapılan OWAS analiz sonuçları 4800 gözlem alma durumu için yapılan OWAS analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında kapı boyama işinde yapılan Ki-Kare uygunluk testine ait X^2 değerleri Tablo 4.17' de yer almaktadır.

Tablo 4.17. Kayrak taşı kaplama, klasik OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 **480,69**	600 **648,24**	1200 **389,37**	2400 **268,71**	4800 -
2		300 **314,40**	600 **189,74**	1200 **128,19**	2400 1,66
4			300 **84,58**	600 **63,29**	1200 4,21
8				300 **37,03**	600 7,33
16					300 7,27

Tablo 4.18. Kayrak taşı kaplama işinde 300 gözleme ait OWAS analiz sonuçları

OWAS Kodu	Sıklığı (Gözlenen Değer)
11710	1
31210	29
13310	15
13210	3
12310	2
12210	14
31310	4
11210	52
21410	73
11310	11
41310	1
22410	2
21210	19
21310	16
21510	2
41210	55
41410	1
Toplam	300

Tablo 4.17' deki değerler incelendiğinde 80 dakikalık gözlem süresine ait tüm kombinasyonlar dışındaki tüm gözlem süresi-aralığı kombinasyonlarında X^2 değerleri bu analiz için kritik değer olan 29,62'den büyük olduğu ve hipotezlerin

reddedildiği görülmektedir. Bu sonuca göre 10,20 ve 40 dakikalık gözlem sürelerine ait tüm kombinasyonlar kayrak taşı kaplama işini istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde temsil edememektedir. Bu noktada seçilen işi temsil eden güvenilir analizler yapabilmek için en az 80 dakikalık bir video çekimi yapılması gerekmektedir. Aslında bu sonuç işin yapısı ile de doğrulanmaktadır. Analiz edilen kayrak taşı kaplama işinin çevrim süresi çok uzun olduğu için 10,20 ve 40 dakikalık çekimlerde işe ait tüm kod çeşitleri yer almamaktadır. Örneğin 80 dakikalık bir çekimin analizinde 22 farklı kod çeşidi bulunurken (Tablo 4.16), 10 dakikalık çekimin analizinde 17 farklı kod çeşidi (Tablo 4.18) ile karşılaşılmaktadır.

4.3.2. Birikimli rassal OWAS analizi

İş örneklemesinde örnek alma işleminin sistematik olarak yapılması çalışanın örnekleme öncesinde hazırlık yapmasına imkan tanımaktadır. Bu nedenle iş örneklemesi pratikte rassal sayı tabloları kullanılarak yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında OWAS analizlerinde rassal gözlem alma durumunda yöntemin güvenilirliğinin nasıl etkilendiğini ortaya koyabilmek için seçilen örnek işlerde birikimli rassal OWAS analizleri de yapılmıştır. Bu analizlerde Tablo 4.19' daki deney düzeni kullanılmıştır.

Birikimli rassal analizde, işe ait olan tüm video kaydı belirlenmiş olan gözlem süresine bölünerek analiz yapılmaktadır. Analizlerde, ortalamaları gözlem aralık değerleri olan (2-4-8-16 sn.) rassal sayılar üretilmektedir. Örneğin gözlem süresi 10 dakika ve gözlem aralığı 2 saniye olan 300 gözleme ait birikimli rassal analiz yapılmak istendiğinde ortalaması 2 olan 300 adet rassal sayı üretilerek bu analizin, işin ilk 10 dakikalık kısmını kapsaması sağlanmaktadır.

Rassal analizler 10 replikasyon şeklinde tekrarlanarak X^2 değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin ortalamaları Tablo 4.19' daki deney düzenine aktarılmıştır.

Tablo 4.19. Birikimli rassal analizlerde kullanılan deney düzeni

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300	600	1200	2400	4800
2		300	600	1200	2400
4			300	600	1200
8				300	600
16					300

GS: Gözlem Süresi (dakika) GA: Gözlem Aralığı (saniye)

Bu tez çalışmasında yapılan kritik gözlem sayısı olarak kabul edilmiş olan 271 gözlemden daha düşük gözlem sayısına sahip gözlem süre ve aralık kombinasyonları mevcut deney düzeninde istatistiksel olarak incelemeye alınmamıştır. İncelemeye alınmayan bu gözlem sayıları Tablo 4.19'dan da görülebileceği gibi gözlem süresi-gözlem aralığı matrisine ait köşegenin altında kalan değerlerdir.

Tablo 4.19'daki deney düzeni kullanılarak birikimli rassal OWAS analizi yapılan işlere ait analiz sonuçları aşağıda verilmektedir:

Disk kumlama işine ait birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları Tablo 4.20'de gösterilmektedir. Tablodaki tüm değerlerin Ki-Kare testine ait kritik değer olan 32,01'den küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği görülmektedir. Yani tüm gözlem süresi-aralığı kombinasyonları disk kumlama işini istatistiksel olarak güvenilir bir biçimde temsil etmektedir.

Tabloda satırlarda soldan sağa doğru gidildikçe ve sütunlarda aşağıdan yukarı çıkıldıkça genellikle X^2 değerlerinin küçüldüğü yani seçilen işi temsil etme yeteneğinin arttığı görülmektedir. Bu sonuca göre birikimli rassal analizde tüm kombinasyonların disk kumlama işini istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde temsil ettiği söylenebilmektedir. Farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. Örneğin 80 dakika boyunca 16'şar saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analiz (X^2=19,97), 10 dakika boyunca 2'şer saniye

aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analize (X^2=31,36) göre seçilen işi daha iyi temsil etmektedir. Birikimli rassal analiz sonuçları ile klasik OWAS analiz sonuçları karşılaştırıldığında, rassal analizde de reddedilen hipotez olmadığı yani tüm kombinasyonların disk kumlama işini temsil ettiği görülmektedir. Analizler sonucunda elde edilen X^2 değerlerine bakıldığında, değerlerde farklılıklar olmasına karşın benzer bir eğilim göstererek benzer bir tablo çizdiği söylenebilmektedir.

Tablo 4.20. Disk kumlama, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 -	600 -	1200 -	2400 -	4800 -
2		300 31,36	600 16,29	1200 15,50	2400 9,27
4			300 22,05	600 19,26	1200 17,72
8				300 20,90	600 17,34
16					300 19,97

Jant imalatı-1 işine ait birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları Tablo 4.21'de sunulmuştur. Tablodaki tüm gözlem süresi-aralığı kombinasyonlarına ait değerlerin kritik değer olan 10,65'ten küçük olduğu, hipotezlerin kabul edildiği ve seçilen işi temsil ettiği görülmektedir. Tabloda satırlarda soldan sağa doğru gidildikçe ve sütunlarda aşağıdan yukarı çıkıldıkça genellikle X^2 değerlerinin küçüldüğü yani seçilen işi temsil etme yeteneğinin arttığı görülmektedir. Tablodaki gözlem süresi-aralığı kombinasyonlarına ait değerler birbirine çok yakın olmakla birlikte farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. Örneğin 40 dakika boyunca 8'er saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analiz (X^2=5,36), 10 dakika boyunca 2'şer saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analize (X^2=5,63) göre seçilen işi daha iyi temsil etmektedir.

Tablo 4.21. Jant imalatı-1, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 -	600 -	1200 -	2400 -	4800 -
2		300 5,63	600 3,18	1200 3,01	2400 2,28
4			300 5,54	600 5,12	1200 3,83
8				300 5,36	600 4,35
16					300 4,26

Jant imalatı-2 işine ait birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları Tablo 4.22'de sunulmuştur. Tablodaki tüm değerlerin kritik değer olan 22,31'den küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği görülmektedir.

Tablo 4.22. Jant imalatı-2, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 -	600 -	1200 -	2400 -	4800 -
2		300 13,32	600 10,85	1200 6,37	2400 6,63
4			300 11,35	600 9,37	1200 7,11
8				300 10,42	600 7,69
16					300 10,87

Tabloda satırlarda soldan sağa doğru gidildikçe ve sütunlarda aşağıdan yuları çıkıldıkça genellikle X^2 değerlerinin küçüldüğü yani seçilen işi temsil etme yeteneğinin arttığı görülmektedir. Farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. Örneğin 80 dakika boyunca 8'er saniye aralıklarla 600 gözlem alınarak yapılan analize ait X^2 değeri (X^2 =7,69), 20 dakika

boyunca 2'şer saniye aralıklarla 600 gözlem alınarak yapılan analize ait X^2 (X^2 =10,85) değerine göre daha küçük bir değerdir ve bu değer 80 dakikalık analizin jant imalatı-2 işini daha iyi temsil ettiğini göstermektedir. Diğer gözlem süresi-aralığı kombinasyonlarına ait X^2 değerlerinin ikili karşılaştırmaları sonucunda da daha uzun gözlem süresinde daha geniş gözlem aralığı kullanmanın seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir.

Matkapla delme işine ait birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları Tablo 4.23'te sunulmuştur. Tablodaki 10 dakikalık gözlem süresi boyunca 2'şer saniye aralıklarla 300 gözlem alma durumu dışındaki tüm kombinasyonlara ait X^2 değerlerinin bu analiz için kritik değer olan 14,68'den küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği yani seçilen işi temsil ettiği görülmektedir. Tabloda satırlarda soldan sağa doğru ve sütunlarda aşağıdan yukarıya doğru gidildikçe tüm X^2 değerlerinin küçüldüğü yani seçilen işi temsil etme yeteneğinin arttığı görülmektedir. Farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. Örneğin 80 dakika boyunca 16'şar saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analiz (X^2 =6,07), 20 dakika boyunca 4'er saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analize (X^2=9,41) göre seçilen işi daha iyi temsil etmektedir. Bu ve diğer ikili karşılaştırma sonuçlarına bakılarak daha uzun gözlem süresinde daha geniş gözlem aralığı kullanmanın matkapla delme işini daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir.

Tablo 4.23. Matkapla delme, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 -	600 -	1200 -	2400 -	4800 -
2		300 **21,14**	600 8,09	1200 7,58	2400 2,18
4			300 9,41	600 7,70	1200 3,54
8				300 8,41	600 5,79
16					300 6,07

Birikimli rassal analiz sonuçları ile klasik OWAS analiz sonuçları karşılaştırıldığında, rassal analizde de aynı gözlem süresi-aralığına ait gözlem süreleri ile yapılan analizlere ait hipotezlerin reddedildiği görülmektedir. Her iki analiz sonucunda elde edilen X^2 değerlerine bakıldığında, değerlerde farklılıklar olmasına karşın benzer bir eğilim göstererek benzer bir tablo çizdiği söylenebilmektedir.

Lastik hammadde hazırlama işine ait birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları Tablo 4.24'te sunulmuştur. Tablodaki 10 dakikalık gözlem süresi boyunca 2'şer saniye aralıklarla 300 gözlem alma durumu, 20 dakikalık gözlem süresi boyunca 2'şer saniye aralıklarla 600 ve 4'er saniye aralıklarla 300 gözlem alma durumu dışındaki tüm kombinasyonlara ait X^2 değerlerinin bu analiz için kritik değer olan 67,84'ten küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği görülmektedir. Tabloda satırlarda soldan sağa ve sütunlarda aşağıdan yukarı doğru gidildikçe tüm X^2 değerlerinin küçüldüğü yani seçilen işi temsil etme yeteneğinin arttığı görülmektedir. Farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. Örneğin 80 dakika boyunca 8'er saniye aralıklarla 600 gözlem alınarak yapılan analiz (X^2=34,87), 40 dakika boyunca 4'er saniye aralıklarla 600 gözlem alınarak yapılan analize (X^2=46,10) göre seçilen işi daha iyi temsil etmektedir. Bu ve diğer ikili karşılaştırmalar sonucundan daha uzun gözlem süresinde daha geniş gözlem aralığı kullanmanın seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir.

Birikimli rassal analiz sonuçları ile klasik OWAS analiz sonuçları karşılaştırıldığında, klasik OWAS analizinde rassal analizdekilerden farklı olarak 80 dakikalık gözlem süresine ait reddedilen hipotez (seçilen işi temsil etmeyen gözlem süresi-aralığı kombinasyonu) bulunmaktadır. Ayrıca iki analiz sonucunda elde edilen X^2 değerleri ikili olarak karşılaştırıldığında birikimli rassal analizde elde edilen X^2 değerlerinin daha küçük olduğu görülmektedir. Bu karşılaştırma sonuçlarına göre lastik hammadde hazırlama işinde klasik OWAS analizi yerine birikimli rassal analiz yapılarak istatistiksel olarak daha güvenilir sonuçlar elde etmek mümkündür.

Tablo 4.24. Lastik hammadde hazırlama, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 -	600 -	1200 -	2400 -	4800 -
2		300 **183,77**	600 **88,12**	1200 31,19	2400 22,40
4			300 **70,45**	600 46,10	1200 34,75
8				300 47,40	600 34,87
16					300 43,65

Kapı boyama işine ait birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları Tablo 4.25'te sunulmuştur. Tablodaki 10 dakikalık gözlem süresi boyunca 2'şer saniye aralıklarla 300 gözlem alma durumu, 20 dakikalık gözlem süresi boyunca 2'şer saniye aralıklarla 600 ve 4'er saniye aralıklarla 300 gözlem alma durumu dışındaki tüm kombinasyonlara ait X^2 değerlerinin bu analiz için kritik değer olan 39,09'dan küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği görülmektedir. Tabloda satırlarda soldan sağa doğru gidildikçe tüm X^2 değerlerinin küçüldüğü yani bu kombinasyonlar ile analiz yapmanın kapı boyamam işini daha iyi temsil ettiği görülmektedir Benzer şekilde tablodaki sütunlarda aşağıdan yukarıya doğru gidildikçe X^2 değerlerinin arttığı görülmektedir. Farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. Örneğin 80 dakika boyunca 16'şar saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analiz (X^2=22,58), 40 dakika boyunca 8'er saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analize (X^2=28,56) göre seçilen işi daha iyi temsil etmektedir. Bu sonuca göre daha uzun gözlem süresinde daha geniş gözlem aralığı kullanmanın seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir.

Tablo 4.25. Kapı boyama, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 -	600 -	1200 -	2400 -	4800 -
2		300 **184,40**	600 **51,20**	1200 15,41	2400 7,46
4			300 **41,46**	600 20,08	1200 11,50
8				300 28,56	600 17,93
16					300 22,58

Birikimli rassal analiz sonuçları ile klasik OWAS analiz sonuçları karşılaştırıldığında, her iki analiz sonucunda elde edilen X^2 değerlerine bakıldığında, değerlerde farklılıklar olmasına karşın benzer bir eğilim göstererek benzer bir tablo çizdiği söylenebilmektedir.

Kayrak taşı kaplama işine ait birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları Tablo 4.26' da sunulmuştur. Tablodaki 80 dakikalık gözlem süresine ait tüm kombinasyonlar dışındaki tüm gözlem süresi-aralığı kombinasyonlarında X^2 değerleri bu analiz için kritik değer olan 29,62'den büyük olduğu ve hipotezlerin reddedildiği görülmektedir. Bu sonuç kayrak taşı kaplama işini istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde analiz edebilmek için işin çevrim süresinin 60 dakika olduğu göz önünde bulundurularak en az 80 dakika olması gerektiğini göstermektedir.

Tablo 4.26. Kayrak taşı kaplama, birikimli rassal analiz için Ki-Kare analiz ortalamaları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 -	600 -	1200 -	2400 -	4800 -
2		300 **343,70**	600 **208,93**	1200 **144,92**	2400 7,09
4			300 **119,52**	600 **79,25**	1200 9,91
8				300 **51,34**	600 15,73
16					300 18,62

4.3.3. Tam rassal OWAS analizi

Bu tez çalışmasında ayrıca OWAS analizlerinde rassal gözlem alma durumunda yöntemin güvenilirliğinin nasıl etkilendiğini ortaya koyabilmek için seçilen örnek işlerde tam rassal OWAS analizleri de yapılarak sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4.27. Tam rassal analizlerde kullanılan deney düzeni

GSa / R	300	600	1200	2400
R1				
R2				
R3				
R4				
R5				
R6				
R7				
R8				
R9				
R10				
Ortalama				

GSa: Gözlem Sayısı, R: Replikasyon

İstatistiksel değerlendirmelerde Tablo 4.27' deki deney düzeni kullanılmıştır. Tasarlanan deney düzeninde yer alan 300, 600, 1200 ve 2400 gözlem alma durumlarında rassal analiz sonuçlarının yöntem güvenilirliğine olan etkisine bakabilmek amacıyla 4800 lük tüm gözlemler içerisinden 300, 600, 1200 ve 2400 adet rassal sayı üretilmiştir. Rassal sayılar üretildikten sonra bu rassal sayılara karşılık gelen film kareleri işe ait olan tüm film içerisinden alınarak tam rassal analizler yapılmaktadır. Tam rassal analizler 10 kez tekrarlanarak ortalama değerler tablolara aktarılmıştır. Tablo 4.27' deki deney düzeni kullanılarak tam rassal OWAS analizi yapılan işlere ait analiz sonuçları aşağıda verilmektedir:

Disk kumlama işine ait tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları Tablo 4.28'de sunulmuştur. Tablodaki 300 gözlem alma durumundaki 6. Replikasyon dışındaki tüm analiz sonuçlarına ait X^2 değerlerinin kritik değer olan 32,01'den küçük olduğu, hipotezlerin kabul edildiği ve seçilen işi temsil ettiği görülmektedir. 10 replikasyon

sonucunda gözlem sayılarına ait ortalama X^2 değerlerine bakıldığında tüm değerlerin kritik değer olan 32,01'den küçük olduğu ve bu gözlem sayılarının disk kumlama işini temsil ettiği görülmektedir.

Tablo 4.28. Disk kumlama, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları

GSa / R	300	600	1200	2400
R1	16,80	21,28	10,28	11,57
R2	21,37	16,04	26,60	8,39
R3	29,24	9,88	23,26	17,86
R4	13,60	23,10	14,16	15,11
R5	12,15	30,87	15,26	12,60
R6	**36,86**	16,54	16,53	12,21
R7	15,82	16,13	19,26	9,58
R8	18,33	25,61	14,58	17,57
R9	18,09	13,21	23,46	13,06
R10	18,69	21,04	15,75	11,40
Ortalama	20,10	19,37	17,91	12,94

Jant imalatı-1 işine ait tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları Tablo 4.29'da sunulmuştur. Tablodaki 600 gözlem alma durumundaki 9. replikasyon dışındaki tüm analiz sonuçlarına ait X^2 değerlerinin kritik değer olan 10,65'ten küçük olduğu, hipotezlerin kabul edildiği ve seçilen işi temsil ettiği görülmektedir.

Tablo 4.29. Jant imalatı-1, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları

GSa / R	300	600	1200	2400
R1	7,70	2,08	4,60	10,03
R2	2,11	7,86	3,48	1,53
R3	2,99	9,74	4,62	2,33
R4	3,86	3,90	9,60	0,80
R5	2,94	9,33	8,74	3,81
R6	7,46	1,94	5,07	3,17
R7	1,13	3,28	4,36	2,44
R8	1,39	3,77	1,34	4,51
R9	2,60	**15,45**	3,99	1,77
R10	4,99	2,96	0,99	1,77
Ortalama	3,72	6,03	4,68	3,22

10 replikasyon sonucunda gözlem sayılarına ait ortalama Ki-Kare değerlerine bakıldığında tüm değerlerin kritik değer olan 10,65'ten küçük olduğu ve bu gözlem sayılarının jant imalatı-1 işini temsil ettiği görülmektedir.

Tam rassal analiz sonuçları sistematik deney düzeninde yapılan analiz sonuçları ile karşılaştırmak istendiğinde, tam rassal analize ait X^2 değerlerinin sistematik deney düzeninin 80 dakikalık gözlem süresine ait X^2 değerleri ile karşılaştırılması gerekmektedir. Çünkü tam rassal analizler 4800 lük tüm gözlemler (80 dk) içerisinden 300, 600, 1200 ve 2400 adet rassal sayı üretilerek yapılmıştır. Tablo 4.7'deki 80 dakikalık gözlem süresinde alınan 300 gözleme ait X^2 değeri 5,02 iken tam rassal analizde elde edilen X^2 değerlerinin ortalaması 3,72'dir. 600, 1200 ve 2400 gözlem alma durumunda da tam rassal analizle elde edilen X^2 değerleri 300 gözlemde olduğu gibi sistematik deney düzeninde yapılan analiz sonucu elde edilen X^2 değerlerinden daha küçüktür. Yani jant imalatı-1 işini daha iyi temsil eden güvenilir analizler yapabilmek için aynı gözlem sayısında klasik OWAS analizi yerine tam rassal analiz tercih edilmelidir.

Jant imalatı-2 işine ait tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları Tablo 4.30'da sunulmuştur. Tablodaki 300 gözlem alma durumundaki 7. ve 9. replikasyonlar dışındaki tüm analiz sonuçlarına ait X^2 değerlerinin kritik değer olan 22,31'den küçük olduğu, hipotezlerin kabul edildiği ve seçilen işi temsil ettiği görülmektedir.

Tablo 4.30. Jant imalatı-2, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları

GSa / R	300	600	1200	2400
R1	10,64	14,25	8,50	5,74
R2	9,95	12,77	11,04	5,67
R3	10,44	19,36	11,51	10,11
R4	11,29	13,48	9,93	6,22
R5	9,80	13,31	19,21	6,58
R6	18,71	7,25	11,36	2,94
R7	**23,74**	9,71	11,39	8,84
R8	8,81	9,62	6,41	5,14
R9	**28,26**	10,93	14,05	8,02
R10	12,70	9,54	7,67	5,90
Ortalama	14,43	12,02	11,11	6,52

10 replikasyon sonucunda elde edilen ortalama X^2 değerlerine bakıldığında tüm değerlerin kritik değer olan 22,31'den küçük olduğu ve jant imalatı-2 işini temsil ettiği görülmektedir.

Matkapla delme işine ait tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları Tablo 4.31'de sunulmuştur. Tablodaki 300 gözlem alma durumundaki 10.replikasyon dışındaki tüm analiz sonuçlarına ait X^2 değerlerinin kritik değer olan 14,68'den küçük olduğu, hipotezlerin kabul edildiği ve matkapla delme işini temsil ettiği görülmektedir. 10 replikasyon sonucunda elde edilen ortalama X^2 değerlerine bakıldığında tüm değerlerin kritik değer olan 14,68'den küçük olduğu görülmektedir.

Tablo 4.31. Matkapla delme, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları

GSa / R	300	600	1200	2400
R1	4,50	7,67	6,95	1,93
R2	4,54	9,72	5,53	2,81
R3	5,57	8,61	6,24	0,60
R4	4,66	12,54	2,46	6,73
R5	6,71	8,94	2,14	4,15
R6	6,48	9,20	6,08	4,14
R7	3,84	4,78	3,00	4,67
R8	4,07	3,39	7,22	9,27
R9	7,86	11,52	7,31	5,33
R10	**20,36**	13,48	8,61	7,76
Ortalama	6,86	9,01	5,55	4,74

Lastik hammadde hazırlama işine ait tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları Tablo 4.32'de sunulmuştur. Tablodaki 300 gözlem alma durumundaki 2. 8. ve 10.replikasyon dışındaki tüm analiz sonuçlarına ait X^2 değerlerinin kritik değer olan 67,84'ten küçük olduğu, hipotezlerin kabul edildiği ve lastik hammadde hazırlama işini temsil ettiği görülmektedir. Klasik OWAS analizinde 600 gözlem alma durumunda seçilen işi temsil etmeyen kombinasyonlar bulunurken birikimli rassal analizde 300 gözlem alarak yapılan 3 replikasyon dışındaki tüm durumlara ait tüm replikasyonlarda reddedilen bir kombinasyon bulunmamaktadır yani sonuçlarının tümü seçilen işi temsil etmektedir. 10 replikasyon sonucunda elde edilen ortalama

X^2 değerlerine bakıldığında tüm değerlerin kritik değer olan 67,84'ten küçük olduğu ve seçilen işi güvenilir olarak temsil ettiği görülmektedir. Yani lastik hammadde hazırlama işinde klasik OWAS analizi yerine tam rassal olarak analiz ile daha az gözlem ile işi temsil eden güvenilir sonuçlar elde etmek mümkündür.

Tablo 4.32. Lastik hammadde hazırlama, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları

GSa / R	300	600	1200	2400
R1	46,24	45,65	32,61	27,51
R2	**86,44**	51,33	36,32	28,55
R3	32,08	30,28	26,32	32,30
R4	63,07	32,73	32,23	29,35
R5	59,13	40,26	47,32	29,50
R6	63,46	44,32	34,98	22,47
R7	41,73	46,43	46,34	32,37
R8	**73,93**	44,72	33,51	28,13
R9	36,02	40,54	30,46	25,76
R10	**69,81**	47,24	33,73	24,92
Ortalama	57,19	42,35	35,38	28,09

Kapı boyama işine ait tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları Tablo 4.33'te sunulmuştur. Tablodaki 300 gözlem alma durumundaki 7.replikasyon dışındaki tüm analiz sonuçlarına ait X^2 değerlerinin kritik değer olan 39,09'dan küçük olduğu, hipotezlerin kabul edildiği ve kapı boyama işini temsil ettiği görülmektedir. Klasik OWAS analizinde 300, 600 ve 1200 gözlem alma durumunda seçilen işi temsil etmeyen kombinasyonlar bulunurken tam rassal analizde 300 gözlem alarak yapılan 1 replikasyon dışındaki tüm durumlara ait tüm replikasyonlarda reddedilen bir kombinasyon bulunmamaktadır yani sonuçlarının tümü kapı boyama işini güvenilir olarak temsil etmektedir. 10 replikasyon sonucunda elde edilen ortalama X^2 değerlerine bakıldığında tüm değerlerin kritik değer olan 39,09'dan küçük olduğu ve seçilen işi güvenilir olarak temsil ettiği görülmektedir. Yani klasik OWAS analizi yapmak yerine tam rassal olarak analiz yapmanın kapı boyama işini daha iyi temsil ettiği görülmektedir.

Tablo 4.33. Kapı boyama, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları

GS / R	300	600	1200	2400
R1	25,79	20,98	22,72	11,93
R2	24,04	15,62	17,49	6,95
R3	24,37	23,06	11,01	12,75
R4	27,84	18,78	15,35	17,50
R5	20,27	13,77	11,54	11,14
R6	31,01	17,32	17,10	10,35
R7	**58,00**	23,43	13,58	16,35
R8	21,29	35,58	12,52	12,69
R9	35,30	15,32	18,91	12,97
R10	17,86	14,02	14,44	11,80
Ortalama	28,58	19,79	15,46	12,44

Kayrak taşı kaplama işine ait tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları Tablo 4.34'te sunulmuştur.

Tablo 4.34. Kayrak taşı kaplama, tam rassal analiz için Ki-Kare analiz sonuçları

GS / R	300	600	1200	2400
R1	20,14	24,09	26,79	10,80
R2	15,68	14,95	21,88	11,44
R3	18,83	21,84	18,64	8,27
R4	18,31	22,73	19,87	13,40
R5	17,97	8,53	13,46	17,02
R6	11,94	15,12	11,71	12,98
R7	25,54	**42,40**	26,75	21,98
R8	25,29	**45,65**	18,95	16,05
R9	15,23	25,33	19,03	15,50
R10	10,91	13,85	14,23	14,27
Ortalama	17,98	23,45	19,13	14,17

Tablodaki 600 gözlem alma durumundaki 7. ve 8.replikasyon dışındaki tüm analiz sonuçlarına ait X^2 değerlerinin kritik değer olan 29,62'den küçük olduğu, hipotezlerin kabul edildiği ve kayrak taşı kaplama işini temsil ettiği görülmektedir. Klasik OWAS analizinde 300, 600 ve 1200 gözlem alma durumunda seçilen işi temsil etmeyen kombinasyonlar bulunurken birikimli rassal analizde 600 gözlem

alarak yapılan 7. ve 8. replikasyon dışındaki tüm durumlara ait tüm replikasyonlarda reddedilen bir kombinasyon bulunmamaktadır yani sonuçlarının tümü kayrak taşı kaplama işini güvenilir olarak temsil etmektedir. 10 replikasyon sonucunda elde edilen ortalama X^2 değerlerine bakıldığında tüm değerlerin kritik değer olan 29,62'den küçük olduğu ve seçilen işi güvenilir olarak temsil ettiği görülmektedir. Yani klasik OWAS analizi yapmak yerine tam rassal olarak analiz yapmanın kayrak taşı kaplama işini daha iyi temsil ettiği görülmektedir.

4.3.4. OWAS güvenilirliğinin geliştirilmesine yönelik deneysel çalışmalar

Bu tez kapsamında OWAS güvenilirliğinin geliştirilmesine yönelik yapılan deneysel çalışmalar dört grupta toplanmıştır:

a) Kod frekanslarındaki küçük farkların analiz sonuçları üzerin etkisi: Gerçek çalışma ortamlarında tempo ve işin yapılış şeklinde oluşabilecek küçük farklar karşısında OWAS analiz sonuçlarındaki farklılığı test etmek amacıyla seçilen örnek işlerde klasik, birikimli rassal ve tam rassal OWAS analizlerine ait kodların frekans farklılığı analizleri yapılmıştır.

Disk kumlama işinde işe ait tüm kodlardan bir tanesinin silinmesi (örneğin analizde 31320 kodunun 5 saniye değil de 4 saniye süre ile yer alması) durumundaki X^2 değerleri tekrar hesaplanmış ve Tablo 4.35'te gösterilmiştir. Benzer şekilde analizde herhangi bir kod çeşidinin 1 sn daha fazla yer alması durumundaki X^2 değerleri de Tablo 4.36'da gösterilmiştir. Buradaki silme ve ekleme işlemlerinin tüm analize olan etkisini görebilmek için, bu silme ve ekleme işlemleri gözlem süresinin ilk 5 dakikalık kısmında yapılmıştır. Her iki tablodaki değerlere bakıldığında 5 dakikalık gözlem süresi boyunca 1'er saniye aralıklarla 300 gözlem alma durumu dışındaki tüm kombinasyonlara ait X^2 değerlerinin disk kumlama işine ait bu analiz için kritik değer olan 32,01'den küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği görülmektedir. Diğer kombinasyonlara ait X^2 değerlerinde de önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Yani OWAS yönteminin gerçek hayatta yaşanabilecek küçük farklara karşı hassas olmadığını söylemek mümkündür.

Tablo 4.35. Disk kumlama, klasik OWAS analizindeki kodların frekans farklılığı analizi 1

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 **70,77**	600 31,26	1200 12,72	2400 10,82	4800 -
2		300 29,17	600 13,23	1200 10,10	2400 2,62
4			300 17,89	600 16,11	1200 12,58
8				300 16,54	600 14,05
16					300 15,69

Tablo 4.36. Disk kumlama, klasik OWAS analizindeki kodların frekans farklılığı analizi 2

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 **70,44**	600 31,44	1200 12,64	2400 10,88	4800 -
2		300 29,47	600 12,80	1200 11,86	2400 4,39
4			300 24,99	600 17,70	1200 13,83
8				300 22,95	600 15,75
16					300 21,50

Disk kumlama işinde klasik OWAS analizi için yapılan kod frekans farklılığı analizleri, birikimli rassal analizler ve tam rassal analizler için de yapılmış olup sonuçları Tablo 4.37, Tablo 4.38, Tablo 4.39 ve Tablo 4.40'ta gösterilmektedir. Tablodaki değerlere bakıldığında kod frekans farklılığı analizi sonrasında kabul ve red edilen kombinasyon sayıları aynı kalmakla birlikte Ki-Kare değerlerinde de önemli bir değişiklik olmamıştır. Kod frekanslarındaki küçük farkların OWAS analiz sonuçlarına olan etkisini göstermek amacıyla yapılan ve yukarıda disk kumlama işine ait sonuçları sunulan analizler tez kapsamında ele alınan diğer işler için de yapılmıştır. Tüm bu işlerin analiz sonuçlarına göre kod frekanslarındaki küçük farklılıklar sonrasında kabul ve red edilen kombinasyon sayılarında ve Ki-Kare değerlerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Tüm işlerin analizinden elde edilen bu ortak sonuç bize OWAS yönteminin kod frekanslarındaki küçük farkların analiz

sonuçları üzerinde önemli bir etkisi olmadığını göstermektedir. Yani OWAS yönteminin gerçek hayatta yaşanabilecek küçük farklara karşı hassas olmadığını söylemek mümkündür.

Tablo 4.37. Disk kumlama, birikimli rassal OWAS analizindeki kodların frekans farklılığı analizi 1

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 -	600 -	1200 -	2400 -	4800 -
2		300 29,03	600 22,56	1200 15,14	2400 10,42
4			300 22,75	600 21,22	1200 16,61
8				300 22,05	600 18,21
16					300 20,91

Tablo 4.38. Disk kumlama, birikimli rassal OWAS analizindeki kodların frekans farklılığı analizi 2

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 -	600 -	1200 -	2400 -	4800 -
2		300 29,56	600 19,99	1200 17,34	2400 9,82
4			300 21,96	600 18,38	1200 15,05
8				300 27,09	600 17,25
16					300 20,75

Tablo 4.39. Disk kumlama, tam rassal OWAS analizindeki kodların frekans farklılığı analizi 1

GSa / R	300	600	1200	2400
R1	28,26	21,59	15,05	16,38
R2	16,58	26,43	23,14	10,48
R3	14,29	15,44	13,83	10,86
R4	18,64	25,65	21,28	13,38
R5	**37,77**	35,49	15,93	9,31
R6	15,12	18,91	9,77	8,26
R7	17,95	20,53	14,02	11,05
R8	24,85	24,02	12,41	15,93
R9	10,05	17,25	21,85	15,02
R10	15,92	17,72	18,13	14,88
Ortalama	19,94	22,30	16,54	12,56

Tablo 4.40. Disk kumlama, tam rassal OWAS analizindeki kodların frekans farklılığı analizi 2

GSa / R	300	600	1200	2400
R1	20,89	18,56	27,82	10,43
R2	12,24	15,20	15,01	12,20
R3	**38,68**	26,25	19,96	11,51
R4	24,14	18,71	21,56	10,04
R5	28,18	12,46	19,26	7,54
R6	27,84	21,10	22,33	7,28
R7	30,80	16,64	16,52	13,93
R8	27,05	27,38	18,53	20,86
R9	22,98	16,59	15,62	9,38
R10	31,58	10,82	17,72	17,27
Ortalama	26,44	18,37	19,43	12,04

b) Düşük frekanslı kodların analiz sonuçlarına etkisi: Pratik çalışma ortamlarında işlerin yapılması esnasında iş akışında olmayan fakat çeşitli sebeplerden dolayı iş akışına eklenen işlem adımları ile karşılaşılmaktadır. İşin tüm akışı ve çevrim süresi düşünüldüğünde genellikle bu işlem adımlarının sıklıkları düşüktür.

Tablo 4.6’ daki jant imalatı-1 işine ait OWAS analiz sonuçlarına baktığımızda; tüm analiz içerisinde 41310 kodu 18 kez, 31310 kodu 12 kez 11220 kodu ise 6 kez

gözlemlenmiştir. Jant imalatı-1 işinin çevrim süresinin 30 sn. olduğu düşünüldüğünde 80 dakikalık tüm gözlem süresi (4800 gözlem) bu işin 160 çevriminden oluşmaktadır. İş akışında yer alan herhangi bir kodun her çevrim veya işin yapısına göre en az birkaç çevrimde bir gözlemlenmesi beklenmektedir. Jant imalatı-1 işinde 160 değeri yanında çok düşük frekanslara sahip bu kodların gerçek iş akışında olmayan istisnai çalışma duruşlarına ait kodlar olduğu söylenebilir. Bu kodların frekansları çok düşük olduğu için analizlerde bu kodların ihmal edilmesi sonucunda bu kodlara ait çalışma duruş hareketlerinin çalışan için zararlı bir etki oluşturması söz konusu değildir.

Ayrıca Ki–Kare testi yaparken, çok sık yapılan yanlış kullanma hatalarından birisi küçük beklenen frekanslarla çalışılmasıdır. Küçük bir beklenen frekansın X^2 ye katkısı büyük olacaktır. Beklenen değer küçüldükçe X^2 büyüyecektir. Bu durum H_0 hipotezinin reddedilmesi ihtimalini arttırmaktadır (Bircan ve diğ., 2003).

Bu düşük frekanslı kodların göz ardı edilerek analiz dışı tutulmasının analiz sonuçlarına etkisini görebilmek amacıyla yapılan istatistiksel değerlendirmeler aşağıda verilmektedir:

Jant imalatı-1 işine ait düşük frekanslı kodlar (41310, 31310, 11220) analiz kapsamı dışında bırakılarak klasik OWAS analizi tekrar yapılmış ve sonuçları Tablo 4.41'de verilmiştir. Jant imalatı-1 işine ait düşük frekanslı kodların silinmesi durumunda değişen serbestlik derecesi sonucu elde edilen kritik X^2 değeri 6,25 tir.

Tablo 4.41'deki değerler incelendiğinde tüm gözlem süresi-aralık kombinasyonlarına ait X^2 değerlerinin bu analiz için kritik değer olan 6,25'ten küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği ve jant imalatı-1 işini istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde temsil ettiği söylenebilmektedir. Daha detaylı yorum yapabilmek için her bir kombinasyona ait X^2 değerlerine bakmak mümkündür. Tabloda satırlarda soldan sağa doğru gidildikçe ve sütunlarda aşağıdan yukarı çıkıldıkça tüm X^2 değerlerinin küçüldüğü yani seçilen işi temsil etme yeteneğinin arttığı görülmektedir. Farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. Örneğin 80

dakika boyunca 8'er saniye aralıklarla 600 gözlem alınarak yapılan analiz (X^2 =1,99), 10 dakika boyunca 1'er saniye aralıklarla 600 gözlem alınarak yapılan analize (X^2=3,29) göre jant imalatı-1 işini daha iyi temsil etmektedir.

Tablo 4.41. Jant imalatı-1, düşük frekanslı kod farklılığına göre klasik OWAS analizi

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 5,42	600 3,29	1200 1,20	2400 0,51	4800 -
2		300 3,43	600 2,86	1200 0,86	2400 0,39
4			300 3,24	600 2,21	1200 1,37
8				300 2,99	600 1,99
16					300 2,68

Düşük frekanslı kodların analizden çıkarılmamış olması durumunda yapılan klasik OWAS analiz sonuçlarının yer aldığı Tablo 4.7'deki değerler incelendiğinde 5 ve 80 dakikalık gözlem süresinde jant imalatını temsil etmeyen gözlem süresi-aralığı kombinasyonları bulunmaktadır. Ayrıca iş örneklemesinin doğal yapısı olarak beklenen daha uzun gözlem süresine sahip analizlerin işi daha iyi temsil etme durumu da Tablo 4.7' deki değerler ile çelişmektedir. Görüldüğü gibi düşük frekanslı kodların analizde göz ardı edilmesi sonrasında elde edilen sonuçlarda hem reddedilen gözlem süresi-aralığı kombinasyonu bulunmamakta hem de X^2 değerlerinin gözlem sayıları içerisinde dağılımları bu tez kapsamındaki diğer analizlerde elde edilen sonuçlarla (tabloda satırlarda soldan sağa doğru gidildikçe ve sütunlarda aşağıdan yukarı çıkıldıkça tüm X^2 değerlerinin küçülmesi, farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine bakıldığında daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil etmesi vb.) aynı yöndedir.

Tablo 4.8' deki jant imalatı-2 işine ait OWAS analiz sonuçlarına baktığımızda; tüm analiz içerisinde 21310 kodu 31 kez, 41310 kodu 7 kez, 21220 kodu 39 kez, 41220 kodu 44 kez, 12220 kodu 6 kez, 11510 kodu 12 kez, 21410 kodu 6 kez ve 41410 kodu 6 kez gözlemlenmiştir. Jant imalatı-2 işinin çevrim süresinin 30 sn. olduğu

düşünüldüğünde 80 dakikalık tüm gözlem süresi (4800 gözlem) içerisinde düşük frekansa sahip bu kodların analizden çıkarılarak yeniden yapılan klasik OWAS analiz sonuçları Tablo 4.42'de verilmiştir. Jant imalatı-2 işine ait düşük frekanslı kodların silinmesi durumunda değişen serbestlik derecesi sonucu elde edilen kritik X^2 değeri 12,02'dir.

Tablo 4.42'deki değerler incelendiğinde 5 dakikalık gözlem süresi boyunca 1'er saniye aralıklarla 300 gözlem alma durumu dışındaki tüm kombinasyonlara ait X^2 değerlerinin bu analiz için kritik değer olan 12,02'den küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği ve jant imalatı-2 işini istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde temsil ettiği söylenebilmektedir. Daha detaylı yorum yapabilmek için her bir kombinasyona ait X^2 değerlerine bakmak mümkündür. Tabloda satırlarda soldan sağa doğru gidildikçe ve sütunlarda aşağıdan yukarı çıkıldıkça tüm X^2 değerlerinin küçüldüğü yani seçilen işi temsil etme yeteneğinin arttığı görülmektedir. Farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. Örneğin 40 dakika boyunca 8'er saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analiz (X^2=5,71), 10 dakika boyunca 2'şer saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analize (X^2 =8,91) göre jant imalatı-1 işini daha iyi temsil etmektedir.

Tablo 4.42. Jant imalatı-2, düşük frekanslı kod farklılığına göre klasik OWAS analizi

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 **14,37**	600 6,45	1200 3,82	2400 0,09	4800 -
2		300 8,91	600 5,25	1200 3,84	2400 2,89
4			300 6,55	600 4,17	1200 3,37
8				300 5,71	600 4,46
16					300 5,14

Düşük frekanslı kodların analizden çıkarılmamış olması durumunda yapılan klasik OWAS analiz sonuçlarının yer aldığı Tablo 4.9'daki değerler incelendiğinde 80 dakikalık gözlem süresinde jant imalatını temsil etmeyen gözlem süresi-aralığı kombinasyonu bulunmaktadır. Ayrıca iş örneklemesinin doğal yapısı olarak beklenen daha uzun gözlem süresine sahip analizlerin işi daha iyi temsil etme durumu da Tablo 4.9'daki değerler ile çelişmektedir. Görüldüğü gibi düşük frekanslı kodların analizde göz ardı edilmesi sonrasında elde edilen sonuçlar bu tez kapsamındaki diğer analizlerde elde edilen sonuçlarla (tabloda satırlarda soldan sağa doğru gidildikçe ve sütunlarda aşağıdan yukarı çıkıldıkça tüm X^2 değerlerinin küçülmesi, farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine bakıldığında daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil etmesi vb.) paralellik göstermektedir.

c) Gözlem süresinin tam sayıda çevrimi içerip içermemesinin analiz sonuçlarına etkisi: Literatürdeki çalışmalara bakıldığında analizi yapılan işin çevrim süresinin ne olduğu ya da analiz boyunca çevrimin tamamlanıp tamamlanmadığı ile ilgili herhangi bir bilgiye rastlanamamaktadır. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında çevrim süresi ile ilgili bu bakış açıları da değerlendirmeye alınmıştır.

Kısa çevrim süreli işlerde, belirlenen gözlem sürelerine çok sayıda çevrim girdiği için çevrimin tamamlanmamış olmasının analize olan etkisinin çok büyük olmayacağı düşünülmektedir. Örneğin çevrim süresi 30 sn olan bir işin en kısa çevrim süresi olan 5 dakikada yaklaşık 10 tekrarı yapıldığından işin yapılış şekliyle ilgili olası farklılıkların yakalanmaması gibi bir durum söz konusu değildir. Fakat daha uzun çevrim süresine sahip işlerde, kısa gözlem süreleri (örneğin 5 dakika) işlerin tam çevrimlerini kapsamadığından ya da çok az çevrimlerini kapsadığından gözlem süresinin tam sayıda çevrimi içerip içermemesinin analiz sonuçlarına olan etkisine de bakabilmek amacıyla aşağıdaki istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır:

Matkapla delme işinde, bu tez çalışmasında tasarlanan deney düzenindeki en uzun gözlem süresi olan 80 dakikada (4800 gözlem) işin çevrimi tam olarak tamamlanmamıştır. Yani işin gözlem süresi tam sayıda çevrimi içermemektedir. Bu işin çevrim süresinin tamamlanması için gerekli olan 4943 adet gözlem (24 çevrim) dikkate alınarak istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır.

Matkapla delme işinde 24 çevrimlik gözlem süresini kapsayacak şekilde klasik OWAS analizi deney düzeninde kullanılan gözlem aralıkları kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu tez çalışmasında yapılan OWAS analizlerinde alınan örneklerin (gözlem) seçilen işi temsil etmesi için alınması gereken en düşük gözlem sayısı (kritik gözlem sayısı) 271 olarak kabul edilmiş olup 271 gözlemden daha düşük gözlem sayısına sahip gözlem süre ve aralık kombinasyonları, bu analizde de istatistiksel olarak incelemeye alınmamıştır.

Matkapla delme işinin çevrimli analizi için ana kütle olarak kabul edilmiş 4943 adet gözleme ait OWAS analiz sonuçları Tablo 4.43'te verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi analizde 10 farklı kod çeşidi bulunmaktadır. Bu serbestlik derecesine ait kritik değer (X^2) ise Ek A'dan da görülebileceği gibi %90 güven düzeyi için 14,68'dir.

Tablo 4.43. Matkapla delme işine ait çevrim bazında OWAS analiz sonuçları

OWAS Kodu	Sıklığı (Gözlenen Değer)
11210	1176
21210	517
41210	21
31310	48
21310	1302
11310	1690
41310	25
13310	36
11710	125
22210	3
Toplam	4943

Bu tez çalışmasında tasarlanan deney düzeninde yer alan gözlem sayıları için yapılan klasik OWAS analiz sonuçları 4943 gözlem alma durumu için yapılan OWAS analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında matkapla delme işinde yapılan Ki-Kare uygunluk testine ait X^2 değerleri Tablo 4.44'te yer almaktadır.

Tablo 4.44. Matkapla delme-çevrimli, OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları

Çevrim / GA (sn)	3Ç	6Ç	9Ç	12Ç	15Ç	18Ç	21Ç	24Ç
1	549	1205	1869	2418	3074	3738	4287	4943
	35,81	6,44	5,28	4,88	4,52	3,45	1,03	-
2	275	603	935	1209	1537	1869	2144	2472
	21,93	6,47	6,09	5,10	4,80	4,31	1,53	0,26
4		302	468	605	769	935	1072	1236
		10,69	7,73	5,54	5,20	4,36	1,96	0,73
8				303	385	468	536	618
				6,25	5,01	4,89	4,92	1,08
16								309
								2,48

Tablo 4.44'teki değerler incelendiğinde ilk 3 çevrimlik gözlem süresi boyunca 1'er saniye aralıklarla 549 gözlem alma durumu ve 2'şer saniye aralıklarla 275 gözlem alma durumu dışındaki tüm kombinasyonlara ait X^2 değerlerinin bu analiz için kritik değer olan 14,68'den küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği görülmektedir. Bu sonuca göre bu gözlem süresi-aralığı kombinasyonu dışındaki tüm kombinasyonların matkapla delme işini istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde temsil ettiği söylenebilmektedir. Tabloda satırlarda soldan sağa doğru gidildikçe ve sütunlarda aşağıdan yukarı çıkıldıkça tüm X^2 değerlerinin küçüldüğü yani seçilen işi temsil etme yeteneğinin arttığı görülmektedir. Farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. Örneğin 24 çevrim boyunca 8'er saniye aralıklarla 618 gözlem alınarak yapılan analize ait Ki-Kare değeri (X^2=1,08), 12 çevrim boyunca 4'er saniye aralıklarla 605 gözlem alınarak yapılan analize ait Ki-Kare değerine (X^2=5,54) göre küçük bir değerdir. Buna göre 24 çevrim boyunca 8'er saniye aralıklarla yapılan analiz, matkapla delme işini daha iyi temsil etmektedir. Tabloda birbirine yakın gözlem sayılarına ait ikili karşılaştırma sonuçlarından; kısa çevrim sürelerinde küçük gözlem aralıkları ile analiz yapmak yerine daha uzun çevrim sürelerinde daha büyük gözlem aralıkları ile analiz yaparak daha güvenilir sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

Matkapla delme işinin çevrimli analizi sonucunda elde edilen değerler, işin çevrim süresi dikkate alınmaksızın yapılmış olan klasik OWAS analiz sonuçlarına benzer

eğilim göstermektedir. Tablo 4.11 ve Tablo 4.44'teki birbirine yakın gözlem sayısına ait X^2 değerleri incelendiğinde çevrimli analiz yapılması durumunda elde edilen değerlerin (Tablo 4.44) klasik OWAS analizi sonucunda elde edilen değerlerden (Tablo 4.11) çok daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 4.11 ve Tablo 4.44'teki değerlere bakılarak 3 dakikalık çevrim süresine sahip matkap delme işine benzer işlerin analizinde çevrimin tamamlanmış olup olmamasının sonuçlar üzerinde bir etkisinin olmadığı söylenebilmektedir. Matkapla delme işinin çevrim süresinin yaklaşık 3 dakika olduğu göz önüne alınırsa, işi temsil eden güvenilir analizler yapabilmek için yaklaşık 3 çevrimlik bir gözlem süresinin (Tablo 4.11'de 10 dakikalık gözlem süresi, Tablo 4.44'te 3 çevrimlik gözlem süresi) kullanılması gerektiği her iki tablodan da görülmektedir.

Lastik hammadde hazırlama işinin klasik OWAS analiz sonuçlarına bakıldığında (Tablo 4.13) 5, 10 ve 20 dakikalık gözlem süresinde yapılan analizlerin nerdeyse tümünün bu işi temsil etmediği görülmektedir. Ayrıca istisnai bir durumda 80 dakikalık gözlem süresine ait bir analizde karşımıza çıkmaktadır. 80 dakika boyunca 8'er saniye aralıklarla gözlem alarak yapılan analizin lastik hammadde hazırlama işini istatistiksel olarak güvenilir olarak temsil edemediği görülmektedir. Yaklaşık 10-10 dakikalık çevrim süresine (çevrim süresi reçetedeki malzeme sayısına ve bu malzemelerin istiflendiği yere göre değişiklik göstermektedir) sahip lastik hammadde hazırlama işinde, 80 dakikalık gözlem süresinde (4800 gözlem) işin çevrimi tam olarak tamamlanmamıştır. Yani işin gözlem süresi tam sayıda çevrimi içermemektedir. Bu işin çevrim süresinin tamamlanması için gerekli olan 4826 adet gözlem ile istatistiksel değerlendirmeler yapılarak gözlem süresinin tam sayıda çevrimi içerip içermemesinin analiz sonuçlarına etkisi olup olmadığı araştırılmaya çalışılmıştır.

Bu deneysel çalışmada ana kütle olarak kabul edilmiş 4826 gözleme ait OWAS analiz sonuçlarında 55 farklı kod çeşidi bulunmaktadır. Bu kod çeşidine ait serbestlik derecesi 55-1=54 olarak hesaplanmaktadır. Bu serbestlik derecesine ait kritik değer (X^2), Ek A'daki Ki-Kare (X^2) kritik değerler tablosunda yer almadığından interpolasyon yapılarak elde edilmiştir. 55 serbestlik derecesine ait kritik değer (X^2), %90 güven düzeyi için 67,84'tür.

Bu tez çalışmasında tasarlanan deney düzeninde yer alan gözlem sayıları için yapılan klasik OWAS analiz sonuçları 4826 gözlem alma durumu için yapılan OWAS analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında lastik hammadde hazırlama işinde yapılan Ki-Kare uygunluk testine ait X^2 değerleri Tablo 4.45'te yer almaktadır.

Tablo 4.45. Lastik hammadde hazırlama-çevrimli, OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300	600	1200	2400	4800
	205,57	**238,94**	**104,26**	10,95	-
2		300	600	1200	2413
		152,68	**78,62**	23,12	2,62
4			300	600	1207
			58,82	49,85	17,55
8				300	604
				55,40	44,72
16					302
					49,37

Tablo 4.45'teki değerler incelendiğinde 5 ve 10 dakikalık tüm gözlem sürelerinde, 20 dakika boyunca 1'er ve 2'şer saniye aralıklarla 1200 ve 600 gözlem alma durumu dışındaki kombinasyonlara ait X^2 değerlerinin bu analiz için kritik değer olan 67,84'ten küçük olduğu ve hipotezlerin kabul edildiği görülmektedir. Bu sonuca göre bu gözlem süresi-aralığı kombinasyonları dışındaki kombinasyonların lastik hammadde hazırlama işini istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde temsil ettiği söylenebilmektedir. Tabloda satırlarda soldan sağa doğru gidildikçe ve sütunlarda aşağıdan yukarı çıkıldıkça tüm X^2 değerlerinin küçüldüğü yani seçilen işi temsil etme yeteneğinin arttığı görülmektedir. Farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine baktığımızda; daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir. Örneğin 16'şar saniye aralıklarla 302 gözlem alınarak yapılan analize ait Ki-Kare değeri (X^2=49,37), 20 dika boyunca 4'er saniye aralıklarla 300 gözlem alınarak yapılan analize ait Ki-Kare değerine (X^2=58,82) göre küçük bir değerdir. Buna göre çevrimin tamamlanmış olması durumunda (4826 sn) 8'er saniye aralıklarla yapılan analiz, lastik hammadde hazırlama işini daha iyi temsil etmektedir. Tabloda birbirine yakın gözlem sayılarına ait ikili karşılaştırma

sonuçlarından; kısa çevrim sürelerinde küçük gözlem aralıkları ile analiz yapmak yerine daha uzun çevrim sürelerinde daha büyük gözlem aralıkları ile analiz yaparak daha güvenilir sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

Tablo 4.13 ve Tablo 4.45'teki değerler incelendiğinde işi temsil edemeyen gözlem süresi-aralığı kombinasyonları lastik hammadde hazırlama işinin klasik OWAS analizi (Tablo 4.13) sonucunda da aynı şekilde işi temsil etmeyen kombinasyonlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Tablo 4.13'teki 80 dakikalık gözlem süresine ait işi temsil etmeyen 600 gözlemlik bir analiz bulunurken çevrimin tamamlanması ile (604 gözlem) işi güvenilir bir şekilde temsil eder bir analiz durumuna gelmiştir.

Görüldüğü gibi sadece 26 adet çalışma duruşuna ait kodun analize eklenerek çevrimin tamamlanması sonrasında elde edilen sonuçlarda (Tablo 4.45) hem reddedilen gözlem süresi-aralığı kombinasyonu azalmakta hem de X^2 değerlerinin gözlem sayıları içerisinde dağılımları bu tez kapsamındaki diğer analizlerde elde edilen sonuçlarla (tabloda satırlarda soldan sağa doğru gidildikçe ve sütunlarda aşağıdan yukarı çıkıldıkça tüm X^2 değerlerinin küçülmesi, farklı gözlem süresi ve gözlem aralığında alınan aynı gözlem sayılarına ait X^2 değerlerine bakıldığında daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil etmesi vb.) aynı yönde eğilim göstermeye başlamıştır.

Tablo 4.13 ve Tablo 4.45'teki birbirine yakın gözlem sayısına ait X^2 değerleri incelendiğinde çevrimli analiz yapılması durumunda elde edilen değerlerin (Tablo 4.45) klasik OWAS analizi sonucunda elde edilen değerlerden (Tablo 4.13) çok daha düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 4.13 ve Tablo 4.45'teki değerlere bakılarak 10-12 dakikalık çevrim süresine sahip lastik hammadde hazırlama işine benzer işlerin analizinde çevrimin tamamlanmış olmasının sonuçlar üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu söylenebilmektedir. Lastik hammadde hazırlama işinin çevrim süresinin yaklaşık 10-12 dakika olduğu göz önüne alınırsa, işi temsil eden güvenilir analizler yapabilmek için yaklaşık 3 çevrimlik bir gözlem süresinin (Tablo 4.13 ve Tablo 4.45) kullanılması gerektiği her iki tablodan (Tablo 4.13 ve Tablo 4.45) da görülmektedir.

d) Çevrimler arası farklılıkların analiz sonuçları üzerine etkisi: Gerçek çalışma ortamlarında işe ait her çevrimin farklı sürelerde tamamlandığı görülebilmektedir. Bu farklı sürelere sahip çevrimlerin gözlem süresi içerisindeki sıralarının değişmesinin analiz sonuçları üzerinde herhangi bir etkisinin olup olmadığını araştırabilmek amacıyla aşağıdaki istatistiksel çalışma yapılmıştır:

Lastik hammadde hazırlama işinde 5 çevrimlik gözlem süresini kapsayacak şekilde klasik OWAS analizi deney düzeninde kullanılan gözlem aralıkları kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu tez çalışmasında yapılan OWAS analizlerinde alınan örneklerin (gözlem) seçilen işi temsil etmesi için alınması gereken en düşük gözlem sayısı (kritik gözlem sayısı) 271 olarak kabul edilmiş olup 271 gözlemden daha düşük gözlem sayısına sahip gözlem süre ve aralık kombinasyonları, bu analizde de istatistiksel olarak incelemeye alınmamıştır.

Tablo 4.46. Lastik hammadde hazırlama-beş çevrimli, OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları

Çevrim / GA (sn)	1Ç	2Ç	3Ç	4Ç	5Ç
1	635 **359,09**	1060 **183,49**	1547 **105,23**	2113 35,36	2713 -
2		530 **108,03**	774 67,48	1057 24,62	1357 14,29
4			387 56,65	529 33,16	679 29,78
8					340 66,32
16					

Lastik hammadde hazırlama işinde serbestlik derecesine ait kritik değer (X^2) Ek A'dan %90 güven düzeyi için 67,84'tür. Tasarlanan deney düzeninde yer alan gözlem sayıları için yapılan OWAS analiz sonuçları 2713 gözlem alma durumu için yapılan OWAS analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında yapılan Ki-Kare uygunluk testine ait X^2 değerleri Tablo 4.46'da yer almaktadır. İşe ait çevrim sırasının 3, 2, 5, 1 ve 4. çevrimler olarak değiştirilmesi sonucunda elde edilen deney düzeni de Tablo 4.47'de verilmektedir.

Tablo 4.47. Lastik hammadde hazırlama çevrim sırası değiştirilmiş OWAS analizi için Ki-Kare analiz sonuçları

Çevrim / GA (sn)	1Ç	2Ç	3Ç	4Ç	5Ç
1	487 **103,67**	912 **144,76**	1512 **93,82**	2147 26,41	2713 -
2		530 **76,06**	774 62,94	1057 30,42	1357 12,96
4			387 45,95	529 36,37	679 30,39
8					340 58,69
16					

Tablo 4.46 ve Tablo5.47'deki değerler incelendiğinde 4.çevrim ve 5. Çevrimde yapılan analizler işi güvenilir bir şekilde temsil ederken her iki analizde de işi temsil etmeyen çevrim-gözlem aralığı kombinasyonları aynıdır. Tablo 4.46 ve Tablo 4.47'deki aynı gözlem sayısına ait X^2 değerlerine bakıldığında işin çevrim sırasının değiştirilmesi sonucunda elde edilen değerler, mevcut çevrim sırası kullanılarak yapılan analiz sonucunda elde edilen değerler ile benzer eğilim göstermektedir. Bu bize analizlerde çevrimlerin sırasının değiştirilmiş olmasının analiz sonuçları üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı göstermektedir.

Gerçek çalışma ortamlarında işe ait çevrimlerde süre farklılıkları yaşanmasının bir sebebi de işlerin farklı çalışanlar tarafından farklı şekillerde yapılıyor olmasıdır. Çalışanın robotik bir yapıya sahip olmadığı düşünüldüğünde aynı çalışanın bile işi her seferinde aynı yapmıyor olması da doğaldır. Çevrimler arası bu farklılıkların analiz sonuçlarına olan etkilerine bakabilmek amacıyla aşağıdaki deneysel çalışmalar yapılmıştır:

Lastik hammadde hazırlama işinde (Tablo 4.46) birinci çevrime ait 635 gözlemin tüm iş boyunca beş çevrim boyunca tekrarlanması durumu için tasarlanmış teorik deney düzeni ve bu gözlemlere ait analiz sonuçları Tablo 4.48'de verilmektedir. Bu analizde 41 farklı çeşit kod bulunmakta olup serbestlik derecesi 40'a ait kritik değer (X^2) Ek A'dan %90 güven düzeyi için 52,94'tür.

Bu tez çalışmasında yapılan OWAS analizlerinde alınan örneklerin (gözlem) seçilen işi temsil etmesi için alınması gereken en düşük gözlem sayısı (kritik gözlem sayısı)

271 olarak kabul edilmiş olup 271 gözlemden daha düşük gözlem sayısına sahip gözlem süre ve aralık kombinasyonları, bu bölümdeki analizlerde de istatistiksel olarak incelemeye alınmamıştır.

Tablo 4.48'daki değerlere bakıldığında 1 saniyelik gözlem süresi dışındaki gözlem süresi-aralığı kombinasyonlarının X^2 değerleri 0 olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum peş peşe eklenen çevrimin tek sayıda gözlem (635) içermesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü çift sayılı çevrimlerde ilk çevrimde yakalanamayan kodlar alındığından işin tümü analiz edilmekte ve dolayısıyla Ki-Kare analizi sonucunda X^2 değerleri 0 olmaktadır. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırarak daha sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için çift sayıda gözlem sayısı (566 gözlem) içeren bir başka çevrim peş peşe eklenerek yeni bir deney düzeni oluşturulmuş ve bu deney düzenindeki gözlemlere ait Ki-Kare analiz sonuçları Tablo 4.49'da verilmiştir. Bu analizde 31 farklı çeşit kod bulunmakta olup serbestlik derecesi 30'a ait kritik değer (X^2) Ek A'dan %90 güven düzeyi için 40,26'dır. Tablo 4.49'da, tek sayıda gözlem sayısı içeren çevrimlerin eklenmesi durumunda ortaya çıkan olumsuzluk ortadan kalktığı için 1 sn gözlem aralığı dışındaki hiçbir gözlem süresi-aralığına ait X^2 değeri 0 değildir.

Tablo 4.48. Tek sayıda gözlem sayısı içeren aynı çevrimin tekrarlaması durumundaki çevrimler arası farklılık analizi

Çevrim / GA (sn)	1Ç	2Ç	3Ç	4Ç	5Ç
1	635 0,00	1270 0,00	1905 0,00	2540 0,00	3175 -
2	318 14,62	635 0,00	953 4,88	1270 0,00	1588 2,93
4		318 21,18	477 6,54	635 0,00	794 4,39
8					397 11,30
16					

Tablo 4.49'daki değerler Tablo 4.46'daki değerler ile karşılaştırıldığında, çevrimlerin bire bir aynı olmadığı durumda (Tablo 4.46) yapılan analizde ilk 3 çevrim boyunca örnek alınan işi temsil etmeyen gözlem süresi-aralığı kombinasyonları bulunmaktadır.

Tablo 4.49. Çift sayıda gözlem sayısı içeren aynı çevrimin tekrarlaması durumundaki çevrimler arası farklılık analizi 1

Çevrim / GA (sn)	1Ç	2Ç	3Ç	4Ç	5Ç
1	566 0,00	1132 0,00	1698 0,00	2264 0,00	2830 -
2	283 6,48	566 12,97	849 19,43	1132 25,93	1415 32,41
4		283 6,48	425 12,88	566 12,97	708 17,34
8				283 6,48	354 12,36
16					

Ayrıca Tablo 4.49'daki değerlerin Tablo 4.46'daki değerlere göre çok daha düşük değerler olduğu görülmektedir. Bu noktada değerlerin yüksek olması gerçek çalışma ortamlarında çevrimlerin farklı yapılıyor olmasından kaynaklanmaktadır denebilir. Daha önce de belirtildiği gibi lastik hammadde hazırlama işinde gerçek çalışma ortamlarında işi istatistiksel olarak güvenilir bir şekilde analiz edebilmek için en az 3 çevrimlik bir gözlem süresi kullanılması gerekmektedir. Fakat çevrimlerin bire bir aynı olduğu teorik duruma bakıldığında tek çevrimlik gözlem süresi bile güvenilir analizler yapabilmek için yeterli olmaktadır.

Tablo 4.49'daki 566 gözleme sahip çevrimler peş peşe eklenmiş fakat bu tez çalışmasında ele alınan en uzun gözlem süresi olan 80 dakikada çevrim tamamlanmamıştır. Çevrimlerin birebir aynı olduğu fakat çevrimlerin tam olarak tamamlanamadığı analizlerdeki durumu değerlendirmek için oluşturulmuş teorik deney düzeni ve bu düzendeki gözlemlere ait Ki-Kare analiz sonuçları Tablo 4.50'de verilmektedir. Aynı işe ait çevrimlerin gerçek çalışma ortamında yapılması durumunda elde edilen analiz sonuçları (Tablo 4.13) ile çevrimlerin bire bir aynı olması durumunda elde edilen analiz sonuçları (Tablo 4.50) (çevrimin analiz sonucunda tamamlanmamış olması koşuluyla) incelendiğinde Tablo 4.13'te örnek alınan işi temsil etmeyen birden fazla gözlem süresi-aralığı kombinasyonları bulunmaktadır. Tablo 4.50'de sadece 5 dakikalık gözlem süresi boyunca 300 gözlem alma durumundaki X^2 değeri kritik değer olan 40,26'dan büyüktür ve seçilen işi temsil etmemektedir. Ayrıca Tablo 4.50'deki değerlerin Tablo 4.13'teki değerlere göre çok daha düşük değerler olduğu görülmektedir. Birebir aynı çevrimlerin

kullanıldığı fakat gözlem süresinde çevrimin tamamlanmamış olduğu bu analizden elde edilen sonuçlar bir önceki analizde ele edilen sonuçları desteklemekte olup çevrimler arası farklılıkların analiz sonuçları üzerinde anlamlı bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.50. Çift sayıda gözlem sayısı içeren aynı çevrimin tekrarlaması durumundaki çevrimler arası farklılık analizi 2

GS (dk) / GA (sn)	5	10	20	40	80
1	300 **44,68**	600 3,96	1200 3,11	2400 2,29	4800 -
2		300 10,52	600 16,95	1200 30,46	2400 55,69
4			300 10,41	600 16,32	1200 27,10
8				300 12,08	600 16,55
16					300 9,43

4.4. İstatistiksel Sonuçların Yorumlanması

Bu tez çalışmasında, OWAS yönteminin kullanıldığı çalışma duruşu analizlerinde istatistiksel olarak belirli düzeyde güvenilir sonuçlar elde edebilmesi için gerekli olan analiz koşullarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla tez kapsamında ele alınan örnek işler için oluşturulan çeşitli gözlem süre ve aralık kombinasyonlarına ait Ki-Kare uygunluk test sonuçlarına bir önceki bölümde yer verilmektedir. Bu sonuçları daha iyi yorumlayabilmek için bu bölümde, tez kapsamında ele alınan deneme planlarına ait Ki-Kare uygunluk test sonuçlarına "Wilcoxon İşaretli Sıra Sayıları Testi (Wilcoxon Signed Rank Tests)" uygulanmıştır. Aynı ana kütleden farklı koşullar altında elde edilen iki farklı veri setini karşılaştırabilmesi nedeniyle "Wilcoxon İşaretli Sıra Sayıları Testi (Wilcoxon Signed Rank Tests)" uygun bir test olarak seçilmiştir.

Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi araştırmaya konu olan örneklem, iki durumda ya da iki farklı koşulda ölçülüyorsa kullanılmaktadır ve aynı birimlere ait farklı olayın ana kütle dağılımlarının birbirlerine benzer olup olmadığını incelemektedir (Çilingirtürk, 2011).

Bu tez kapsamında ele alınan farklı deneme planlarına ait Ki-Kare uygunluk test sonuçları arasında fark olup olmadığını belirleyebilmek için kullanılan Wilcoxon işaretli sıra sayıları testinde anlamlılık "α" düzeyi "0,05" olarak alınmıştır. "α = 0,05" ise; testin güven düzeyi "1-α = 0,95" olarak hesaplanmaktadır. Testin gerçekleştirilebilmesi için SPSS 20 paket programı kullanılmış ve test iki taraflı olarak uygulanmıştır. Testin uygulanmasında kurulan hipotezler de aşağıdaki gibidir:

H_0: Ele alınan farklı deneme planlarına ait Ki-Kare analiz sonuçları arasında fark yoktur.
H_1: Ele alınan farklı deneme planlarına ait Ki-Kare analiz sonuçları arasında fark vardır.

Bu tez kapsamında ele alınan ve daha önceki bölümlerde detaylı olarak tanıtılıp analizleri yapılan bütün işlere ait analiz sonuçları için Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi uygulanmış, sonuçları ve yorumları aşağıda listelenmiştir:

a) Disk kumlama işi için iki farklı deneme planına ait Ki-Kare değerleri Tablo 4.51'de verilmiştir.

Tablo 4.51. Disk kumlama işi için iki farklı deneme planına ait Ki-Kare değerleri

Gözlem Sayısı	Klasik OWAS	Birikimli Rassal OWAS
300 (GA=2 sn., GS=10 dk.)	31,29	31,36
600 (GA=2 sn., GS=20 dk.)	18,06	16,29
1200 (GA=2 sn., GS=40 dk.)	14,20	15,50
2400 (GA=2 sn., GS=80 dk.)	4,13	9,27
300 (GA=4 sn., GS=20 dk.)	20,99	22,05
600 (GA=4 sn., GS=40 dk.)	15,13	19,26
1200 (GA=4 sn., GS=80 dk.)	11,49	17,72
300 (GA=8 sn., GS=40 dk.)	16,11	20,90
600 (GA=8 sn., GS=80 dk.)	12,78	17,34
300 (GA=16 sn., GS=80 dk.)	14,72	19,97

Disk kumlama işine ait klasik OWAS analizi (Tablo5.5) ile birikimli rassal OWAS analizine (Tablo 4.20) ait Ki-Kare analiz sonuçlarına Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi uygulanması sonucunda elde edilen Ki-Kare değerlerinin "eleman sayısı (N),

ortalama (ort.)", "standart sapma (σ)", "z(Z)" tablo değerleri ve "p" test istatistiği değerlerine ilişkin bilgiler Tablo 4.52'de yer almaktadır.

Tablo 4.52. Disk kumlama, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları

Deneme Planları	N	Ort	σ	Z	p	H_0 Kabul/Red
Klasik OWAS analizi	10	15,89	6,99	-2,395	0,017<0,05	Red
Birikimli rassal OWAS analizi	10	18,96	5,63			

Tablo 4.52'e bakıldığında H_o hipotezinin reddedildiği görülmektedir. Bu sonuç bize klasik OWAS analizinden elde dilen sonuçlar ile birikimli rassal OWAS analizinden elde edilen sonuçlar arasında fark bulunduğunu göstermektedir. Tablo 4.5 ve Tablo 4.20'deki Ki-Kare analiz sonuçlarına bakılarak disk kumlama işinin analizinde klasik OWAS analizinin rassal OWAS analizine göre işi daha iyi temsil eden sonuçlar ürettiği söylenebilmektedir.

Disk kumlama işine ait tam rassal analizin, gözlem süresinin tümü dikkate alınarak yapıldığı göz önüne alındığında Tablo 4.28'in ortalama değerlerinin Tablo 4.5'in 80 dakikalık gözlem süresine sahip sütunundaki değerler ile karşılaştırılabilir olduğu söylenebilmektedir. Fakat bu 4 değerin serbestlik derecesinin düşük olmasından dolayı bu değerlere Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi uygulanamamaktadır. Tablo 4.5'deki değerler (4,13; 11,49; 12,78; 14,72) Tablo 4.28'deki değerler (12,94; 17,91; 19,37; 20,10) ile ikili olarak karşılaştırıldığında klasik OWAS analizi ile elde edilen Ki-Kare analiz sonuçlarının daha düşük olduğu görülmektedir. Burada sezgisel bir değerlendirme ile klasik OWAS analizinin tam rassal analize göre seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir.

b) Jant imalatı-1 işine ait klasik OWAS analizi (Tablo 4.7) ile birikimli rassal OWAS analizine (Tablo 4.21) ait Ki-Kare değerlerine Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi uygulanması sonucunda elde edilen istatistikler Tablo 4.53'te yer almaktadır.

Tablo 4.53. Jant imalatı-1, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları

Deneme Planları	N	Ort	σ	Z	p	H_0 Kabul/Red
Klasik OWAS analizi	10	6,47	4,15	-1,172	0,241>0,05	Kabul
Birikimli rassal OWAS analizi	10	4,25	1,16			

Tablo 4.53'e bakıldığında H_o hipotezinin kabul edildiği görülmektedir. Bu sonuç bize klasik OWAS analizinden elde dilen sonuçlar ile birikimli rassal OWAS analizinden elde edilen sonuçlar arasında fark bulunmadığını göstermektedir.

Jant imalatı-1 işine ait klasik OWAS analizi (Tablo 4.7) ile tam rassal OWAS analizi (Tablo 4.29) sonucunda elde edilen Ki-Kare analiz değerlerine bakılarak sezgisel bir değerlendirme ile klasik OWAS analizi ile tam rassal analiz arasında işi temsil etme açısından belirgin bir fark görülmemektedir.

c) Jant imalatı-2 işine ait klasik OWAS analizi (Tablo 4.9) ile birikimli rassal OWAS analizine (Tablo5.22) ait Ki-Kare değerlerine Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi uygulanması sonucunda elde edilen istatistikler Tablo 4.54'te yer almaktadır.

Tablo 4.54. Jant imalatı-2, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları

Deneme Planları	N	Ort	σ	Z	p	H_0 Kabul/Red
Klasik OWAS analizi	10	10,44	8,16	-0,153	0,878>0,05	Kabul
Birikimli rassal OWAS analizi	10	9,39	2,35			

Tablo 4.54'e bakıldığında H_o hipotezinin kabul edildiği görülmektedir. Bu sonuç bize jant imalatı-2 işinde klasik OWAS analizinden elde dilen sonuçlar ile birikimli rassal OWAS analizinden elde edilen sonuçlar arasında fark bulunmadığını göstermektedir.

Jant imalatı-2 işine ait klasik OWAS analizi (Tablo 4.9) ile tam rassal OWAS analizi (Tablo 4.30) sonucunda elde edilen Ki-Kare analiz değerlerine bakılarak sezgisel bir değerlendirme ile klasik OWAS analizi ile tam rassal analiz arasında işi temsil etme açısından belirgin bir fark görülmemektedir.

d) Matkapla delme işine ait klasik OWAS analizi (Tablo 4.11) ile birikimli rassal OWAS analizine (Tablo 4.23) ait Ki-Kare değerlerine Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi uygulanması sonucunda elde edilen istatistikler Tablo 4.55'te yer almaktadır.

Tablo 4.55. Matkapla delme, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları

Deneme Planları	N	Ort	σ	Z	p	H_0 Kabul/Red
Klasik OWAS analizi	10	4,52	6,17	-2,703	0,007<0,05	Red
Birikimli rassal OWAS analizi	10	7,99	5,14			

Tablo 4.55'e bakıldığında H_o hipotezinin reddedildiği görülmektedir. Bu sonuç bize klasik OWAS analizinden elde dilen sonuçlar ile birikimli rassal OWAS analizinden elde edilen sonuçlar arasında fark bulunduğunu göstermektedir. Tablo 4.11 ve Tablo 4.23'deki Ki-Kare analiz sonuçlarına bakılarak disk kumlama işinin analizinde klasik OWAS analizinin rassal OWAS analizine göre işi daha iyi temsil eden sonuçlar ürettiği söylenebilmektedir.

Tam rassal analizin, gözlem süresinin tümü dikkate alınarak yapıldığı göz önüne alındığında Tablo 4.31'in ortalama değerlerinin Tablo 4.11'in 80 dakikalık gözlem süresine sahip sütunundaki değerler ile karşılaştırılabilir olduğu söylenebilmektedir. Tablo 4.11'deki değerler (0,28; 0,78; 1,31; 2,00) Tablo 4.31'deki değerler (4,74; 5,55; 9,01; 6,86) ile ikili olarak karşılaştırıldığında klasik OWAS analizi ile elde edilen Ki-Kare analiz sonuçlarının daha düşük olduğu görülmektedir. Burada sezgisel bir değerlendirme ile matkapla delme işinde klasik OWAS analizinin tam rassal analize göre seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir.

Bu tez çalışmasında gözlem süresinin tam sayıda çevrimi içerip içermemesinin analiz sonuçlarına etkisine bakabilmek amacıyla tasarlanan matkapla delme işine ait çevrimli deney düzenine ait Ki-Kare analiz sonuçları Tablo 4.44'te yer almaktadır.

Matkapla delme işine ait klasik OWAS analizi (Tablo 4.11) ile çevrimli OWAS analizine (Tablo 4.44) ait Ki-Kare değerlerine Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi uygulanması sonucunda elde edilen istatistikler Tablo 4.56'da yer almaktadır. Wilcoxon işaretli sıra sayıları testinde karşılaştırılan veri ikilileri belirlenirken, klasik

OWAS analizine ait Tablo 4.11'de yer alan gözlem sayıları ile Tablo5.44'de bu sayılara yakın sayıda gözlem içeren değerler kullanılmıştır.

Tablo 4.56. Matkapla delme-çevrimli, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları

Deneme Planları	N	Ort	σ	Z	p	H_0 Kabul/Red
Klasik OWAS analizi	13	7,65	11,15	-0,979	0,328>0,05	Kabul
Birikimli rassal OWAS analizi	13	8,28	9,98			

Tablo 4.56'ya bakıldığında H_o hipotezinin kabul edildiği görülmektedir. Bu sonuç bize klasik OWAS analizinden elde dilen sonuçlar ile çevrimli OWAS analizinden elde edilen sonuçlar arasında fark bulunmadığını göstermektedir.

Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi ile elde edilen bu sonuç, Bölüm 4.3.4'te yapılan istatistiksel analizler sonucunda elde edilen "matkap delme işinin analizinde çevrimin tamamlanmış olup olmamasının sonuçlar üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur" sonucu ile paralellik göstermektedir.

Matkapla delme işinin çevrim süresinin yaklaşık 3 dakika olduğu göz önüne alınırsa, işi temsil eden güvenilir analizler yapabilmek için yaklaşık 3 çevrimlik bir gözlem süresinin (Tablo 4.11'de 10 dakikalık gözlem süresi, Tablo 4.44'te 3 çevrimlik gözlem süresi) kullanılması gerektiği her iki tablodan da görülmektedir.

e) Lastik hammadde hazırlama işine ait klasik OWAS analizi (Tablo 4.13) ile birikimli rassal OWAS analizine (Tablo 4.24) ait Ki-Kare değerlerine Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi uygulanması sonucunda elde edilen istatistikler Tablo 4.57'de yer almaktadır.

Tablo 4.57. Lastik hammadde hazırlama, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları

Deneme Planları	N	Ort	σ	Z	p	H_0 Kabul/Red
Klasik OWAS analizi	10	66,11	44,77	-0,561	0,575>0,05	Kabul
Birikimli rassal OWAS analizi	10	60,27	47,55			

Tablo 4.57'ye bakıldığında H_o hipotezinin kabul edildiği görülmektedir. Bu sonuç bize lastik hammadde hazırlama işinde klasik OWAS analizinden elde dilen sonuçlar ile birikimli rassal OWAS analizinden elde edilen sonuçlar arasında fark bulunmadığını göstermektedir.

Bu tez çalışmasında gözlem süresinin tam sayıda çevrimi içerip içermemesinin analiz sonuçlarına etkisine bakabilmek amacıyla tasarlanan lastik hammadde hazırlama işine ait çevrimli deney düzenine ait Ki-Kare analiz sonuçları Tablo 4.45'te yer almaktadır.

Lastik hammadde hazırlama işine ait klasik OWAS analizi (Tablo 4.13) ile çevrimli OWAS analizine (Tablo 4.45) ait Ki-Kare değerlerine Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi uygulanması sonucunda elde edilen istatistikler Tablo 4.58'de yer almaktadır.

Tablo 4.58. Lastik hammadde hazırlama-çevrimli, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları

Deneme Planları	N	Ort	σ	Z	p	H_0 Kabul/Red
Klasik OWAS analizi	14	78,03	72,79	-2,542	0,011<0,05	Red
Birikimli rassal OWAS analizi	14	91,68	79,02			

Tablo 4.58'e bakıldığında H_o hipotezinin reddedildiği görülmektedir. Bu sonuç bize lastik hammadde hazırlama işinde klasik OWAS analizinden elde dilen sonuçlar ile çevrimli OWAS analizinden elde edilen sonuçlar arasında fark bulunduğunu göstermektedir. Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi ile elde edilen bu sonuç, Bölüm 5.3.4'te yapılan istatistiksel analizler sonucunda elde edilen "lastik hammadde hazırlama işinin analizinde çevrimin tamamlanmış olmasının sonuçlar üzerinde olumlu bir etkisi vardır" sonucu ile paralellik göstermektedir. Lastik hammadde hazırlama işinin çevrim süresinin yaklaşık 10-12 dakika olduğu göz önüne alınırsa, işi temsil eden güvenilir analizler yapabilmek için yaklaşık 3 çevrimlik bir gözlem süresinin kullanılması gerektiği her iki tablodan (Tablo 4.13 ve Tablo 4.45) da görülmektedir.

f) Kapı boyama işine ait klasik OWAS analizi (Tablo 4.15) ile birikimli rassal OWAS analizine (Tablo 4.25) ait Ki-Kare değerlerine Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi uygulanması sonucunda elde edilen istatistikler Tablo 4.59'da yer almaktadır.

Tablo 4.59. Kapı boyama, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları

Deneme Planları	N	Ort	σ	Z	p	H_0 Kabul/Red
Klasik OWAS analizi	10	28,77	39,49	-2,803	0,005<0,05	Red
Birikimli rassal OWAS analizi	10	40,05	52,46			

Tablo 4.59'a bakıldığında H_o hipotezinin reddedildiği görülmektedir. Bu sonuç bize klasik OWAS analizinden elde dilen sonuçlar ile birikimli rassal OWAS analizinden elde edilen sonuçlar arasında fark bulunduğunu göstermektedir. Tablo 4.15 ve Tablo 4.25'deki Ki-Kare analiz sonuçlarına bakılarak kapı boyama işinin analizinde klasik OWAS analizinin rassal OWAS analizine göre işi daha iyi temsil eden sonuçlar ürettiği söylenebilmektedir.

Tam rassal analizin, gözlem süresinin tümü dikkate alınarak yapıldığı göz önüne alındığında Tablo 4.33'ün ortalama değerlerinin Tablo 4.15'in 80 dakikalık gözlem süresine sahip sütunundaki değerler ile karşılaştırılabilir olduğu söylenebilmektedir. Tablo 4.15'deki değerler (6,54; 7,82; 11,41; 18,69) Tablo 4.33'deki değerler (12,44; 15,46; 19,79; 28,58) ile ikili olarak karşılaştırıldığında klasik OWAS analizi ile elde edilen Ki-Kare analiz sonuçlarının daha düşük olduğu görülmektedir. Burada sezgisel bir değerlendirme ile kapı boyama işinde klasik OWAS analizinin tam rassal analize göre seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir.

g) Kayrak taşı kaplama işine ait klasik OWAS analizi (Tablo 4.17) ile birikimli rassal OWAS analizine (Tablo 4.26) ait Ki-Kare değerlerine Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi uygulanması sonucunda elde edilen istatistikler Tablo 4.60'ta yer almaktadır.

Tablo 4.60. Kayrak taşı kaplama, Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları

Deneme Planları	N	Ort	σ	Z	p	H_0 Kabul/Red
Klasik OWAS analizi	10	83,77	102,07	-2,803	0,005<0,05	Red
Birikimli rassal OWAS analizi	10	99,90	108,99			

Tablo 4.60'a bakıldığında H_o hipotezinin reddedildiği görülmektedir. Bu sonuç bize klasik OWAS analizinden elde dilen sonuçlar ile birikimli rassal OWAS analizinden elde edilen sonuçlar arasında fark bulunduğunu göstermektedir. Tablo 4.17 ve Tablo

4.26'daki Ki-Kare analiz sonuçlarına bakılarak kayrak taşı kaplama işinin analizinde klasik OWAS analizinin rassal OWAS analizine göre işi daha iyi temsil eden sonuçlar ürettiği söylenebilmektedir.

Tam rassal analizin, gözlem süresinin tümü dikkate alınarak yapıldığı göz önüne alındığında Tablo 4.34'ün ortalama değerlerinin Tablo 4.15'in 80 dakikalık gözlem süresine sahip sütunundaki değerler ile karşılaştırılabilir olduğu söylenebilmektedir. Tablo 4.15'deki değerler (1,66; 4,21; 7,33; 7,27) Tablo 4.34'deki değerler (14,17; 19,13; 23,45; 17;98) ile ikili olarak karşılaştırıldığında klasik OWAS analizi ile elde edilen Ki-Kare analiz sonuçlarının daha düşük olduğu görülmektedir. Burada sezgisel bir değerlendirme ile kayrak taşı kaplama işinde klasik OWAS analizinin tam rassal analize göre seçilen işi daha iyi temsil ettiği söylenebilmektedir.

Tezin 4.3. nolu bölümünde yapılan analizler ile "aynı gözlem sayısı kullanılması koşulu ile mümkün olan en uzun gözlem süresinde gözlemleri daha seyrek almak (daha uzun gözlem aralığı) seçilen işi temsil etme açısından daha iyi sonuçlar vermektedir" sonucunun elde edildiği görülmektedir. Burada ifade edilen aynı gözlem sayısına sahip farklı gözlem süresindeki analizler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirleyebilmek için Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi uygulanmıştır.

Tablo 4.61. 300 gözlem için elde edilmiş Ki-Kare değerleri

İşler	Gözlem Süresi (dk.)	
	40	80
Disk kumlama	16,11	14,72
Jant imalatı-1	4,26	5,02
Jant imalatı-2	4,58	4,56
Matkapla delme	2,29	2,00
Lastik hammadde hazırlama	66,21	60,09
Kapı boyama	20,92	18,69
Kayrak taşı kaplama	37,03	7,27

Çalışma kapsamındaki tüm işlere ait farklı gözlem sürelerinde alınmış aynı gözlem sayısında (300 gözlem) elde edilen Ki-Kare değerlerine (Tablo 4.61) Wilcoxon

işaretli sıra sayıları test uygulanması sonucunda elde edilen istatistikler Tablo 4.62'de yer almaktadır.

Tablo 4.62. 300 gözlem için Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları

Deneme Planları	N	Ort	σ	Z	p	H_0 Kabul/Red
40 dakikalık gözlem	7	21,63	23,17	-1,859	0,063>0,05	Kabul
80 dakikalık gözlem	7	16,05	20,31			

Tablo 4.62'ye bakıldığında H_o hipotezinin kabul edildiği görülmektedir. Bu sonuç bize tez kapsamında değerlendirilen tüm işler dikkate alındığında aynı gözlem sayısı alınması koşulu ile 40 dakikalık gözlem süresinde analiz yapmak ile 80 dakikalık gözlem süresinde analiz yapmak arasında fark bulunmadığını göstermektedir. Ayrıca mevcut Ki-Kare analiz değerlerine bakılarak daha uzun süreli gözlem alınması durumunun seçilen işi daha iyi temsil eden sonuçlar ürettiği söylenebilmektedir.

Elde edilen bu sonuç doğrultusunda rasyonel gözlem sayısının da değerlendirilmesi gerekmektedir. Daha uzun süreli gözlemlerin seçilen işi daha iyi temsil ettiği bilinirken alınması gereken gözlem sayısı hakkında yorum yapabilmek için Tablo 4.63'teki Ki-Kare değerlerine Wilcoxon işaretli sıra sayıları test uygulanmış ve elde edilen istatistikler 4.64'te sunulmuştur.

Tablo 4.63. 80 dakikalık gözlem süresi için elde edilmiş Ki-Kare değerleri

İşler	Gözlem Sayısı	
	1200	300
Disk kumlama	11,49	14,72
Jant imalatı-1	12,07	5,02
Jant imalatı-2	15,06	4,56
Matkapla delme	0,78	2,00
Lastik hammadde hazırlama	48,33	60,09
Kapı boyama	7,82	18,69
Kayrak taşı kaplama	4,21	7,27

Ele alınan tüm işlerin 80 dakikalık gözlem süresinde alınan 1200 gözlem ile yine aynı gözlem süresinde alınan 300 gözlem sonucunda elde edilen Ki-Kare değerleri

seçilmiştir. Tez çalışmasının 4.3 nolu bölümünde yer alan klasik OWAS analiz tablolarının tümü incelendiğinde 80 dakikalık gözlem süresinde 1200 ve 300 gözlem ile yapılan analizlerin tümünün seçilen işi temsil ettiği görülmektedir. Bu nedenle bu analizlere ait değerler arasında karşılaştırma yapılmaktadır.

Tablo 4.64. 80 dakikalık gözlem süresi için Wilcoxon işaretli sıra sayıları test sonuçları

Deneme Planları	N	Ort	σ	Z	p	H_0 Kabul/Red
40 dakikalık gözlem	7	14,25	15,80	-0,845	0,398>0,05	Kabul
80 dakikalık gözlem	7	16,05	20,31			

Tablo 4.64'e bakıldığında H_o hipotezinin kabul edildiği görülmektedir. Bu sonuç bize 80 dakikalık gözlem süresi ile 1200 gözlem alınarak yapılan analiz sonuçları yine aynı gözlem süresinde 300 gözlem alınarak yapılan analiz sonuçları arasında fark bulunmadığını göstermektedir. 300 gözlem kullanılarak seçilen işi temsil eden analizler yapılabilmesi rasyonel gözlem sayısı için de göz önünde bulundurulması gereken bir durumdur.

İncelenen bu gözlem sürelerinde tespit edilebilen kod çeşitleri de Tablo 4.65'te verilmektedir.

Tablo 4.65. 80 dakikalık gözlem süresine sahip analizlerde bulunan kod çeşitleri

İşler	OWAS kod çeşidi	
	1200 gözlem	300 gözlem
Disk kumlama	23	19
Jant imalatı-1	5	5
Jant imalatı-2	11	11
Matkapla delme	10	9
Lastik hammadde hazırlama	46	41
Kapı boyama	25	20
Kayrak taşı kaplama	19	17

Tüm işlerde 80 dakikalık gözlem süresinde; 300 gözlem alınarak yapılan analizlerde bulunan OWAS kod çeşidi ile 1200 gözlem alınarak yapılan analizlerde bulunan kod

çeşitlerinde önemli bir farklılık bulunmamaktadır. 1200 gözlem alınması durumunda yapılan analizlerde tespit edilip 300 gözlem alınarak yapılan analizlerde tespit edilemeyen kod çeşitleri işin tamamında çok az tekrarı bulunan (bu tekrar sayıları tüm işler için 4800 duruşun yalnızca 15 ve daha azını oluşturmaktadır) çalışma duruşlarına aittir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında OWAS yönteminin uygulamadaki güvenilirliğinin artırılması amacıyla; ana kütle olarak kabul edilen gözlemlenen işi rasyonel gözlem sayısı ile güvenilir olarak analiz edecek gözlem süre ve gözlem aralığı kombinasyonunun belirlenmesine yönelik koşullara ait kural ve/veya genelleştirilebilir öneriler sunulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda tez çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Örnek işler için yapılan analizlerde, aynı gözlem sayısı kullanılması koşulu ile, mümkün olan en uzun gözlem süresinde ve daha seyrek gözlem almak (daha uzun gözlem aralığı) seçilen işi temsil etme açısından daha iyi sonuçlar vermektedir (Tablo 4.61).

Bölüm 4.3 ve Bölüm 4.4'te yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda tez kapsamında değerlendirmeye alınan işleri daha iyi temsil edecek analizler yapılabilmesi için hangi deneme planlarının tercih edilmesinin gerektiği Tablo 5.1'de gösterilmektedir.

Tablo 5.1. Analiz edilen işler bazında farklı deneme planlarının karşılaştırılması

İşin Adı	Çevrim Süresi	Klasik OWAS / Birikimli rassal OWAS	Tercih	Klasik OWAS / Tam rassal OWAS	Tercih
Disk kumlama	10 sn.	≠	Klasik OWAS	≠	Klasik OWAS
Jant imalatı-1	30 sn.	=		=	
Jant imalatı-2	30 sn.	=		=	
Matkapla delme	3 dk.	≠	Klasik OWAS	≠	Klasik OWAS
Lastik ham. Haz.	12 dk.	=		=	
Kapı boyama	40 dk.	≠	Klasik OWAS	≠	Klasik OWAS
Kayrak taşı kap.	60 dk.	≠	Klasik OWAS	≠	Klasik OWAS

Tabloda sunulan bilgiler ışığında klasik OWAS analizinin diğer iki analiz (birikimli rassal OWAS analizi ve tam rassal OWAS analizi) ile karşılaştırıldığında zaman zaman bu analizler ile arasında fark bulunmamasına karşın genel olarak, Ki-Kare değerlerinin daha küçük olmasından dolayı, seçilen işi daha güvenilir bir şekilde temsil ettiğini söylemek mümkündür.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, analizi yapılan işin çevrim süresinin ne olduğu ya da analiz boyunca çevrimin tamamlanıp tamamlanmadığı ile ilgili herhangi bir bilgiye rastlanamamaktadır. Bu nedenle tez çalışması kapsamında, gözlem süresinin tam sayıda çevrimi içerip içermemesinin analiz sonuçları üzerindeki etkisi de değerlendirmeye alınmıştır. Kısa çevrim süreli işlerde, belirlenen gözlem sürelerine çok sayıda çevrim girdiği için çevrimin tamamlanmamış olmasının analize olan etkisinin çok büyük olmayacağı düşünülmektedir. Örneğin çevrim süresi 30 sn olan bir işin en kısa gözlem süresi olan 5 dakika içerisinde yaklaşık 10 tekrarı yapıldığından işin yapılış şekliyle ilgili olası farklılıkların yakalanmaması gibi bir durum söz konusu değildir. Fakat daha uzun çevrim süresine sahip işlerde kısa gözlem süreleri (örneğin 5 dakika), işlerin tam çevrimlerini kapsamadığından ya da çok az sayıda çevrim kapsadığından gözlem süresinin tam sayıda çevrimi içerip içermemesinin analiz sonuçlarına olan etkisine de bakabilmek amacıyla çeşitli istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır.

Tablo 5.2. Çevrim etkisine göre analiz edilen işler

İşin Adı	Çevrim Süresi	Çevrimli Klasik OWAS / Klasik OWAS	Tercih
Matkapla delme	3 dk.	=	
Lastik ham. haz.	12 dk.	≠	Çevrimli Klasik OWAS

Tez kapsamında, matkapla delme ve lastik hammadde hazırlama işleri çevrimli olarak da değerlendirmeye alınmıştır. Bölüm 4.3 ve Bölüm 4.4'te yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda bu işleri daha iyi temsil edecek analizler yapılabilmesi için hangi analizin tercih edilmesinin gerektiği Tablo 5.2'de gösterilmektedir.

Çevrim süresi 3 dakika olan matkapla delme işinin analizinde çevrimin tamamlanmış olup olmamasının sonuçlar üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur. Çevrim süresi arttıkça çevrim süresine olan duyarlılık artmaktadır. Bu tür işlerde çevrimin tamamlanmış olmasının sonuçlar üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu söylenebilmektedir. Fakat bu duyarlılık noktası hakkında kesin bir şey söylemek mümkün değildir. Bu duyarlılık noktasının belirlenebilmesi için aradaki çevrim sürelerini kapsayacak çok sayıda iş üzerinde analizler yapılması gerekmektedir.

Tez çalışmasının 4.3 nolu bölümünde yer alan, tez kapsamında örnek olarak incelenen işler için klasik OWAS analiz sonuçlarına ait tablolardan da görüldüğü gibi işin çevrim süresi uzadıkça işi temsil edebilen gözlem süresi değerleri artmaktadır. Kabul edilebilir bölgedeki analiz sonuçlarına bakıldığında gözlem süresinin işe ait en az 3 tam çevrim içermesi gerektiği söylenebilmektedir. Kısa çevrim süresine sahip işlerde her saniyede gözlem alınması durumunda dahi 3 tam çevrim, tez kapsamında belirlenen minimum gözlem sayısından (Tablo 4.1) çok azdır. Tez çalışmasında yer alan ve bu özelliğe sahip işlere (disk kumlama, jant imalatı-1 ve jant imalatı-2) ait sonuç tablolarında, seçilen işi temsil edebilen analizlerin 10 dakikalık gözlem süresi ile yapılabildiği görülmektedir.

Tez çalışmasının 4.3 nolu bölümünde yer alan, tez kapsamında örnek olarak incelenen işlere ait klasik OWAS analiz tablolarının tümü incelendiğinde seçilen işi temsil edebilen analizlerin yapılabilmesi için minimum 10 dakikalık bir gözlem süresi ile analiz yapılması, eğer seçilen işin 3 tam çevrimi 10 dakikadan daha uzun ise gözlem süresinin 3 tam çevrimi içerecek şekilde seçilmesi gerekmektedir. Önerilen minimum gözlem süresinin 10 dakika veya 3 çevrim süresi olmasına rağmen, rasyonel gözlem sayısı ile-daha önce de belirtildiği gibi-daha uzun gözlem süresinde analiz yapılması durumunda işi daha iyi temsil edebilen analiz sonuçlara ulaşmak da mümkündür.

OWAS metodunun iş örneklemesi prensiplerine göre çalıştığı göz önüne alındığında çalışma duruşlarının OWAS metodu ile analizinde en az 271 gözlem (iş örneklemesinde %90 güven düzeyi ve %5 hata payı ile belirlenen kritik gözlem sayısı) alınması gerekmektedir. Minimum gözlem sayısı bu olmakla birlikte analiz edilen işin temsil edilebildiği rasyonel gözlem sayısına da değinmek gerekmektedir.

Bölüm 4.3 ve Bölüm 4.4'te yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda bu tez çalışmasında önerilen gözlem süresini sağlamak koşulu ile 300 adet gözlem alınması durumunda yapılan analizler ile değerlendirmeye alınan işler güvenilir bir şekilde temsil edilebilmektedir (Tablo 4.61).

Gerçek çalışma ortamlarında tempo ve işin yapılış şeklinde oluşabilecek küçük farklar karşısında OWAS analiz sonuçlarındaki farklılığı test etmek amacıyla yapılan kodların frekans farklılığı analizlerinden (klasik, birikimli rassal ve tam rassal OWAS analizlerinde) elde edilen sonuçlar OWAS yönteminin kod frekanslarındaki küçük farkların analiz sonuçları üzerinde önemli bir etkisi olmadığını göstermektedir. Yani OWAS yönteminin gerçek hayatta yaşanabilecek küçük farklara karşı hassas olmadığını söylemek mümkündür (Tablo 4.35-4.40).

Pratik çalışma ortamlarında işlerin yapılması esnasında iş akışında olmayan fakat çeşitli sebeplerden dolayı iş akışına eklenen düşük frekanslı çalışma duruşları ile karşılaşılmaktadır. Düşük frekanslı kodların analizde yer alması durumunda analiz sonuçları genellenebilir önerilerle (iş örneklemesinin doğal yapısı olarak beklenen daha uzun gözlem süresine sahip analizlerin işi daha iyi temsil etme durumu, daha uzun süreli gözlemlerde daha uzun süreli gözlem aralıkları ile yapılan analizlerin seçilen işi daha iyi temsil etmesi vb.) çelişmektedir. Bu çalışma duruşlarına ait düşük frekanslı kodların analizden çıkarılması ile işi daha iyi temsil eden güvenilir analizler yapmak mümkündür. Dolayısıyla, düşük frekanslı kodların analiz dışında bırakılmasının analiz sonuçları üzerinde olumlu etkisi olduğu görülmektedir (Tablo 4.41-Tablo 4.42).

Gerçek çalışma ortamlarında işe ait her çevrimin farklı sürelerde tamamlandığı görülebilmektedir. Bu farklı sürelere sahip çevrimlerin gözlem süresi içerisindeki sıralarının değişmesinin analiz sonuçları üzerinde herhangi bir etkisinin olup olmadığını araştırabilmek amacıyla yapılan istatistiksel değerlendirmeler, çevrimlerin sırasının değiştirilmiş olmasının analiz sonuçları üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı göstermektedir (Tablo 4.46-Tablo 4.47).

Bu tez çalışmasının sonucunda, aşağıdaki gibi OWAS analiz uygulama prosedürü oluşturulabilmektedir:

Tablo 5.1 referans alınmak koşulu ile analiz edilecek işin çevrim süresi dikkate alınarak uygulanacak analiz (klasik OWAS, birikimli rassal OWAS, tam rassal OWAS) belirlenmelidir. Uygulanacak analizin seçilen işi temsil edebilmesi için minimum 10 dakikalık bir gözlem süresi ile analiz yapılması, eğer seçilen işin 3 tam çevrimi 10 dakikadan daha uzun ise gözlem süresinin 3 tam çevrimi içermesi gerekmektedir. Önerilen bu gözlem süresini sağlamak koşulu ile 300 adet gözlem alınması durumunda yapılan analizler ile değerlendirmeye alınan işler güvenilir bir şekilde temsil edilebilmektedir. Ayrıca önerilen minimum gözlem süresine rağmen mümkün olduğu ölçüde daha uzun gözlem sürelerinde çekim yapılarak rasyonel gözlem alınması durumunda (300 adet) değerlendirilen işi daha iyi temsil edebilen analizler de yapılabilmektedir.

KAYNAKLAR

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

Aytaç M., *Matematiksel istatistik*, Ceylan Ofset, İstanbul, 1999.

Babalık F. C., *Mühendisler için ergonomi işbilim*, Nobel Basımevi, İstanbul, 2005.

Bernacki E. J., Guidera J. A., Schaefer J. A., Lavin R. A., Tsai S. P., An ergonomics program designed to reduce the incidence of upper extremity work related musculoskeletal disorders, *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 1999, **41**(12), 1032-1041.

Bernard B. P., Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors: A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of The Neck, Upper Extremity and Low Back, *U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health*, DHHS (NIOSH) Publication No. 97B141, 1997.

Bircan H., Karagöz Y., Kasapoğlu Y., Ki-kare ve kolmogorov simirnov uygunluk testlerinin simülasyon ile elde edilen veriler üzerine karşılaştırılması, *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 2003, **4**(1), 69-80.

Buchholz B., Paguet V., Punnett L., Lee, D., Moir S., Path: A work sampling-based approach to ergonomic job analysis for construction and other non-repetitive work, *Applied Ergonomics*, 1996, **27**(3), 177-187.

Budakoğlu İ., Akgün H. S., Mesleki kas iskelet hastalıklarından korunma ve ergonomi, *İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 2007, **34**, 20-23.

Burdorf A., Govaert G., Elders L., Postural loads and back pain of workers in the manufacturing of prefabricated concrete elements, *Ergonomics*, 1991, **34**(7), 909-918.

Carrasco C., Coleman N., Healey S., Packing product for customers, *Applied Ergonomics*, 1995, **26**(2), 101-108.

Chiasson M., Imbeau D., Aubry K., Delisle A., Comparing the results of eight methods used to evaluate risk factors associated with musculoskeletal disorders, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2012, **42**, 478-488.

Cohen A. L., Gjessing C. C., Fine L. J., Bernard B. P., McGlothin J. D., Elements of ergonomics: a primer based on workplace evaluations of musculoskeletal disorders, *DHHS (NIOSH) Publication*, Atlanta, 1997.

Çilingirtürk A. M., *İstatistiksel Karar Almada Veri Analizi*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2011.

De Brujin I., Engels J. A., Van Der Gulden J. W. J., A simple method to evaluate the reliability of OWAS observations, *Applied Ergonomics*, 1998, **29**(4), 281-283.

Dockrell S., O'Grady E., Bennett K., Mullarkey C., Mc Connell R., Ruddy R., Twomey S., Flannery C., An investigation of the reliability of rapid upper limb assessment (RULA) as a method of assessment of children's computing posture, *Applied Ergonomics*, 2012, **43**, 632-636.

Doormaal M. T. A. J., Driessen A. P. A., Landeweerd J. A. L. Drost M. R., Physical workload of ambulance assistants, *Ergonomics*, 1995, **38/2**, 361-376.

Drury C. G., Atiles M., Chaitanya M., Lin J. F., Marin C., Nasarwanji M., Paluszak D., Russell C., Stone R., Sunm M., Vicarious perception of postural discomfort and exertion, *Ergonomics*, 2006, **49**(14), 1470-85.

Engels J. A., Landeweerd J. A., Kant Y., An OWAS-based analysis of nurses' working postures, *Ergonomics*, 1994, **37**(5), 909-919.

Engels J. A., Van Der Gulden J. W. J., Senden T. F., Kolk J. J., Binkhorst R. A., The effects of an ergonomic - educational course, *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 1998, **71**(5), 336-342.

Engström T., Medbo P., Data Collection and Analysis of Manual Work Using Video Recording and Personal Computer Techniques, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1997, **19**, 291-298.

Eriş H., Can G. F., Fığlalı N., Çalışma duruşu ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, *Makine Mühendisleri Odası Dergisi-Endüstri ve İşletme Mühendisliği Meslek Dalı Komisyon Bülteni*, 2009, **129**, 8-14.

Erkan N., *Verimlilik, Sağlık ve Güvenlik İçin İnsan Faktörü Mühendisliği Ergonomi*, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No:373, Mert Matbaası, 25-39, 2003.

Fığlalı,N., İnsan Faktörleri, http://nilgun.figlali.com/Insan%20Fakt%f6rleri/, (Ziyaret Tarihi: 23 Şubat 2013).

Haslegrave C. M., What do we mean by a working posture?, *Ergonomics*, 1994, **37**(4), 781-799.

Heinsalmi P., Method to measure working postures load at working sites (OWAS), *The First Occupational Ergonomics Symposium*, Zadar, Yugoslovia, 15-17 April 1985.

Hignett S., Postural analysis of nursing work, *Applied Ergonomics*, 1996, **27**(3), 171-176.

Hoy J., Mubarak N., Nelson S., Sweerts de Landas M., Magnusson M., Okunribido O., Pope M., Whole body vibration and posture as risk factors for low back pain among forklift truck drivers, *Journal of Sound and Vibration*, 2005, **284**, 933-946.

Jin K., Lei L., Sorock G., Courtney T. K., Ge L., Liang Y., Postural assessment with revised OWAS system, *The Third International Cyberspace Conference on Ergonomics,* Johannesburg, South Africa, 15 September – 15 October 2002.

Kant I., Notermans J. H. V., Borm P. J. A., Observations of working postures In garages using the OVAKO working posture analysing system (OWAS) and consequent workload reduction recommendations, *Ergonomics*, 1990, **33**(2), 209-220.

Keyserling W. M., Budnick P. M., Non-Inavasive measurement of three dimensional joint angles: development and evaluation of a computer-aided system for measuring working postures, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1987, **1**, 251-263.

Kivi P., Mattila M., Analysis and improvement of work postures in the building industry: application of the computerized OWAS method, *Applied Ergonomics*, 1991, **22**, 43-48.

Lavender S. A., Oleske D. M., Nicholson L., Andersson G. B. J. And Hahn J., Comparison of four methods commonly used to determine low-back disorder risk in a manufacturing environment, *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Albuquerque, USA, 22-26 September 1997.

Leigh J, Macaskill P, Kuosma E, Mandryk J. Global burden of disease and injury due to occupational factors, *Epidemiology*, 1999, **10**(5), 626-630.

Louhevaara V., Is the physical work load equal for ageing and young blue-collar workers?, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1999, **24**, 559-564.

Loupajarvi T., *Ergonomic analysis of workplace and postural load, ergonomics*, Longman Publishers, United Kingdom, 1990.

Lubeck D. P., The costs of musculoskeletal disease: health needs assessment and health economics, *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 2003, **17**(3), 529-539.

Mattila M., Karwowski W., Vilkki M., Analysis of working postures in hammering tasks on building construction sites using the computerized OWAS method, *Applied Ergonomics*, 1993, **24**(6), 405-412.

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*, 1995, **56**(5), 443-458.

MPM-REFA, *İş etüdünün temelleri*, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları No:544, Ankara, 1988.

Murphy S., Buckle P., Stubbs D., The Use of the portable ergonomic observation method (PEO) to monitor the sitting posture of schoolchildren in the classroom, *Applied Ergonomics*, 2002, **33**, 365-370.

Nevala-Puranen N., Reduction of farmers' postural load during occupationally oriented medical rehabilitation, *Applied Ergonomics*, 1995, **26**(6), 411-415.

Nevala-Puranen N., Kallionpää M., Ojanen K., Physical load and strain in parlor milking, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1996, **18**, 277-282.

Olendorf M. R., Drury C. G., Postural discomfort and perceived exertion in standardized box-holding postures, *Ergonomics,* 2001, **44**(15), 1341-1367.

Özcan E., Kesiktaş N., Kas iskelet sistemi hastalıklarında risk değerlendirme rehberi, *T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü,* Ankara, 2007.

Özok A. F., İşten numune alma (iş örneklemesi) metodunda optimum gözlem sayısı ve relatif hatanın hesabı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi, İstanbul, 1973.

Öztürkcan M., *İstatistik ders notları*, Kocaeli Üniversitesi Matbaası, 163-168, 2002.

Perkiö-Mäkelä M., Hentilä H., Physical work strain of dairy farming in loose housing barns, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2005, **35**, 57-65.

Pinzke S., Kopp L., Marker-less systems for tracking working postures – results from two experiments, *Applied Ergonomics*, 2001, **32**, 461-471.

Pohjonen T., Punakallio A., Louhevaara V., Participatory ergonomics for reducing load and strain in home care work, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1998, **21**, 345-352.

Saarni L., Nygard C., Rimpelä A., Nummi T., Kaukiainen A., The working postures among schoolchildren - a controlled interventions study on the effects of newly designed Workstations, *Journal of School Health*, 2007, **77**(5), 267-275.

Santos J., Sarriegi J. M., Serrano N., Torres J. M., Using ergonomic software in non-repetitive manufacturing processes: a case study, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2007, **37**, 267-275.

Saurin T. A., De Macedo Guimarães L. B., Ergonomics assessment of suspended scaffolds, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2006, **36**, 229-237.

Scott G. B., Lambe N. R., Working practices in a perchery system, using the OVAKO working posture analysing system (OWAS), *Applied Ergonomics,* 1996, **27/4**, 281-284.

Shergill A. K., Asundi K. R., Barr A., Shah J. N., Ryan J. C., McQuaid K. R., Rempel D., Pinch force and Forearm-muscle load during routine colonoscopy: a pilot study, *Gastrointestinal Endoscopy*, 2009, **69**(1), 142-146.

Shoaf C., Genaidy A., Karwowski W., Waters T., Christensen D., Comprehensive manual handling limits for lowering, pushing, pulling and carrying activities, *Ergonomics*, 1997, **40**(11), 1183-1200.

Snook S. H., Ciriello V. M., The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces, *Ergonomics*, 1991, **34**(9), 1197-1213.

Su B. A., *Ergonomi*, Atılım Üniversitesi Yayınları No: 5, Pano Ofset, Ankara, 2001.

Swat K., Krzychowicz G., Ergonom: computer-aided working posture analysis system for workplace designers, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1996, **18**, 15-26.

Takala E., Freund J., OWAS revised: biomechanical calculations and time aspects of loading, *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, California, USA, 29 July - 4 August 2000.

Tuure V-M., Determination of physical stress in agricultural work, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1992, **10**, 275-284.

URL-1:http://www.ccohs.ca/oshanswers/diseases/rmirsi.html, (Ziyaret Tarihi: 29 Kasım 2012)

URL-2: http://osha.europa.eu/fop/turkey/tr/publications/oshayayin/cv_fs_71.pdf, (Ziyaret Tarihi: 14 Nisan 2012)

URL-3:http://www.lni.wa.gov/wisha/ergo/rule_docs/PDFs/AppendixBfinal5-19 00.PDF, (Ziyaret Tarihi: 10 Şubat 2009)

Van Der Beek A. J., Van Gaalen L. C., Frings-Dresen M. H. W., Working postures and activities of lorry drivers: A reliability study of on-site observation and recording on a pocket computer, *Applied Ergonomics*, 1992, **23**, 331-336.

Van Wendel de Joode B., Burdorf A., Verspuy C., Physical load in ship maintenance: Hazard evaluation by means of a workplace survey, *Applied Ergonomics*, 1997, **28**(3), 213–219.

Vedder J., Identifying postural hazards with a video-based occurrence sampling method, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1998, **22**, 373-380.

Vieira E. R., Kumar S., Working postures: a literature review, *Journal of Occupational Rehabilitation*, 2004, **14**, 2.

Wang M. J., Huang G. J, Yeh W. Y., Lee C. L., Manual lifting task risk evaluation using computer vision system, *Computers Industrial Engineering*, 1996, **31**, 657-660.

Waters T. R., Putz-Anderson V., Garg A., Fine L. J., Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, *Ergonomics*, 1993, **36**(7), 749-776.

Westgaard R. H., Aaras A., Postural muscle strain as a casual factor in the development of musculoskeletal illness, *Applied Ergonomics*, 1984, **15**(3), 162-174.

White H. A., Kirby R. L., Folding and unfolding manual wheelchairs: An ergonomic evaluation of health-care workers, *Applied Ergonomics*, 2003, **34**, 571-579.

Woldstad J. C., Stewart G. B., A computer-based method for recording three-dimensional body postures, *Computers and Industrial Engineering*, 1993, **25**, 405-407.

Wright E. J., Haslam R. A., Manual handling risks and controls in a soft drinks distribution centre, *Applied Ergonomics*, 1999, **30**, 311-318.

Yücel V., Özşimşekler V., Bacak Ü., Özel E., Türengül M., Çalışma esnasında potansiyel yüklenmenin OWAS metodu ile incelenmesi, *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 26. Ulusal Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 3-5 Temmuz 2006.

Zhang B., Horvath I., Molenbroek J. F. M, Snijders C., Using artificial neural networks for human body posture prediction, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2010, **40**, 414-424.

EKLER

EK-A

Ki-Kare (X^2) kritik değerler tablosu

	α									
df	**0.995**	**0.99**	**0.975**	**0.95**	**0.9**	**0.1**	**0.05**	**0.025**	**0.01**	**0.005**
1	-	-	-	-	0.02	2.71	3.84	5.02	6.64	7.88
2	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.12	0.22	0.35	0.58	6.25	7.82	9.35	11.35	12.84
4	0.21	0.30	0.48	0.71	1.06	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.41	0.55	0.83	1.15	1.61	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.24	1.64	2.20	10.65	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	13.36	15.51	17.54	20.09	21.96
9	1.74	2.09	2.70	3.33	4.17	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.58	5.58	17.28	19.68	21.92	24.73	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.08	4.66	5.63	6.57	7.79	21.06	23.69	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.27	7.02	8.23	9.39	10.87	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80
23	9.26	10.20	11.69	13.09	14.85	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	34.38	37.65	40.65	44.31	46.93
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	36.74	40.11	43.19	46.96	49.65
28	12.46	13.57	15.31	16.93	18.94	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	26.51	29.05	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	63.17	67.51	71.42	76.15	79.49
60	35.53	37.49	40.48	43.19	46.46	74.40	79.08	83.30	88.38	91.95
70	43.28	45.44	48.76	51.74	55.33	85.53	90.53	95.02	100.43	104.22
80	51.17	53.54	57.15	60.39	64.28	96.58	101.88	106.63	112.33	116.32
90	59.20	61.75	65.65	69.13	73.29	107.57	113.15	118.14	124.12	128.30
100	67.33	70.07	74.22	77.93	82.36	118.50	124.34	129.56	135.81	140.17

Not: Tablodaki değerler tek kuyrukludur.

KİŞiSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Esen H.**, Fığlalı N., Çalışma duruşu analiz yöntemleri ve çalışma duruşunun kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına etkileri, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 2013, **17**(1), 41-51.

[2] Cihan A., Cesmeci D., Figlali N., **Eris H.**, Figlali A., Gullu M. K., Yılmaz M. K., Background subtraction for computer aided analysis of awkward working postures, *1st International Symposium on Computing in Science & Engineering*, Aydin, Turkey, 3-5 June 2010.

[3] Can G. F., **Eriş H.**, Fığlalı N., Mesleki kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının ergonomik analizine yönelik yöntemlerin değerlendirilmesi, *10. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, Girne, Kıbrıs, 16-18 Eylül 2010.

[4] **Eriş H.**, Can G. F., Fığlalı N., Çalışma duruşu ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, *Makine Mühendisleri Odası Dergisi-Endüstri ve İşletme Mühendisliği Meslek Dalı Komisyon Bülteni*, 2009, **129**, 8-14.

[5] **Eriş H.**, Fığlalı N., Fiziksel ağırlıklı işlerde çalışma duruşlarının OWAS metodu ile analizi, *Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 27. Ulusal Kongresi (YA/EM'07)*, İzmir, Türkiye, 2-4 Temmuz 2007.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Kocaeli'nde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'nde tamamladı. 2001 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden 2005 yılında Endüstri Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı Yüksek Lisans eğitimini 2007 yılında tamamlayarak aynı Anabilim Dalı'nda Doktora eğitimine başladı. 2005 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk annesidir.