



## Görüntü işleme temelli hızlı üst ekstremité değerlendirme yöntemi

Gülin Feryal Can<sup>1\*</sup>, Nilgün Fıçlalı<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bağlıca Kampüsü, 06790, Etimesgut, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Umut tepe Yerleşkesi, 41380, İzmit, Kocaeli, Türkiye

### Ö N E Ç I K A N L A R

- RULA yönteminin performansının geliştirilmesi
- Görüntü işleme destekli duruş analiz yöntemi tasarımı
- Objektif açısal ölçümler

#### Makale Bilgileri

Geliş: 19.03.2016

Kabul: 06.03.2017

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.337618

#### Anahtar Kelimeler:

Hızlı üst ekstremité değerlendirme yöntemi, fiziksel yüklenme, çalışma duruşu, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklar, görüntü işleme

#### ÖZET

Mesleki kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları (MKİSR), ülke ve işletme ekonomisine büyük maddi yükler getiren, kalitede düşüş, verimlilik kaybı ve çalışanların hayatlarını idame ettirememeleri gibi bir takım olumsuzluklara yol açan rahatsızlıklardır. MKİSR'nın ortaya çıkmasına neden olan en önemli faktörlerden birisi çalışma duruşlarıdır. Literatürde çalışma duruşlarına ilişkin risk seviyelerinin belirlenmesine yönelik farklı yöntemler bulunmaktadır. Çalışmada yaygın kullanımı nedeniyle, üst ekstremité kas-iskelet sağlığı açısından tehlike oluşturabilecek duruşları belirleyen Hızlı Üst Ekstremité Değerlendirme Yöntemi (RULA) görüntü işleme sistemleri kullanılarak geliştirilmiştir. RULA yönteminin, değerlendirmenin gözlem yolu ile yapılması, sonuçların sübjektiflik içermesi, zaman gereksinimi vb. sorunları nedenleriyle performansını artırılması gerekmektedir. Bu gereksinimleri karşılamak için tasarlanan yeni yöntem "Geliştirilmiş RULA (ARULA)" adı verilmiştir. Çalışmada ARULA analiz aracının ürettiği sonuçların güvenilirlik ve geçerliliği istatistiksel olarak araştırılmıştır. Sonuç olarak ARULA, üst ekstremitenin yoğun olarak kullanıldığı görevlerde sergilenen çalışma duruşlarının risk düzeyini analiz edebilecek pratik bir araç olarak önerilmektedir.

## Image processing based rapid upper limb assessment method

### H I G H L I G H T S

- Improving the performance of RULA method
- Designing image processing supported posture analysis method
- Objective angular measurements

#### Article Info

Received: 19.03.2016

Accepted: 06.03.2017

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.337618

#### Keywords:

Rapid upper limb assessment, physical exertion, working posture, musculoskeletal disorders, image processing

#### ABSTRACT

Occupational Musculoskeletal System Disorders (OMSDs) are disorders that inflict a great deal of economical burden on enterprises and nations, decrease quality, productivity and cause inability to sustain livings of employees. One of the most important factor that cause OSDs is working posture. In literature, there are various methods for determining risk levels of working postures. In this study because of its common usage, Rapid Upper Limb Assessment Method (RULA) that identifies hazard level created by working postures on employees' upper limb musculoskeletal health is selected for improving with image processing systems. It is necessary to improve RULA's performance due to complications stemming from its implementation method based on observation, lack of information on the best duration of observation, subjectivity on results and extensive analysis time etc. For compensate these requirements a modified method is proposed in this study named as Advanced RULA (ARULA). Reliability and validity analysis are implemented statistically for ARULA. As a result, ARULA is recommended as a practical tool for analyzing risk levels of working postures for tasks that contain intensive usage of upper extremity.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mesleki kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları (MKİSR); kaslarda, tendonlarda, sinirlerde, kıkırdaklarda, bağ dokularında, eklem yerlerinde ve disklerde (omurga) meydana gelen rahatsızlıklardır [1]. Bu rahatsızlıklar çalışana sağlık yönünden ve maddi yönden ciddi kayıplar verdirerek birlikte işletme ve ülke ekonomisine de büyük zararlar vermektedir. Çalışanların işe devam edememelerine sebep olmanın yanı sıra; uzun dönemli yeti kayıplarına yol açmakta ve çalışanların hayatlarını idame ettirmelerini zorlaştırmaktadır. 2001 yılında Birleşmiş Milletler Ulusal Tıp Araştırma Konseyi tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tazminat ödemeleriyle sonuçlanan rahatsızlıkların %40'ını MKİSR'nın oluşturduğu ve ülkeye maliyetinin yıllık 54 milyar dolar olduğu belirtilmiştir [2]. İngiltere'de 2005 yılında Sağlık ve Güvenlik Yönetimi ve Washington Eyaleti Çalışma ve Endüstri Departmanı tarafından hazırlanan raporda sanayide çalışanların %50'sinden fazlasının kas iskelet sistemi rahatsızlığına sahip olduğu bildirilmiştir [3].

Amerika'da 2004-2006 yılları arasında yapılan bir araştırmada MKİSR'nın tıbbi maliyetinin 576 milyar dolar olduğu vurgulanmıştır [4]. Yine Amerika'da 2014 yılı için her 10.000 çalışma saatinin 107,1'inin MKİSR nedeni ile kaybedildiği belirtilmiştir [5]. İngiltere'de 2014-2015 dönemi için yapılan bir araştırma sonucuna göre 1.243.000 kas-iskelet sistemi rahatsızlığının %44'ünü (553.000) MKİSR'nın oluşturduğu belirlenmiştir. Yine aynı dönemde 9,5 milyon kayıp işgününün bu rahatsızlıklar nedeniyle olduğu raporlanmıştır [6]. Avrupa ülkelerinde 2015 yılında MKİSR için verimlilik ve sosyal kayıplar dikkate alınmadığında gayri safi milli hasılanın %2'si oranında bir harcama yapıldığı belirlenmiştir [7]. Teknolojik ilerlemelere karşın, MKİSR ile ilgili bu rakamlar, konunun ne kadar ciddi boyutlarda olduğunu açıkça göstermektedir. Birçok ülkede MKİSR'nın önlenmesi ulusal bir öncelik olarak değerlendirilmektedir [8].

Çalışma duruşları MKİSR'nın ortaya çıkmasında çok önemli bir yere sahiptir. Çalışma duruşu; başın, gövdenin, kol ve bacakların yapılan işe ve işin özelliklerine göre hizalanması şeklinde tanımlanmaktadır [9]. Ergonomik tasarım prensiplerinin uygulandığı iş ortamlarında çalışanlar, rahat hareket imkânı sağlamakta, parçalara, alet-teçhizata kolaylıkla ulaşmakta böylece fiziksel zorlanma azalarak MKİSR'na yakalanma riski de azalmaktadır [10]. Literatürde, iş ortamında sergilenen çalışma duruşlarının risk seviyelerini belirlemek için kullanılan birçok yöntem mevcuttur. Bunlara örnek olarak OWAS (Ovako Working Posture Analysing System), RULA (Rapid Upper Limb Assessment), REBA (Rapid Entire Body Assessment), JSI (Job Strain Index) yöntemleri verilebilir. OWAS, her bir duruşun kapsadığı sürenin toplam çalışma süresi içindeki yüzdesini dikkate alan bir iş örnekleme aracıdır [11]. RULA, sadece üst ekstremiteler tarafından sergilenen çalışma duruşlarının risk seviyesini belirleyen bir analiz aracıdır

[12]. REBA tüm vücudun duruşsal riskini değerlendirirken yükü etkileşim kalitesini de dikkate alan gözleme dayalı bir yöntemdir [13]. JSI ise el ve bileklerde oluşan zorlanmaları tekrar sayısı, duruşun süresi, duruşun risk seviyesi ve uygulanan kuvvet faktörleri açısından analiz eden bir yaklaşımdır [14]. Çalışma kapsamında, endüstrideki yaygın kullanımı ve geliştirilmesi gereken yönleri nedeniyle McAtamney ve Corlett tarafından geliştirilen RULA Yöntemi seçilerek; görüntü işleme desteğiyle yeniden tasarlanmıştır. Literatürde RULA yöntemi ve uygulamalarına yer veren birçok çalışma bulunmaktadır. Shuval ve Donchin tarafından monitör takip çalışanlarının duruşları RULA ile analiz edilmiştir [15]. Diniz de SA vd. tarafından, diş hekimliği öğrencilerinin çalışma duruşları RULA ve REBA yöntemleri kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır [16]. Choobineh vd. tarafından iletişim sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın montaj ve kapalı devre TV bölümlerinde çalışanların duruş analizinde RULA kullanılmıştır [17].

Dockrell vd. tarafından öğrencilerin bilgisayar kullanımı sırasında sergiledikleri duruşların analizlerinde RULA kullanılmıştır [18]. Kaufman ve Ratzon tarafından profesyonel klasik müzik sanatçılarının çalışma duruşları RULA ile analiz edilmiştir [19]. Najarkola vd. tarafından bir tekstil fabrikasındaki dokuma işlerinde sergilenen çalışma duruşları RULA ile analiz edilmiştir [20]. Dockrell vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ilköğretim çağındaki çocukların sınıf ortamında sergiledikleri duruşlar RULA ile analiz edilmiştir [21]. Vignais vd. RULA yöntemini, biyomekanik modellerle birleştirerek gerçek zamanlı, bilgisayar destekli bir sistem geliştirilmiştir [22]. Geliştirilen sistemde vücudun belirli bölgelerinde birçok sensör, goniometre kullanılması ve goniometrelerin kalibrasyon ihtiyaçları önerilen sistemin pratikliğini azaltmaktadır. Roll vd. tarafından, RULA ile ultrason cihazını kullanan teknisyenlerin duruşları analiz edilmiştir [23]. Peppoloni vd. [24], RULA ve JSI yöntemlerini birleştiren gerçek zamanlı bir yazılım geliştirerek kasiyerlerin çalışma duruşlarını incelemişlerdir.

Önerilen sistem, sadece üst ekstremitenin duruşunu analiz edebilmekte ve bacaklar için herhangi bir değerlendirme yapmamaktadır. Ayrıca vücudun eklem yerlerine sensörlerin takılması zorunludur. Bununla birlikte temel duruşlar (uzanmak, kaldırmak vb.) sistemde kodlanarak; kasiyerlerin gerçekleştirdiği duruşlarla eşleştirilmektedir. Ancak insanın yapısı gereği duruşlar karmaşık özelliklere sahip olabilir. Bu durum beraberinde bilgi kayıplarını getirebilir. Ayrıca sistem, sadece belli bir çevrim süresi içinde sergilenen duruşlar arasından en çok zorlanmanın olduğu duruşları analiz etmektedir. Zorlanma düzeyi EMG sinyalleri ile belirlenmektedir. Bu sinyallerin alınabilmesi için elektrotların vücuda takılması çalışanın hareketlerini kısıtlamaktadır. Raibe vd. tarafından 92 diş hekiminin tedavi sürecinde sergiledikleri duruşlar RULA ile analiz edilerek en zararlı hareketlerin sergilediği vücut bölümleri belirlenmiştir [25]. Rahman vd. [26] Malezya'daki hasat

işçilerinin manuel olarak ve makine kullanarak gerçekleştirdikleri tarımsal işlerde sergiledikleri duruşları RULA ve REBA ile analiz etmişlerdir [26]. Her iki yöntemin sonuçları da makine kullanılarak gerçekleştirilen işlerde gövde bölümünde daha az zorlanmanın olduğunu göstermiştir. Sharan vd. bilgisayarlı iş istasyonlarında çalışanlar üzerine yaptıkları bir çalışmada boyun ağrısı düzeyi ile RULA boyun skorları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir [27]. Dabholkar vd. [28], 250 diş hekimi üzerinde RULA'yı kullanarak sınırlanmış aktiviteler ile birikimli travma sendromları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Habibi vd. [29] bilgisayar kullanan operatörler için RULA ve Nordic kas-iskelet anketini kullanarak yaptıkları işleri ergonomik açıdan analiz etmişlerdir.

Ansari ve Sheikh RULA ve REBA yöntemlerini kullanarak Hindistan'ın Maharashtra kentinde faaliyet gösteren küçük ölçekli firmalarda çalışan 15 işçinin çalışma duruşlarını inceleyerek sonuçları karşılaştırmışlardır [30]. Deros vd. [31]. palmiye biçme işinde çalışan işçilerin duruşlarını RULA ile analiz etmişlerdir. Isa vd. [32], CNC delme makinesini kullanan işçilerin gereksinimlerini Kalite Fonksiyon Göçerimi yöntemi ile belirlemişler ve duruşlarını RULA ile inceleyerek yeni tasarım önerileri geliştirmişlerdir. Rivero vd. bulanık mantık ile RULA yöntemini entegre ederek işle ilgili risk seviyesini belirleme amacıyla yeni bir yaklaşım önermişlerdir [33]. Moavhned vd. diş hekimliği öğrencilerinde oluşan mesleki kas iskelet sistemi rahatsızlıkları riskini tahmin etmek için çalışma duruşlarını RULA yöntemi ile incelemişlerdir [34]. Veisi vd. el dokuması ayakkabı tabanı yapan işçilerin duruşlarını RULA yöntemi ile inceleyerek iş istasyonu tasarım önerileri geliştirmişlerdir [35]. Kaliniene vd. Litvanya'da kamu sektöründe bilgisayar başında çalışan kişilerdeki MKİSR riskini belirlemek için iki aşamalı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Yaklaşımın birinci aşamasında Nordic kas-iskelet anketi ve Kopenak Piskolojik Anketi kullanılarak çalışanların yaptıkları işlerdeki zorlanma düzeyleri belirlenmiş. İkinci aşamada ise 513 çalışanın sergiledikleri duruşlar RULA ile analiz edilmiştir [36].

Manghisi vd. Microsoft Kinect v2 sensörlerini kullanarak RULA (K2RULA) yöntemini uygulamışlar ve çevrim dışı çalışan, gerçek zamanlı bir duruş analiz yöntemi geliştirmişlerdir [37]. Kong vd. Kore'de geliştirilen tarımsal alt ekstremite değerlendirme yöntemi ile RULA, REBA ve OWAS yöntemlerinin sonuçlarını karşılaştırmışlardır [38]. Literatür araştırmasından da görüldüğü gibi; RULA yönteminin farklı işlere uygulanmasının dışında, yöntemin performans ve etkinliğinin artırılmasına yönelik yapılan geliştirme çalışmaları sınırlıdır. Bu çalışmalarda önerilen sistemler, uzman bir kullanıcıya ihtiyaç duymakta ve vücuda birçok sensörün takılması zorunluluğunu beraberinde getirmektedir. Bu nedenlerle RULA yönteminin performansının artırılması ihtiyacı halen devam etmektedir. Çalışma kapsamında tamamıyla otomatik olarak analiz yapabilen, uzman bir kullanıcıya ihtiyaç duymayan, objektif açısız ölçümler yapabilen ve detaylı bir raporlama sistemine

sahip olan bir analiz aracı geliştirilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışma, RULA yönteminin kullanılabilirliğini arttıran orijinal bir çalışma olarak değerlendirilmektedir.

## 2. RULA YÖNTEMİ (RULA METHOD)

RULA, bilek, alt kol, üst kol, boyun, gövde ve bacaklara ait çalışma duruşlarını analiz etmektedir [12]. Yöntemde insan vücudu A ve B olmak üzere iki farklı gruba ayrılmıştır. A grubunda, alt kol, üst kol ve bilek bölümleri, B grubunda ise boyun, gövde ve bacak bölümleri yer almaktadır. Vücut bölümlerinin duruşları açısız hareket aralıklarına göre skorlandırılmıştır.

Buna göre "1" skoruna sahip olan duruş, risk seviyesinin en az olduğu çalışma duruşunu veya hareket aralığını göstermektedir. Skorlar arttıkça; risk seviyesi de artmaktadır. Grup A, bu grupta yer alan vücut bölümlerine ait duruşların değerlendirildiği diyagramlardan oluşmaktadır [12]. Bu kapsamda, üst kolun hareket aralığı, Tichauer [39], Chaffin [40], Herberst vd. [41], Hagberg [42] ve Schuldt vd. [43]'nin çalışmalarından yararlanılarak belirlenmiştir. Buna göre, üst kol; 20° ekstansiyon hareketi ya da 20° fleksiyon hareketi yapıyor ise; skor "1" puan, 20°'den daha fazla ekstansiyon hareketi ya da 20°-45° arasında fleksiyon hareketi yapıyorsa skor; "2" puan, 45°-90° arasında fleksiyon hareketi yapıyorsa skor "3" puan, 90°'den daha fazla fleksiyon hareketi yapıyorsa skor "4" puan olarak atanmaktadır.

Bunun yanı sıra; duruş esnasında omuzlar yukarı doğru kalkmışsa; toplam üst kol skoruna "1" puan eklenmektedir. Eğer üst kol abdüksiyonda ise; toplam üst kol skoruna "1" puan daha eklenmektedir. Eğer operatör bir yere dayanarak çalışıyorsa veya kollardaki yük destekleniyorsa; toplam üst kol skorundan "1" puan çıkarılmaktadır. Alt kolun hareket aralığı ise Grandjean [44] ve Tichauer [45]'in çalışmalarından yararlanılarak belirlenmiştir. Alt kol; 60°-100° arasında fleksiyonda ise skor "1" puan, 0°-60° arasında ekstansiyonda veya 100°'den fazla fleksiyonda ise skor "2" puan olarak atanmaktadır. Alt kol, vücudun orta bölgesinin hizasında çalışıyorsa ya da yanlara doğru açılıyorsa; toplam alt kol skoruna "1" puan eklenmektedir. Bileğin hareket alanı ise HSE [46]'nin çalışmalarından yararlanılarak belirlenmiştir. Bilek nötral pozisyonda ise skor "1" puan, 15° fleksiyonda ya da ekstansiyonda ise skor "2" puan, bilek 15°'den daha fazla ekstansiyonda ya da fleksiyonda ise skor "3" puan olarak değerlendirilmektedir. Bilek abdüksiyon hareketi yapıyor ise toplam bilek skoruna "1" puan eklenmektedir. Bileğin dönme hareketi ise; Tichauer [45]'in çalışmasından yararlanılarak belirlenmiştir. Eğer bilek, dönme alanının ortasına yaklaşmış ise skor "1" puan, en fazla dönebileceği alana yaklaşmış ya da sonunda ise skor "2" puan olarak değerlendirilmektedir. Grup B ise bu grupta yer alan vücut bölümlerine ait duruşların değerlendirildiği diyagramlardan oluşmaktadır [12]. Bu kapsamda boyun skorları Chaffin [40] ve Kilbom'un [47] çalışmalarından

yararlanılarak belirlenmiştir. Boyun; 0°-10° arasında fleksiyonda ise skor “1” puan, 10°-20° arasında fleksiyonda ise skor “2” puan, 20° veya daha fazla fleksiyonda ise skor “3” puan, ekstansiyonda ise skor “4” puan olarak atanmaktadır. Boyun dönme hareketi yapıyor ise; toplam boyun duruşu skoruna “1” puan, yana eğilme hareketi yapıyor ise; toplam boyun duruşu skoruna “1” puan eklenmektedir. Gövdenin hareket alanı ise; Drury ve Grandjean [48]’ın çalışmalarından esinlenerek belirlenmiştir. Oturarak ya da ayakta ve iyi desteklenmiş bir şekilde 90° açı yapan bir gövde duruşu söz konusu ise skor “1” puan olarak atanmaktadır. Gövde, 0°-20° arasında fleksiyonda ise skor “2” puan, 20°-60° arasında fleksiyonda ise skor; “3” puan, 60°’den daha fazla fleksiyonda ise skor “4” puan olarak atanmaktadır. Eğer gövde dönme hareketi yapıyor ise; toplam gövde duruşu skoruna “1” puan, yana eğilme hareketi yapıyor ise toplam gövde duruşu skoruna “1” puan eklenmektedir. Vücut bölümlerinin duruşları değerlendirildikten sonra Tablo A ve Tablo B kullanılarak “Skor A ve Skor B” elde edilmektedir. Skor A, Grup A kapsamında analiz edilen vücut bölümlerinin duruş skorlarının keşitirilmesiyle elde edilmektedir. Skor B ise; Grup B’de yer alan vücut bölümlerinin duruş skorlarının keşitirilmesiyle elde edilmektedir. Skor A ve Skor B hesaplandıktan sonra kas kullanımı skoru (KKS) ve uygulanan kuvvet/maruz kalınan yük skorları (K/YS) sırasıyla Skor A ve Skor B’ye ayrı ayrı eklenmektedir. Böylece, “Skor C ve Skor D” elde edilmektedir [12]. Skor C ve Skor D Eş. 1’deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Skor A} + \text{KKS} + \text{K/YS} = \text{Skor C}$$

$$\text{Skor B} + \text{KKS} + \text{K/YS} = \text{Skor D} \quad (1)$$

RULA yönteminde, kas kullanımı skoruyla sergilenen duruşun statik ya da dinamik bir yapıda olup olmadığı değerlendirilmektedir. Eğer 1 dk’da 4 defadan fazla veya 1 dk.’dan fazla aynı duruş sergileniyorsa; kas kullanım skoru olarak “1” puan eklemeye yapılmaktadır [12]. Yük skoru ile el aleti kullanıldığı durumlarda ya da bir ağırlıkla birlikte işlem yapılması gerektiği durumlarda ortaya çıkan zorlanma değerlendirilmektedir.

Değerlendirme kriterleri, Putz-Anderson [49] ve Stevenson-Baidya [50]’nın çalışmalarından yararlanılarak belirlenmiştir. Bu kapsamda; çalışma duruşlarında kullanılan el aletinin ağırlığı, kullanma süresi ve kasların iyileşme süresi göz önünde tutularak maruz kalınan yük ya da harcanan kuvvet; 2 kg. ya da daha az ise; skor “0”, 2-10 kg. arasında ise; skor “1”, 2-10 kg. arasında statik ya da tekrarlı ise; skor “2”, aralıklarla yüke maruziyet ya da kuvvet harcanması söz konusu ise ve yük 10 kg’dan fazla ise; skor “2” olarak değerlendirilmektedir. Yüke maruziyet 10 kg’dan fazla ve statik ya da tekrarlıysa; skor “3” olarak değerlendirilmektedir. Eğer hızlı bir şekilde yüke maruziyet ya da kuvvet harcanması söz konusu ise; skor “3” olarak değerlendirilmektedir. Skor C ve Skor D, ana skor tablosu olan Tablo C’de keşitirilmekte ve sonuç olarak; “1” ila “7”

arasında değişen “Nihai RULA Skoru” elde edilmektedir. Tablo C, aşağıda Tablo 1’de yer almaktadır.

**Tablo 1.** RULA yönteminde kullanılan nihai skor tablosu-Tablo C (Final score table used in RULA method-table C)

	Skor D							
	1	2	3	4	5	6	7+	
Skor C	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	5	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8	5	5	6	7	7	7	7

Nihai skorlar, dört farklı eylem seviyesine ayrılarak değerlendirilmektedir. Aşağıda yer alan Tablo 2’de RULA Yöntemi eylem seviyeleri sunulmaktadır.

**Tablo 2.** RULA yönteminde yer alan eylem seviyeleri (Action levels in RULA method)

Eylem Seviyesi	Ana Skor	Açıklama
1	1-2	Kabul edilebilir
2	3-4	Daha fazla araştırma yapılmalı
3	5-6	En kısa zamanda iyileştirme yapılmalı
4	7	Hemen iyileştirme yapılmalı

### 3. ARULA ANALİZ ARACI (ARULA ANALYSIS TOOL)

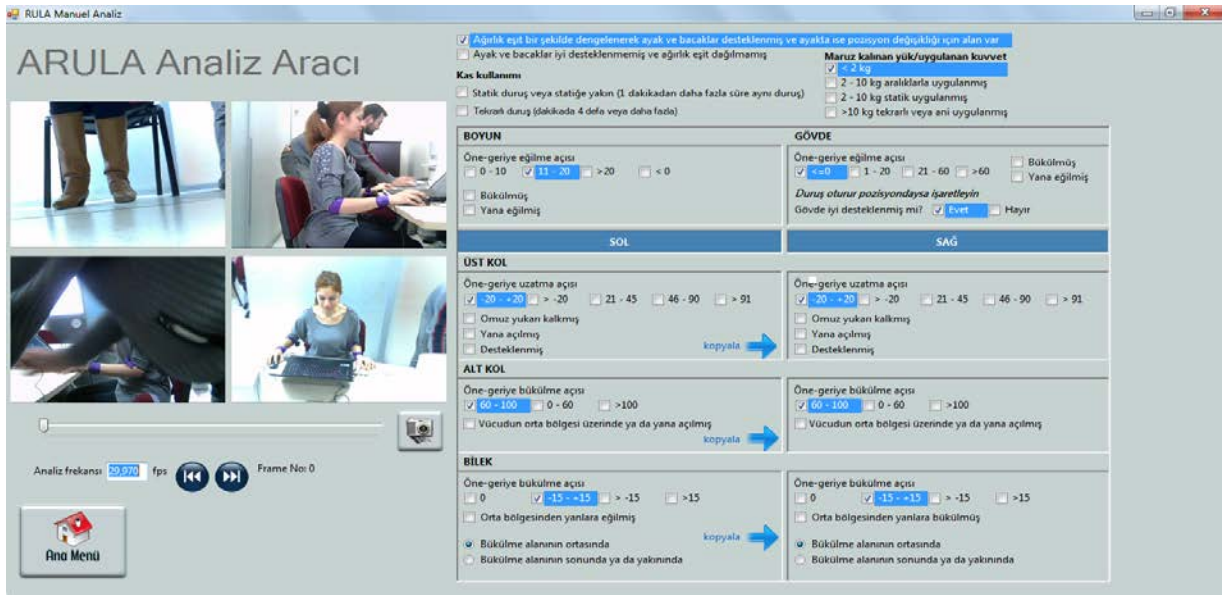
RULA yönteminin görüntü işleme sistemleri kullanılarak geliştirilmiş yeni versiyonuna “Geliştirilmiş RULA Analiz Aracı” adı verilmiştir. ARULA’da, RULA yönteminin içeriği ve karar kuralları değiştirilmeden mevcut sistem otomasyona geçirilmiştir. Aşağıda yer alan Şekil 1’de ARULA’nın işleyişi görülmektedir.



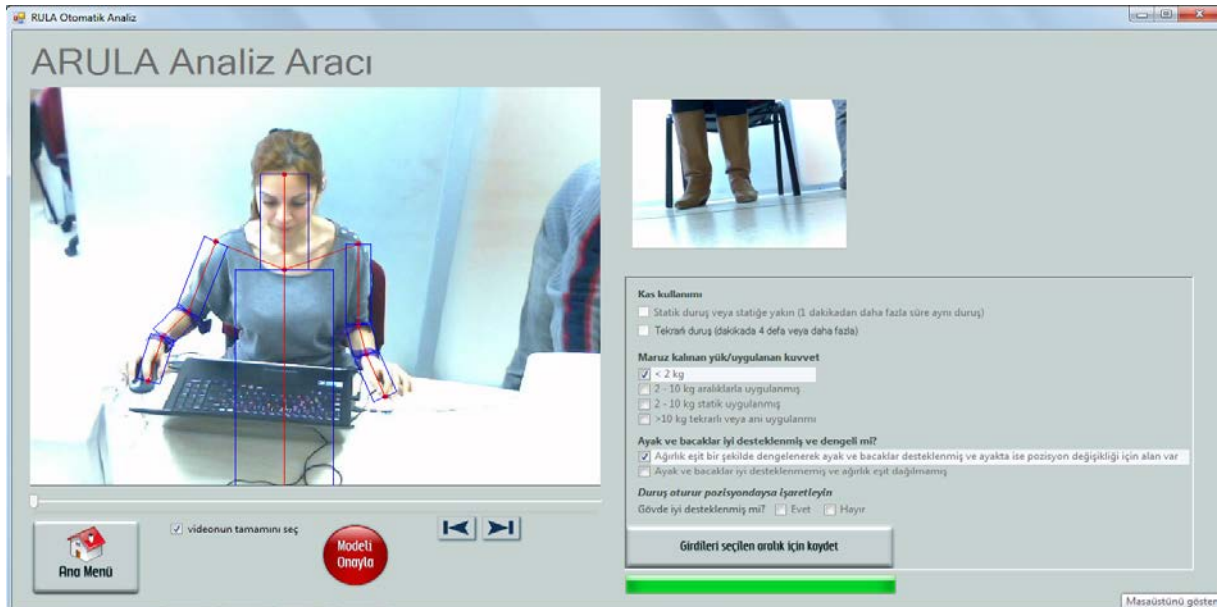
**Şekil 1.** ARULA analiz aracının işleyişi (Operation of ARULA analysis tool)

ARULA, video kayıt, video analiz, otomatik analiz, manuel analiz ve raporlama olmak üzere beş farklı menüden oluşmaktadır. Video kayıt menüsü ile ihtiyaca göre iki (otomatik analiz için) ya da dört web kamerası (manuel analiz için) kullanılarak eş zamanlı kayıt yapılabilmektedir. Video analizi menüsü ile kaydı alınan görüntülerin bulunması ve analiz için seçimi gerçekleştirilmektedir. Manuel analiz menüsünde dört web kamerasından gelen görüntüler (ön-ayak-bacak, sağ ve sol görüntüler) analiz edilmektedir. Otomatik analiz menüsünde çalışanın önden ve ayak-bacak görüntüsünü kayıt etmek için iki web kamerası kullanılmaktadır. Önden alınan görüntü üzerine kullanıcı tarafından iskelet modeli oturtularak analize başlanmaktadır. İskelet modeli, analiz süresince çalışanın duruşu değişikçe otomatik olarak hareket etmektedir. KKS, K/YS, ayak-

bacaklara ilişkin durumlar, gövdenin opsiyonel durumları otomatik analizde kullanıcı tarafından videonun tümü ya da belirli aralıkları için girilmektedir. Raporlar menüsünde ise; iki farklı analiz sisteminin sonuçları tek bir iş için ya da karşılaştırmalı olarak birden çok iş için raporlanabilmektedir. Şekil 2, 3 ve 4'de ARULA analiz aracına ait manuel analiz, otomatik analiz ve raporlar menülerine ait ekran görüntüleri örnek olarak yer almaktadır. ARULA'da ana skor hesabına ilişkin karar kuralı; tüm video boyunca en fazla süre ya da sıklık ile ortaya çıkan nihai skorun temel alınmasıdır. Çünkü her bir fotoğraf karesi için ayrı bir nihai skor hesaplanmaktadır. Kaydedilen video istenilen gözlem hızlarında analiz edilebilmekte ve gözlem hızları parametrik olarak analizci tarafından girilebilmektedir. Böylece iş sürecinin sadece belli bir anının

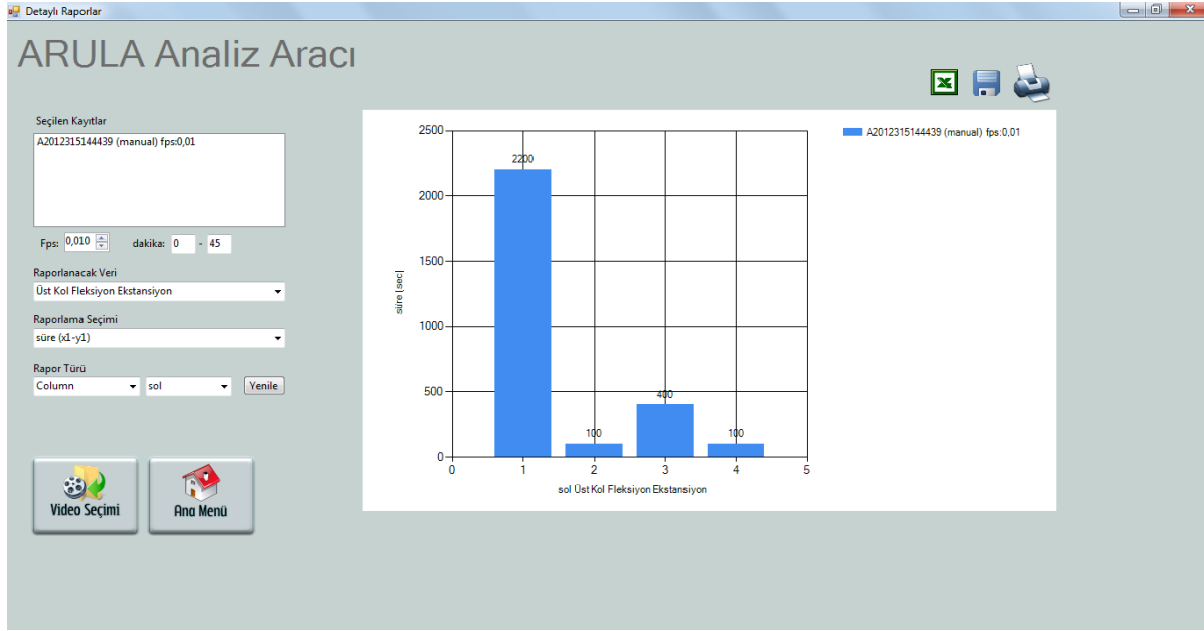


Şekil 2. ARULA analiz aracı manuel analiz menüsü (Manuel analysis menu of ARULA analysis tool)



Şekil 3. ARULA analiz aracı otomatik analiz menüsü (Automatic analysis menu of ARULA analysis tool)

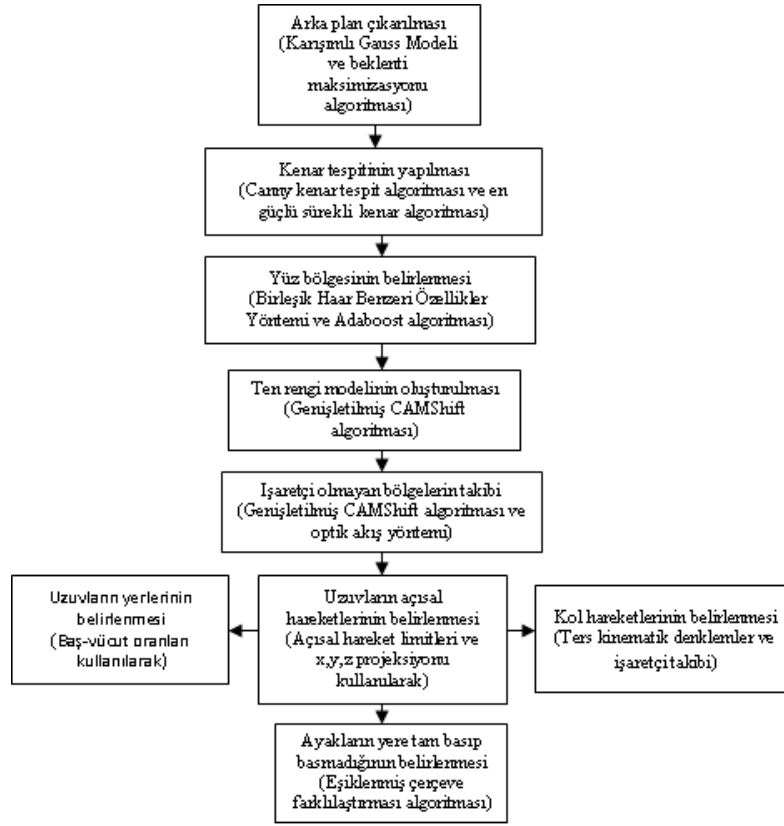




Şekil 4. ARULA analiz aracı raporlar menüsü (Reports menu of ARULA analysis tool)

gözlemlenmesi durumu ortadan kalkmaktadır. Çalışanın süreç içerisinde sergilediği bütün duruşlar analiz edilebilmektedir. Ayrıca farklı gözlem aralıklarında sonuçlar elde edilebilmektedir ve bu sonuçlar karşılaştırılabilmektedir. ARULA ile analize başlamadan önce görüntü işleme sistemlerinin getirdiği teknik gereklilikler nedeniyle yapılan kabuller şunlardır: 1) Video kaydı yapılan çalışanın başlangıç pozisyonu bilinmektedir. Video kaydı başladıktan sonra çalışan kendi doğal duruşuna dönebilmektedir. 2) Çalışanın bir sonraki duruşu sürekli tahmin edilebilmektedir. Kamera ile çekilen görüntüler 29 fps hızında (saniyede 29 çerçeve hızla) gelmektedir. Bu nedenle örneğin; bir fotoğraf karesinde kol aşağıda ise diğerinde kolun en yukarıda olması beklenmemektedir. 3) Çalışanın kameraya ön taraftan baktığı kabul edilmektedir. 4) Dirsek ve bilek hareketlerinin daha net bir şekilde belirlenmesi için ilgili uzuvlara işaretçiler (kurdele) takılmıştır. 5) Video kaydı başlamadan önce çalışanın iki ayağı birden yere basmalıdır. ARULA’da çalışanın başlangıç pozisyonu ile eşleştirilmek üzere mafsallı bir iskelet modeli kullanılmıştır [51]. Modelde, vücudun her bir uzvu konik şekilde temsil edilmektedir ARULA analiz aracının arka planında yer alan görüntü işleme sisteminin işleyişi ise; aşağıda Şekil 5’de yer almaktadır. ARULA analiz aracında, ilk aşamada duruş görüntüsüne ait mevcut veri setinden arka plan bilgileri çıkarılmaktadır. Arka plan çıkarma işlemi ile çalışanın silüeti elde edilmektedir. Çalışmada, her bir arka plan pikselinin farklı tonlara sahip olduğu zaman dahi doğru çalışabilen “Karışımli Gauss Modeli” kullanılmıştır [52]. Modelde, “K” adet Gauss dağılımının her biri için gerekli parametrelerin hesaplanmasında “Beklenti Maksimizasyonu” algoritması uygulanmıştır. Algoritma, tam olmayan veri (kayıp veri) problemlerini çözmek için maksimum olasılık tahminleri yapan tekrarlı bir algoritmadır [53]. Çalışanın silüeti elde edildikten sonra “Canny Kenar Tespit Algoritması” ile silüetin sınırları bulunmuştur. Burada amaç, yapısal özellikleri koruyarak veri sayısını azaltmaktır

[54]. Bu aşamada Canny algoritmasına destek olması açısından En Güçlü Sürekli Kenar yöntemi kullanılmıştır. Böylece, gürültüden etkilenmemiş kenar parçalarına ulaşılmaktadır. Silüete ait kenarlar belirlendikten sonra, arama yapılan bölgeyi net bir şekilde bulabilmek için silüetin kapsadığı alan içerisinde kalmak gerekmektedir. Bu nedenle Canny Kenar Tespit Algoritmasıyla birlikte “Genişletilmiş CAMShift” algoritması kullanılmaktadır. Ardından da yüz bölgesinin bulunması için “Birleşik Haar Benzeri Özellikler (Joint Haar-like features)” yöntemi uygulanmaktadır. Yöntem, gürültüye karşı hassas değildir ve eğitilmiş özellik setleriyle çalışmaktadır [55]. Söz konusu setlere çalışma kapsamında yüz ile ilgili özellikler öğretilmiştir. Yöntemde, eğitim seti ile yüz özellikleri seti arasında yüksek bir korelasyon aranmaktadır. Öğrenme işlemi “Adaptif Düzeltme” olarak adlandırılan bir öğrenme algoritmasıyla gerçekleştirilmektedir [56]. Yüz bölgesi bulunduktan sonra ten rengi modelinin çıkarılması için “Genişletilmiş CAMShift” algoritması uygulanmaktadır. Ten rengi modellendikten sonra ise ellerin yeri bulunabilmektedir. Algoritmada belirli bir arama penceresi ve belirli bir eksen dahilinde belirlenen pik değerini bulmak için renk histogramlarından hesaplanan dağılımların eğimi belirlenmektedir [57]. Bununla birlikte çalışmada işaretçilerin olmadığı bölgelerin hareketlerini izlemek için ise Genişletilmiş CamShift ile birlikte “Optik Akış” yöntemi kullanılmıştır. Optik akış, görüntünün belli bir bölgede bulunan her bir pikselinin yer değiştirme yoğunluğunu parlaklık kısıtını kullanarak belirleyen bir yöntemdir [58]. Çalışma kapsamında aydınlatma kaynaklı hataları azaltabilmek için insan algısına en yakın sonuçlar veren “HSV (Hue-Saturation-Value)” renk uzayı kullanılmıştır [59]. Yüz bölgesi bulunduktan sonra diğer uzuvların yerlerinin belirlenmesi için “baş-vücut oranları sistemi” kullanılmıştır. Burada “sekiz başlık kanon sistemi” uygulanmıştır [60]. İlgili sistemde, ideal insan vücudunun 8 tane baş büyüklüğünde ve iki baş genişliğinde olduğu kabul



Şekil 5. ARULA analiz aracında kullanılan görüntü işleme sisteminin işleyişi  
(Operation of image processing system used in ARULA analysis tool)

edilmektedir. Uzuvların yerleri belirlendikten sonra “x, y, z projeksiyonu” yöntemi ile hareketler takip edilmekte, ters kinematik denklemlerle uzuv açıları hesaplanmaktadır [61]. x, y, z projeksiyonu yönteminde “x” ve “y” koordinatlarına ek olarak; uzuvlar hareket ettikçe derinlik bilgisine de ihtiyaç duyulduğu için “z” koordinatının da hesaplanması gerekmektedir. Burada ana prensip; insan vücudunun belli bir zaman diliminde alt ve üst sınırlar dahilinde açısal hareket yapabileceğidir. Son olarak; ARULA analiz aracı kapsamında her iki ayağın yere basıp basmadığının belirlenmesi için “Eşiklenmiş Çerçeve Farklılaştırması” yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde, iki çerçeve arasındaki piksel farkı, önceden belirlenmiş eşik değerinden büyükse bir hareketin olduğu anlaşılmaktadır [62].

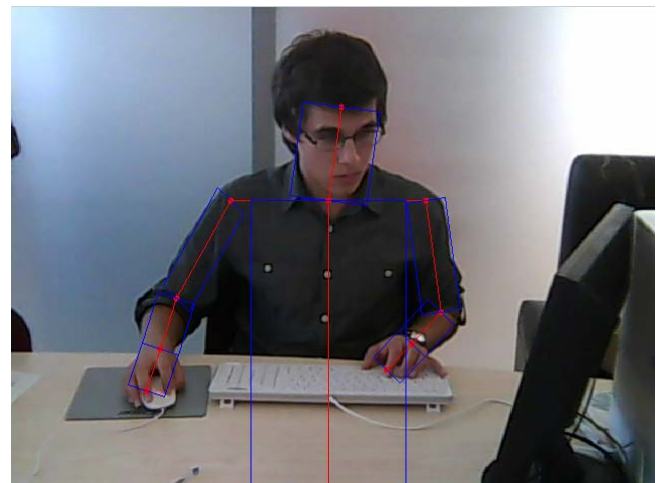
#### 4. BULGULAR (FINDINGS)

##### 4.1. ARULA Analiz Aracının Güvenilirlik ve Geçerliliğinin Test Edilmesi

(Testing Reliability and Validity of ARULA Analysis Tool)

ARULA analiz aracının ürettiği sonuçların güvenilirliğini test etmek için rastgele sergilenen 30 farklı çalışma duruşu kapsamındaki her bir vücut bölümünün açısal hareketleri dijital bir açıölçer kullanılarak ölçülmüştür. Ardından aynı hareketler ARULA'nın otomatik analiz menüsü ile değerlendirilmiştir. Aşağıda Şekil 6 ve Şekil 7'de analiz edilen çalışma duruşlarına ilişkin iki örnek yer almaktadır. Tablo 3'de ise boyun ve gövde bölümlerine ait ARULA ve

açıölçer kullanılarak alınan ölçümler örnek olarak verilmiştir. ARULA ve açıölçer kullanılarak ölçüm sonuçları elde edildikten sonra iki yöntem arasındaki farkın anlamlı olup olmadığı istatistiksel olarak test edilmiştir. Bu kapsamda, “Wilcoxon İşaretli Sıra Sayılar Testi” kullanılmıştır [63]. Test istatistiği Eş. 2'de gösterilmektedir.



Şekil 6. Birinci örnek çalışma duruşu  
(First sample working postures)

$$z = (T + (n(n+1))/4) / \sqrt{((n(n+1)) \times (2n+1))/24}$$

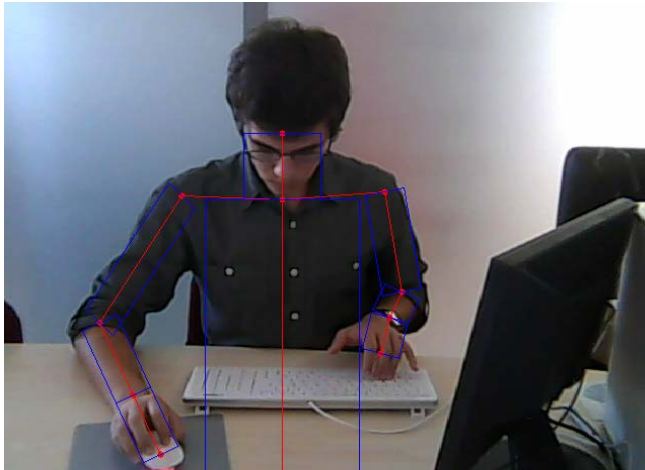
(2)

**Tablo 3.** Boyun ve gövdeye ait ölçümler (Measurements belonging to neck and trunk)

Ölçüm No	Boyun		Gövde		Boyun Açısal Fark	Gövde Açısal Fark
	ARULA	A	ARULA	A		
1	25,00	25,80	83,00	85,40	0,80	2,40
2	32,00	35,60	0,00	1,20	3,60	1,20
3	32,00	32,10	0,00	1,50	0,10	1,50
4	30,00	30,80	2,00	3,90	0,80	1,90
5	10,00	11,00	76,00	75,00	1,00	1,00
6	27,00	29,20	2,00	2,80	1,80	0,80
7	27,00	25,10	2,00	1,80	1,90	0,20
8	46,00	45,00	52,00	50,00	1,00	2,00
9	28,00	26,70	1,00	1,20	1,30	0,20
10	17,00	19,30	74,00	72,70	2,30	1,30
11	30,00	30,20	72,00	69,60	0,20	2,40
12	43,00	42,00	70,00	67,00	1,00	3,00
13	15,00	14,40	5,00	5,90	0,60	0,90
14	14,00	16,50	8,00	10,50	2,50	2,50
15	19,00	19,90	78,00	76,40	0,90	1,60
16	12,00	13,50	21,00	22,40	1,50	1,40
17	15,00	16,50	25,00	27,90	1,50	2,90
18	27,00	29,20	0,00	2,00	2,20	2,00
19	19,00	17,80	79,00	78,40	1,20	0,60
20	20,00	19,20	14,00	16,50	0,80	2,50
21	25,00	26,50	5,00	6,20	1,50	1,20
22	23,00	22,40	3,00	4,90	0,60	1,90
23	35,00	32,00	0,00	1,00	3,00	1,00
24	17,00	18,30	3,00	3,80	1,30	0,80
25	21,00	22,50	76,00	74,50	1,50	1,50
26	28,00	29,00	17,00	18,80	1,00	1,80
27	21,00	23,60	2,00	2,80	2,60	0,80
28	22,00	20,40	17,00	16,80	1,60	0,20
29	22,00	22,50	6,00	5,80	0,50	0,20
30	20,00	18,30	25,00	26,60	1,70	1,60
ORTALAMA FARK					1,41	1,4433

Burada;

$T$ : İkili örnek dizileri arasındaki fark,  $n$ : Örnek sayısı olarak ifade edilmektedir.



**Şekil 7.** İkinci örnek çalışma duruşu  
(Second sample working postures)

Wilcoxon İşaretli Sıra Sayılar Testi yöntem kapsamındaki vücut bölümlerinin her biri için uygulanmıştır. Güvenilirlik analizi uygulamasında, güven düzeyi “% 95”, “ $\alpha$ ” anlamlılık düzeyi ise; “% 5” olarak alınmıştır. Analiz sonuçları aşağıda Tablo 4’de yer almaktadır. Tablo 4’den de görüldüğü gibi ARULA güvenilir sonuçlar üretmektedir. Aynı koşullar altında sergilenen farklı çalışma duruşları, farklı iki ölçüm şekli ile değerlendirildiğinde dahi benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. ARULA ile elde edilen sonuçlarla açıölçerden elde edilen sonuçlar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamaktadır. ARULA’dan elde edilen sonuçların geçerliliğini test etmek için ise; aynı çalışan tarafından sergilenen 29 farklı çalışma duruşu, beş farklı kullanıcı tarafından analiz aracının otomatik analiz menüsü kullanılarak değerlendirilmiştir.

Burada amaç; farklı kullanıcıların ARULA ile yaptıkları değerlendirmelerde benzer sonuçlara ulaşım ulaşımadıklarının belirlenmesidir. ARULA’nın otomatik analiz menüsünde kullanıcı etkisi sadece başlangıç duruşuna iskelet modelinin oturtulması sırasında ortaya çıkmaktadır. Beş farklı kullanıcının nihai skorlar açısından vücudun sağ



**Tablo 4.** Güvenilirlik analizine ilişkin sonuçlar (Results related to reliability analysis)

Gruplar	N	Ortalama	Standart Sapma	Z	p	H <sub>0</sub> Kabul/Ret
Sağ bilek açılçer	30	11,947	12,431	-0,237	0,813>0,05	Kabul
Sağ bilek yazılım	30	11,933	12,733			
Sol bilek açılçer	30	19,917	18,56	-1,348	0,178>0,05	Kabul
Sol bilek yazılım	30	20	18,644			
Sol üst kol açılçer	30	21,16	13,585	-1,353	0,176>0,05	Kabul
Sol üst kol yazılım	30	21,167	13,737			
Sol alt kol açılçer	30	84,737	28,111	-1,682	0,093>0,05	Kabul
Sol alt kol yazılım	30	84,6	28,182			
Sağ üst kol açılçer	30	28,893	16,455	-0,057	0,955>0,05	Kabul
Sağ üst kol yazılım	30	28,767	16,313			
Sağ alt kol açılçer	30	69,95	23,629	-0,533	0,594>0,05	Kabul
Sağ alt kol yazılım	30	70,133	23,674			
Gövde açılçer	30	27,777	30,861	-1,677	0,093>0,05	Kabul
Gövde yazılım	30	27,267	31,827			
Boyun açılçer	30	24,51	8,036	-1,42	0,156>0,05	Kabul
Boyun yazılım	30	24,067	8,379			

**Tablo 5.** Geçerlilik analizi sonuçları (Results of validity analysis)

Kullanıcı	Sol Yan		Sağ Yan	
	Medyan	IQR*	Medyan	IQR
1. Kullanıcı	4	2	4	2
2. Kullanıcı	5	2	5	1
3. Kullanıcı	4	2	4	2
4. Kullanıcı	5	2	5	1
5. Kullanıcı	4	2	4	2
Kendall's W*	0,015		0,006	
p	0,788		0,955	

\*IQR: Inter Quartile Range

ve sol tarafı için yaptıkları değerlendirmelere “Kendall’s W Uyum Katsayısı Testi” uygulanmıştır. Söz konusu test “n” farklı gözlemcinin “t” farklı fenomeni değerlendirmesindeki uyumluluklarını analiz etmektedir [64]. Kendall’s W Uyum Katsayısı Testinde test istatistiği ki-kare dağılımına uygundur. Söz konusu istatistik aşağıda Eş. 3’de gösterilmektedir.

$$\chi^2 = B(A - 1)W + \chi^2_{S_{d-1,a}} \quad (3)$$

Burada,

B: Değişken sayısını,

A: Sıralı değişken sayısını,

$$\chi^2_{S_{d-1,a}} = \text{Ki-kare tablo değerini göstermektedir.}$$

Geçerlilik analizi kapsamında, “% 95” güven ve “α” “0,05” anlamlılık düzeyinde analiz yapılmıştır. Vücudun sağ ve sol tarafı için geçerlilik analizi sonuçları Tablo 5’de yer almaktadır. Tablo 5’den de görüldüğü gibi; beş kullanıcının vücudun sağ ve sol tarafına ilişkin nihai skor değerlendirmeleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Sonuç olarak, ARULA analiz aracının geçerli sonuçlar ürettiği belirlenmiştir.

#### 4.2. RULA ile ARULA Tarafından Üretilen Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

(Comparing Results Produced by RULA and ARULA)

Bu bölümde, RULA ve ARULA ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma için beş gözlemcinin RULA’yı kullanarak yaptıkları değerlendirmelerle, ARULA’nın otomatik analiz bölümünün aynı çalışma duruşları için yaptığı değerlendirmeler kullanılmaktadır. Karşılaştırmada kullanılan çalışma duruşları aynı çalışan tarafından sergilenen 29 farklı çalışma duruşudur.

Bu kapsamda, RULA ve ARULA ile yapılan değerlendirmelerin benzerliğini test etmek için “McNemar Testi” kullanılmıştır. McNemar testi, iki bağımlı örnek (eşler) probleminde ölçüm (işlem) sonucuna göre eşlerin kategorilere (sınıflara) ayrıldığı durumlarda kullanılmaktadır [65]. Test sonuçları, “% 95” güven aralığında, “α= 0,05” anlamlılık düzeyinde RULA yönteminin kapsadığı vücut bölümlerinin her biri için ayrı ayrı elde edilmiştir. Aşağıda yer alan Tablo 6’da gövde için RULA ve ARULA analiz sonuçları örnek olarak verilmiştir. Gövde bölümünün duruşlarına ilişkin elde edilen McNemar testi sonuçları örnek olarak aşağıda Tablo 7’de verilmiştir. Vücut bölümlerine ait analiz sonuçları incelendiğinde gözlemcilerin gövde, sağ üst kol, sağ bilek dönme ve sol bilek dönme duruşlarına ilişkin

**Tablo 6.** Gövde için RULA ve ARULA değerlendirme sonuçları (RULA and ARULA evaluation results for trunk)

DURUŞ NO	G1	G2	G3	G4	G5	ARULA
1	2	2	3	3	2	4
2	3	2	3	3	3	2
3	3	3	3	3	3	2
4	2	2	2	2	3	2
5	1	1	1	1	1	2
6	1	1	1	1	1	2
7	1	1	1	1	1	2
8	1	1	1	1	1	2
9	1	1	1	1	1	2
10	1	1	1	1	1	2
11	1	1	1	1	1	2
12	1	1	1	1	1	2
13	2	2	2	2	2	2
14	3	2	2	3	3	2
15	2	3	3	2	2	2
16	3	2	3	3	3	2
17	2	2	2	3	2	2
18	3	3	3	3	3	2
19	3	3	3	3	3	2
20	2	2	2	2	2	2
21	2	2	2	3	2	2
22	2	2	2	2	2	2
23	3	2	3	2	3	2
24	3	3	3	3	3	2
25	3	2	3	3	3	2
26	3	3	3	3	3	2
27	1	1	1	1	1	2
28	3	2	3	3	3	2
29	3	4	3	3	3	2

**Tablo 7.** Gövdeye ilişkin mcnemar testi sonuçları (McNemar test results of trunk)

Gözlemci	1		2 ve üstü		McNemar p	H <sub>0</sub> Kabul/Ret
	n	%	n	%		
Gövde_gözlemci1	9	31	20	69	0,004	Ret
Gövde_otomatik1	0	0	29	100		p<0,05
Gövde_gözlemci2	9	31	20	69	0,004	Ret
Gövde_otomatik2	0	0	29	100		p<0,05
Gövde_gözlemci3	9	31	20	69	0,004	Ret
Gövde_otomatik3	0	0	29	100		p<0,05
Gövde_gözlemci4	9	31	20	69	0,004	Ret
Gövde_otomatik4	0	0	29	100		p<0,05
Gövde_gözlemci5	9	31	20	69	0,004	Ret
Gövde_otomatik5	0	0	29	100		p<0,05

değerlendirmeleri ile ARULA'nın otomatik analiz menüsü tarafından yapılan değerlendirmeler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunduğu belirlenmiştir. Özetle, gözlem sonuçları ile ARULA sonuçları arasında söz konusu vücut duruşları açısından geçerlilik sağlanamamaktadır. Çünkü ARULA, RULA yöntemine göre daha hassas bir değerlendirme yapmaktadır. İnsan gözünün söz konusu hassasiyet derecesinde açısal değerlendirme yapması mümkün değildir.

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Çalışma kapsamında gözlem temelli RULA yönteminin performansını, ürettiği sonuçların geçerliliğini ve güvenilirliğini arttırmak için görüntü işleme destekli

ARULA analiz aracı geliştirilmiştir. ARULA'nın ürettiği analiz sonuçlarının geçerliliği ve güvenilirliği istatistiksel olarak test edilerek kanıtlanmıştır. ARULA ile analiz edilecek işin video kaydı alınarak iş, bir bütün olarak detaylı bir şekilde incelenebilmektedir. Her bir vücut bölümü için en uzun süre ile sergilenen duruşlar otomatik olarak belirlenebilmekte ve böylece RULA ile gözleme dayalı bir şekilde gerçekleştirilen bu faaliyet için zaman ve işgücü kaybı yaşanmamaktadır. Ayrıca her bir vücut bölümü için en tehlikeli biçimde sergilenen çalışma duruşu otomatik olarak belirlenebilmektedir. Böylece, subjektiflik ortadan kalkmakta, işgücü ve zaman kaybı önlenmektedir. Bununla birlikte analiz süreleri kullanıcı tarafından parametrik olarak girilebilmektedir. Bu kapsamda, farklı analiz sürelerine ilişkin sonuçlar karşılaştırılabilmekte ve farklı gözlem sürelerine ait çalışmaların yapılabilmesi sağlanmaktadır.

Vücutun her iki yanı otomatik olarak aynı anda analiz edilebilmektedir. Her bir vücut bölümünün hareket aralıkları sübjektif yargılara göre değil, görüntü işleme algoritmaları sayesinde objektif ölçümlere göre belirlenmektedir. ARULA ile incelenen işe ait bilgiler detaylı bir şekilde raporlanabilmektedir. RULA yönteminde ise; elde edilen bilgiler işin belli bir anına ilişkin genel bilgilerdir ve herhangi bir raporlama sistemi bulunmamaktadır. ARULA'nın raporlama sistemi ile birden fazla iş ve birden fazla çalışma duruşunun karşılaştırmalı sonuçlarına ulaşılabilir. Ayrıca ARULA kullanıcıya hızlı bir analiz imkânı sağlamak ve işe ilişkin bilgi sahibi olmayan analizcilerin de kolaylıkla değerlendirme yapabilmelerine imkân vermektedir. Bununla birlikte, analiz aracı hareket takibi için çalışana rahatsız edebilecek karmaşık mekanizmalara ihtiyaç duymamaktadır. Gelecek çalışmalarda üst ekstremitedeki zorlanmaların analiz edilmek istendiği işler için ARULA analiz aracı kullanılarak çok sayıda ve farklı işler için en iyi gözlem süresi ve aralığı değerleri hesaplanarak standart bir tablo oluşturulabilir. Böylece, herhangi bir iş için yapılması gereken gözlem süresi ve aralığı analizin başında belirlenmiş olacaktır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Akay D., Dağdeviren M., Kurt M., Ergonomic analysis of working postures, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture Gazi University*, 18 (3), 73-84, 2003.
2. Denis D., St-vincent M., Imbeau D., Jette C., Nastasia I., Intervention practices in musculoskeletal disorder prevention: A critical literature review, *Appl Ergon.*, 39, 1-14, 2008.
3. Liang M., Damien C., Fouad B., Wei Z., A new simple dynamic muscle fatigue model and its validation, *Int J Ind Ergonom*, 39, 211–220, 2011.
4. BMUS (United States Bone and Joint Initiative). the burden of musculoskeletal diseases in the United States, Second Edition. Rosemont, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons. [www.boneandjointburden.org](http://www.boneandjointburden.org). Yayın tarihi 16 Temmuz 2008. Erişim tarihi 05 Mayıs 2015.
5. <http://www.bls.gov/news.release/pdf/osh2.pdf> Yayın tarihi 10 Kasım 2016. Erişim tarihi 27.09.2016.
6. <http://www.hse.gov.uk/statistics/causdis/musculoskeletal/index.htm>. Yayın tarihi 2016. Erişim tarihi 26.09.2016.
7. Bevan S., Quadrello T., McGee R., Mahdon M., Vavrovsky, A., Barham, L., 2009. Fit for work? Musculoskeletal disorders in the European workforce. The Work Foundation. [http://www.fitforworkeurope.eu/default.aspx.locid\\_0afnew009.htm](http://www.fitforworkeurope.eu/default.aspx.locid_0afnew009.htm), Yayın tarihi 2009. Erişim tarihi 27.09.2016.
8. Habibi E., Fereidan M., Aghababai A. M., Pourabdian S., Prevalence of musculoskeletal disorders and associated lost work days in steel making industry, *Iran J Public Health*, 37, 83-91, 2008.
9. Haslaegrave C.M., What do we mean by a working posture?, *Ergonomics*, 37 (4), 781-799, 1994.
10. Can G.F., Atalay K.D., Eraslan, E., Working posture analysis in fuzzy environment and ergonomic work station design recommendations, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture Gazi University*, 30 (3), 451-460, 2015.
11. Karhu O, Kansu P, Kuorinka I., Correcting working postures in industry: A practical method for analysis, *Appl Ergon.*, 8, 199–201, 1977.
12. McAtamney L., Corlett E.N., RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Appl Ergon.*, 24 (2), 91-99, 1993.
13. Hignett S, McAtamney L., Rapid Entire Body Assessment (REBA), *Appl Ergon.*, 31, 201–205, 2000.
14. Moore J.S, Garg A., The Strain Index: A proposed method of analyzing jobs for risk of distal upper extremity disorders, *Am Ind Hyg Assoc J.*, 56 (5), 443-458, 1995.
15. Shival K., Donchin M., Prevalence of upper extremity musculoskeletal symptoms and ergonomic risk factors at a hi-tech company in Israel, *Int J Ind Ergonom*, 35, 569-581, 2005.
16. Diniz de Sa F., Do Nascimento M.A., Carvalho De Melo A.C., Da Costa Santos J., Adissi P.J. Comparison of methods RULA And REBA for evaluation of postural stress in odontological services, *Third International Conference on Production Research-Americas' Region 2006 (ICPR-AM06)*, Brazil, July 30-August 2, 2006.
17. Choobineh A., Tosian R., Alhamdi Z., Davarzanie M.H., Ergonomic intervention in carpet mending operation, *Appl Ergon.*, 35, 493-496, 2004.
18. Dockrell S., Earle D., Galvin R., Computer-related posture and discomfort in primary school children: the effects of a school-based ergonomic intervention, *Comput Educ*, 55, 276-284, 2010.
19. Kaufman-Cohen Y.N., Ratzon Z., Correlation between risk factors and musculoskeletal disorders among classical musicians, *Occ. Med.*, 61 (2), 90-95, 2011.
20. Najarkola S.A.M., Mirzaei R., Evaluation of upper limb musculoskeletal loads due to posture, repetition and force by rapid upper limb assessment in a textile factory, *Health Scope*, 1 (1), 18-24, 2012.
21. Dockrell S., O'grady E., Bennett K., Mularkey C., Mcconnell R., Ruddy R., Twomey S., Flannery C., An investigation of reliability of Rapid Upper Limb Assessment (RULA) as a method of children's computing posture, *Appl Ergon.*, 43 (3), 632-636, 2012.
22. Vignais, N., M. Miezal, G. Bleser, K. Mura, D. Goreck., Innovative system for real time ergonomic feedback in industrial manufacturing, *Appl Ergon.*, 44, 566-574, 2013.
23. Roll S.C., Selhorst L., Evans K.D., Contribution of positioning to work-related musculoskeletal discomfort in diagnostic medical sonographers, *Work*, 47 (2), 253-260, 2014.
24. Peppoloni L., Filippeschi A., Ruffaldi E., Avizzano C.A., A novel wearable system for the online assessment of risk for biomechanical load in repetitive efforts, *Int J Ind Ergonom*, 52, 1-11, 2015.

25. Rabiei M., Shakiba M., Dehgan-shahreza H.A.B.I.B.O.L.A.H., Talebzadeh M., Musculoskeletal disorders in dentists, *IJOH*, 4 (1), 36-40, 2015.
26. Rahman M.K.F.A., Shahrman A.B., Desa H., Daud R., Razlan Z.M., WAN K., Cheng E.M., Afendi M., Comparative study of Rapid Upper Limb Assessment (RULA) and Rapid Entire Body Assessment (REBA) between conventional and machine assisted napier grass harvest works, *AMM*, 786, 2015.
27. Ranganathan D.S.M.M.R., Co-relation of Neck Rapid Upper Limb Assessment Score with neck pain. 19th Triennial Congress of the IEA, 9-14, August 2015.
28. Dabholkar T.A., Gandhi P., Yardi S., Dabholkar A.S., Correlation of biomechanical exposure with cumulative trauma disorders of upper extremity in dental surgeons, *J Dent Allied Sci*, 4 (1), 13, 2015.
29. Habibi E., Mohammadi Z., Sartang A.G., Ergonomic assessment of musculoskeletal disorders risk among the computer users by Rapid Upper Limb Assessment method, *Int J Environ Health Eng.*, 5 (1), 15, 2016.
30. Ansari N.A., Sheikh M.J., Evaluation of work posture by RULA and REBA: A case study. *IOSR-JMCE*, 11 (4), 18-23, 2014.
31. Deros B.M., Khamis N.K., Mohamad D., Kabilmiharbi N., Daruis D.D.I., Investigation of oil palm harvesters' postures using RULA analysis. In *Biomedical Engineering and Sciences (IECBES)*, 2014 IEEE Conference on, 287-290, December 2014.
32. Isa H., Rahman M.A., Hazmilah H., Sihombing H., Saptari, A., Baharudin, A.B., Syaheera, A., Ergonomic design of CNC milling machine for safe working posture, In *Applied Mechanics and Materials*, 465, 60-64, Trans Tech Publications, 2014.
33. Rivero L.C., Rodríguez R.G., Pérez M.D.R., Mar C., Juárez Z., Fuzzy logic and RULA method for assessing the risk of working. *Procedia Manufacturing*, 3, 4816-4822, 2015.
34. Movahhed T., Dehghani M., Arghami S., Arghami A., Do dental students have a neutral working posture?, *J Back Musculoskelet Rehabil*, 29 (4), 859-864, 2016
35. Veisi H., Choobineh A.R., Ghaem H., Musculoskeletal problems in Iranian hand-woven shoe-sole making operation and developing guidelines for workstation design. *The international journal of occupational and environmental medicine*, 7 (2 April), 725-87, 2016.
36. Kaliniene G., Ustinaviciene R., Skemiene L., Vaiciulis V., Vasilavicius P., Associations between musculoskeletal pain and work-related factors among public service sector computer workers in Kaunas County, Lithuania. *BMC Musculoskelet Disord.*, 17 (1), 420, 2016.
37. Manghisi V.M., Uva A.E., Fiorentino M., Bevilacqua V., Trotta, G.F., Monno, G., Real time RULA assessment using Kinect v2 sensor. *Appl Ergon.*, in press, 2017.
38. Kong Y.K., Lee S.Y., Lee K.S., Kim D.M., Comparisons of ergonomic evaluation tools (ALLA, RULA, REBA and OWAS) for farm work. *Int J Occup Saf Ergon.*, 1-6., 2017.
39. Tichauer E.R., Some aspects of stress on forearm and hand in industry, *Occ. Med.*, 8, 63-71, 1966.
40. Chaffin D.B., Localized muscle fatigue-definition and measurement, *Occ. Med.*, 15, 346-354, 1973.
41. Herberts P., Kadefors R., Broman H., Arm positioning in manual tasks. An electromyographic study of localized muscle fatigue, *Ergonomics*, 23, 655-665, 1980.
42. Hagberg M., Electromyographic signs of shoulder muscular fatigue in two elevated arm positions, *Am J Phys Med Rehabil*, 60, 111-121, 1981.
43. Schuldt K., Ekholm J., Harms-Ringdahl K., Arborelius U.P., Nemeth G., Influence of sitting postures on neck and shoulder emg during arm-hand work movements, *Clin Biomech*, 2, 126-139, 1987.
44. Grandjean E., *Fitting The Task to The Man*, Taylor & Francis, London, 1988.
45. Tichauer E.R., Ergonomics sustains occupational safety and health, *Int J Ind Ergonom*, 8, 45-46, 1976.
46. <http://www.hse.gov.uk/msd/information.htm> Erişim tarihi 04.03.2011.
47. Kilbom A, Persson I., Jonsson B.G., Disorders of the cervicobrachial region among female workers in the electronics industry, *Int J Ind Ergonom*, 1, 37-47, 1986.
48. Drury C.G., A biomechanical evaluation of the repetitive motion injury potential of industrial jobs, *Seminars in Occupational Medicine*, 2 (1), 41-47, 1987.
49. Putz-Anderson V., *Cumulative Trauma Disorders. A Manual for Musculoskeletal Diseases of The Upper Limbs*, Taylor & Francis, London, 1988.
50. Stevenson M.G, Baidya K., Some Guidelines on Repetitive Work Design To Reduce The Danger of Teno-Synovitis, Editor: Stevenson M.G., *Readings in RSI, The Ergonomics Approach to Repetition Strain Injuries*, New South Wales University Press, Sydney, 1987.
51. Mihelj M., Human arm kinematics for robot based rehabilitation, *Robotica*, 24 (3), 377-383, 2006.
52. KaewTraKulPong P., Bowden R., An improved adaptive background mixture model for real-time tracking with shadow detection, *VSS*, 1, 135-144, 2002.
53. Özdemir M., Akbulak C., Yıldırım H.H., Görüntü farkı alma metodu ve beklenti maksimizasyonu algoritması ile Gelibolu Yarım Adası Tarihi Milli Parkı orman alanlarındaki mekânsal değişimin analizi, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20 (1), 115-138, 2010.
54. Canny J., A Computational approach to edge detection. pattern analysis and machine intelligence, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 6, 679-698, 1986.
55. Mita T., Kaneko T., Hori O., Joint Haar-Like Features For Face Detection, *Tenth International Conference on Computer Vision (ICCV'05)*, Rio de Janeiro, Brazil, October, 2007.
56. Rätsch G., Onoda T., Müller K.R., Soft margins for AdaBoost, *Machine Learning*, 42 (3), 287-320, 2001.
57. Exner D., Bruns E., Kurz D., Grundhöfer A., Bimber, O., Fast and Robust Camshift Tracking, In *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2010 IEEE Computer Society Conference on IEEE, 9-16, 2010.

58. Lee D.N., Kalmus H., The optic flow field: the foundation of vision and discussion, *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.*, 290 (1038), 169-179, 1980.
59. Sural S., Qian G., Pramanik S., Segmentation and Histogram Generation Using The HSV Color Space for Image Retrieval, *International Conference on IEEE*, 2 (2), 589, 2002.
60. Drillis R., Contini R., Bluestein M., Body segment parameters: A survey of measurement techniques, *Artificial Limbs*, 25, 44-66, 1964.
61. Zhou Z.H., Geng X., Projection functions for eye detection, *Pattern Recognit.*, 37 (5), 1049-1056, 2004.
62. Shah D.J., Estrin D., Motion based bird sensing using frame differencing and gaussian mixture, *Under Graduate Research Journal*, 47-52, 2010.
63. Kalaycı Ş., SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 5. Baskı, Ankara, 2010.
64. Özdamar K., Paket Programlar İle İstatistiksel Veri Analizi-1/2, Kaan Kitapevi, Eskişehir, 1999.
65. Gamgam H., Altunkaynak B., Parametrik Olmayan Yöntemler-SPSS Uygulamalı, Gazi Kitapevi, Ankara, 2008.



