



## Ergonomic risk assessment application based on computer vision and machine learning

Alper Kiraz\*<sup>ID</sup>, Anıl Özkan Geçici<sup>ID</sup>

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Sakarya University, 54050, Serdivan, Sakarya, Türkiye

### Highlights:

- Ensuring the applicability of RUBA, RULA and OWAS methods in digital environment
- Receiving less information from the user compared to similar studies
- Applicability and ease of use in real-world work environments

### Keywords:

- Musculoskeletal disorders
- Ergonomic risk assessment
- Machine learning
- Computer vision
- REBA, RULA & OWAS

### Article Info:

Research Article

Received: 24.05.2023

Accepted: 20.10.2023

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1301520

### Acknowledgement:

I would like to thank Sakarya University, Brock University, and the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) for supporting the study within the scope of the 2219-International Postdoctoral Research Fellowship Program.

### Correspondence:

Author: Alper Kiraz  
e-mail: kiraz@sakarya.edu.tr  
phone: +90 553 253 9319

### Graphical/Tabular Abstract

In this study, a web-based platform has been developed for REBA, RULA and OWAS methods, which can provide ergonomic risk assessment reports simultaneously and in a very short time (Figure A).

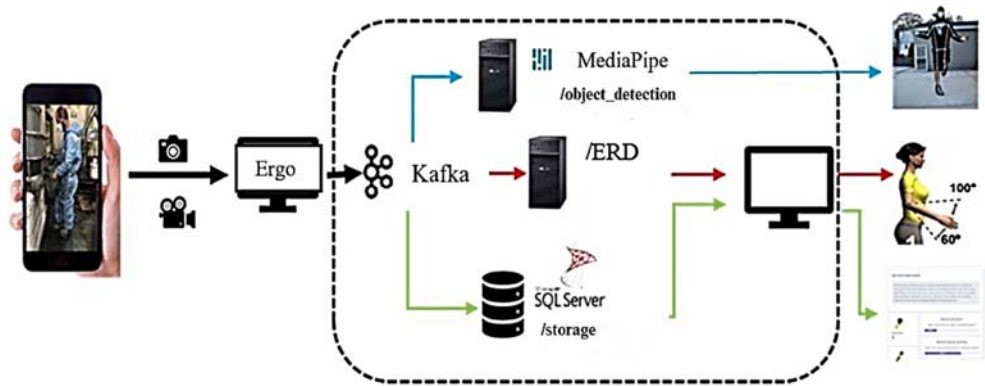


Figure A. ERA Platform Process Flow

**Purpose:** The aim of the study is to measure body joint angles with the model developed based on MediaPipe and to propose a new approach to the ergonomic analysis process in the workplace.

**Theory and Methods:** The study consists of following three stages.

i) Creating a machine learning model and estimating the pose of the uploaded photos, ii) Obtaining body joint angles from the coordinates obtained by pose estimation, iii) Generating and reporting REBA, OWAS, RULA scores with the calculated angles.

In the first stage, the human posture prediction structure of the application was created on Python. Here, the MediaPipe library was used as an artificial intelligence model, considering the criteria of speed, accuracy and being suitable for multi-user use. In the second stage, angles were calculated with human posture estimation data. Other states of the worker's posture were also obtained with the perceived results. At the last stage, a calculation service was created for all results and REBA, OWAS and RULA and risk score levels were determined. In addition, an action plan and situation comments were made on the web platform according to the risk level of the worker.

**Results:** OKS test was applied to test the software. As a result of the test on the MediaPipe-based model, the average object detection and exposure estimation performance value was measured as 92%. The results of ergonomic angle measurements in the shoulder, waist, arm and neck region in the second step were tested and an average of 5.8° RMSE result was obtained for the whole body when the deviation values were measured.

**Conclusion:** With the proposed approach, simultaneous monitoring will be possible without separating the workers from the working environment and in a non-intrusive way. It is predicted that the study will contribute to the literature in terms of answering with 17 joint angles and automatically calculating the unclear areas.



## Bilgisayarlı görü ve makine öğrenmesi ile ergonomik risk değerlendirme uygulaması

Alper Kiraz\*<sup>ID</sup>, Anıl Özkan Geçici<sup>ID</sup>

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 54050, Serdivan, Sakarya, Türkiye

### ÖNEÇIKANLAR

- RUBA, RULA ve OWAS metotlarının dijital ortamda uygulanabilirliğinin sağlanması
- Benzer çalışmalara göre kullanıcıdan daha az bilgi alınması
- Gerçek dünyadaki çalışma ortamlarında uygulanabilirlik ve kullanım kolaylığı

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 24.05.2023

Kabul: 20.10.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1301520

### Anahtar Kelimeler:

Kas iskelet sistemi rahatsızlıkları, ergonomik risk değerlendirme, makine öğrenmesi, bilgisayar görüşü, REBA, RULA, OWAS

### ÖZ

Kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları (KİSR), endüstride işle ilgili ölümcül olmayan hastalıkların büyük bölümünü oluşturmaktadır. Literatürde, KİSR bağlantılı hastalıkları önlemek için basit kontrol listelerinden karmaşık değerlendirmelere kadar birçok ergonomik risk değerlendirme yöntemleri ve bunları uygulayan yazılımlar mevcuttur. Ancak bu uygulamalarda genellikle açılar otomatik hesaplanırken, kol tutuş başarısı, omuz ve kolun destek alması gibi göreceli soruları kullanıcıya bir arayüz ile yöneltilmektedir. Bu çalışmada, MediaPipe makine öğrenmesi kütüphanesinin Bölge Tabanlı Evrişimli Sinir Ağı ile REBA, RULA ve OWAS metotları için aynı anda ergonomik risk değerlendirme (ERD) raporu sunabilen web tabanlı bir platform geliştirilmiştir. Platformda yer alan değerlendirme ve kıyaslama algoritması ile ERD metotları içerisindeki göreceli sorular da geliştirilen uygulama tarafından cevaplanarak tutarlılık ve kullanım kolaylığı sağlanmıştır. Çalışmanın bu yönüyle literatürdeki boşluğu doldurması hedeflenmiştir. Önerilen platformun validasyonu amacıyla, poz tahmini algoritmalarında kullanılan Anahtar Nokta Benzerliği (OKS - Object Keypoint Similarity) testi uygulanmıştır. Test, 32 vücut anahtar noktasının her birine uygulanmış %92 genel ortalama doğruluk oranı elde edilmiştir. Diğer test sürecinde ise ERD metotlarında kullanılmak üzere ölçülen vücut eklem açılarının doğruluğu hesaplanmıştır. 13 vücut eklemi açısının her biri gerçek olarak baz alınan açılarla karşılaştırılmış ve ortalamada 7,7°'lik RMSE (kök ortalama karesel hata) değeri elde edilmiştir. Elde edilen RMSE değeri ve OKS sonucu güncel literatür ile kıyaslandığında değerlerin tutarlı olduğu belirlenmiştir.

## Ergonomic risk assessment application based on computer vision and machine learning

### HIGHLIGHTS

- Ensuring the applicability of RUBA, RULA and OWAS methods in digital environment
- Receiving less information from the user compared to similar studies
- Applicability and ease of use in real-world work environments

### Article Info

Research Article

Received: 24.05.2023

Accepted: 20.10.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1301520

### Keywords:

Musculoskeletal disorders, ergonomic risk assessment, machine learning, computer vision, REBA, RULA, OWAS

### ABSTRACT

Musculoskeletal disorders (MSDs) account for the majority of work-related non-fatal diseases in industry. In the literature, there are many ergonomic risk assessment methods and software that implements them, from simple checklists to complex assessments to prevent MSD-related diseases. However, in these applications, while angles are calculated automatically, relative questions such as arm grip success, shoulder and arm support are directed to the user with an interface. In this study, a web-based platform has been developed that can simultaneously provide ergonomic risk assessment (ERD) reports for REBA, RULA and OWAS methods with the Region-based Convolutional Neural Network (R-CNN) of MediaPipe machine learning library. The evaluation and comparison algorithm on the platform and the relative questions within the ERD methods will also be answered by the developed application, ensuring consistency and ease of use. With this aspect of the study, it is aimed to fill the gap in the literature. For the validation of the proposed platform, the Object Keypoint Similarity (OKS) test used in pose estimation algorithms was applied. The test was applied to each of the 32 body key points, with an overall average accuracy of 92%. In the other test process, the accuracy of the measured body joint angles was calculated to be used in ERD methods. Each of the 13 body joint angles was compared with the actual baseline angles and an average RMSE (Root Mean Square Error) of 7.7° was obtained. When the RMSE value and OKS result obtained were compared with the current literature, it was determined that the values were consistent.

## 1. Giriş (Introduction)

Otomasyon ve Endüstri 4.0 çözümlerinin getirdiği muazzam fırsatlara ve ilerlemelere rağmen, endüstriyel ortamlarda hala önemli miktarda el emeği gerçekleştirilir. Bunun nedeni, bu ortamlardaki birçok görev ve etkinliğin, teknoloji yoluyla taklit edilmesi imkânsız değilse bile inanılmaz derecede zor olan benzersiz insan bilişsel ve fiziksel becerileri gerektirmesidir [1]. Bu, özellikle yüksek düzeyde insan becerisi, yaratıcılık ve problem çözme becerileri gerektiren daha karmaşık ve nicelikli görevler için geçerlidir. Manuel işlemlerde, çalışma ortamlarının ve koşullarının yetersiz ergonomisi de bir diğer önemli faktördür. Bu, kas-iskelet sistemi bozuklukları, tekrarlayan zorlanma yaralanmaları ve çalışanlar için diğer fiziksel yorgunluk türleri dahil olmak üzere işle ilgili önemli sayıda sağlık sorununa yol açabilir. Bu sağlık sorunları, kötü duruş, tekrarlayan hareketler, yetersiz ekipman ve araç tasarımı ve ergonomiye gereken önemin verilmemesi gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilmektedir. Çalışma duruşu ise bu faktörlerin en önemlileri arasındadır. İyi bir çalışma duruşu, baş ve gövde, kol ve bacakların yapılacak olan işe göre uygun şekilde hizalanması olarak tanımlanmaktadır [2]. Soe vd. çalışmalarında Hindistan'daki imalat sanayilerinde çalışanlar arasında kas-iskelet sistemi bozukluklarının yaygınlığını araştırmıştır. Kötü çalışma duruşları, tekrarlayan hareketler ve uzun süre ayakta durmanın temel risk faktörleri olarak tanımlanmasıyla birlikte, yetersiz ergonominin bu bozuklukların yüksek oranlarına önemli derecede etkisi olduğunu belirtmiştir [3]. Kim vd. çalışmalarında, işle ilgili kas-iskelet sistemi bozukluklarının görülme sıklığını azaltmada çeşitli ergonomik müdahalelerin etkinliğini incelemiştir. Çalışmada işyerinin yeniden tasarlanması, ekipman tasarımı ve ergonomik eğitim gibi ergonomik müdahalelerin bu bozuklukların riskini azaltmada etkili olabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte, bu müdahalelerin etkisini tam olarak anlamak ve işle ilgili kas-iskelet sistemi bozukluklarını önlemek için daha etkili stratejiler geliştirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu ifade edilmiştir [4].

Söz konusu iskelet ve kas sistemi rahatsızlıklarının erken evrelerde önlenmesi uluslararası çalışma sahalarının kabul edilmiş REBA, RULA OWAS gibi ergonomik duruş ve kuralları içeren ergonomik risk değerlendirme yöntemleri ile mümkündür. Bu yöntemlerde personelin ilgili çalışma duruşunun fotoğrafı üzerinde açılış cetvelleri yardımıyla açılar hesaplanır ve kâğıt formlara doldurulur ve risk puanına göre duruşlara edilmesi gereken müdahaleler gözlenir. Her işçi için bunun elle yürütülmesi hem zaman kaybı hem de işlem hatası ihtimali açısından işverenler için uygulanması zor durumlar oluşturmıştır.

Yapılan çalışmanın amacı, iş gücünün yoğun olarak kullanıldığı tüm sektörlerde faaliyet gösteren firmaların çalışanlarına ait potansiyel ergonomik risklerini belirlemek ve oluşabilecek muhtemel meslek hastalıklarının önceden ve hızlı bir şekilde önüne geçmektir. Kullanıcıların bu uygulama ile ergonomik açıdan risk barındıran işleri tespit etmeleri sayesinde aslında iyileştirme potansiyeli olan işler hakkında fikir sahibi olması sağlanacaktır.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatür araştırmasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümünde ise çalışmada uygulanan metodolojik yapıya yer verilmiş ve bu yapıda kullanılan yöntemler ve formüller detaylı biçimde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde çalışmanın istatistiksel analizi ve karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Son olarak çalışmanın sonuçları, yönetsel katkıları ve geliştirmeye açık yönleri vurgulanmıştır.

Birçok meslek grubuna ait özellikle emek yoğun çalışan işçiler uzun süreli omurga, boyun, el, kol, bacak vb. kas iskelet sistemi rahatsızlıkları gibi riskler altındadır. Bu durum ilk başta ihmal

edilebilir gibi görünse de de sürekli buna maruz kalınması durumunda çalışanlar, işverenler ve ekonomi açısından ağır sonuçlar doğurabilmektedir. Yapılan araştırmalarda, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, uygunsuz duruş bağlantılı KİSR'nin, en yaygın iş sağlığı sorunlarından biri olduğu tespit edilmiştir [5].

İnşaat işçileri, işlerinin fiziksel olarak zorlu doğası nedeniyle kas ve iskelet bozuklukları geliştirme riski altındadır. Çalışma İstatistikleri Bürosu'na göre, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki inşaat işçileri arasında işle ilgili tüm yaralanmaların ve hastalıkların %34'ünü kas-iskelet sistemi bozuklukları oluşturmaktadır [6]. Sağlık çalışanları da işlerinin aktiviteler içermesi nedeniyle kas-iskelet sistemi bozuklukları geliştirme riski altındadır. Amerika Hemşireler Birliği'nin yaptığı bir ankete göre, hemşirelerin ve yardımcılarının %56'e kadari bel, boyun ve omuzlarında kas-iskelet ağrısı yaşadığı bilinmektedir [7].

2020/2021 yıllarında Büyük Britanya'da yaklaşık 470.000 işçi KİSR nedeni hastalıklardan etkilenmiş, tüm kişilerin yaklaşık %28'i boyun ve bel bölgelerinde rahatsızlık yaşamışlardır [8]. 2021 yılında Hindistan'da dış sağlığı uzmanları arasında yapılan bir çalışmada 203 katılımcının %58,6'sının uygun olmayan duruş ve ergonomik olmayan çalışma koşulları sebebiyle acı çektiği belirlenmiştir [9].

Türkiye'de Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezinin yayınladığı rapora göre KİSR, meslek hastalıkları içerisinde meydana gelme sıklığı ile 3. sırada yer almaktadır [10]. Türkiye İstatistik Kurumu'nun verilerine göre, 2018 içerisinde KİSR bağlantılı ölümler, tüm ölüm sebepleri içerisinde 14. sırada yer almıştır [11]. SGK verilerine göre 2020 yılında, 908 kişinin meslek hastalığının olduğu tespit edilmiştir [12].

Bu yüksek oranlar kişilerin maruz kaldığı ergonomik risklerin doğurabileceği sonuçlar ve yapılan işlerin verimsizliği konusunda önemli fikirler vermektedir. Yapay zekâ ve bilişim teknolojilerinin de son yıllarda hızla ilerlemesi ile bilgisayar tabanlı değerlendirmeler yaygınlaşmıştır. Bu kapsamda literatürde son 3 yılda yapılan bilgisayar tabanlı ERD çalışmaları Tablo 1'te sunulmaktadır.

El-mir ve Ivarsson ofis ortamında çalışanın oturma pozisyonunu doğrulamak amacıyla kamera ile görüntüler toplanmış, OpenPose ile görüntü algılanıp, unity3d ile açılar hesaplanıp risk durumuna göre değerlendirilmiştir [13]. Santos vd. yaptıkları araştırmada, anatomik eklemlerin açısal yönelimini tahmin etmek için sensörlere ve kameraya dayanan bir üst vücut hareket izleme algoritması uygulanmış ve sonuçları istatistiksel metotlar ile test etmiştir [14]. MassirisFernández vd. çalışmalarında RULA ve bilgisayarlı görüş algılaması ile ergonomik risk analizi yapılmış, açık veri setli görseller ile sonuçları test edilmiştir [15]. Wu vd. temelde mobil uygulama ile toplanan görüntünün, sunucuya gönderilip RCNN ile tahmin sonuçlarını elde ederek, REBA ile değerlendirilip sonucun kullanıcıya dönmesini sağlamıştır [16]. Oyekan vd. çalışmalarında, Act-R metodundan yola çıkarak çalışanlara sensör takıp kaslardaki EMG sinyallerini toplanmış, ağırlık ve Postür algılamaları yaparak ise anlık ergonomik analiz yapılması sağlanmıştır [17]. Seo ve Lee inşaat sahalarında bulunan işçilerin çalışma anındaki duruşları Kinect aracılığı ve video işleme tekniği ile izlenmiş, diğer aşamada video karelerine Postür Kümeleme uygulanmış, sonuçta manuel hesaplama göre %89 tahmin doğruluğu elde edilmiştir [18]. Yunus vd. çalışmalarında hız, ivme ve kuvvet gibi kinetik ve kinematik değişkenlerle hareket yakalama teknolojilerinin kullanılmasının, ergonomik risk değerlendirmesinde tutarsızlığı önlemeye ve daha güvenilir sonuçlar geliştirmeye yardımcı olup olmadığını araştırmıştır [19]. Sancho vd. sağlık sektöründe hemşirelerin çalışma anlarında ergonomik problemlerini incelemek için Kinect ile veriler toplanmış,

Matlab Görüntü İşleme Araç Kutusu ile görüntüleri işleyerek ve REBA ile değerlendirilmiştir [20]. Vukicevic vd. IOT güç sensörleri ile çalışanın uyguladığı basıncı alıp, kamera ile de vücut torsiyonunu ölçerek bunların 3 boyutlu değerlendirmesini yapmıştır [21]. Lin vd. yaptıkları çalışmada 15 operasyon videosunu test etmiş ve bu videoları bakım, taşıma, montaj, temizlik, ofis çalışması ve sürüş dahil olmak üzere altı türde sınıflandırmıştır. Çalışma her alanda hangi ergonomik metodun en kullanışlı olduğunu tespit etmiştir [22]. Çalışmalar incelendiğinde kullanıcılara çalışma durumlarına yönelik manuel sorular yöneltilmediği ve ergonomik analiz işlevinin tam otomatik olarak yerine getirme yeteneğinin eksik olduğu fark edilmiştir. Bu çalışmada ise her cihazdan aynı anda erişilebilen, REBA, RULA ve OWAS metodları için çok kısa sürede, grafik arayüzüne sahip analiz raporu sunabilen bir platform geliştirilmiştir. Geliştirilen platformda, işçiye ait fotoğrafın kıyaslama algoritması ile analiz edilmesi sayesinde benzer amaçlı yazılımlarda kullanıcıların manuel olarak cevaplandırması gereken (el, kol, omuz, boyun, bel, bacak) durumlarının da çıkarımı yapılabilmektedir. Geliştirilen çalışmanın bu yönleriyle literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## 2. Teorik Metod (Theoretical Method)

Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır.

- Bilgisayarlı görü modelinin oluşturulması ve yüklenen fotoğrafların poz tahminin yapılması,
  - Poz tahmini ile elde edilen koordinatlardan vücut eklem açılarının elde edilmesi,
  - Hesaplanan açılar ile REBA, OWAS, RULA skorlarının oluşturulup raporlanması.
- Sistemin genel yapısı Şekil 1’de sunulmuştur.

### 2.1. Bilgisayarlı Görü Modelinin Sisteme Entegre Edilmesi (Integrating the Computer Vision Model into the System)

Geliştirilen makine öğrenmesi ve web tabanlı sistemde (<http://ergorisk.sakarya.edu.tr/>) mikro servis mimarisi ile ilerlenmiş, çoklu kullanıcıların aynı anda sisteme erişebilmeleri sağlanmıştır. Çoklu kullanıcıların sistem üzerinde aynı anda işlem yürütmesini sağlamak için bir kuyruk yönetim kütüphanesi olan Kafka tercih edilmiştir. Kafka bir üretici ve alıcı arasında veri iletimini ve işlem

**Tablo 1.** Yapay zekâ temelli ERD analizi içeren çalışmalar (Studies that include AI-based ERD analysis)

Yazar	Yıl	ERD Yöntemi	Donanım	Çalışma Alanı	Kullanılan Teknoloji	Pratikte uygulandı mı?
El-mir ve Ivarsson Santos vd.	2020	Vektör Açılı Hesabı	Kamera	Ofis	Unity3d, NuiTrack	Hayır
Massiris Fernández vd.	2020	AdRULA	Jiroskop, Manyetometre ve İvmeölçer RGB Kamera	Yük indirme sahası	QCF, Vicon	Evet
Wu vd.	2020	REBA	Akıllı telefon, Kamera	Fabrika sahası	Mask RCNN	Evet
Oyekan vd.	2021	Yapay zeka ile uyarlanabilir işlevlerin bilişsel kontrolü (ACT-R)	Kaslar üzerinde giyilebilir sensör	Uçak kanadı montaj hattı	Kas EMG sinyali toplama ve desen tanıma	Evet
Seo ve Lee	2021	POTA, OWAS	Microsoft Kinect, kamera	İnşaat	Video Hareket Yakalama, Öznitelik Algılama, Postür Kümeleme	Evet
Yunus vd.	2021	RULA, REBA, QEC	Microsoft Kinect	-	Video Hareket Yakalama, OpenPose	Hayır
Sancho vd.	2021	REBA	Microsoft Kinect	Hastane	MATLAB Image Acquisition Toolbox	Evet
Vukicevic vd.	2021	SMPL	-	Lojistik	3D Hareket Algılama, VIBE Algoritması	Evet
Lin vd.	2022	REBA, RULA, OWAS	Kamera	-	Nesne Algılama, OpenPose	Hayır
Seo	2022	Biyomekanik simülasyon	Kamera	İnşaat	3D Hareket Algılama, Görüntü Algılama	Evet



**Şekil 1.** Platform süreç akışı (Platform process flow)

kayıtlarının tutulmasını, bunların da birçok abone ile aynı anda yapılmasını sağlayan dağıtık kuyruk kütüphanesidir [23]. Kullanıcılardan gelen görsel işleme talepleri Kafka ile kuyruğa alınır ve yukarıda belirtilen servislerin kullanılabilirlik durumlarına göre sırayla başlıklar vasıtasıyla iletilir. Bu esnada önyüzde kullanıcıya bekleme ekranı yöneltilir ve işlem tamamlandığında kullanıcı sonuç raporuna ulaşır.

Platformun bulut tabanlı olması ve çoklu kullanıcıya aynı anda cevap verebilmesi gerekmektedir. Sistem üzerinde yüksek hız, doğruluk oranı ve çoklu erişim performansı göz önüne alınarak MediaPipe kütüphanesi tercih edilmiştir [24]. MediaPipe, Google tarafından platformlar arası bilgisayarlı görü algılamaları oluşturmak ve geliştirmek amacıyla yapılan bir kütüphanedir [25]. Bu geniş çaplı kütüphanede nesne algılama, izleme ve vücut duruş tahmini gibi görevler için yeniden kullanılabilir, modüler bileşenler sağlanmıştır. Bu projede de vücut duruş tahmini modülü kullanılmıştır. MediaPipe, yüz algılama, el izleme ve poz tahmini dahil olmak üzere belirli görevler için önceden eğitilmiş bir dizi model sunmaktadır. Bu, sıfırdan eğitim modellerine kıyasla zamandan ve işgücünden tasarruf sunmaktadır [26]. Kullanıcıların farklı ön işleme, çıkarım ve son işleme bileşenlerini birleştiren işlem hatları oluşturmasına olanak tanıyarak farklı mimariler ve yapılandırmalarla denemeler yapmayı kolaylaştırmaktadır. Geliştirilen web tabanlı platformun genel akışı Şekil 2’de sunulmuştur.

MediaPipe kütüphanesi, poz tahmini için sonuçlarını COCO formatında üretmektedir. COCO veri kümesi, özellikle poz tahmini alanında, bilgisayarla görme araştırma ve geliştirmede yaygın olarak kullanılmaktadır. COCO veri seti, nesne algılama ve segmentasyonun yanı sıra insan anahtar nokta açıklamaları için büyük ölçekli bir kıyaslama sağlamaktadır. Anahtar noktalar, bir kişinin vücudundaki omuzlar, dirsekler, bilekler, kalçalar, dizler ve ayak bilekleri gibi eklemleri temsil etmektedir. [27] Tablo 2’de COCO veri setinde yer alan vücut anahtar noktaları gösterilmiştir.

ERD metodlarında genel olarak kişinin 3 boyutlu görünüşüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple sistem yan ve ön görsel girdilerinden elde edilen sonuçları ayrı ele almaktadır. Tasarlanan yaklaşımda, yapılan ölçümlerin çoğunluğu vücut eklemlerinin açıları ile elde edilmiştir.

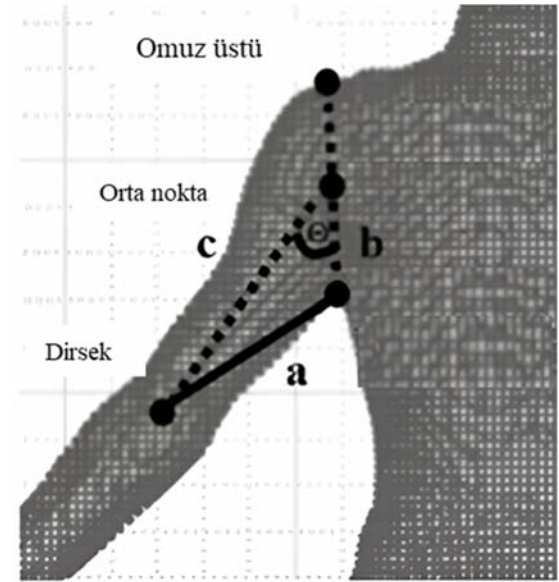
## 2.2. Vücut Eklemlerinin Ölçülmesi (Measuring Body Joint Angles)

Çalışma içerisindeki açı ölçümleri doğrudan ve dolaylı olarak ikiye ayrılmaktadır. ERD metodu içerisinde doğrudan açıya bağlı olan risk hesaplarında ölçülen açılar ve açılara göre belirlenecek skorlar sabittir. Örneğin, omuz açısını hesaplarken Şekil 3’de sunulan COCO veri seti üzerindeki anahtar noktalar ile bir üçgen oluşturulmuştur. Eksen çizgisi olarak omuz uç noktası ve koltuk altı noktasının orta

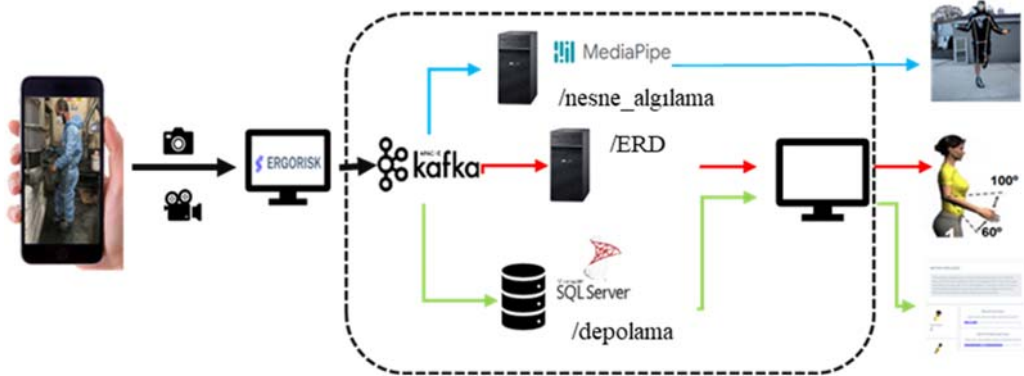
hızı ile dirsek arasında oluşan üçgende yer alan ve a kenarına karşı olan açı, üst kol açısı olarak kabul edilmiştir.

**Tablo 2.** COCO veri setinde yer alan vücut noktaları açıklamaları [28] (Body points descriptions in the Coco dataset)

Vücut Noktası	Adı	Vücut Noktası	Adı
0	Burun	17	Sol Serçe Parmağı
1	Sol Göz Başı	18	Sağ Serçe Parmağı
2	Sol Göz	19	Sol İşaret Parmağı
3	Sol Göz Sonu	20	Sağ İşaret Parmağı
4	Sağ Göz Başı	21	Sol Başparmak
5	Sağ Göz	22	Sağ Başparmak
6	Sağ Göz Sonu	23	Sol Kalça
7	Sol Kulak	24	Sağ Kalça
8	Sağ Kulak	25	Sol Diz
9	Sol Ağız	26	Sağ Diz
10	Sağ Ağız	27	Sol Bilek
11	Sol Omuz	28	Sağ Bilek
12	Sağ Omuz	29	Sol Topuk
13	Sol Dirsek	30	Sağ Topuk
14	Sağ Dirsek	31	Sol Ayak Parmağı
15	Sol Bilek	32	Sağ Ayak Parmağı
16	Sağ Bilek		



**Şekil 3.** Kosinüs teoremi ile omuz açısı (Shoulder angle with cosine theorem)



**Şekil 2.** Platform yazılım akışı (Platform software flow)

Eş. 1’de vücudun omuz noktası olarak baz alınacak alanın formülü gösterilmiştir. Burada koltuk altının bulunduğu alan doğrunun alt, omuz üstü ise üst noktasıdır. Bu çalışmada kosinüs teoremi ve dik üçgen formülleri ile vücut açılarının bulunmuştur.

$$Orta\ nokta = \frac{Üst\ omuz+Koltuk\ altı}{2} \quad (1)$$

Burada a, b ve c kenarlarının vücut üstünde görünümü Şekil 3’te görülebilmektedir. Üç metot için de kapsayıcı olacak 6 vücut açısı Boyun açısı, Üst Kol açısı, Alt Kol açısı, El açısı, Bel açısı ve Bacak açısı olarak sınıflandırılmıştır. Bu açıların hesaplanmasını belirlenen formüllerle sağlamak için yaklaşık 15 vücut noktası gerekmektedir. Hesaplamalar kosinüs teoremi ile Eş. 2’deki formül ile yapılmıştır. Buradaki a, b ve c sembolleri Şekil 3’teki gösterimle eşleştirilmiştir.

$$\phi = \cos^{-1}\left(\frac{b^2+c^2-a^2}{2* b*c}\right) \quad (2)$$

ERD metodunun bazı bölümlerinde ise doğrudan açıların kaç derece olduğu sonuç vermemektedir. Örneğin “Omuz kaldırılmış mı?” sorusunun cevabı için yapılan fotoğraf denemeleri sonucunda COCO anahtar noktalarından oluşturulan oran alınmıştır. Bu orana göre, Şekil 4’teki gibi ağız ve omuz aralığı aşırı yakın olduğu durumda, omzun kaldırıldığı varsayılır.

Açı ölçümleri tamamlandıktan sonra kullanıcı sonuç ekranına yönlendirilir. Sonuç ekranda Şekil 5’te görüleceği gibi, sistemin önermiş olduğu metot, önerme sebebi, üç metot arasında geçiş sağlayabilecek butonlar bulunur. Burada kullanıcılar REBA, RULA ve OWAS metotları arasında kolaylıkla geçiş yaparak hesaplamaları birbirleri ile kıyaslayabilirler. Bu ekranın altında, vücudun algılanan 6 bölgesine ait dereceler bulunmaktadır. Bu dereceler üç metot için

ortak olarak kullanılmaktadır. Ekranın sağında, hesaplanan değerlere göre risk ve aksiyon planı yer almaktadır. Bu alandaki metin ergonomik risk metodu skoru ve personelin algılanan risk durumuna göre oluşturulur.

Açıları kartının altında, Şekil 6’daki metot bazında algılanan skorlar, algoritmanın hesapladığı açıların Opencv ile algılanan fotoğraflara çizilmesi ile oluşan görseller, grup bazında skorlar ve risk seviyesinin yüzdeleri yer almaktadır. Final skorunda genel skor yer almaktadır. Görüntülenen ekran, görseller ve oluşturulan PDF formatındaki rapor, dokümanlar sekmesinden daha sonra tekrar takip edilebilmektedir.

### 3. Modelin Doğrulanması (Validation of the Model)

Çalışmada, model doğruluğunu sağlamak amacıyla iki aşamalı test uygulanmıştır. İlk olarak insan algılama ve poz tahmini başarımı belirlenmeye çalışılmıştır. Teste girdi olarak MPII Çok Kişili İnsan Duruş Veri Seti kullanılmıştır. MPII, insanları çeşitli pozlarda tasvir eden görseller ve bunlara karşılık gelen etiketlerden oluşan bir koleksiyondur. Baş, boyun, omuzlar, dirsekler, dizler ve ayak bilekleri gibi vücut parçaları için iki boyutlu eklem konumlarını içermektedir [29]. Bu yönleriyle veri seti, çalışmadaki yapay zekâ yazılımını test etmek üzere uygundur.

Test için, veri seti içerisinde bulunan çalışma sahası alanlarına ait görseller alınmıştır. Elde edilen fotoğraflar Nesne Anahtar Nokta Benzerliği (OKS - Object Keypoint Similarity) testine tabi tutulmuştur. OKS, bir görüntüdeki bir nesnenin tahmin edilen anahtar noktaları ile yer gerçeği anahtar noktaları arasındaki benzerliğin bir ölçüsü olarak tanımlanır. Genellikle nesne algılama gibi bilgisayarlı görü görevlerinde kullanılır. OKS, poz tahmini kıyaslamalarda yaygın olarak kullanılan bir değerlendirme ölçütüdür [30].



Şekil 4. Omuz açısı oranında kullanılan anahtar noktalar (Points used in shoulder angle ratio)

Ergonomics risk analysis report

## (REBA) Rapid Entire Body Assessment

REBA ★ Recommended
RULA
OWAS

★ Why was REBA was proposed based on your survey

REBA is a comprehensive assessment tool that evaluates a wide range of body postures and movements, whereas RULA and OWAS are specifically designed to assess the upper body and manual handling tasks, respectively.

ali ahmet			
BODY PART	DEGREE	BODY PART	DEGREE
Hand Angle	20°	Upper Arm Angle	38°
Leg Angle	169°	Lower Arm Angle	4°
Neck Angle	4°	Trunk Anlge	8°

**METHOD CONCLUSION**

The task poses moderate level of risk, as it includes activities such as awkward postures, moderate exertion, repetitive motions, prolonged duration, light lifting or carrying, exposure to vibration or noise, and potentially hazardous materials or processes. It may not be suitable for all workers, particularly those with pre-existing conditions or limited experience.

Şekil 5. Risk analiz raporunda açıların ve yorumların gösterimi (Display of angles and comments on the risk analysis report)

Eş. 3'te belirtilen Nesne Anahtar Nokta Benzerliği eşitliğindeki  $d_i$  sembolü vücut bölümüne ait algılanan görsel koordinatlar ile gerçek koordinatlar arasındaki Öklid uzaklığını göstermektedir.  $\sigma_i$  değeri ise Eş. 4'te yer alan formül ile hesaplanmaktadır. Buradaki  $L$  sembolü algılanan her nesnenin genişlik piksel sayısını,  $i$  her bir vücut parçasını,  $n$  ise toplam anahtar nokta sayısını ifade etmektedir. Çalışmada 1586 görsel ile test sağlanmıştır. Şekil 7'de test için kullanılan örnek bir fotoğraf görülebilmektedir.

$$OKS = \sum_{i \rightarrow n} e^{\frac{-d_i^2}{2 \times \sigma_i^2}} / n \quad (3)$$

$$\sigma = 0.25 * L \quad (4)$$

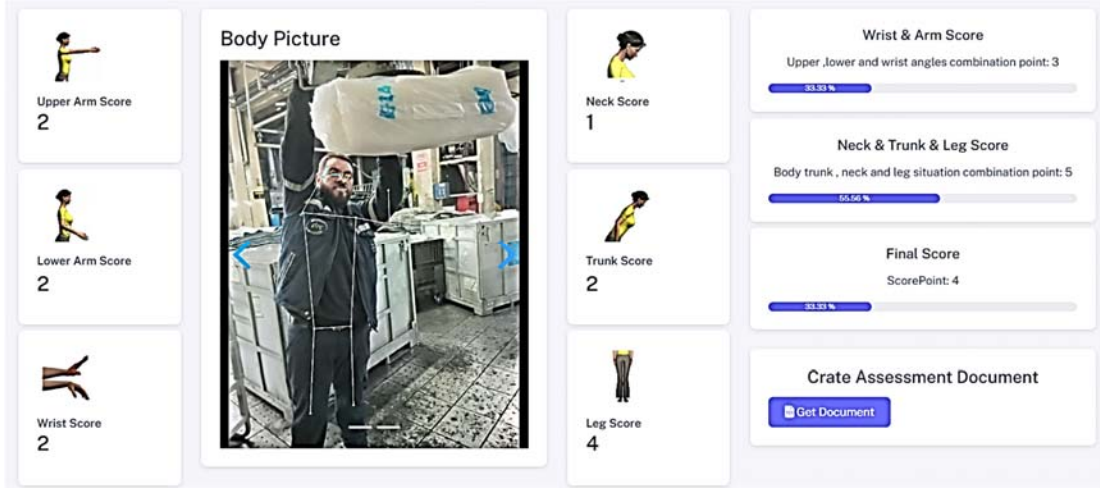
Analiz tamamlandıktan sonra, fotoğrafın piksel bazında genişlik ve uzunluk değerleri, algılanan her bir vücut uzununun koordinatları, algılama doğruluk değerleri veri tabanından alınmıştır. İşçinin baş ve omuz bölgesine ait bölgesine ait algılanan ve gerçek koordinatları, MediaPipe kütüphanesinde yer alan R-CNN algoritma skoru ve OKS değerleri Tablo 3'te verilmiştir. OKS değerlerinin 0,95 ve 1 arasında yer aldığı görülmektedir.

İşçinin alt uzuv bölgesine ait algılanan ve gerçek koordinatları, MediaPipe kütüphanesine ait algoritma skoru ve OKS değerleri Tablo

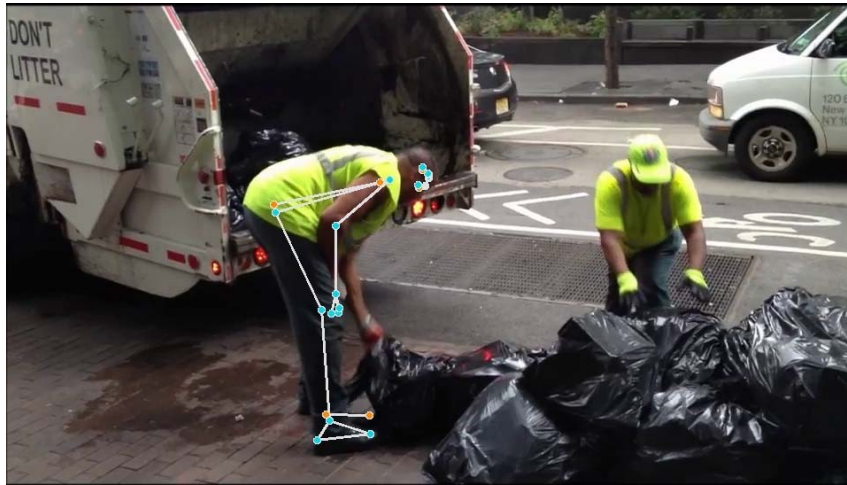
4'te verilmiştir. Kalça bölgesinde yapılan analizde algılama doğruluğunda sapma olduğu gözlenmiştir. Bilek, ayak bölgesinde veya kollarda OKS değeri 1'e yaklaşmıştır. Bu noktada MediaPipe kütüphanesinde yer alan R-CNN algoritması skoruna göre vücudun dış bölgelerinde algılama doğruluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Tablolarda genişlik ve yükseklik değerleri piksel bazında verilmiştir. Hesaplamaya önce burun noktasından başlanmıştır.  $D_0$  değeri Öklid bağıntısı ile 19 bulunmuştur. Eş. 3'te yer alan sigma değeri obje genişliği uygulama bazında 230 alınarak 57,50 bulunmuştur. Bulunan sigma değeri Eş. 4'te yerleştirilmiş, üstel değeri alınmış ve sonuçta burun için OKS değeri 0,95 olarak hesaplanmıştır. OKS değeri 1'e yaklaştıkça tahminin gerçeğe yaklaştığı anlaşılmaktadır.

Kalan tüm anahtar noktaları için OKS değerleri hesaplanmış ve ortalamaları alınmıştır. Ortalama OKS değeri ise %92 olarak hesaplanmıştır. Literatürde bu veri seti ile birçok çalışma yürütülmüştür. Örneğin, YOLO algılama kütüphanesi ile yapılan bir çalışmada OKS değeri %87 bulunmuştur [31]. Bir diğer çalışmada OKS değeri %71 bulunmuştur [32]. Kilit nokta konumlarını ve ısı haritası dağılımlarını ortaklaşa tahmin eden bir çalışmada ise %91 değeri elde edilmiştir [33].

Algılanan vücut noktaları ile yapılan açı ölçümlerinin istatistiksel doğruluğunu hesaplamak amacıyla da R-CNN algoritmasına girdi



Şekil 6. Analiz sonuç ekranında skor ve algılanan görselin gösterimi (Analysis result screen display of score and perceived image)



Şekil 7. OKS testi için kullanılan işçi fotoğrafı (Photo of worker used for OKS test)

**Tablo 3.** İşçinin baş ve omuz bölgesine ait koordinatlar, algoritma skoru ve OKS değerleri  
(Coordinates of the head and shoulder area of the worker, algorithm scores and OKS values)

Vücut Bölgesi	Algılanan Genişlik	Algılanan Yükseklik	R-CNN Algoritma Skoru	Gerçek Genişlik	Gerçek Yükseklik	OKS Değeri
Burun	716	321	0,99	700	334	0,95
Sol Göz Başı	736	453	0,99	726	454	0,98
Sol Göz	749	389	0,99	736	359	0,97
Sol Göz Sonu	762	259	0,99	754	216	0,99
Sağ Göz Başı	708	337	0,99	680	344	0,89
Sağ Göz	701	552	0,99	690	566	0,98
Sağ Göz Sonu	695	385	0,99	696	394	0,99
Sol Kulak	791	504	0,99	804	510	0,97
Sağ Kulak	701	451	0,99	701	454	1,00
Sol Ağız	742	294	0,99	733	293	0,99
Sağ Ağız	709	360	0,99	694	350	0,96
Sol Omuz	853	617	0,99	853	641	1,00
Sağ Omuz	696	397	0,99	700	386	0,94

**Tablo 4.** İşçinin gövde ve bacaklarına ait koordinatlar, algoritma skoru ve OKS değerleri  
(Coordinates of the trunk and legs of the worker, algorithm scores and OKS values)

Vücut Bölgesi	Algılanan Genişlik	Algılanan Yükseklik	R-CNN Algoritma Skoru	Gerçek Genişlik	Gerçek Yükseklik	OKS Değeri
Sol Dirsek	618	842	0,99	607	850	0,93
Sağ Dirsek	488	541	0,99	479	542	0,92
Sol Bilek	816	616	0,99	825	625	0,53
Sağ Bilek	659	719	0,99	653	734	1,00
Sol Serçe Parmağı	536	453	0,99	549	457	1,00
Sağ Serçe Parmağı	902	570	0,99	909	571	1,00
Sol İşaret Parmağı	161	832	0,99	168	821	0,99
Sağ İşaret Parmağı	652	522	0,99	652	523	1,00
Sol Başparmak	734	611	0,99	734	622	0,96
Sağ Başparmak	593	711	0,99	588	717	1,00
Sol Kalça	733	436	0,99	746	437	0,44
Sağ Kalça	1177	593	0,99	1185	596	1,00
Sol Diz	828	288	0,99	818	525	0,92
Sağ Diz	929	467	0,99	919	356	1,00
Sol Bilek	133	393	0,99	142	391	0,90
Sağ Bilek	740	335	0,99	729	456	1,00
Sol Topuk	488	466	0,99	477	317	0,95
Sağ Topuk	964	482	0,99	970	361	0,80
Sol Ayak Parmağı	506	291	0,99	509	504	0,99

olarak fotoğraflar eklenmiş ve analiz sonucu alınmıştır. Analizi yapılan fotoğrafların R-CNN algoritması tarafından algılanan açı değerleri kaydedilmiştir. Bunun yanında açıların gerçek değerleri ErgoFellow adlı yazılımın görsel analiz aracı ile manuel olarak hesaplanarak kaydedilmiştir (Şekil 8).

**Şekil 8.** ErgoFellow yazılımı ile manuel açı hesaplanması  
(Manual angle calculation with ErgoFellow software)

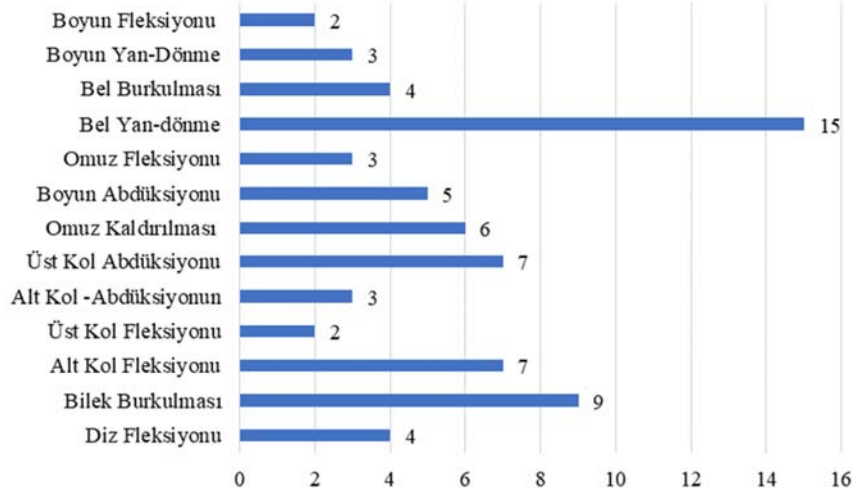
Çalışmada kullanılan REBA, RULA ve OWAS metodları eklem merkezlerinin açılarından elde edilen sonuçlara göre yorumlanmakta ve risk skoru hesaplanmaktadır. Risk analizinde hatayı en aza indirmek için vücut eklem açılarındaki sapmanın minimum olması gerekmektedir. Bu sebeple ikinci aşamada üç metod için de ortak olarak kullanılan vücut ölçümleri belirlenmiştir. MPII veri setinden 40 fotoğraf platformdaki algoritmada çalıştırılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. Sonuçlardaki sapmaları ölçmek için Ortalama Mutlak Sapma (MAD- Mean Absolute Deviation), Ortalama Hata Karesi (MSE-Mean Squared Error), Ortalama Karekök Sapması (RMSE-Root Mean Square Deviation) istatistiksel hata türleri kullanılmıştır. Analizdeki her bir vücut bölümünün kendi RMSE değeri hesaplanmıştır. Ölçülen açı değerleri ( $A_i$ ) ve algılanan ( $F_i$ ) arasındaki hata değerlerinin ortalaması alınmış ve Eş. 5'teki MAD değeri bulunmuştur.

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i - F_i|}{n} \quad (5)$$

Gerçekten sapma değerlerinin karelerinin ortalaması alınarak ise Eş. 6'daki MSE değeri bulunmuştur.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2}{n} \quad (6)$$





Şekil 9. Eklem açılarının RMSE değerleri (RMSE values of joint angles)

MSE değerinin ise karekökü alınarak Eş. 7'deki RMSE değeri bulunmuştur.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - F_i)^2}{n}} \quad (7)$$

Hesaplanan değerlerin sonuçları Şekil 9'da gösterilmiştir. Sonuçlarda bel – yan dönme ölçüsündeki sapma payı 14° olurken, kol ve alt kol bölgelerinde 5-8° arasına kadar düşmüştür. Bilek ve alt kol burkulması/bükülmesi (fleksiyon) ve üst kolun vücudun dikey ekseninden yana doğru hareketi (abdüksiyon) incelendiğinde RMSE değerinin ortalamasının üzerinde olduğu kısımlar olmuştur. Buna karşın boyun ve üst kol fleksiyonu ve alt kol abdüksiyonunda sapma düşük gerçekleşmiştir. Omzun kaldırılması, bilek burkulması gibi belirlenmesi daha gözlemciye bağlı durumlar olduğundan dolayı, sapma değerleri nispeten yüksek seyretmiştir.

Ortalama RMSE sapma değeri 5,8° olarak hesaplanmıştır. Literatürde bulunan önceki çalışmalarla baz alındığında açı algılama değerlerinin tutarlı olduğu gözlemlenebilmektedir. Plantard vd. çalışmalarında kutu ile ağırlık kaldırma işlemine yönelik RULA analizi yürütmüş ve 13 vücut anahtar noktası için ortalama 7,7° RMSE değeri elde etmiştir [34]. Humadi vd. giyilebilir teknolojilerle yapılan bir ergonomik ölçümde ortalama 10° değeri elde etmişlerdir [35]. Bir diğer çalışmada ortalama 8° sapma değeri elde edilmiştir [36]. Cerqueira vd. çalışmalarında sensörler vasıtasıyla yaptıkları analizde 2° ve 5° aralığında bir sapma değeri elde etmiştir [37]. Burada kamera ile yapılan çalışmalara göre elde edilen sapma değerinde belirgin bir fark olduğu gözlemlenmektedir. Genellikle ERD metodları arasında 20-30°'lik aralıklarla puanlama yapıldığı baz alındığında R-CNN algoritması ile elde edilen eklem açı algılama performansının yüksek olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Çalışmada son olarak uzmanların 30 farklı işçinin fotoğraflarından hareketle klasik açı hesabı ile REBA ve RULA metodlarına ait belirledikleri risk skorları ile aynı işçilerin R-CNN algoritması ile tahmin edilen açılar üzerinden hesaplanan risk skorları Tablo 5'te sunulmaktadır. Karşılaştırma sonuçları istatistiksel hata türü olan ve Eş. 8'de formülü belirtilen Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE-Mean Absolute Percentage Error) ile hesaplanmıştır. REBA yöntemine ait risk puanı hesabı için hesaplanan MAPE değeri %5, RULA yöntemi için ise %5,62 olarak elde edilmiştir.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{F_t} \right| \quad (8)$$

Tablo 5. REBA ve RULA metodlarına ait gerçek ve tahmin değerleri (Actual and predicted values of REBA and RULA methods)

Gözlem No.	Klasik REBA Skoru	Algoritma REBA Skoru	Klasik RULA Skoru	Algoritma RULA Skoru
1	12	11	6	6
2	9	9	6	6
3	10	10	5	6
...	...	...	...	...
29	11	10	7	7
30	11	11	5	5

#### 4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada ergonomik risk değerlendirme alanında, aynı anda üç ortamda sonuç verebilecek web tabanlı, mobil ve masaüstü platformlarda çalışabilen bir uygulama geliştirilmiştir. Platform, ölçümü yapılan kişiye ait vücut bölümü bazlı risk skoru, risk durum değerlendirmesi ve alınacak aksiyon önerileri sunmaktadır. Uygulama üzerinde ERD metodları içerisinde yer alan REBA, OWAS ve RULA analizleri gerçekleştirilebilmektedir. Değerlendirici daha sonra kendi profiline giderek analizi yapılan çalışana ait sonuç raporlarını görüntüleyebilmekte veya indirebilmektedir.

Platform üzerinde analizi oluşturmak amacıyla nesne algılayıcı ve ergonomik hesaplama yapan iki model çalışmaktadır. Yazılımın testi amacıyla OKS testi uygulanmıştır. MediaPipe kütüphanesinde bulunan R-CNN algoritması ile geliştirilen model üzerinde yapılan testlerin sonucunda ortalama nesne algılama ve poz tahmini başarımları %92 olarak ölçülmüştür. Benzer çalışmalar ile yapılan kıyaslamada sonucunda güncel yazılımlarla tutarlı olduğu görülmüştür. İkinci aşamada bulunan omuz, bel, kol ve boyun bölgesinde ergonomik açı ölçümlerinin sonuçları test edilmiş ve sapma değerleri ölçüldüğünde tüm vücut için ortalama 5,8° RMSE değeri elde edilmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalarda ise ortalama 5-10° aralığında sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Sonuçlar, önerilen modelin, MPII veri setindeki çalışma anına ait fotoğraflar ile vaka incelemelerinin deneylerinde gösterildiği gibi, potansiyel olarak gerçek zamanlı izleme sistemlerinin otomatik tespiti ve analizine uygulanabileceğini göstermektedir. Ayrıca klasik REBA ve RULA metodları kullanılarak elde edilen risk skorları ile algoritma ile tahmin

edilen risk skorlarını MAPE istatistiksel hata türü ile karşılaştırıldığında her iki yöntem için de yaklaşık %5'lik bir hata oranı ile gerçeğe yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Anormal çalışma davranışını %100 doğrulukla tanımlayamamasına rağmen, geliştirilen web tabanlı bilgisayarlı görüye dayalı ergonomik risk değerlendirme ölçüm sistemi, işletmelerin KİSR'nı önleme çalışmalarında önemli fayda sağlayabilecektir. Geliştirilen sistem ile işçileri çalışma ortamından ayırmanın ve çok müdahaleci olmayan bir yolla eşzamanlı izleme sağlanabilecektir. Bu sayede işçinin risk ölçüm doğruluğunun artırılacağı da düşünülmektedir. Çalışmanın 17 eklem açısı ile cevaplanması net olmayan alanları otomatik hesaplaması yönüyle literatüre katkı sağlayacağı öngörülmektedir. İleride, işçi ergonomisi üzerinde muhtemel diğer alanlarda anormal kullanıcı davranışları, ışık, ses gibi diğer faktörleri de R-CNN modeline dahil edilerek risk analizi yapısı geliştirilebilir.

### Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma "Tübitak 2219 Yurt Dışı Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı" kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar TÜBİTAK'a ve çalışmaya destek olan Sakarya Üniversitesi'ne ve Brock Üniversitesi'ne teşekkür eder.

### Kaynaklar (References)

- Jamwal, A., Agrawal, R., Sharma, M., Giallanza, A., Industry 4.0 technologies for manufacturing sustainability: a systematic review and future research directions. *Applied Sciences*, 11 (12), 5725, 2021.
- Feryal Can, G., Fiğlalı, N., Image processing based rapid upper limb assessment method, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (3), 719-731, 2017.
- Soe, K. T., Laoosee, O., Limsatchapanich, S., Rattanapan, C., Prevalence and risk factors of musculoskeletal disorders among Myanmar migrant workers in Thai seafood industries. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 21 (4), 539-546, 2015.
- Kim, I., Kim, K. R., Lee, K. S., Chae, H. S., Kim, S., Ergonomic Interventions to Prevent Work-Related Musculoskeletal Disorders incurred by the Weight Lifting Tasks in Livestock Feed Manual Material Handling. 776-779, 2014.
- Kılıç Delice, E., Can, G., Kahya, E., Improving the rapid office strain assessment method with an integrated multi-criteria decision making approach, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (3), 1297-1314, 2020.
- U.S Department of Labor. <https://www.bls.gov/news.release/pdf/osh.pdf>. Yayın Tarihi: Kasım 9, 2022. Erişim Tarihi: Nisan 1, 2023.
- Ou, Y. K., Liu, Y., Chang, Y. P., Lee, B. O., Relationship between musculoskeletal disorders and work performance of nursing staff: A comparison of hospital nursing departments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (13), 7085, 2021.
- Afsharian, A., Dollard, M. F., Glozier, N., Morris, R. W., Bailey, T. S., Nguyen, H., & Crispin, C., Work-related psychosocial and physical paths to future musculoskeletal disorders (MSDs). *Safety Science*, 164, 106177, 2023.
- Karthikeyan, G. R., Balaguhan, B., Mathanmohan, A., Deepak, V., Indrapriyadharshini, K., Devar, M. N., Insights into knowledge, attitude and perception about dental ergonomics and work-related musculo skeletal disorders (MSD) among dental professionals at Chengalpet District, Tamil Nadu, India: a cross-sectional study. *International Journal of Occupational Safety and Health*, 12 (1), 1-7, 2022.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Araştırma Merkezi. <https://casgem.gov.tr/dosyalar/kitap/81/dosya-81-8942.docx>. Yayını Tarihi: 2013, Erişim Tarihi: Nisan 1, 2023.
- Oğuzöncül, A. F., Kurt, O., Halk sağlığı bakışıyla Türkiye'de kas iskelet hastalıkları. *Halk Sağlığı Bakışıyla Türkiye'de Kronik Hastalıklar*, 1, 52-4, 2020.
- Elmas-Atay, S., & Yıldırım, S. K., İş sağlığı ve güvenliği açısından sektörlerin risk düzeylerinin CRITIC tabanlı gri ilişkisel analiz yöntemiyle sıralanması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (47), 181-193, 2022.
- El-mir, Y., Ivarsson, J., Ergonomic posture correction through a camera live feed and its applicability in terms of usability, Independent thesis Basic level, 2020.
- Santos S.M.L.V.P.D., Explaining the ergonomic assessment of human movement in industrial contexts (Doctoral dissertation), 2019.
- MassirisFernández, M., Fernández, J. A., Bajo, J. M., Delrieux, C. A., Ergonomic risk assessment based on computer vision and machine learning. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106816, 2020.
- Wu, S., Chen, Z., Zhao, X., Yao, M., Wang, Z., Kuang, S., Design of an ergonomic App for entire rapid body assessment based on Mask RCNN. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1633 (1), 012150, IOP Publishing, 2020.
- Oyekan, J., Chen, Y., Turner, C., Tiwari, A., Applying a fusion of wearable sensors and a cognitive inspired architecture to real-time ergonomics analysis of manual assembly tasks. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 391-405, 2021.
- Seo, J., Lee, S., Automated postural ergonomic risk assessment using vision-based posture classification. *Automation in Construction*, 128, 103725, 2021.
- Yunus, M. N. H., Jaafar, M. H., Mohamed, A. S. A., Azraai, N. Z., Hossain, M. S., Implementation of kinetic and kinematic variables in ergonomic risk assessment using motion capture simulation: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (16), 8342, 2021.
- Sancho, M. P., Morales, D. B., Baydal-Bertomeu, J. M., Zambrano, I., Soto, R., Ergonomic risk analysis inherent in neonate bathing activity performed by nurses using the REBA methodology through Kinect depth sensors. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9 (4), 864-876, 2021.
- Vukicevic, A. M., Macuzic, I., Mijailovic, N., Peulic, A., Radovic, M., 2021. Assessment of the handcart pushing and pulling safety by using deep learning 3D pose estimation and IoT force sensors. *Expert Systems with Applications*, 183, 115371, 2021.
- Lin, P. C., Chen, Y. J., Chen, W. S., Lee, Y. J., Automatic real-time occupational posture evaluation and select corresponding ergonomic assessments. *Scientific Reports*, 12 (1), 2139, 2022.
- Kleppmann, M., Kreps, J., Kafka, samza and the unix philosophy of distributed data, 2015.
- Garg, S., Saxena, A., Gupta, R., Yoga pose classification: a CNN and MediaPipe inspired deep learning approach for real-world application. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-12, 2022.
- Lugaresi, C., Tang, J., Nash, H., McClanahan, C., Uboweja, E., Hays, M., Grundmann, M., Mediapipe: A framework for building perception pipelines. *arXiv preprint arXiv:1906.08172*, 2019.
- Kim, J. W., Choi, J. Y., Ha, E. J., Choi, J. H., Human pose estimation using mediapipe pose and optimization method based on a humanoid model. *Applied Sciences*, 13 (4), 2700, 2023.
- Lin, T. Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., Zitnick, C. L., Microsoft COCO: Common objects in context. In *Computer Vision—ECCV 2014: 13th European Conference, Zurich, Switzerland, September 6-12, 2014, Proceedings, Springer International Publishing, Part V 13*, 740-755, 2014.
- Kwon, Y. J., Kim, D. H., Son, B. C., Choi, K. H., Kwak, S., Kim, T., A Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs) Risk-Assessment System Using a Single-View Pose Estimation Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (16), 9803, 2022.
- Yu, Z., Yoon, J. S., Lee, I. K., Venkatesh, P., Park, J., Yu, J., Park, H. S., Humbi: A large multiview dataset of human body expressions. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2990-3000, 2020.
- Maji, D., Nagori, S., Mathew, M., Poddar, D., Yolo-pose: Enhancing yolo for multi person pose estimation using object keypoint similarity loss. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2637-2646, 2022.
- Cha, J. Y., Yoon, H. I., Yeo, I. S., Huh, K. H., Han, J. S., Peri-implant bone loss measurement using a region-based convolutional neural network on dental periapical radiographs. *Journal of clinical medicine*, 10 (5), 1009, 2021.
- Xiao, B., Wu, H., Wei, Y., Simple baselines for human pose estimation and tracking. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)*, 466-481, 2018.
- Volkman, N., Zelenka, C., Devaraju, A. M., Brünger, J., Stracke, J.,

- Spindler, B., Koch, R., Keypoint detection for injury identification during turkey husbandry using neural networks. *Sensors*, 22 (14), 5188, 2022.
34. Plantard, P., Shum, H. P., Le Pierres, A. S., Multon, F., Validation of an ergonomic assessment method using Kinect data in real workplace conditions. *Applied ergonomics*, 65, 562-569, 2017.
35. Humadi, A., Nazarahari, M., Ahmad, R., Rouhani, H., Instrumented ergonomic risk assessment using wearable inertial measurement units: Impact of joint angle convention. *IEEE Access*, 9, 7293-7305, 2020.
36. Humadi, A., Nazarahari, M., Ahmad, R., Rouhani, H., In-field instrumented ergonomic risk assessment: Inertial measurement units versus Kinect V2. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 84, 103147, 2021
37. Cerqueira, S. M., Da Silva, A. F., Santos, C. P., Smart vest for real-time postural biofeedback and ergonomic risk assessment. *IEEE Access*, 8, 107583-107592, 2020.

