

# IVABOT: Sanal Asistan için Bilgisayarlı Görme ile Ergonomi Analizi

## IVABOT: Ergonomy Analysis Based on Computer Vision for Virtual Asistant

Ömer Cahit Özdemir<sup>1</sup>, Dilek Tükel<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ARGE Bölümü  
Altınay Robot Teknolojileri, İstanbul  
oozdemir@altinay.com.tr

<sup>2</sup>Yazılım Mühendisliği Bölümü  
Doğuş Üniversitesi, İstanbul  
dtukel@dogus.edu.tr

### Özetçe

Ergonomi bilimi, çalışma ortamının insan üzerindeki etkilerini inceleyerek, bedensel ve ruhsal yönden zorlamadan en verimli, güvenli ve sağlıklı şekilde çalışması için kuralları tespit eder. Uzun vadede ortaya çıkabilecek problemleri öngörmemize yardımcı olur. Ergonomi analizi, çalışanların güvenliklerini, sağlıklarını ve performanslarını optimize etmek için çalışma ortamlarını ve iş süreçlerini değerlendirir. Bu çalışmanın amacı, çalışan kişinin ergonomik kurallara uygun olarak çalışmasını yapay zeka tabanlı görme ile denetlemek ve gerekli durumlarda sesli ve görsel uyarılarla problemi düzeltmesi için destek olmaktır.

### Abstract

Ergonomics helps us to predict the problems that may arise in the long term by examining the effects of the working environment on people, determining the rules for working in the most efficient, safe and healthy way without forcing them physically and mentally. Ergonomics analysis evaluates work environments and work processes to optimize employee safety, health and performance. The purpose of this study is to monitor the work of an employee using AI-based vision in accordance with ergonomic rules and to provide support, when necessary, through audible and visual warnings for the employee to correct the posture problem.

### 1. Giriş

Ülkemizde, üretim hatlarında robotik uygulamalar yaygın olarak kullanılıyor ve her geçen gün kapsamı daha da genişliyor. Üretmek için robotik uygulamalara duyulan ihtiyaca karşılık üretimin sürekliliğinin sağlanması için kişisel asistan olarak robotlara ihtiyaç duyulmaktadır. Endüstride kullanılabilir formda geliştirdiğimiz sanal asistan-IVA (Şekil 1), çalışanlara montaj ve arızalarda çözüm sunan, görselleştirme yaparak dijital destek sağlayan ilgili sistemlerden, belgelerden veri ve bilgiler her an alınabilmesini,

sistemin yeni bilgi ve içerikle zenginleştirilmesi çift yönlü entegrasyon ile sağlan bir sistemdir. Bu çalışmada IVA'nın operatör hareketlerini analiz edip anlamlandırabilen, duruş hatalarını yorumlayabilen yapay zeka temelli ergonomi modülü için yapılan geliştirmeler yer almaktadır.

Endüstriyel ortamlarla ilgili ergonomik değerlendirmenin en önemli yönü, çalışanlar için risklerin azaltılmasıdır[1]. Bu değerlendirmeler ilk yardım olaylarının, yaralanmaların ve iş kazası kayıtlarının sayısını azaltmaya yardımcı olur. Uygun olmayan ergonomi, bir dizi olumsuz sağlık sorununa yol açabilir. Bu sorunlar, hatalı duruşlardan kaynaklanan kas-iskelet ağrısı veya rahatsızlıklarından, aşırı kullanılan vücut kısımlarından kaynaklanan karpal tünel sendromu gibi hastalıklardan ve bir kişinin hayatının geri kalanı boyunca kalıcı etkilere kadar değişebilir[2]. Ergonomik olarak sağlam bir çalışma ortamı, bir şirketin işgücüne daha fazla konfor ve memnuniyet getirir. İş açısından bakıldığında, çalışanların konfor ve mutluluk düzeylerindeki artış, iş üretkenliği ve verimliliğinde de artışa neden olur. Örneğin, bir çalışan tüm gün garip bir pozisyonda çalışıyorsa, yaşadığı rahatsızlık ve acı nedeniyle üretkenlik düşebilir. Bu çalışana nötr bir duruşta çalışmasına izin veren ergonomik bir iş istasyonu sağlanırsa, çalışanın memnuniyeti ve verimliliği artacaktır[3].

Çalışma alanları için kullanılacak çeşitli ergonomik değerlendirme yöntemi vardır[4], örneğin: Tüm vücut için REBA(Rapid Entire Body Assessment)[5], üst uzuvlar için RULA(Rapid Upper Limb Assessment)[6], çalışma duruş analizi için OWAS(Ovako Working Posture Analysis System)[7] ve biyomekanik aşırı yük nedeniyle ortaya çıkabilecek ergonomik riskleri değerlendirmek için EAWS (Ergonomic Assessment Work-Sheet) kullanılır. EAWS analizi ile vücut duruşları, uygulanan kuvvetler, aletli ve aletsiz taşımalar, yüksek tekrarlı üst beden hareketler, hakkında detaylı ergonomik analiz yapılabilir. RULA'nın postural yükleri değerlendirme için daha uygun olduğu[8] değerlendirilmiştir. Knee ve Karwowski[9] endüstriyel ortamdan aldıkları örnekleri farklı metodlarla karşılaştırmış, RULA ve REBA'nın bu ortamlar için daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

İşyerlerinde, geleneksel ergonomi analizleri video çekilerek yapılmaktadır. Üretim esnasında her bir işlem için video kaydı alınıp, bu kayıtlar uygun aralıkta durdurularak vücut duruş puanlamaları yapılarak manuel sonuçlar elde edilmektedir[4]. Bu işlemi otomatik hale getirmeyi amaçlayan, görüntü işleme temelli ileri yöntemlerde giyilebilir teknolojiler ve iki veya üç boyutlu kameralar kullanılarak çözümler bulunmuştur. Projemizde, geliştirdiğimiz ergonomi yazılım sistemi kamera görüntülerini yapay zeka kullanarak analiz edilmektedir.



Şekil 1: IVABOT Endüstriyel Sanal Asistan

Çalışmamızın katkıları şu şekilde sıralanabilir:

Endüstriyel ortamda, birden fazla kişinin olduğu durumlar için ergonomi analiz yazılımı gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım REBA ve RULA metodlarını kullanarak riskleri belirlemektedir. Yolov5 mimarisi ile operatörlerin tespiti yapıлып, MediaPipe ile de anahtar iskelet pozisyonları bulunmuştur. Bu anahtar pozisyonlar kullanılarak analizler yapılmıştır.

Çalışmanın organizasyonu aşağıdaki gibidir. Bölüm 2, iskelet tanıma, kullanılan metodlar ve ergonomi analizinin altyapısı, 3. Bölümde yapay zeka temelli yazılım modülleri, 4. Bölümde deneysel sonuçlar. Son olarak, 5. bölümde sonuçlar sunulmaktadır.

## 2. Metodlar

IVABOT kamerasından alınan video görüntüleri kullanarak bireyler ve iskelet anahtar noktaları tanınır, gövde açıları hesaplanır.

### 2.1. İskelet Tanıma

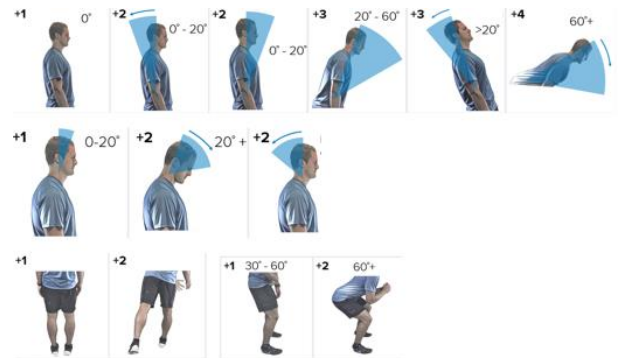
MediaPipe, Google tarafından geliştirilen açık kaynaklı bir çoklu ortam çerçevesidir. İlk kez 2019'un başlarında duyurulan MediaPipe, video ve ses işleme, görüntü analizi ve makine öğrenimi gibi çeşitli multimedyaya uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Geliştiricilere görüntü ve video işleme, nesne algılama, yüz tanıma, el izleme ve diğer multimedyaya uygulamalarını hızlı ve kolay bir şekilde geliştirebilmeleri için bu platform sağlamıştır.

Haziran 2019'da MediaPipe, Android ve iOS işletim sistemlerinde kullanılabilen mobil cihazlarda çalışabilme yeteneği kazandı. Ekim 2020'de derin öğrenme modelleri kullanan "MediaPipe Objectron", Mart 2021'de insan vücudunu tam olarak takip etmek ve sınıflandırmak için "MediaPipe Holistic" yayımlandı. PoseNet olarak bilinen "MediaPipe Pose" bileşeni insan vücutlarının gerçek zamanlı olarak tespit edilmesi ve takip edilmesi için kullanılır. PoseNet olarak da bilinen bu bileşen video akışında veya canlı bir kamerada insan vücutlarının konumunu, oryantasyonunu ve hareketlerinin takibinde kullanılmaktadır. PoseNet, vücut parçalarının, özellikle omuzlar, dirsekler, bilekler, kalça, dizler ve ayak bilekleri gibi ana eklem noktalarının konumlarını tahmin etmek için CNN tabanlı derin öğrenme modeli kullanır.

### 2.2. Ergonomi Analiz Hesaplaması

REBA yöntemi bir çalışma duruşu esnasında gövdede, boyunda, bacaklarda, üst kollarında, alt kollarında ve bileklerde ortaya çıkan esneme ve bükülme ve bu duruşlar esnasında çalışanın maruz kaldığı yüklerle ilgili olarak 1 ile 15 arasında değişen bir skor belirlenmektedir. REBA skoru belirlenirken öncelikle vücut kısımları, A ve B grubu olarak ikiye ayrılır.

A Grubu:Gövde, boyun ve bacak duruşlarına (Şekil.2) göre puanlar hesaplanır ve Tablo 1'deki A grubu için skorlar gösterilmiştir.

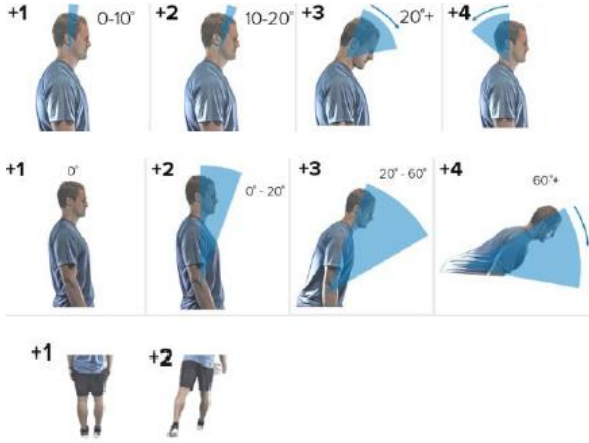


Şekil 2: REBA Tablo A için kullanılan puanlamaların gösterimi [Üst kol puanlamasında eğer omuzlar yükselmişse +1, üst kol dışı açılmışsa +1, kol desteklenmişse -1 eklenir <https://ergo-plus.com/reba-assessment-tool-guide/>]

Tablo 1: REBA Tablo A

TABLE A	BOYUN															
	Bacak	1				2				3						
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
Gövde	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6			
	2	2	3	4	5	3	3	5	6	4	5	6	7			
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8			
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9			
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9			





Şekil 5:RULA B grubu için gövde, boyun, bacak puanlaması

B Grubu: Boyun, gövde, bacak (Şekil 5) göre hesaplanır. Tablo 5’de B grubu için skorlar gösterilmiştir.

A ve B grubu için oluşturulan tablolar birleştirilerek RULA C grubu oluşturulur, Nihai skor; 1-7 arasında bir değer almaktadır.

Tablo 5: RULA Tablo B

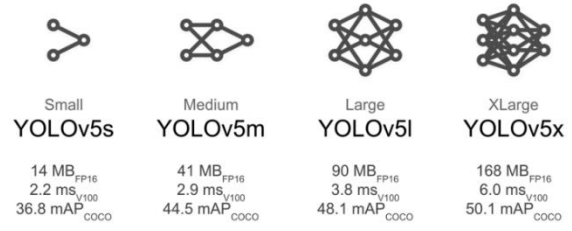
Tablo B	Gövde											
	1		2		3		4		5		6	
Boyun	Bacak											
	1		2		1		2		1		2	
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	7	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

### 3.Yazılım

Görüntü tanıma, insanları sınıflama, iskelet anahtar noktalarını bulma, ergonomi risk analizi yapan yazılımlar gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yazılımları üç farklı modül olarak sınıflayabiliriz.

#### 3.1.YOLOv5

Bu çalışmada amaç tek karede çoklu insan bedenleri üzerinde ergonomik duruş tespiti ve puanlaması yapmak olduğundan ve Google’ın Mediapipe framework’ü aynı karede sadece bir beden üzerinde tahmin yapabildiğinden dolayı, ön-işlem olarak elde edilen görüntüden öncelikle YOLOv5 (Şekil.6) ile kişi tespiti yapılarak tespit edilen her bir kişi üzerinde ayrı ayrı keypoint tespiti yapılması uygun görülmüştür. Bunun için kapsam, performans ve hız bakımından YOLOv5’in sunduğu önceden eğitilmiş modellerden biri olan YOLOv5s tercih edilmiştir. İşlem yapılacak olan görüntüde tespit edilen kişileri kapsayan en küçük dikkörtgenlerin köşe noktaları alınarak keypoint tespiti yapılmak üzere fotoğraflardan bu bölgeler kırılarak ayrılmıştır.

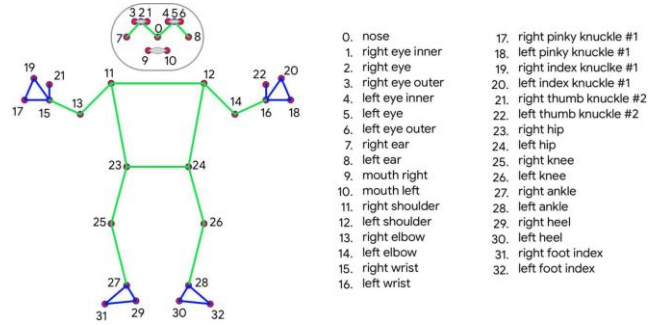


Şekil 6: YOLOv5’in farklı boyutlardaki modelleri. Burada V100, Nvidia V100 GPU ile ortaya çıkan işlem süresini, mAP ise ortalama kesinlik ölçütünü gösterir. [10]

#### 3.2.Mediapipe

Kırılarak elde edilen fotoğraflara, Google tarafından açık kaynak olarak geliştiricilere sunulan Mediapipe framework’ünün vücuttaki keypointlerin 2-boyutlu fotoğraftan bulunup 3-boyuttaki noktalarını tahmin ederek veren “Pose Landmark Detection” özelliği uygulanmıştır[12].

Girdi olarak verilen fotoğraf üzerinde aşağıda gösterilen (Şekil. 7) 33 adet anahtar noktanın tespitini gerçekleştirerek 3-boyutlu koordinatlarını çıktı olarak vermektedir.



Şekil 7: Mediapipe tarafından çıktı olarak verilen insan bedeninde tespit edilen 33 anahtar nokta.

Burada elde edilen noktalar, bir sonraki aşamada geometrik hesaplamalarda kullanılmak üzere kaydedilmektedir.

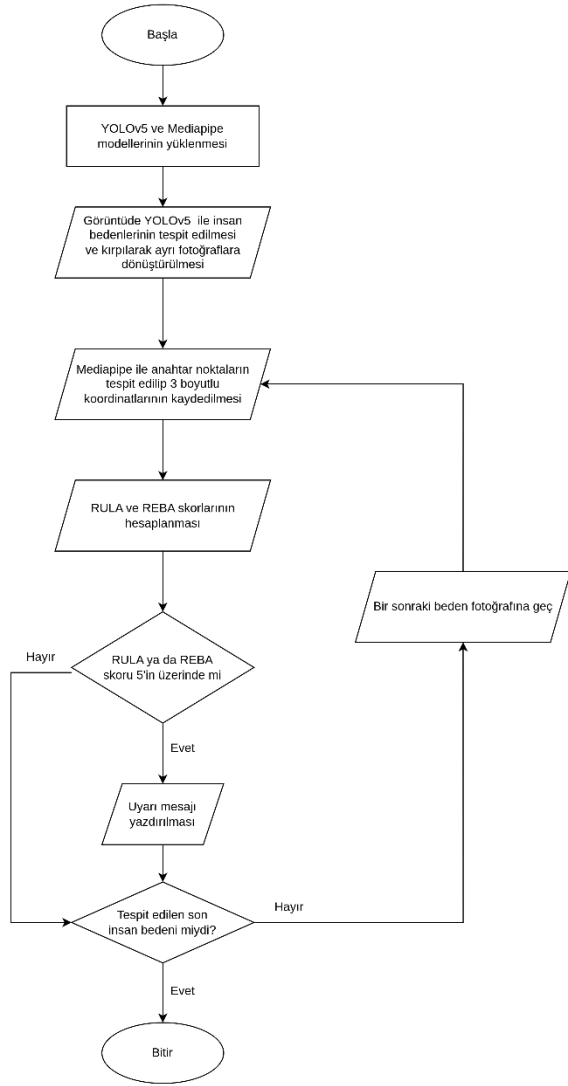
#### 3.3.REBA ve RULA Hesaplama Modülü

Elde edilen noktalardan açı ve duruş hesabı yapılabilmesi için oluşturulan fonksiyonlarda üç boyutlu uzaydaki koordinatlar kullanılmıştır. Örneğin RULA hesaplarken ihtiyaç duyulan üst kolun açısı; sağ kolda 11-13-15, sol kolda ise 12-14-16 noktalarının ortasındaki açıya tekabül etmektedir. Yani sağ kol için 11-13 ve 13-15 noktaları arasında oluşan iki vektörün arasında oluşan açı hesaplanmıştır. Bunun için (1) numaralı denklem kullanılmıştır:

$$\theta = \cos^{-1} \frac{a \cdot b}{|a||b|} \quad (1)$$

Hesaplanan açılarla karşılık geldiği skorlar bir değişken olarak tutulmuştur. Daha sonra “.csv” formatında tutulan hesaplama tablolarından genel skor hesaplanarak çıktı olarak verilmiştir.

Yazılım akış diagramı Şekil.8’de gösterilmiştir.

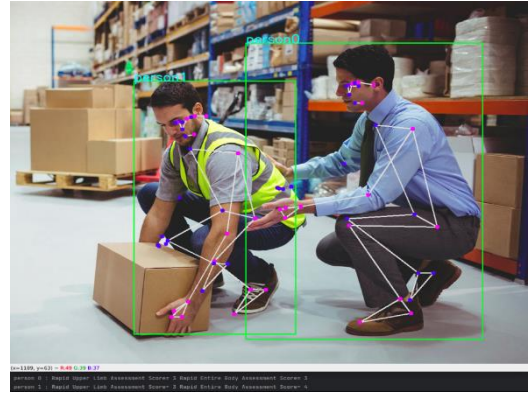


Şekil 8: Akış Diagramı

#### 4. Testler

Oluşturulan algoritmalar fotoğraf ve video kesitlerinden alınan görüntüler üzerinde test edilmiştir. Bazı fotoğraflar internet ortamından alınmış, bazıları ise Altınay tesislerinde kaydedilmiştir. Hesaplanan RULA ve REBA skorları, konsolda yazdırılmış, sesli ve görsel olarak uyarıya dönüştürülmüştür.

Şekil 9'de test edilen görüntü internet ortamından alınmıştır. Geliştirilen yazılım soldaki kişinin RULA ve REBA skorlarının her ikisi de 3 olarak hesaplanırken, sağdaki kişinin RULA skoru 3, REBA skoru 4 olarak hesaplanmıştır. Aynı işlem, manuel olarak yapıldığında elde edilen değerler Tablo 6'da gösterilmiştir.



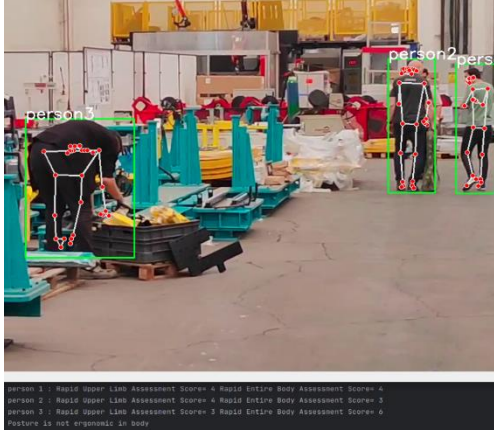
Şekil 9: Saha ortamında iki kişi üzerinde test.

Tablo 6: Şekil 9 için manuel hesap sonuçları

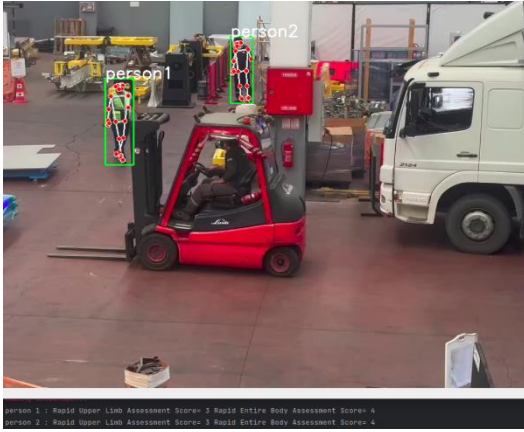
Soldaki kişi			Sağdaki kişi			
boyun	2		boyun	1		
gövde	2		gövde	2		
bacak	2	TabloA	4	bacak	3	TabloA
üst kol	2		üst kol	2		
alt ko	2	TabloB	1	alt ko	1	TabloB
bilek	1		bilek	2		
		REBA	4			REBA
üst kol	2		üst kol	2		
alt kol	1		alt kol	1		
bilek	1	TabloA	2	bilek	2	TabloA
bilek ve kol	2		bilek ve kol	3		
boyun	2		boyun	1		
gövde	2		gövde	2		
bacak	2	TabloB	3	bacak	2	TabloB
Boyun, gövde, bacaklar	3	RULA	3	Boyun, gövde, bacaklar	3	RULA

Şekil 10, 11 ve 12'de test edilen görüntüler ise Altınay tesislerinde kaydedilen görüntülerdir. Buradaki sonuçlarda ise mesela Şekil 10'de en soldaki kişinin REBA skoru 5'ten büyük hesaplandığı için konsolda "Posture is not ergonomic in body" uyarısı verilmektedir.

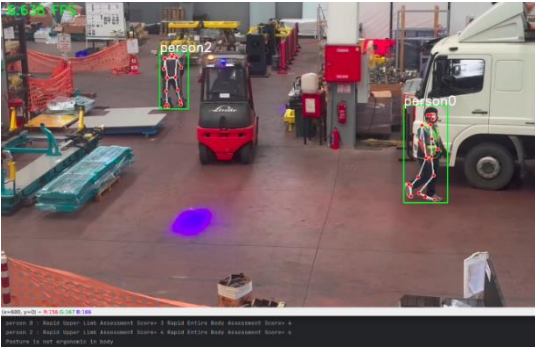




Şekil 10: Saha ortamında iki kişi üzerinde test.



Şekil 11: Altnay tesislerinde alınan görüntü.



Şekil 12: Altnay tesislerinde alınan görüntü.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada bilgisayarlı ergonomi analizini, iki boyutlu kamera ile alınan kayıtlara çevrim içi olarak uygulayabilecek bir yazılım sistemi geliştirilmiştir. Fabrika içinde birden fazla insanın çalıştığı ortamlarda da video analizi yaparak,

çalışanların ergonomik risk değerlendirmesini yapabilmektedir. REBA ve RULA yöntemleri kullanılarak bilek, dirsek ve üst uzuvların daha detaylı değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bu sistem, meslek hastalıkları önlenerek, iş veriminin artırılmasına katkıda bulunacaktır.

## Teşekkür

Bu proje Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Sanayi Arge kapsamında desteklenen 3201066 nolu “Endüstriyel sanal asistan” projesinin bir kısmını oluşturmaktadır. Desteklerinden dolayı Tübitak’a teşekkür ederiz..

## Kaynakça

- [1] S. Aytaç, A.F.Özok, N. Yamankaradeniz,A. Gökçe, G. Akalp, O. Çankaya ve U.Tüfekci, “Metal Sanayiinde Çalışan Kadınların Ergonomik Risk Algısı: Bir Araştırma,” *Ergonomi*, Cilt: 1, No:1, s: 29-38, 2018
- [2] Z. Kırzioğlu ve C.Ç. Yetiş, “Dış Hekimliği Kliniklerinde Ergonomik Düzenlemeler Bölüm 1: Dış Hekimliğinde Ergonominin Gelişimi ve Ergonomik Olmayan Çalışmalar Sonucu Oluşan Muskuloskeletal Bozukluklar,” *Atatürk Üniversitesi Dış Hek. Fak. Derg.*, Cilt: 23, No: 3, s: 414-420, 2013
- [3] B.Y Doğan, K.Arslan, S. Kılıç ve G.S. Arpacı, “Ofis Tasarımında Ergonomik Koşulları Sağlanmasının Önemi,” *Ergonomi*, Cilt: 5, No:2, s: 84-97, 2022
- [4] H. Baş ve F. Yapıcı, “İş İstasyonlarında Çalışanlarda Zorlanmaya Neden Olan Duruşların Ergonomik Açından İrdelenmesi: Örnek Uygulama,” *Ergonomi*, Cilt: 3, No:3, s: 128-137, 2020
- [5] S. Hignett ve L. McAtamney, “Rapid Entire Body Assessment (REBA),” *Applied Ergonomics*, Cilt:31, s: 201-205, 2000
- [6] L. McAtamney ve E. N. Corlett, “Rula: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders,” *Applied ergonomics*, Cilt:24, s. 91-99, 1993
- [7] E. N. Corlett ve R. Bishop, “A technique for assessing postural discomfort,” *Ergonomics*, Cilt: 19, No.2, s: 175-182, 1976
- [8] D. Knee, “Systematic Comparison of OWAS, RULA, and REBA Based on a Literature Review,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, Cilt: 19, No.595, s: 1-23, 2022
- [9] D. Kee, W. Karwowski, “A Comparison of Three Observational Techniques for Assessing Postural Loads in Industry *Int. Journal of occupational safety and ergonomics*, Cilt: 13, No.1, s: 3-14, 2007
- [10] D. Dluznevsij, P. Stefanovic ve S. Ramanauskaite, S. “Investigation of YOLOv5 Efficiency in iPhone Supported Systems,” *Baltic Journal of Modern Computing*, Cilt: 9, No.3, s:333-344, 2021
- [11] J.-W. Kim, J.-Y. Choi, E.-J. Ha, ve J.-H. Choi, “Human Pose Estimation Using MediaPipe Pose and Optimization Method Based on a Humanoid Model,” *Applied Sciences*, Cilt: 13, No: 4, s: 2700, 2023