

Çalışanın İş Sağlığı ve Güvenliği için Uygunluk Tespiti: Görüntü ve Ses İşleme ile Yorgunluk Tespiti ve Kişiye Özel Raporlama

Compliance Detection for Occupational Health and Safety of Employees: Fatigue Detection and Personalized Reporting with Image and Sound Processing

Abdulkadir YAPICI¹, Rumeysa ÜSTÜN¹, Hikmetcan ÖZCAN¹

¹Kocaeli Üniversitesi (KOÜ), Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 41380, İstanbul, Türkiye

Öz

Günümüzde teknolojinin ilerlemesi, iş sağlığı ve güvenliği alanında çalışanların güvenliğini artırmaya yönelik yeni sistemlerin ortaya çıkmasına olanak tanımıştır. Ancak, tüm bu güvenlik önlemleri alındığında bile, işçinin yorgunluğunun güvenlikte kritik bir rol oynadığı unutulmamalıdır. Yorgun bir işçi, ne kadar güvenlik protokolü olursa olsun, bu protokolleri uygulamakta zorlanabilir. Bu nedenle, özellikle dikkat ve özen gerektiren endüstriyel görevlerde, çalışanların yorgun olup olmadığını belirlemenin hayati öneme sahip olduğu kabul edilmektedir. Çalışmada, işçilerin uzun ve kısa vadede işlerini sağlıklı bir şekilde sürdürebilmeleri adına yorgunluk tespitine odaklanıldı. Bu bağlamda, gerçek zamanlı video görüntülerini kullanarak, görüntü işleme teknikleriyle yüz tespiti gerçekleştirildi ve yüzdeki belirli referans noktaları haritalandı. Göz ve ağız açıklığı ile başın eğiklik seviyesi, yorgunluk belirtileri olarak belirlendi ve bu parametreler eşik değerlere göre değerlendirildi. Ayrıca, işçinin dikkatini ve bilgisini ölçmek amacıyla yorgunluk tespit sırasında iş sağlığı ve güvenliğiyle ilgili sesli ve görsel sorular da soruldu. Böylelikle işçinin belirli iş aktiviteleri ve ekipmanlar için ne kadar hazır olduğu belirlenmeye çalışıldı. Ek olarak, önerilen sistemde kullanılan yüz tanıma ile bireysel yorgunluk raporları hazırlandı. Deneysel çalışmalar sonucunda, önerilen sistemin öznel veri setindeki performansı doğruluk %80, kesinlik %85, duyarlılık %73 ve F1 skoru %75 olarak hesaplanmıştır. YawDD veri seti üzerinde ise doğruluk %95.99, kesinliği %96.83, duyarlılığı %95.58 ve F1 skoru %95.59 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü işleme, İş sağlığı ve güvenliği, Konuşma işleme, Yorgunluk tespiti, Yüz tanıma

Abstract

Advancements in technology today have enabled the emergence of new systems aimed at increasing worker safety in the field of occupational health and safety. However, even with all these safety measures in place, it must not be forgotten that a worker's fatigue plays a critical role in safety. A tired worker may struggle to comply with safety protocols, regardless of how many are in place. Therefore, especially in industrial tasks that require attention and diligence, determining whether workers are fatigued is considered of vital importance. The study focused on detecting fatigue to ensure workers can sustain their work healthily in the long and short term. In this context, real-time video footage was utilized, and facial detection was performed using image processing techniques, mapping specific reference points on the face. Eye and mouth openness, along with the level of head tilt, were identified as signs of fatigue, and these parameters were evaluated against threshold values. Additionally, during fatigue detection, audio and visual questions related to occupational health and safety were asked to measure the worker's attention and knowledge. Thus, it was attempted to determine how prepared the worker was for certain work activities and equipment. Furthermore, individual fatigue reports were prepared using facial recognition in the proposed system. As a result of experimental studies, the performance of the proposed system on the subjective data set was calculated as accuracy 80%, precision 85%, recall 73% and F1 score 75%. On the YawDD dataset, accuracy was determined as 95.99%, precision as 96.83%, recall as 95.58% and F1 score as 95.59%.

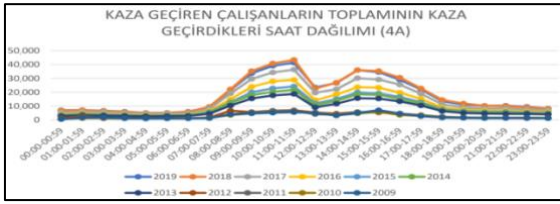
Keywords: Image processing, Occupational health and safety, Speech processing, Fatigue Detection, Face Recognition

I. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle iş sağlığı ve güvenliği (İSG) alanında işçilerin çalışma alanlarındaki güvenliğini artırma amaçlı sistemler geliştirilmektedir. Endüstri alanında kullanılan sistemlerde büyük değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler sayesinde yeni, güçlü ve karmaşık sistemler geliştirilmiştir. Ancak bu sistemlerin kurulumu, kullanımı ve bakımı da bir o kadar zor ve tehlikeli bir hale gelmiştir. İşveren, işçiyi

tehlikelerden korumak için İSG kapsamında birçok önlem almaktadır. Bu önlemlerin birçoğu endüstriyel sistemlerin bulunduğu fiziki ortamlar içindir. Ek olarak kullanılacakları sistem ile ilgili kurulum, kullanım ve bakımı için eğitim verilmektedir. Ancak alınan bu önlemler işçinin yorgunluğunu tespit etmek için yeterli değildir. İşçinin endüstriyel bir sistemi kullanırken çok dikkatli olması gerekmektedir. Ufak bir hata işçinin yaralanmasına hatta ölmesine bile sebep olabilmektedir [1]-[2].

Bu güvenlik tedbirlerinin yanı sıra işçinin yorgunluğunun da güvenlik tedbirleri kadar önemli olduğu göz ardı edilmemelidir. İşçi için her ne kadar güvenlik önlemi alınsa da yorgunluk sebebiyle güvenlik protokollerini uygulanması oldukça zorlaşmaktadır. Şekil 1’de görülen, işçilerin mesai ve mola saatleri göz önüne alındığında yorgunlukla paralel yaşanan ölüm artışları özellikle ağır ve dikkat gerektiren endüstriyel aktivitelerde çalışan işçilerin, hayati risk içeren bu aktivitelere başlamadan önce yorgunluk tespitinin yapılmasının bir gereklilik haline geldiğini göstermiştir [3].



Şekil 1. Çalışanların kaza geçirdikleri saat dağılımı [3].

Geçmişten günümüze kadar İSG alanında görüntü işleme yöntemleri kullanılarak yorgunluk tespiti için birçok çalışma yapılmıştır. Shahzeb Ansari ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, berrak zihin veya zihinsel yorgunluktan etkilenirken sürücü durumlarının farklı sürüş modellerini tanımlama sürecine ve doğrudan ölçüm yaklaşımlarının geliştirilmesine katkıda bulunmuşlardır. Yapmış oldukları deneyleri, Unreal Engine 4 stüdyosu ile geliştirilmiş bir döngü içi sürücü simülöründe on beş sağlıklı denek üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Deneyler de XSENS hareket yakalama sistemi kullanılıp, sürücünün baş duruşu hareketleri izlenerek sürücü zihinsel yorgunluğu ve uyusukluk seviyesi ölçülmüştür. Gözlemlenen düşük yük ve pasif mental yorgunluğun en önemli örüntüleri ise esneme, başın aşağı düşmesi ve kafa sallamak olarak bildirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda önerdikleri yöntemin, Karar Ağaçları (Decision Trees, DT), K-En Yakın Komşu algoritması (K-Nearest Neighbors, KNN), Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine, SVM), Topluluk Öğrenmesi (Ensemble Classifiers, EC) metodlarından daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [4].

Zhe Cui ve arkadaşları, çalışmalarında gömülü sistemlerdeki bellek yetersizliği ve sınırlı bilgi işleme

gücüne sahip olması problemlerini ele alarak gerçek zamanlı yorgunluk tespiti işlemi yapmak için hafif bir sinir ağı modeli tasarlamışlardır. Bu sinir ağında sürücünün gözlerinin ve ağzının açılma ve kapanma durumlarını hızlı bir şekilde tanımlama yapabildiklerini belirtmişlerdir. Sürücünün yorgunluk durumunu kararlaştırmak için çok özellikli füzyon karar algoritmasını kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda önerilen modelin gerçek bir araç ortamında uyusukluk ve esneme davranışları için yüksek doğruluk oranında başarılı olduğunu belirtmişlerdir [5].

Faisal Dharma Adhinata ve arkadaşları, COVID-19 salgınında ekran başında geçirilen sürelerin uzaması ile verimliliğin azalması arasında bir bağ olduğunu ve kişilerin yorgunluk tespitinin önemli olduğunu belirtmişlerdir. Önerdikleri yorgunluk tespiti sistemin de yüz tespiti için gerekli olan yüz özelliklerini barındıran “UTA-RLDD” veri kümesini kullanmışlardır. Ek olarak Haar Cascades metoduyla veri kümesini bölümlere ayırmışlardır. Yüzdeki özellik çıkarımı için önceden eğitilmiş FaceNet algoritmasını kullanmışlardır. Elde edilen özellikler KNN ve çok sınıflı SVM metodları kullanılarak odaklanmış, odaklanmamış, yorgun olacak şekilde üç sınıfa ayrılmışlardır. Çalışmalarının sonucunda önerdikleri sistemin yüz algılama zayıflığının olduğunu ancak FaceNet ve KNN algoritmasının hibrit kullanımında yüksek doğruluk oranında başarılı olduğunu belirtmişlerdir [6].

Xing Li ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, var olan ağır işlem yükü içeren yorgunluk tespiti çalışmalarına alternatif olarak işlem yükü az olacak şekilde çalışan bir yöntem önermişlerdir. İnsan yorgunluğunun tespiti olarak esneme ve göz kırpmaya hareketleri temel alınmış ve yüz üzerinde ögeler (göz, burun, ağız vb.) Dlib kütüphanesi kullanılarak insan yüzü üzerindeki referans noktalarını kullandıklarını belirtmişlerdir. Göz ve ağız en boy oranını bu referans noktaları ile hesaplamış, belirledikleri bir eşik değerinin altında olup olmadığına bakarak göz ya da ağzın açık kapalılığını tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda önerdikleri yöntemin yüksek tespit doğruluğu ve iyi bir gerçek zaman performansı olduğunu belirtmişlerdir [7].

Gulbadan Sikander ve Shahzad Anwar’ın yaptığı çalışmada, yorgunluğa bağlı olarak gerçekleşen trafik kazalarının, sürücülerin uyanık olduğu kazalara göre daha çok ölüm oranına sahip olduğu ve çevreye daha fazla zarar verdiği belirtilerek, sürücü yorgunluğu algılama alanındaki artan son gelişmelerin durumunun incelenmesi ve karşılaştırması sağlamışlardır. Sürücü yorgunluğunun algılanmasını, girdi özelliklerine göre beş kategoriye ayırmışlardır. Bunlar; öznel raporlama, biyolojik özellikler, fiziksel özellikler, sürüş sırasındaki araç özellikleri ve hibrit özelliklerdir. Gerçek zamanlı işleme için öznel raporlama ve biyolojik özelliklerin uygunluğunun sınırlı olduğunu,

bu sebeple sürücü yorgunluğu izlemede kullanımının kısıtlı olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanında güvenilir sistemler üretmek adına, daha iyi bir doğruluk sağlayacağı için fiziksel özellikler, günün saati, sürüş süresi, sürücü özellikleri gibi öğelerin kaynaştırılmasını önermişlerdir [8].

Qiang Ji ve arkadaşları, çalışmalarında yorgunluğun sebep olduğu kazaların ve can kayıplarının önemine değinerek, çeşitli duyuşal verilerden ve belirli ilgili bağlamsal bilgilerden gelen bilgileri entegre ederek insan yorgunluğunu modellemek ve gerçek zamanlı çıkarım yapmak için Bayes ağlarına dayanan olasılıksal bir çerçeve tanıtmıştır. Yorgunluğun zamanla gelişen bilişsel bir durum olduğundan hareketle, ilgili statik modelin, yorgunluğun dinamik yönünü yakalayamayacağını ifade etmişlerdir. Bu duruma çözüm olarak, insan yorgunluğunun zamansal yönünü de hesaba katmak amacıyla statik yorgunluk modeli, dinamik Bayes ağlarına dayalı olarak genişletmişlerdir. Böylelikle daha sağlam ve doğru bir yorgunluk modellemesine ve çıkarımına sahip olunmuştur. Çalışmalarının odağının, yüksek doğruluk veren bir yorgunluk modellemesi olmasından ziyade yorgunluğu ilkeli bir şekilde modelleyebilen teorik bir çerçeve olsa da, yorgunluk modeli yapısını iyileştirmek ve model parametreleştirmesini iyileştirmek için daha fazla araştırma çalışmasına ihtiyaç olduğunu ifade etmişlerdir [9].

Yuan Fang ve arkadaşları, geçirilen pandemi döneminde insanların çok uzun süre çalışmaya itildiğini ve bununla beraber iç aydınlatma ortamının insan sağlığı için önemli olduğunu belirterek, fiziksel iç ortam çevresel faktörlerinin, ilişkili renk sıcaklığının ve aydınlatmanın bilgisayarda yapılan iş yorgunluğu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. İki farklı aydınlatma ayarı ve ilişkili renk sıcaklığı kullanılarak yapılan 10 dakikalık bir deneyde, yorgunluğu objektif olarak ölçmek için test sırasında elektroansefalogram, elektrokardiyograf ve göz hareketi gibi fizyolojik sinyaller izlenmiştir. Sekiz katılımcının öznel yorgunluğu, testi tamamladıktan sonra yapılan bir anket ile değerlendirilmiştir. Yapılan testteki hata oranı, çalışma performansı için temel faktör olarak alınmıştır. Subjektif ve objektif sonuçların analizi yoluyla, bilgisayar başında yapılan işin yorgunluğunun, aydınlatma ortamındaki değişikliklerden önemli ölçüde etkilendiği, aydınlatma ve ilişkili renk sıcaklığı ile yorgunluğun negatif olarak ilişkili olduğu ortaya konmuştur [10].

Sally Vegso ve arkadaşları, imalat işçileri arasındaki yaralanma riskinin, önceki hafta çalışılan saatlerle ilişkili olup olmadığını belirlemek için yaralanma olayını içeren vardiyadan önce çalışılan saatleri, yaralanma olmayan vardiyadan önce çalışılanlarla karşılaştırma yapmışlardır. Sezon ve iş tecrübesi gibi zamana bağlı değişkenleri minimize etmek için dört haftalık bir aralık seçilmiştir. Aynı zamanda yaralanan

çalışanların analize dâhil edilebilmesi için, yaralanma ve karşılaştırma haftasında aynı işte olması ve yaralanmadan 4 hafta önce tam olarak aynı gün çalışmış olması, kontrol haftasından itibaren 2 ay içerisinde iş değiştirmemiş olması gibi birtakım kurallar belirlenmiştir. Bu kurullarla birlikte, yapılan çalışmada yalnızca önceki hafta çalışılan saatlerin etkisi kişinin yorgunluğu üzerindeki etkisi gözlemlenmeye çalışılmıştır. Çalışanın yaralanma öncesi çalışma saatleri, kontrol haftasındaki saatleri önemli ölçüde aştığı görülmüştür. Vardiyadan önceki hafta altmış dört saatten fazla çalışan işçiler, kırk saat veya daha az çalışanlara kıyasla %88 daha fazla risk taşıyor olduğu tespit edilmiştir. Böylelikle, yaralanma riskinin bir önceki hafta çalışılan süre ile ilişkili olduğuna dair kanıt sağlanarak, fazla mesainin kontrolü işçi yaralanması riskini azaltabileceğini ifade etmişlerdir [11].

Bu tez çalışmasında, işçinin İSG kapsamında karşılaşılabilecekleri tehlikeleri en aza indirebilmek için endüstriyel alanda bir aktivite yapmadan önce yorgun olup olmadığını tespit edebilecek ve sonuca göre işçi ile ilgili öznel rapor oluşturabilecek bir sistem geliştirilmiştir. Sistem geliştirilirken kullanılan göz kapalılık, ağız açıklık ve baş sağ-sol eğiklik sayısının hesaplanabilmesi için gerekli olan yüz dönüm noktalarının elde edilebilmesini sağlayan Dlib kütüphanesinden yararlanılmıştır. Bunun yanında işçiye, çalışacağı alandaki yeterliliği ölçmek için sesli ve görsel İSG soruları yöneltilmiştir. Çalışanın yorgun olup olmadığını belirlemek için, ilgili kurumda bulunan İSG görevlisi tarafından maksimum göz kapalılık, ağız açıklık, baş sağ-sol eğiklik sayıları ve İSG sorularına verilmesi gereken minimum doğru cevap sayısı değerleri belirlenmelidir. Bu eşik değerlerine göre uygun sonuçlara sahip işçinin yorgun değil ise çalışma alanına girişine izin verilecektir. Raporlama sürecine tabi olan her işçi, face-recognition kütüphanesinin yüz tanıma sistemi ile tanınarak, daha önce sistem tarafından saptandığı belirtilen tüm özellikler bazında raporlanacaktır.

II. MATERYAL VE METOD

İSG kapsamında geliştirilen yorgunluk tespit sisteminin görselleştirilmesi Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu sistemde, işçinin yapacağı aktivitenin hemen öncesinde, kendisinin yüzünü tam karşıdan net şekilde gören ve yeterli aydınlatmaya sahip olan bir alandaki kameraya bakmasıyla yorgunluk tespit işlemi başlamaktadır. İşçinin çalışma alanına girebilmesi için yorgunluk durumunun uygunluğunu belirleyecek olan bu düzende, göz açıklığı, esneme ve kafanın sağa sola eğim alması gibi uyku belirtisi içeren durumlarla beraber işçinin çalıştığı alana uygun olarak iş sağlığı ve güvenliği çerçevesindeki bilgisi görsel de içerebilen sesli sorular yardımıyla ölçülmektedir. Sorulacak olan sorular, ilgili kurumda bulunan İSG görevlisi tarafından belirlenmelidir. Önerilen süre olan bir dakikalık

süreçte, yorgunluk belirtisi eşik değerlerinin aşılması veya işçinin iş sağlığı ve güvenliği sorularına verdiği sesli yanıtların iş sağlığı ve güvenliği uzmanı tarafından belirtilen oranın üzerinde yanlış olması durumunda, işçinin yorgun olduğunu belirterek yapması gereken aktiviteye izin vermemektedir. Bunun yanı sıra işçiye özel raporlama yapılabilmesi için, sisteme önceden işçiye ait dijital fotoğraf yüklenerek yüz tanıma yapılmaktadır. Yüz tanıma işlemi "face-recognition" kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kütüphanenin yüz tanıma konusundaki doğruluk değerinin, "Labeled Faces in the Wild" veri kümesi üzerinde %99.38 olduğu belirtilmiştir [12]. Bu yüz tanıma işlemi sayesinde de, yorgunluk tespiti için her seferinde işçi bilgilerinin sisteme girilmesine gerek kalmadan otomatik olarak raporlamaya başlayabilmektedir.

İşçiye ait öznel raporlama içerisinde yedi adet özellik bulunmaktadır. Bunlar; işçi tanımlama bilgisi, uyuklama ve esneme sayısı ve baş eğikliği eşik değerini geçme sayısı, İSG testi cevabı, rapor başlangıç ve bitiş zamanıdır. Uyuklama sayısı bilgisi, göz kırpmaları haricinde gözlerin uyuklama bağlamında kaç kere kapandığı bilgisidir. Esneme sayısı, raporlama süreci boyunca kaç kere esnediğini ifade etmektedir. Baş eğikliği için verilen eşik değerini geçme sayısı ise raporlama süreci boyunca kaç kez başını sağa veya sola belirtilen eşik değerinden fazla eğdiğini belirtir. İşçi tanımlama bilgisi ve rapor başlangıç zamanı, yüz tanıma sonrası sorulan teyit sorusuna olumlu girdi vermesi ile raporun başladığı andaki zamandır. Rapor bitiş zamanı ise yorgunluk tespiti sürecinin bittiği andaki zaman bilgisidir.



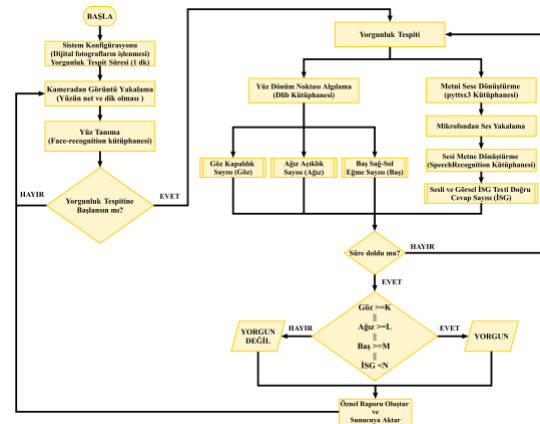
Şekil 2. Yorgunluk tespit sisteminin görselleştirilmesi.

Bu çalışma kapsamında göz açıklığı, esneme, sağa sola kafa hareketleri ve İSG testi incelenerek işçinin aktive öncesinde yorgun olup olmadığının tespiti yapılmaktadır. Şekil 3'te yorgunluk tespit sisteminin akış diyagramı gösterilmektedir. Akış diyagramında verilen K, L, M değerleri sırasıyla maksimum göz kapalılık, ağız açıklığı, baş sağ-sol eğme sayılarını, N

değeri ise minimum doğru İSG testi doğru cevap sayısını ifade etmektedir. Bu değişkenler güncellenebilir değerlerdir. İşveren veya İSG yetkilisi tarafından bu eşik değerler değiştirilebilir.

Önerdiğimiz sistemde işçinin yorgun olup olmadığının tespiti ve öznel raporun oluşturulabilmesi için aşağıdaki adımlar sırasıyla yapılmaktadır;

1. Yüz tanınması için yüzlere ait dijital fotoğraflar sunucudan alınarak işlenir.
2. Kamera karşısında yüzü net ve dik açıdan işçinin yüz tanınması gerçekleştirilir.
3. Yüzü tanınan işçiye yorgunluk tespitinin başlaması için soru sorulur. Hayır denilirse Adım 2'ye dönlür. Evet denilirse ekrandaki işçi ile yorgunluk tespitine başlanır.
4. İşçinin yorgunluk tespitinin yapılması için ayrılan süre için sayaç başlar. Önerdiğimiz sistem için sayaç bir dakika olarak belirlenmiştir.
5. İşçinin uykuya dalma (belirli bir süre gözünün kapalı olması), esneme ve başının sağa-sola eğiklik bilgileri tespit edilir. Bu sırada işçinin bilgili olması beklenen iş sağlığı ve güvenliği konularında, görsel de içerebilen sesli sorular yöneltilerek, sesli olarak kendilerinden cevap alınmaktadır.
6. Göz, ağız ve başın sağa-sola eğiklik için eşik değerler kontrol edilerek işçinin yorgun olup olmadığı bilgisi bildirilir. Bunun yanı sıra, sorulan soruya işçi tarafından verilen cevap değerlendirilerek, çalışma alanına girip giremeyeceği ile alakalı bir sonuç belirlenir.
7. İşçinin süre tamamlandığında kaydedilen bilgiler öznel rapor içerisinde yazılarak sunucudaki veri tabanına kaydedilir.
8. Adım 2'ye dönlür.



Şekil 3. Yorgunluk tespit sistemi akış diyagramı.

Önerdiğimiz sistemde bazı özel durumlarda sistemin davranışı değişmektedir. Bunlardan birincisi, kameradan alınan dijital görüntüde aynı anda tespit edilen yüz sayısı iki veya daha fazla ise, tek bir yüz kalıncaya kadar sistem bekleme durumunda çalışmaktadır. Sistem beklemede iken geçen süre, yorgunluk tespit süresi için kullanılan süreyi etkilemez. İkincisi, yorgunluk tespiti süreci başlayan işçi hariç

dijital görüntüde bir başkası ya da başkaları bulunuyorsa, sadece yorgunluk tespiti için seçilen işçi ekranda kalıncaya kadar sistem yine bekleme durumuna girmektedir. Üçüncüsü ise, bir işçi için raporlama süreci başladıktan sonra, raporlama süreci henüz tamamlanmadan önce işçinin yüzü dijital görüntüde görülemiyorsa, seçilen işçinin yüzü tekrar tanınana kadar sistem yine bekleme durumuna geçer. Raporlaması devam eden işçiye ait yüz tekrar tespit edildiğinde raporlama kaldığı noktadan devam eder.

2.1. Görüntü İşleme ile Yüz Tespit Tanıma

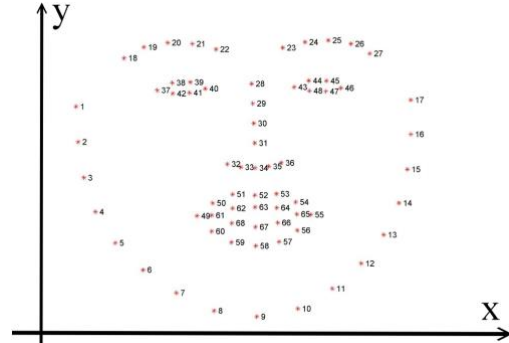
Çalışmada işçinin yüz tespiti için, Dlib'in sahip olduğu, Yönlendirilmiş Gradyanların Histogramları (Histogram of Oriented Gradients, HOG) ve Doğrusal Destek Vektör Makinesi (Linear Support Vector Machine, LSVM) tabanlı yüz tespiti fonksiyonu kullanılmıştır. Yüz tespiti için literatürde kullanılan Haar Cascade tespit algoritması değil de HOG tabanlı yüz tespitinin kullanılmasının sebebi, yanlış pozitif (false positive) oranının küçük olmasıyla beraber daha yüksek doğruluk elde edilebilmesi ve HOG tabanlı tespit, benzerlerinden üstün performans göstermesidir [13]-[14]. Yüz tespitinin akabinde, yüzdeki dönüm noktalarının tespiti için kullanılan daha önceden eğitilmiş yüz dönüm noktası detektörünün sahip olduğu model, regresyon ağaçları topluluğu (ensemble of regression trees) tabanlıdır ve bu sayede yüksek kaliteli tahminlerle mükemmel gerçek zamanlı performans başarabilmektedir [15]. Bu modelin eğitimi "ibug 300-W" veri kümesi üzerinde gerçekleştirilmiştir [16]. İlgili veri kümesi yüzlere ve bu yüzlerin 68 adet yüz dönüm noktalarına sahiptir. Belirtilen bu yapı sayesinde, yüzün dönüm noktalarının algılanma işlemi yapılarak insan yüzü 68 farklı referans nokta ile numaralandırılması sağlanmaktadır.

İşçilere ait verilerin öznel raporlanabilmesi için, Dlib kütüphanesinin sağladığı HOG özellik belirleyici ve Evrişimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Network, CNN) kullanılarak yüz tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir [17].

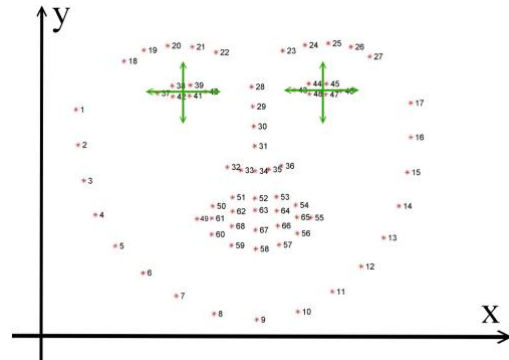
Şekil 4'te yüz üzerindeki referans noktalar gösterilmektedir. Bu noktalardan kullanmış olduğumuz 37-42 arası sol göz, 43-48 arası sağ göz, 49-68 arası ise ağız, 1-17 arası ise çene için ayrılmaktadır.

Şekil 5'te uyku durumu için kullanılan göz açıklık tespiti işleminde sağ göz için 37-42 arası sol göz için ise 43-48 arasındaki referans noktalarının kullanıldığı gösterilmektedir. Göz açıklığı (Eye Aspect Ratio, EAR) değeri, Eşitlik (1)'deki referans noktalarına göre hesaplanmaktadır. Eşitlikler de bulunan p ifadesi, (x,y) düzleminde numaralandırılmış olan koordinatları belirtmek için kullanılmaktadır. Shrutu Mohanty ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, uykulu göz kırpma tespiti konusunda gerçek zamanlı veri üzerinde %82.02 ve "MRL Eye Dataset" veri kümesi üzerinde %93.25 doğruluk değerleri elde edilmiş olmasına dayanarak

EAR değeri 0.15 olarak belirlenen eşik değerini aşarsa gözün açık olduğu kabul edilmektedir [13]. Al-gawwam ve Benaissa'ya göre insanın göz kırpma süresi 100 milisaniye ile 400 milisaniye arasındadır. Bu süreler arasında EAR değeri 0.15'ten daha küçük ise bunun gözü kapalı değil sadece bir göz kırpma olduğu düşünülmektedir. İşçinin göz kırpma süresi 800-900 milisaniye süreyi aştığında uykulu veya istemsiz olarak gözlerini kırptığı kabul edilmektedir [18].



Şekil 4. Yüz üzerindeki 68 referans nokta.

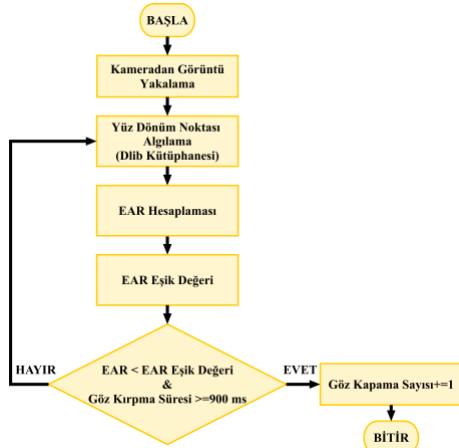


Şekil 5. Göz referans noktaları.

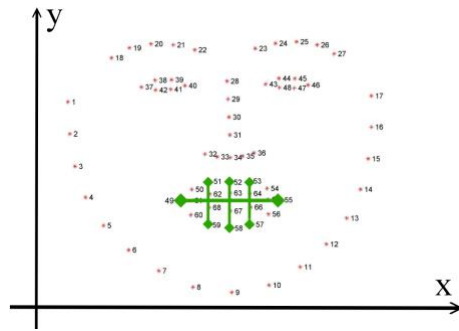
$$EAR = \frac{\|p_{38} - p_{42}\| + \|p_{39} - p_{41}\|}{2\|p_{37} - p_{40}\|} \quad (1)$$

Şekil 6'da Eşitlik (1)'de belirtilen EAR değerinin yanı sıra yorgunluk veya yorgunluğa bağlı istemsiz olarak göz kırpma ile bağdaştırılan göz kapalılık süresini de içeren, göz kapalılık sayısının tespitine ait akış diyagramı verilmiştir ve raporlanan işçiye ait nihai göz kapama sayısını bulma sürecini ifade etmektedir.

Şekil 7'de ağız açıklık tespiti için 49-68 arasındaki referans noktalarının kullanıldığı gösterilmektedir. Ağız açıklığı (Mouth Aspect Ratio, MAR) değeri Eşitlik (2)'deki referans noktalarına göre hesaplanmaktadır. Shrutu Mohanty ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, esneme tespiti konusunda gerçek zamanlı veri üzerinde %85.44 ve "YawDD Dataset" veri kümesi üzerinde %96.71 doğruluk değerleri elde edilmiş olmasına dayanarak MAR değeri 0.83 olarak belirlenen eşik değerini aşarsa esneme durumunun oluştuğu kabul edilmektedir [13].



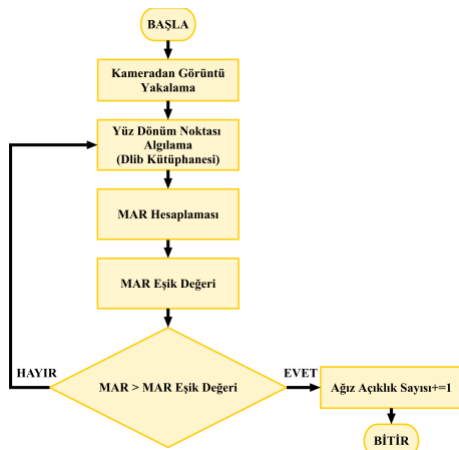
Şekil 6. Göz kapama sayısı tespiti akış diyagramı.



Şekil 7. Ağız referans noktaları.

$$MAR = \frac{\|p_{51} - p_{59}\| + \|p_{52} - p_{58}\| + \|p_{53} - p_{57}\|}{3\|p_{49} - p_{55}\|} \quad (2)$$

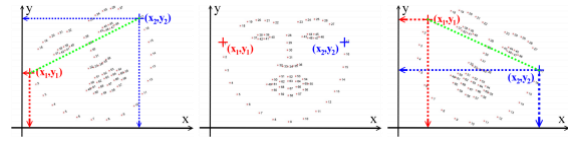
Şekil 8’de, Eşitlik (2)’de belirtilen MAR değerini içeren ağız açıklık sayısının tespitine ait akış diyagramı verilmiştir. Raporlanan işçiye ait nihai ağız açıklık sayısını bulma sürecini ifade etmektedir.



Şekil 8. Ağız açıklık sayısı tespiti akış diyagramı.

Şekil 9’da başın sağa sola eğikliğini tespiti için Şekil 4’te gösterilen 1. ve 17. referans noktalarının kullanıldığı gösterilmektedir. Baş eğikliği (Head Tilt Ratio, HTR) değeri Eşitlik (3)’teki formüle göre hesaplanmaktadır. Uyuklu kişiye ait baş hareketlerinin incelendiği çeşitli akademik çalışmalar ve deneysel

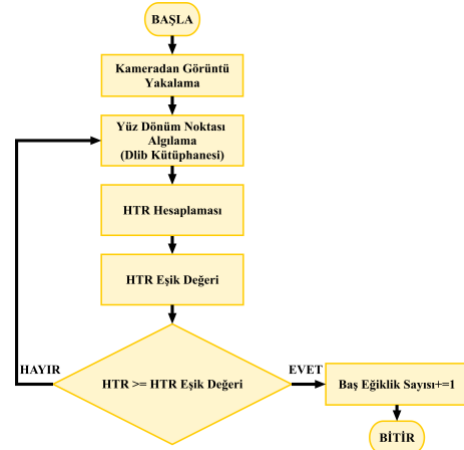
sonuçlar referans alınarak, HTR değeri 4’ten büyük ya da eşit ise işçinin uyuklu olduğundan ötürü başının sağa veya sola doğru eğildiği kabul edilmektedir [18]-[19]-[20].



Şekil 9. Baş eğimi için referans noktaları.

$$HTR = \frac{\|y_2 - y_1\|}{\|x_2 - x_1\|} \quad (3)$$

Şekil 10’da Eşitlik (3)’te belirtilen HTR değerini içeren baş eğiklik sayısının tespitine ait akış diyagramı verilmiştir. Raporlanan işçiye ait nihai baş eğiklik sayısını bulma sürecini ifade etmektedir.



Şekil 10. Baş eğiklik sayısı tespiti akış diyagramı.

2.2. Metin seslendirme ve sesi metne dönüştürme

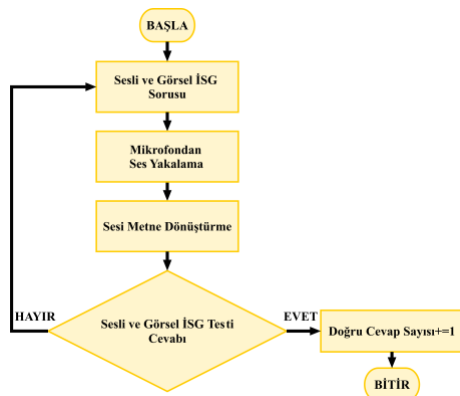
Sesten Metne Dönüşüm (Speech to Text, STT), konuşmanın bilgisayar tarafından algılanarak metne dönüştürülmesi işlemi ifade etmektedir. Sesten metne dönüşüm süreci, kişinin mikrofon tarafından yakalanan sesine ait analog sinyallerin dijital sinyallere dönüştürülmesi, frekans bantlarına ayrılarak spektrogramda analiz edilmesi ve akabinde ilgili sesin bir harf, hece veya kelime ile eşleşmesi süreçlerini içermektedir. Ek olarak konuşma şekli ve hızı, bölgesel aksan, cinsiyet gibi birçok farklılık modellenmesinde güçlüğü sebebiyet verebilmektedir [21]. Konuşma tanıma için Saklı Markov Modeli ve Derin Sinir Ağları kullanılabilir [22]-[23]. Bu şekilde sesin otomatik ve hızlı olarak yazıya dönüştürülebilmesi, metin üzerinden çeşitli işlemler yapılabilmesine imkân oluşturmaktadır. Sesin ifade ettiği bilgileri daha küçük boyutlarda saklayabilme, konuşmadaki kelime tekrar sayılarını bulabilme, işitme engelli bireylerle daha kolay iletişime geçilebilmesi gibi çeşitli faydalar sağlamaktadır.

speech_recognition kütüphanesi, çevrimiçi ve çevrimdışı ses tanıma yapılabilmesini sağlamaktadır. Kaydedilmiş ses dosyaları veya mikrofondan alınan ses girdisini metne dönüştürmek için kullanılmaktadır. Bu işlevi, bünyesinde barındırdığı birçok konuşma tanıma motoru/API desteği ile yerine getirmektedir. Çalışmada bunlardan biri olan Google Ses Tanıma kullanılarak ses girdisi alınmış ve metne dönüştürülmüştür. Kütüphane, mikrofondan ses girdisi alabilmek için “PyAudio” kütüphanesine ihtiyaç duymaktadır [24]. Bu sebepten ötürü bu kütüphaneden de faydalanılmıştır.

Metinden Sese Dönüşüm (Text to Speech, TTS) ise metnin sese dönüştürülmesi işlemidir. Bu dönüşüm, genel anlamda alınan metin girdisinin doğal dil işleme ve akabinde dijital sinyal işleme adımlarına tabi olması sonucu gerçekleşir [25]. Metnin ses olarak elde edilebilmesi ile disleksiye veya görme engeline sahip olan bireylerin daha rahat iletişime geçebilmesine, okuryazarlığı olmayan kişilerin bilgiye daha kolay erişebilmesine veya içerik üreticilerinin çok daha geniş bir kitleye hitap edebilmesine olanak sağlamaktadır.

pytsx3 kütüphanesi, metni konuşmaya dönüştürme işlemini yapmaktadır. Birçok dil seçeneği ile çalışabilmektedir ve kendisine alternatif olarak kullanılacak diğer kütüphanelerin aksine çevrimdışı çalışabilmektedir. İçerisinde Microsoft'un Metinden Konuşmaya motoru da dâhil olmak üzere çeşitli metinden konuşmaya motorlarını barındırmaktadır. Ses yüksekliği, dil ve konuşma hızı gibi birtakım özellikler ayarlanabilmektedir. Aynı zamanda verilen metnin, ses olarak kaydedilebilmesi de mümkündür [26].

Metinden sese ve sestten metne dönüşüm işlemlerinin kullanıldığı İSG testinin doğru cevap sayısının tespiti, Şekil 11'deki akış diyagramıyla belirlenmektedir. İSG testinde çalışana sorulacak olan sorular, ilgili kurumda bulunan İSG görevlisi tarafından belirlenmelidir.



Şekil 11. Sesli ve görsel İSG testi doğru cevap sayısının belirlenmesi akış diyagramı. Kompozit malzemeler geliştirilirken

III. BULGULAR

Uygulamanın geliştirildiği, çalıştırıldığı ve test işlemlerinin gerçekleştirildiği bilgisayar

konfigürasyonu olarak, Windows 10 Education işletim sistemine ve Intel Core i7 7700HQ 2.80GHz işlemci, 16 GB RAM, 128 GB SSD depolama, Nvidia GTX 1050 Ti 4GB ekran kartı donanımlarına sahiptir. Geliştirmede kullanılan Python sürümü 3.7.11'dir. Görüntü ve ses için, sisteme entegre mikrofon ve 720P 30 fps kamera kullanılmıştır.

Önerilen sistemin doğruluğunun, kesinliğinin, duyarlılığının ve F1 skorunun hesaplanabilmesi için 30 işçi (15 işçi yorgun, 15 işçi yorgun değil) üzerinden deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma yapılırken kişinin yorgun bir kişi olup olmadığı bilgisi Watson et al. (2015) [27] çalışması referans alınarak belirlenmiştir. İlgili çalışma, 18-60 yaş aralığındaki bireylerin en az 7 saatlik bir uykuya ihtiyaç duyduğunu ifade etmektedir.

Gerçekleştirilen deneysel sonuçlardan Tablo 1'deki karışıklık matrisi (confusion matrix) elde edilmiştir. Buna göre; “True Pozitif”(TP) ve “True Negative”(TN) önerilen sistemin doğru olarak tahmin ettiği, “False Pozitif”(FP) ve “False Negative”(FN) ise önerilen sistemin yanlış olarak tahmin ettiği alanlardır.

Tablo 1. Sesli ve görsel İSG testi doğru cevap sayısının belirlenmesi akış diyagramı.

Karışıklık Matrisi	Gerçek Değer	
	Yorgun	Yorgun Değil
Tahmini Değer	Yorgun	TP:11 FP:2
	Yorgun Değil	FN:4 TN:13

Doğruluk değeri, önerdiğimiz sistemde, doğru tahmin ettiğimiz alanların toplam veri kümesine oranıyla hesaplanmaktadır. Öztürk vd. (2022) [28] çalışmasından referans alınan hesaplama işlemi Eşitlik (4)'te ifade edilmiş, önerdiğimiz sistemin doğruluğu %80 olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (4)$$

Kesinlik değeri, pozitif olarak tahmin ettiğimiz değerlerin kaç tanesinin gerçekten pozitif olduğunu ifade etmektedir. Dewi et al. (2022) [29] çalışmasından referans alınan hesaplama işlemi Eşitlik (5)'de ifade edilmiş, önerdiğimiz sistemin kesinliği %85 olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (5)$$

Duyarlılık değeri, pozitif olarak tahmin etmemiz gereken kişilerin ne kadarını pozitif olarak tahmin ettiğimizi ifade etmektedir. Dewi et al. (2022) [29] çalışmasından referans alınan hesaplama işlemi Eşitlik (6)'da ifade edilmiş, önerdiğimiz sistemin duyarlılık %73 olarak hesaplanmıştır.

$$Duyarlılık = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6)$$

F1 skoru değeri ise kesinlik ve duyarlılık değerlerinin harmonik ortalamasını ifade etmektedir. Dewi et al. (2022) [29] çalışmasından referans alınan hesaplama işlemi Eşitlik (7)'de ifade edilmiş, önerdiğimiz sistemin F1 skoru değeri %79 olarak hesaplanmıştır.

$$F_1 = 2 \frac{Kesinlik * Duyarlılık}{Kesinlik + Duyarlılık} \quad (7)$$

DeneySEL sonuçların elde edilmesi aşamasında, her bir işçi için gerçekleştirilen yorgunluk tespit sistemi aşamaları aşağıda detaylıca anlatılmaktadır.

İlk adımda, işçiye ait öznel raporlamamın başlayabilmesi için, sistemde kişiye ait karşıdan ve net görülebilen yüz görselinin (Örneğin “kadir.jpg”) bulunması gerekmektedir. Şekil 12’deki A görselinde görüldüğü gibi, yüz tanıma sistemi ile tespit edilen kişinin raporlanması işleminin başlatılabilmesi için teyit sorusu sorulmaktadır.

Şayet sorulan soruya, başka bir kişiyle devam edilmesi istenerek, “H” girdisi verilirse; Şekil 12’deki B görselinde görüldüğü gibi kişi tespiti tekrardan başlayıp, soru sorulduğunda tespit edilmiş olan kişi hariç yeni bir kişinin yüzünün ekranda görülmesi beklenir. Başlangıç kısmının sesli komut ile değil de klavyeden alınmasının sebebi sistemin ses haricinde klavye ile de çalışabileceğinin gösterilmesi için yapılmıştır.

Şayet sorulan soruya, tespit edilen kişi ile devam edilmesi istenilerek, “E” girdisi verilirse; Şekil 12’deki C görseli gibi yüzün dönüm noktalarının elde edilmesi işlemiyle beraber raporlama süreci başlamaktadır. Bu süreç, rapor için tanımlanan süre bittiğinde sonlanacaktır.

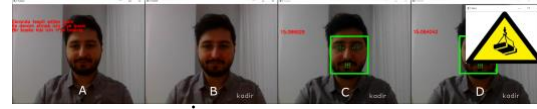
Raporlama sürecinin başlamasıyla birlikte işçiye, iş sağlığı ve güvenliği kapsamında kurumdaki İSG görevlisi tarafından belirlenen görsel ve/veya sesli olarak sorulan sorular Şekil 12’deki D görselinde gösterilmiştir. Soruya karşılık, işçiden mikrofon aracılığıyla alınan cevap bilgisinin kontrol edilmesi ve sonuçlandırılması Şekil 13’teki A görselinde gösterilmiştir.

Raporlama süreci boyunca, işçinin her an takibi yapılarak; Şekil 13’teki B görselindeki gibi göz yorgunluğu, Şekil 13’teki C görselindeki gibi esneme ve Şekil 13’teki D görselindeki gibi başın eğikliği tespit edilerek raporlanmaktadır.

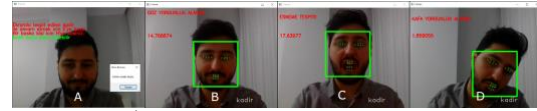
Bahsi edilen bu durum tespitleri yapılırken, şayet Şekil 14’teki A görselindeki gibi ekranda herhangi bir yüz tespit edilememesi, Şekil 14’teki B görselinde görülen ekranda birden fazla yüzün tespit edilmesi veya Şekil

14’teki C görselindeki ekranda tespit edilen yüze ait kayıt bulunamaması gibi durumlar sistem tarafından tespit edilir ve raporlama süreci duraklatılır. Raporlama işlemine tabi olan kişi, tekrardan ekranda görülürse raporlama sürecine devam edilir. Daha önce belirtildiği gibi süre tamamlandığında da işçiye ait rapor oluşturularak kaydedilir.

Son olarak ilgili kişi için sistem tarafından tespit edilenler bir metin belgesinde Şekil 14’teki D görselindeki gibi kayıt edilmektedir.



Şekil 12. A-İşçi teyit aşaması, B-Teyidin doğrulanması, C-Yüz tespiti, D- İSG soru sorulması



Şekil 13. A-İSG değerlendirilmesi, B-Göz yorgunluk alarmı, C-Esneme tespiti, D-Kafa yorgunluk alarmı



Şekil 14. A-İşçi tespit edilmeme durumu, B-Birden fazla yüz tespiti, C-Kayıtsız işçi tespiti, D-Öznel Raporlama

Tablo 2. Önerilen sistemin literatürdeki çalışmalarla yöntem bazında kıyaslanması.

Çalışma	Algoritma ¹	Hibrit ²	İSG Kullanımı
[30]	ZFace, Savitzky-Golay filter, Finite State Machine	Yok	Yok
[31]	Viola and Jones, Haar Cascades, Temperature Sensor LM-35, Pulse Oximeter	Var	Yok
[32]	Gripping Pressure, Heart Rate Variability, Commercial Cardiothoracic Belt	Yok	Yok
[33]	MSP-Net, PERCLOS, FOM	Yok	Yok
[34]	EEG, K-NN, SVM, LDA	Yok	Yok
Önerilen Sistem	HOG, Lineer SVM, CNN, EAR, MAR, HTR	Var	Var

¹Yorgunluk Tespit Algoritması

²Hibrit (Yüz Tanıma, İnteraktif İletişim, Öznel Raporlama)

Yapılan deneyler ile önerilen sistemin sahip olduğu özellikler, literatürdeki benzer çalışmalarla

kıyaslanarak Tablo 2’de gösterilmiştir. Kıyaslama kriterleri olarak; yorgunluk tespiti için kullanılan algoritmalar, yüz tanıma, interaktif iletişim, iş sağlığı ve güvenliği alanında kullanılıp kullanılmadığı ve öznel raporlama kullanılmıştır. Benzer sistemlerin birçoğunda yüz tanıma ve öznel raporlama varken interaktif iletişim ve İSG alanında kullanımı gözlemlenmemiştir. Bu da önerdiğimiz sistemin İSG kapsamında ilk ve öncül bir örnek olduğunu kanıtlar niteliktedir.

Önerilen sistemimizin ve literatürde yer alan farklı yöntemlerin doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1 skoru metrikleri bakımından karşılaştırılması Tablo 3’te sunulmaktadır. Referans alınan çalışmalar genellikle yüksek doğruluk, kesinlik ve F1 skoru gibi metriklerde sistemimizden daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Ancak, sistemimizin referans çalışmalara göre daha düşük performans sergilemesinin temel sebebi, gerçek dünya koşullarında sınırlı sayıda işçi üzerinde test edilmiş olmasıdır. Bu durum, standart veri setleri kullanılarak gerçekleştirilen referans çalışmalara kıyasla, ölçümlerin daha zorlu ve değişken koşullar altında yapılmasına yol açmaktadır. Gerçek dünya testleri, genellikle tahmin edilemeyen ve karmaşık faktörler içerir ki bu da sistemimizin performansını doğrudan etkileyebilir. Test grubunun genişletilmesi, sistemimizin çeşitli gerçek dünya durumlarına olan adaptasyonunu daha iyi anlamamızı ve bu koşullara göre optimizasyon yapmamızı sağlayabilir. Bu iyileştirmeler, sistemimizin performansını önemli ölçüde artırma potansiyeline sahiptir. Bunun yanı sıra, yorgunluk tespiti için literatürde genel olarak kullanılan YawDD veri seti üzerinde önerilen sistemimiz uygulandığında, aynı veri setini kullanan diğer çalışmalara oldukça yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İSG kapsamında işçiler için endüstriyel aktivitenin getirmiş olduğu hayati riskleri azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmayı amaçlayan, işçinin dijital fotoğrafı üzerinden yüz tanıma, yorgunluk tespiti, işçinin iş sağlığı ve güvenliği ile alakalı bilgisinin ölçülmesi ve öznel raporlama yapılabilmesi için bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışma, yapılmış diğer çalışmalarda bulunan sadece göz ve ağız açıklığına bağlı olarak yorgunluk tespiti yapan sistemlerin üzerine, başın sağa-sola eğikliği, yüz tanımlaması, görsel içerebilen sesli sorularla işçinin bilgisinin ölçülmesi ve öznel raporlama özellikleri eklenmiştir. Sistem, işçinin kamera karşısına geçtiği andan öznel raporun sunucuya gönderilmesi anına kadar uçtan uca bir akış göz önüne alınarak geliştirilmiştir. İSG görevlisinin ilgili işçinin çalışma alanına münhasır hazırladığı sorular ile iş sağlığı ve güvenliğinin denetlenmesi çalışmaları alanında öncü kılmaktadır.

Tablo 3. Önerilen sistemin sonuçlarının literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması.

Çalışma	Veri Seti	Doğruluk (%)	Kesinlik (%)	Duyarlılık (%)	F1 Skor (%)
[4]	Özgün Veri	99.2	97.38	97.54	97.46
[5]	HFFD	98.30	98.2	-	-
[6]	UTA-RLDD	94.68	-	-	-
[13]	YawDD	96.71	-	-	-
[28]	Özgün Veri	98.00	98.00	-	-
[30]	ZJU	-	96.65	-	-
[31]	Özgün Veri	80.55	85.71	-	-
[32]	YawDD	95.99	94.80	95.58	95.19
[33]	EMD	98.00	-	-	-
	ZJU	96.89	98.02	-	-
	CEW	95.36	-	-	-
[34]	CEW ve YawDD	96.00	-	-	-
[35]	YawDD	99.42	97.7	99.50	96.70
Önerilen Sistem	Özgün Veri	80	85	73	71
Önerilen Sistem	YawDD	95.99	96.83	95.58	95.59

Gerçekleştirilen deneysel sonuçlara göre önerilen yorgunluk tespit sisteminin doğruluğu %80, kesinliği %85, duyarlılığı %79 ve F1 skoru %79 olarak hesaplanmıştır. Sistem mevcut haliyle belirli metriklerde referans çalışmalardan daha düşük performans gösterse de, gerçek ortamda test edilmesi ve pratik uygulamalara yönelik potansiyeli dikkate alındığında değerli bir katkıdır. Bunun yanı sıra, YawDD veri seti üzerinde önerilen sistemin doğruluğu %95.99, kesinliği %96.83, duyarlılığı %95.58 ve F1 skoru %95.59 olarak hesaplanmıştır. Buna göre; aynı veri setini kullanan diğer çalışmalara oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, sistemimizin İSG sesli ve görsel soru-cevap yeteneği ile sonuçların daha da iyileşeceği düşünüldüğünde, mevcut yöntemlere güçlü bir alternatif olabileceği kanıtlanmıştır. Bu yenilikçi özellik, kullanıcı etkileşimini artırarak sistemimizin etkinliğini ve kullanıcı memnuniyetini önemli ölçüde iyileştirebileceği düşünülmektedir.

Önerdiğimiz sisteme ek olarak, işçinin ses tonundan veya sistemde raporlanan diğer mevcut bilgiler üzerinden ekstra birtakım çıkarımlar (ses tonundan ve/veya göz açıklığından depresyon tespiti vb.) eklenebilir. Ayrıca endüstriyel aktivite hakkında işçinin yeterli bilgi sahibi olup olmadığı daha geniş bir kapsamda tespit edilebilir. Tüm bu bilgiler analiz edildiğinde işçinin endüstriyel aktivite için gerekli şartları sağlayıp sağlamadığı daha doğru şekilde kontrol edilebilir. Ek olarak işçilerin öznel raporları

kullanılarak yapay zekâ algoritmaları ile işverene işçinin yorgunluk durumuna göre çalışması gereken gün ve saatleri bildirebileceği bir öneri sistemi geliştirilebilir. Yorgunluk tespit sisteminde kullanılan kameranın çözünürlüğünün çok yüksek miktarda artırılmasıyla gözdeki yorgunluğa bağlı kızarıklık tespit edilebilir. Tespit edilen kızarıklığa bağlı yorgunluk seviyesi veya gözdeki hasar seviyesi ölçülerek, işçinin kendi işinde çalışması için uygunluğu ve yorgunluk seviyesi daha detaylı gözlemlenebilir. Yüz tespit ve tanıma algoritmalarının performans ve verimliliğinin artmasıyla birlikte, çalışmada tek bir kişi için işleyen raporlama sürecinin, aynı anda birçok kişi için yapılabileceği karmaşık bir sistem mimarisine geçilebilir. Yüz tespitinde ağız, burun ve çene dönüm noktalarının kullanımının yanı sıra, kaş için verilen dönüm bilgisinin kullanılmasıyla, işçinin raporlama sürecinde gözünü açık tutmak için kaşlarını kaldırması tespit edilerek önerilen sistemin çalışma doğruluğu da artırılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu makale, 791052 numaralı yüksek lisans tezinden türetilmiş olup, iş sağlığı ve güvenliği alanında yenilikçi ve önemli bulgular sunmaktadır. Çalışmamızın test edilmesinde gönüllü olarak yer alıp, gerçek bir test ortamı oluşturan 30 işçi arkadaşımıza sonsuz teşekkürlerimizi sunarız. Onların katkıları, bulgularımızın doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmada büyük bir önem taşımaktadır. Ayrıca, makalemizin hazırlanmasında değerli zamanlarını ayırarak bilimsel titizlikle değerlendirme yapan saygıdeğer hakemlerimize en derin teşekkürlerimizi iletmek isteriz. Kıymetli yorumları, yapıcı eleştirileri ve önerileri ile çalışmamızın kalitesini ve bilimsel katkısını artırmamıza yardımcı oldular. Çalışmamızın alanımıza sağladığı katkılarda, onların rehberlik ve desteklerinin payı büyüktür. Teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Ricci, J.A., Chee, E., Lorandeanu, A.L. and Berger, J., (2007). Fatigue in the US workforce: prevalence and implications for lost productive work time. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 1-10.
- [2] Arıtan, A.E. and Ataman, M., (2017). Kaza oranları hesaplamalarıyla iş kazası analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 239-246.
- [3] Çavdar, U., Manyalı, M., Akkaya, E., Sevener, D. and Tüfekçi, Z., (2022). Yaşanan iş kazalarının kaza saatlerine ve cinsiyete göre istatistiki olarak değerlendirilmesi ve yorumlanması. *Journal of Engineering Research and Development*, 14(1), 360-368.
- [4] Ansari, S., Naghdy, F., Du, H. and Pahnwar, Y.N., (2021). Driver mental fatigue detection based on head posture using new modified relu-bilstm deep neural network. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 28(8), 10957-10969.
- [5] Cui, Z., Sun, H.M., Yin, R.N., Gao, L., Sun, H.B. and Jia, R.S., (2021). Real-time detection method of driver fatigue state based on deep learning of face video. *Multimedia Tools and Applications*, 80, 25495-25515.
- [6] Adhinata, F.D., Rakhmadani, D.P. and Wijayanto, D., (2021). Fatigue detection on face image using facenet algorithm and k-nearest neighbor classifier. *Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence*, 7(1), 22-30.
- [7] Li, X., Luo, J., Duan, C., Zhi, Y and Yin, P., (2021). Real-time detection of fatigue driving based on face recognition. *In Journal of Physics: Conference Series*, 1802(2), 022044.
- [8] Sikander, G. and Anwar S., (2018). Driver fatigue detection systems: a review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(6), 2339-2352.
- [9] Ji, Q., Lan, P. and Looney, C., (2006). A probabilistic framework for modeling and real-time monitoring human fatigue. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 36(5), 862-875.
- [10] Fang, Y., Liu, C., Zhao, C., Zhang, H., Wang, W. and Zou, N., (2022). A study of the effects of different indoor lighting environments on computer work fatigue. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(11), 6866.
- [11] Vegso, S., Cantley, L., Slade, M., Taiwo, O., Sircar, K., Rabinowitz, P., Fiellin, M., Russi, M.B. and Cullen, M.R., (2007). Extended work hours and risk of acute occupational injury: a case-crossover study of workers in manufacturing. *American Journal of Industrial Medicine*, 50(8), 597-603.
- [12] Huang, G.B., Mattar, M., Berg, T. and Learned-Miller, E., (2008). Labeled faces in the wild: a database for studying face recognition in unconstrained environments. *Workshop on Faces in real-Life Images: Detection, Alignment, and Recognition*, Marseille, France, 17-18 Ekim, ECCV.
- [13] Mohanty, S., Hegde, S.V., Prasad, S. and Manikandan, J., (2019). Design of real-time drowsiness detection system using dlib. *2019 IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering*, Bangalore, India, 15-16 Kasım 2019, IEEE.

- [14] Dalal, N. and Triggs, B., (2005). Histograms of oriented gradients for human detection. *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Diego, CA, USA, 20-25 Haziran 2005, IEEE.
- [15] Kazemi, V. and Sullivan, J., (2014). One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees. *Proceedings of The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Columbus, OH, USA, 23-28 Haziran 2014, IEEE.
- [16] Internet Related Technologies, Github Dlib Models, <https://github.com/davisking/dlib-models>, (Ağustos 2023)
- [17] Suwarno, S., and Kevin, K., (2020). Analysis of Face recognition algorithm: Dlib and OpenCV. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*, 4(1), 173-184.
- [18] Van den Berg, J., (2006). Sleepiness and Head Movements. *Industrial Health*, 44(4), 564-576.
- [19] Thulasimani, L., Poojeevan, P. and Prithashasni, S.P., (2021). Real time driver drowsiness detection using OpenCV and facial landmarks. *International Journal of Aquatic Science*, 12(2), 4297-4314.
- [20] Mirunalini, K. and David, Dr.V.K., (2021). Drowsiness detection using deep neural network. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 12(9), 317-326.
- [21] Satt, A., Rozenberg, S. and Hoory, R., (2017). Efficient emotion recognition from speech using deep learning on spectrograms. *Interspeech*.
- [22] Srinivasan, A., (2011). Speech recognition using hidden markov model. *Applied Mathematical Sciences*, 5(79), 3943-3948.
- [23] Nassif, A.B., Shahin, I., Attili, I, Azzeh, M. and Shaalan, K., (2019). Speech recognition using deep neural networks: a systematic review. *IEEE Access*, 7, 19143-19165.
- [24] Mathur, M., Samiulla, S., Bhat, V. and Jenitta, J., (2020). Design and development of writing robot using speech processing. *2020 IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference*, Vijiyapur, India, 8-10 Ekim 2020, IEEE
- [25] Onaolapo, J.O., Idachaba, F.E., Badejo, J.A. and Odu, O.I., (2014). A simplified overview of text-to-speech synthesis. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, London, U.K., 2-4 Temmuz, WCE.
- [26] Muthumari, M., Akash, V., Charan, K.P., Akhil, P., Deepak, V. and Praveen, S.P., (2022). Smart and Multi-Way Attendance Tracking System Using an Image-Processing Technique. *2022 4th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology*, Tirunelveli, India, 20-22 Ocak, IEEE.
- [27] Watson, N.F., Badr, M.S., Belenky, G., Bliwise, D.L., Buxton, O.M., Buysse, D., Dinges, D.F., Gangwisch, J., Grandner, M.A., Kushida, C., Malhotra, R.K., Martin, J.L., Patel, S.R., Quan, S.F. and Tasali, E., (2015). Recommended amount of sleep for a healthy adult: a joint consensus statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society. *Journal of Clinical Sleep Medicine: JCSM: Official Publication of The American Academy of Sleep Medicine*, 11(6), 591-592.
- [28] Öztürk, M., Küçükmanisa, A. and Urhan, O., (2022). Drowsiness detection system based on machine learning using eye state. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 10(3), 258-263.
- [29] Dewi, C., Chen, R.C., Chang, C.W., Wu, S.H., Jiang X. and Yu, H., (2022). Eye aspect ratio for real-time drowsiness detection to improve driver safety. *Electronics*, 11(19), 3183.
- [30] Al-gawwam, S. and Benaissa, M., (2018). Robust eye blink detection based on Eye Landmarks and Savitzky-Golay Filtering. *Information*, 9(4), 93.
- [31] Chellappa, Y., Joshi, N.N. and Bharadwaj, V., (2016). Driver fatigue detection system. *2016 IEEE International Conference on Signal and Image Processing*, Beijing, China, 13-15 Ağustos, IEEE.
- [32] Majeed, F., Shafique, U., Safran, M., Alfarhood, S. and Ashraf, I., (2023). Detection of Drowsiness among Drivers Using Novel Deep Convolutional Neural Network Model. *Sensors*, 23(21), 8741.
- [33] Gu, W.H., Zhu, Y., Chen X.D., He, L.F. and Zheng, B.B., (2018). Hierarchical cnn-based real-time fatigue detection system by visual-based technologies using msp model. *IET Image Processing*, 12(12), 2319-2329.
- [34] Rajkar, A., Kulkarni, N. And Raut, A., (2022). Driver drowsiness detection using deep learning. *Applied Information Processing Systems, Proceedings of ICCET 2021*, Lonere, India, 30-31 Ocak 2021, Springer.
- [35] Salman, R.M., Rashid, M., Roy, R., Ahsan, M.M. and Siddique, Z., (2021). Driver drowsiness detection using ensemble convolutional neural networks on YawDD. arXiv 2021, arXiv:2112.10298.