

ENDÜSTRİYEL GİYİLEBİLİR TEKNOLOJİLERİN ÇKKV YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ VE SEÇİMİ

Ayşegül DERİNGÖZ¹, Tuğba DANIŞAN², Tamer EREN^{3*}

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-9999-0531>

² Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-1998-6810>

³ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-5282-3138>

Anahtar Kelimeler Öz

Akıllı gözlük Endüstri 4.0 döneminin başlamasıyla beraber fabrikalar akıllı üretim sistemine geçiş yapmaya başlamıştır. Bu geçiş giyilebilir teknolojilerin, insan-makine etkileşimi için oldukça faydalı olduğunu göstermiştir. Endüstriyel giyilebilir cihazlar oldukça fazla olmakla birlikte, akıllı gözlükler bu sektörde önemli bir yer kaplamaktadır. Akıllı gözlüklerin artırılmış gerçeklik (AR) uygulamaları için uygun bir taban olması akıllı gözlüklerin kullanımını arttıran bir diğer faktördür. Sektörün önde gelen firmalarının da akıllı gözlükleri üretim, bakım ve lojistik, kalite kontrol, tasarım ve işçi eğitimi gibi alanlarda kullanmaya başlamasıyla, firmalar arası rekabet artmıştır. Şirketlerin yapacağı akıllı gözlük seçimi, şirket bünyesine büyük değerler katabileceği için seçilen akıllı gözlüğün şirketin tüm ihtiyaçlarını karşılayabilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada endüstriyel alanda kullanılabilecek en uygun akıllı gözlük seçimi problemi ele alınmıştır. Problem doğrultusunda sektörün öncüsü olan 7 farklı akıllı gözlük ele alınmıştır. Bu alternatiflerin değerlendirilmesi için ürünün maliyeti, pil ömrü, ergonomik olması, dahili bellek kapasitesi ve görüş alanı özellikleri kriterler olarak belirlenmiştir. Bu kriterler doğrultusunda alternatifler, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen bu ağırlıklar Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions (TOPSIS) ve The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) yöntem çözümlerinde kullanılmıştır. Yapılan çözüm sonucunda PROMETHEE yönteminde en iyi alternatif Magic Leap One olurken, TOPSIS yönteminde en iyi alternatif Google Glass Enterprise Edition 2 ürünü olmuştur.

EVALUATION AND SELECTION OF INDUSTRIAL WEARABLE TECHNOLOGIES WITH MCDM METHODS

Keywords	Abstract
Smart glasses Industrial wearable technology AHP TOPSIS PROMETHEE	With the start of the Industry 4.0 era, factories switched to the smart production stage. This transition has benefited from the human-machine journey of improvable technologies. Smart glasses can be used in an important place in this industry. The fact that smart glasses are a suitable base for augmented reality (AR) applications is another factor that increases smart glasses. Competition between companies has increased as the leading companies of the sector have started to work such as smart glasses production, maintenance and logistics, quality control, design and working class. The selection of smart glasses to be made by the companies can be the spokesperson of the promotional smart glasses for great value to the company. The problem of choosing the most suitable smart glasses that can be used in this market has been addressed. 7 different smart glasses, which are the pioneers of the problem supply sector, were discussed. Submit these alternatives as criteria for product cost, battery life, ergonomics, internal memory capacity and field of view features for the product. These criteria are evaluated with alternatives, multi-criteria decision making (MCDM) methods. Carrying criterion weights with Analytical Hierarchy Process (AHP) method. These weights were used in Order Preference Based on Similarity to Ideal Solutions (TOPSIS) and Preference Order Organization Enrichment Assessment Method (PROMETHEE) method solutions. With the solution, the best alternative in the PROMETHEE method was Magic Leap One, while the best alternative Google Glass Enterprise Edition 2 was made in the TOPSIS method.

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 17.02.2021

Submission Date : 17.02.2021

Kabul Tarihi : 28.03.2021

Accepted Date : 28.03.2021

* Sorumlu yazar e-posta: tamereren@gmail.com

1. Giriş

Giyilebilir teknoloji, isminden de anlaşıldığı üzere insanların üzerlerine giyebildikleri teknolojiyi içeren ürünlere verilen isimdir. Bu teknolojik cihazlar verileri toplayarak, kullanıcı hareketlerini izleyen ve kullanıcının istekleri doğrultusunda özelleştirilebilir özelliktedir (Thierer, 2015). Örnek vermek gerekirse; akıllı gözlükler, akıllı saatler ve bileklikler, akıllı tekstil ürünleri, akıllı aksesuar ve mücevherler giyilebilir teknolojik ürünlerdir. Kullanım alanı oldukça geniş olan giyilebilir teknolojiler; sağlık, spor, eğlence, eğitim, turizm, askeri, moda ve endüstriyel vb. alanlarda kullanılmaktadır. Endüstri 4.0 dönemiyle beraber giyilebilir teknolojilerin kullanımı endüstriyel sektörlerde de oldukça artmıştır. Endüstri 4.0, canlı cansız fark etmeksizin her nesnenin nesnelerin interneti aracılığı ile iletişime geçebileceği akıllı üretim dönemi olarak adlandırılmaktadır (Aksoy, 2017). Endüstri 4.0 ile birlikte endüstriyel alanda giyilebilir teknoloji pazarı son yıllarda oldukça büyümüştür. Yapılan bir araştırmaya göre 2024 yılında endüstriyel giyilebilir teknoloji pazarının %50,2'lik bir büyüme göstermesi beklenmektedir (URL-1). Endüstriyel giyilebilir teknoloji pazarında en çok tercih edilen ürünlerden biri de akıllı gözlüklerdir. Endüstriyel akıllı gözlükler; imalat, lojistik, inşaat, madencilik, perakende, otomotiv ve havacılık olmak üzere oldukça geniş bir alanda kullanılmaktadır. Endüstriyel akıllı gözlüklerin bu sektörlerde kullanım nedenleri oldukça fazla olmakla birlikte, gerçek zamanlı veri izleme, video ve fotoğraf kaydetme, anlık sesli ve görüntülü konuşma yapabilme, işçilerin sağlık durumlarını takip edebilme, çevresel koşulları takip etme başlıca nedenler arasında sayılabilmektedir. Endüstriyel akıllı gözlükler iş süreçlerini hızlandırarak ve hata payını neredeyse sıfıra indirerek büyük katkı sağlamaktadır. Akıllı gözlükler verileri otomatik olarak kaydedip ERP sistemlerini güncellediği için ayrıca manuel bir işlem yapmaya gerek yoktur. Bununla birlikte işçilerin iki elleri serbest halde çalışmaları sayesinde işlemleri daha hızlı yaptığı görülmüştür. Mercedes-Benz, Ford, Volvo, Toyota ve Airbus gibi sektörün önde gelen şirketleri de iş yerlerinde akıllı gözlük kullanımını desteklemektedir. Yapılan çalışmada da "Endüstriyel alanda en uygun akıllı gözlük hangisidir?" sorusuna cevap aranmaktadır.

Bu çalışma çerçevesinde problem çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılarak çözülmüştür. ÇKKV, kriterlere göre analiz etme sürecine dayanmaktadır. ÇKKV yöntemleri en uygun alternatifin seçimi problemlerinde en iyiden en kötüye doğru sıralama gerçekleştirilebilen tüm alanlarda kullanılabilir. Birden fazla ÇKKV yöntemleri bulunmaktadır. Çalışma çerçevesinde

ÇKKV yöntemlerinden; AHP, TOPSIS ve PROMETHEE kullanılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Endüstriyel giyilebilir teknoloji pazarının son yıllarda gösterdiği büyüme firmaların bu teknolojilere olan ilgisini arttırmıştır. Bu çalışmada endüstriyel alanda akıllı gözlüklerin değerlendirilmesi ve seçimi problemi ele alınmıştır. Bu bölümde endüstriyel alanda akıllı gözlükler ve artırılmış gerçeklik (AR) teknolojilerinin değerlendirilmesi ve ÇKKV yöntemleri ile alakalı literatür çalışmaları anlatılmıştır.

Endüstriyel alanlarda akıllı gözlüklerin ve AR değerlendirilmesine yönelik birçok çalışma yapılmış olmakla birlikte Regenbrecht vd. (2005) tasarım, üretim ve hizmet alanlarında AR uygulamalarının sağladığı faydaları ve eksiklikleri; otomotiv, havacılık ve astronotik endüstrilerinde geliştirdikleri AR uygulamalarının prototiplerini inceleyerek anlatmışlardır. Pentenrieder vd. (2007) Metaio ve Volkswagen Group Research'ün otomotiv sektöründe AR uygulamalarının başarılı olduğu alanlardan olan fabrika planlaması ve tasarımı süreçleri için fabrika ihtiyaçlarına göre uyarlanmış prototiplerin geliştirme süreçlerini ve gereksinimlerini somut bir fabrika planlaması örneği ile açıklamıştır. Lukowicz vd. (2007) Avrupa birliği tarafından finanse edilen projelerinde, giyilebilir cihazların endüstriyel uygulamalarının gerçek hayatta yayılımı arttırmak amacıyla; uçak bakımı, araba üretimi, sağlık hizmetleri ve acil müdahale alanlarında olmak üzere 4 farklı pilot uygulama gerçekleştirmiştir. Ong vd. (2008) üretim faaliyetlerinde AR uygulamalarının bir incelemesini yapmıştır. Aynı zamanda AR için tasarlanmış yazılım ve donanım sistemlerini özetlemiştir. Perera vd. (2015) endüstriyel pazardaki nesne tabanlı çözümleri araştırmıştır ve nesnelerin interneti çözümlerinde trendler, zorluklar ve fırsatları incelemiştir. Bu çözümleri uygulama alanlarına göre akıllı giyilebilir, akıllı ev, akıllı şehir, akıllı çevre ve akıllı işletme olarak 5 farklı alanda sınıflandırmıştır. Elder ve Vakaloudis (2015) teknik referans sağlamak için akıllı gözlüklerin sınıflandırmasını ve teknik özelliklerini belirli uygulamalarla ilişkilendirmiştir. Brusie vd. (2015) endüstriyel sektörler için Google Glass ve Vuzix M100 akıllı gözlüklerinin özelliklerini anlatmış ve uygunluğunu değerlendirmiştir. Zheng vd. (2015) endüstriyel akıllı gözlüklerin hangi özelliklerinin makine bakımında kullanıcı performansını etkilediğini araştırmak için bir deney yapmıştır. Deneyde ekran görüntüsü merkezde olmayan akıllı gözlük, ekran görüntüsü merkezde olan akıllı gözlük, tablet ve kâğıt olmak üzere 4 farklı uygulama yapmıştır. Khakurel vd. (2016) iş yerlerinde giyilebilir teknolojilerinin eğilimleri ve

gelecekteki perspektifleri hakkında sistematik bir literatür incelemesi sunmuştur. Fellmann vd. (2017) akıllı fabrika dönüşümünde uygun yardım sistemini seçmek için AR teknolojisi, akıllı gözlük sistemleri ve uzaktan asistan uygulamalarını sınıflandırarak karşılaştırmıştır. Pierdicca vd. (2017) AR gözlük kullanarak iş başında eğitim uygulaması gerçekleştirmiştir. Uygulama sonucunda işçilerin yapmaları gereken operasyonel görevleri AR gözlüklerin kolaylaştırdığı görülmüştür. Rice vd. (2018) eğitimci veya operatör ile işçi arasındaki rehberliği kolaylaştırmak için AR tabanlı uzaktan yardım platformu sunmuştur. Bu konuda operatör ve işçi aynı konumda ve kâğıt üzerinden rehberlik ile operatör ve işçi farklı konumlarda ve dijital rehberlik olarak iki farklı vaka analizi yapmışlardır. Fraga-Lamas vd. (2018) endüstriyel AR teknolojisini tarihini anlatmış ve gemi inşa uygulamaları için AR teknolojilerinin geniş bir analizini yapmıştır. Daha sonra sektördeki AR sistemlerini yazılım ve donanım açısından karşılaştırmıştır. Kong vd. (2019) endüstriyel giyilebilir sistemleri ile ilgili literatürdeki çalışmalarını sistematik bir şekilde analiz etmiş ve endüstriyel giyilebilir teknolojilerin geçmiş, bugünü ve geleceği hakkında bilgilendirmiştir. Llm ve Ro (2018) gelişmiş akıllı fabrikalar için AR gözlükleri tabanlı uzaktan işletme aracılığıyla makine ve ekipmanı onarmak için bir operasyon planı önermiştir. Plakas vd. (2020) üretim ve lojistik alanlarında AR gözlüklerin incelemesini yapmış ve depo lojistiği süreçlerini destekleyen bir AR-akıllı gözlük uygulaması gerçekleştirmiştir. Aromaa vd. (2020) fabrika çalışanlarının AR sistemleri kullanırken çalışanların gerçek dünya farkındalığı deneyimini değerlendirmektedir. Nithyanandam vd. (2020) Hindistan'da iş gereksinimlerini doğru bir şekilde karşılamak amacıyla doğru aday sayısının az olması veya pahalı olması nedeniyle bir şirkette pompa montaj hattında AR sistemleriyle deneysel bir uygulama gerçekleştirmiştir. Uygulama sonucunda işçinin AR sistemi kullanarak montajı %100 doğru bir şekilde yaptığı görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada endüstriyel alanda akıllı gözlüklerin değerlendirilmesi ve seçimi problemi için ÇKKV yöntemleri kullanılmıştır. Literatürde ÇKKV yöntemleri ile ilgili birden fazla çalışma yapılmış olmakla birlikte Güner (2005) Denizli'de faaliyet gösteren işletmede tedarikçilerinin değerlendirme ve seçimi problemini Bulanık AHP yöntemi ile çözmüştür. Eren vd. (2017) Kırıkkale yüksek hızlı tren istasyon yerinin seçimi problemini AHP yöntemi ile çözmüştür. Taş vd. (2018) kalp ve damar cerrahisi polikliniklerini AHP ve TOPSIS yöntemleri ile karşılaştırarak en uygun hastaneyi seçmiştir. Aksüt vd. (2020) endüstriyel alanda ergonomik riskleri değerlendiren bir literatür incelemesini sunarken, yine Aksüt vd. (2021a) endüstriyel alanda çalışanların ergonomik risklerini

analitik ağ süreci yöntemi ile çözmüştür. Bu çalışmalar dışında giyilebilir teknolojilerin değerlendirilmesinde de ÇKKV yöntemlerini kullanan çalışmalar son yıllarda artmıştır. Büyüközkan vd. (2016) lojistik sektöründe gelişen giyilebilir cihazlar pazarı sayesinde şirketler en iyi akıllı gözlüğü seçmeye ihtiyaç duyduklarından, ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS ile en iyi akıllı gözlük seçimi yapmıştır. Turgut vd. (2020) spor yapanlar için akıllı saatleri AHP ve PROMETHEE yöntemleri ile değerlendirmiştir. Deringöz vd. (2021) ise Covid-19 hastaların takibinde giyilebilir teknolojilerin seçimini AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile çözmüştür. Akıncı vd. (2021) obezite hastalığının takibinin yapılabilmesi için AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile giyilebilir teknolojilerin değerlendirmesini yapmıştır. Literatürde bu alanda ilk kez giyilebilir teknolojileri ÇKKV yöntemleri ile değerlendiren bir çalışma olmuştur.

Bilindiği kadarı ile yapılan bu çalışma literatürdeki diğer çalışmalardan aşağıdaki yönlerden farklılık arz etmektedir:

- Endüstriyel sektörlerin hepsi için geniş ürün yelpazesinde AR/akıllı gözlükler arasında bir seçim yapılmıştır. Çalışmayla birlikte farklı endüstriyel sektörler için en uygun AR/akıllı gözlük seçilmiştir.
- Yedi giyilebilir teknoloji ürünü endüstriyel sektör için önemli kriterler olan ürünün maliyeti, pil ömrü, ergonomik olması, dahili bellek kapasitesi ve görüş alanı kriterleri ile değerlendirilmiştir.
- Endüstriyel alanda giyilebilir teknoloji ürünleri ÇKKV yöntemlerinden AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile ilk kez değerlendirilmiş ve seçilmiştir.

3. Yöntem

Endüstriyel alanda kullanılması planlanan giyilebilir teknolojik ürünlerin seçim problemi ÇKKV yöntemleri ile çözülmüştür. ÇKKV, belirlenen çok sayıda kriter ve alternatifler aracılığı ile en uygun seçimi yapmak amacıyla geliştirilmiştir. ÇKKV alternatifleri amaca uygunluk sırasına göre sıralamaya yaramaktadır (Sarımehmet vd., 2020). ÇKKV içinde birden fazla yöntem vardır. Bunlardan bazıları; AHP, ANP, TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE, VIKOR ve COPRAS olarak sıralanabilir (Cürebil vd., 2019).

Bu çalışmada belirlenen problemin çözümü için AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri kullanılmıştır.

3.1. AHP Yöntemi

Thomas L Saaty tarafından geliştirilen AHP alternatif ve kriterleri hiyerarşik bir yapıyla göstererek kolay anlaşılır bir görünüm sağlamaktadır. AHP, kriter ve alternatiflerin önem derecelerini belirlemeyi sağlar (Taş vd., 2018). AHP yöntemi 6 adımdan oluşmaktadır (Saaty, 1990).

1. Adım: Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

AHP için ilk olarak amaç belirlenmelidir (Özcan vd., 2020). Amacın belirlenmesinden sonra alternatif ve kriterler arasında hiyerarşik yapı oluşturulur (Taş vd., 2017).

2. Adım: Önceliklerin Belirlenmesi

AHP yöntemi Saaty skalasını kullanarak karşılaştırma yapmaya imkân tanımaktadır (Eren vd., 2017). Bu adımda Saaty skalsı ile ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması için öncelikler belirlenir. Tablo 1'de Saaty skalası gösterilmiştir.

Tablo 1. Saaty Skalası

Dereceler	Tanım
1	Eşit önemli
3	Biraz daha fazla önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Aşırı derecede önemli
2,4,6,8,	Ara değerler

3. Adım: İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması
Bu adımda kriterlerin ve alternatiflerin kendi aralarında karşılaştırılmasıyla birlikte $n \times n$ boyutunda ikili karşılaştırma matrisleri elde edilir. İkili karşılaştırma matrisi Eşitlik 1'de gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{21} & a_{n1} \\ 1/a_{21} & 1 & a_{n2} \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

4. Adım: İkili karşılaştırma matrislerinin normalleştirilmesi ve göreceli önem ağırlıkları

Bu adımda her bir matris sütunun toplamının o sütundaki tüm değerlere bölünmesiyle normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulur. Normalleştirilmiş karar matrisindeki her bir sıra değerlerinin ortalaması alınarak önem ağırlıkları belirlenir.

5. Adım: Tutarlılık oranının hesaplanması

Elde edilen matrislerin doğruluğunun değerlendirilmesi için tutarlılık oranı hesaplanmaktadır. Eğer Tutarlılık oranı 0,10'dan küçük ise yapılan çözüm tutarlıdır denilebilir. Tutarlılık oranı 0,10'dan büyük çıkarsa yapılan işlemler tekrar gözden geçirilmelidir (Özcan vd., 2019).

6. Adım: Nihai sıranın belirlenmesi

Bu adımda alternatiflerin ve kriterlerin önem ağırlıkları çarpılarak her bir alternatife ait öncelik değeri belirlenir. Bulunan öncelik değerlerinin

toplamı 1'e eşit olup, en yüksek öncelik değerini alan alternatif en iyi alternatif olarak sıralama yapılmaktadır.

3.2. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında alternatiflerin pozitif-ideal çözüme en kısa mesafe ve negatif-ideal çözüme en uzak mesafe yaklaşımıyla ortaya çıkmıştır. 6 adımdan oluşmaktadır (Hwang ve Yoon, 1981).

1. Adım: Karar matrisinin oluşturulması

Karar matrisi satırlarda kriterler, sütunlarda alternatifler yer alacak şekilde tasarlanan alternatif ve kriterlere göre önceliklerin belirlenmesiyle oluşturulan bir matristir. Karar matrisi uzman kişiler yardımıyla oluşturulan bir başlangıç matrisidir (Asoğlu ve Eren, 2018).

2. Adım: Standart karar matrisinin oluşturulması

1. Adımda oluşturulan karar matrisinin elemanları kullanılarak Eşitlik 2 yardımıyla standart karar matrisi hesaplanır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (2)$$

3. Adım: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Oluşturulması

Öncelikle kriterlerin ağırlıkları belirlenir. Daha sonra standart karar matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ile kriterlerin ağırlıkları çarpılır.

4. Adım: İdeal (A+) ve Negatif İdeal (A-) Çözümlerinin Oluşturulması

İdeal çözümde standart karar matrisindeki en büyük değer seçilir. Negatif ideal çözümde ise en küçük değer seçilerek oluşturulur.

5. Adım: Ayırım ölçülerinin hesaplanması

Bu adımda Euclidian Uzaklık yönteminden yararlanılmaktadır. Her bir alternatifin ideal çözümden ve negatif ideal çözümden uzaklığı hesaplanır.

6. Adım: İdeal Çözüme Göreceli Yakınlığın Hesaplanması

Sonucu adımda ideal çözüme göreceli yakınlığın hesaplanması için negatif ideal çözümün, ideal ve negatif ideal çözümlerinin toplamına bölünmesi gerekmektedir. Yapılan işlem sonucunda çıkan değer 1'e en yakın olması ideal çözüme en yakın olduğu anlamına gelmektedir.

3.3. PROMETHEE Yöntemi

1982 yılında Brans ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir (Bedir ve Eren, 2015). Promethee 1(kısmi sıralama) ve Promethee 2(tam sıralama) olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. PROMETHEE yöntemi 7 adımdan oluşmaktadır (Brans vd., 1986).

1. Adım: Veri Matrisinin Oluşturulması

Her bir alternatifin ağırlıkları ile alternatif ve kriterlere ilişkin veri matrisi oluşturulur.

2. Adım: Kriterler için tercih fonksiyonların tanımlanması

Her bir kriter için yöntemin uygulanma aşamasında kullanılacak olan tercih fonksiyonları seçilir.

3. Adım: Ortak tercih fonksiyonlarının belirlenmesi
Alternatifler için ortak tercih fonksiyonları Eşitlik 3 ile belirlenir

$$P(a, b) = \begin{cases} 0 & , f(a) \leq F(b) \\ p[f(a) - f(b)] & , f(a) > f(b) \end{cases} \quad (3)$$

4. Adım: Tercih indekslerinin belirlenmesi

Ortak tercih fonksiyonları belirlendikten sonra her bir alternatif çifti için tercih indeksleri belirlenir. A ve b alternatifleri için tercih indeksi Eşitlik 4'te gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i * p_i(a, b)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (4)$$

5. Adım: Alternatifler için pozitif ve negatif üstünlükler belirlenmesi

A alternatifi için pozitif üstünlük Eşitlik 5'te gösterildiği gibi, negatif üstünlük iste Eşitlik 6'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, b) \quad (5)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum \pi(b, a) \quad (6)$$

6. Adım: PROMETHEE I ile alternatifler için Kısmi önceliklerin belirlenmesi

Alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumları belirlenir. a ve b alternatiflerinin kısmi önceliklerinin belirlenmesi için 3 durum söz konusudur.

1.durum: Eşitlik 7,8 ve 9'da verilen koşullar sağlanıyorsa a alternatifi b'ye tercih edilir.

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) < \phi^-(b) \quad (7)$$

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) = \phi^-(b) \quad (8)$$

$$\phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) < \phi^-(b) \quad (9)$$

2.durum: Eğer Eşitlik 10 sağlanıyorsa, a alternatifi ile b alternatifi aynıdır.

$$\phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) = \phi^-(b) \quad (10)$$

3.durum: Eşitlik 11 veya 12'deki koşullardan herhangi biri sağlanıyorsa a alternatifi ile b alternatifi karşılaştırılamazdır.

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) > \phi^-(b) \quad (11)$$

$$\phi^+(a) < \phi^+(b) \text{ ve } \phi^-(a) < \phi^-(b) \quad (12)$$

7. Adım: PROMETHEE II ile alternatifler için tam önceliklerin belirlenmesi

Eşitlik 13'te verilen formül ile her alternatif için tam öncelikler hesaplanır. Hesaplanan tam öncelikler aynı düzlemde değerlendirilerek sıralama yapılır (Taş vd., 2017).

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (13)$$

Eşitlik 13'te hesaplanan öncelik değerleri sonucunda şu kararlar alınır:

- $\phi(a) < \phi(b)$ ise a alternatifi b alternatifinden üstündür.
- $\phi(a) = \phi(b)$ ise a alternatifi ile b alternatifi aynıdır.

3.4. Uygulama

Giyilebilir teknolojilerin kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Endüstri 4.0 ile giyilebilir teknolojiler endüstriyel alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Endüstriyel alanda en çok kullanılan giyilebilir teknoloji ürünlerinden biri de akıllı gözlüklerdir. Akıllı gözlüklerin AR teknolojinin kullanımı için uygun ortam oluşturması da büyük bir ayrıcalıktır. Endüstriyel sektörlerde kullanılan akıllı gözlükler sayesinde işçilerin iki elleri serbest halde çalışmaları işleri daha hızlı yapmalarına imkân sağlamaktadır. Birbirinden uzak çalışanlar arasında gerçek zamanlı veri iletimi, sesli ve görüntülü konuşma, güncel görev talimatları, montaj ve bakım ünitelerinde teknik destek, sahadaki işçilerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi gibi nedenler endüstriyel alanda akıllı gözlüklerin kullanımını arttırmıştır (Fraga-Lamas vd., 2018). Aynı zamanda işçileri eğitime konusunda firmaların ek çalışana ihtiyaç duymadan akıllı gözlüklere yüklenen kişiye özel talimatlarla işçilerin tek başına görevlerini yerine getirmesi ve eğitimi tamamlamasına yardımcı olmaktadır.

Yapılan bu çalışmada endüstriyel alanda kullanılacak akıllı gözlükler içerisinde en uygun ürünün seçilmesi problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri kullanılmıştır. Problemdaki kriter ağırlıklarının belirlenmesi için AHP yöntemi kullanılmıştır. Ürünlerin seçimi için ise AHP de bulunan ağırlıklar kullanılarak TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinin çözümü yapılmıştır.

3.4.1. Endüstriyel Alanda Kullanılan Akıllı Gözlükler

Endüstriyel alanda giyilebilir teknolojiler denince akla ilk akıllı saatler ve akıllı gözlükler gelmektedir. Akıllı gözlükler, Endüstri 4.0'ın alt dallarından olan AR uygulamaları için uygun ve kullanışlı bir ortam sunmaları nedeniyle endüstriyel alanlarda kullanımı oldukça yaygındır (Bozyer, 2019). AR, gerçek dünyaya ait öğeler ile GPS, ses, video, grafik gibi bilgisayar tarafından üretilen verilerin birleşmesi ile ortaya çıkan bir algı ortamıdır (URL-2). AR, kullanıcıya gerçek zamanlı bir veri etkileşimi sağlamaktadır. Endüstriyel alanda akıllı gözlüklerin kullanılması iş süreçlerinin iyileşmesini sağlamaktadır. Endüstri 4.0'ın etkisiyle birlikte de işletmelerin AR gözlükleri teknolojisine geçişi hızlanmıştır. Büyüyen endüstriyel akıllı gözlük ve AR teknolojisi pazarı, akıllı fabrika dönüşümünü

hızlandırmakla birlikte firmalar arası rekabetin artmasını da sağlamıştır. Bu teknolojilerin iş süreçlerinde verimlilik sağlaması ve zaman kayıplarını minimize etmesi işletmelerin bu teknolojiye hızla geçmesine neden olmaktadır. Çalışma kapsamında 7 alternatif seçilmiş ve bu alternatifler üzerinde seçim yapılmıştır.

Google Glass (A), işletmelerde AR uygulamalarının kullanımı için tasarlanmış bir akıllı gözlüktür. Eller serbest çalışmaya imkân veren, oldukça hafif tasarımıyla tüm gün çalışırken rahatça

Tablo 2. Endüstriyel Alanda Kullanılan Akıllı Gözlükler Ve Özellikleri

	A	B	C	D	E	F	G
Video	*	*	*	*	*	*	*
Kamera	*	*	*	*	*	*	*
GPS		*	*		*		*
Jiroskop	*	*	*	*	*	*	*
İvmeölçer	*	*	*	*	*	*	*
Mikrofon	*	*	*	*	*	*	*
Hoparlör	*	*	*	*	*	*	*
Jeomanyetik sensör			*				
Aydınlatma sensörü			*				
Manyetometre	*			*			*
RAM	3 GB	6 GB	1 GB	8 GB	8 GB		2 GB
Dahili bellek	32 GB	64 GB	8 GB	64 GB	128 GB	16 GB	16 GB
Çalıştırma Sıcaklığı	0 ° C ile + 35 ° C	0 ° C ile + 45 ° C	0 ° C ile + 40 ° C	-	-	5 ° C ile + 35 ° C	-20 ° C ile + 50 ° C
Pil Ömrü	1-2 saat	2- 12 saat	4 saat	2-3 saat	3,5 saat	6 saat	8-10 saat
Batarya(mAh)	800	1000	1240	3000		4000	3400
Çözünürlük (Piksel)	640 × 360	854×48 0	960×540	2048x1080	1280×960	640×480	854×480
Görüş Alanı	83°	28°	23°	52°	50°	22°	20°
Ağırlık(gr)	46	68	290	566	316	251	430
Boyutlar (mm)	182x5 5x29		205 x 136 x 100			179x200, 47x78,63	
Bluetooth	*	*	*	*	*	*	*
Kablosuz LAN	*	*	*	*	*	*	*
USB	*	*	*	*	*	*	*
Barkod Okuyucu		*				*	*
Maliyet (\$)	1.399	3.048	2.999	3.500	2.295	2.444	6.020
Sesli anlık konuşma	*	*	*	*	*	*	*
Görüntülü Konuşma	*	*	*	*	*	*	*
Göz takibi				*	*		
El takibi				*	*		
Remote assistance	*	*	*	*	*	*	*

kullanılabilmektedir. En büyük faydalarından biri de gerçek zamanlı veri iletimi ve iş süreçlerinde talimatları anlık olarak gönderebilmektedir (URL-3, URL-4).

Vuzix M4000(B), baş üstü ekran arttırılmış RAM ve depolamaya sahip, zorlu ortamlara dayanıklı ve güvenli su geçirmez akıllı gözlüktür. Mekanik tasarımı oldukça sağlamlaştırılmıştır. AR kullanımı için uygundur (URL-5, URL-6).

Endüstriyel işletmeler için tasarlanan Moverio Pro BT-2000 (C) doğru kafa takibi için 5 MP kameraya ve sensörlere sahiptir. Aynı zamanda çalışırken

değiştirilebilir pil seçeneği ve ek bellek kart yuvası bulundurmaktadır (URL-7, URL-8, URL-9).

Microsoft HoloLens 2 (D), karma gerçeklik deneyimi sunmaktadır. Uzun kullanım için tasarlanan HoloLens 2 kişisel gözlüklerle birlikte kullanılabilmektedir. Sesli komutlarla çalışabilen HoloLens görüntülü iş ortamlarında bile etkili bir çözüm sunmaktadır (URL-10, URL-11, URL-12).

Magic Leap One (E), oldukça hafiftir ve bir bilgisayar ile eş değer performans sunmaktadır. İçinde bulunan odayı okuyarak, köşe kenar ve yüzeyleri anlamaktadır. Oldukça net görüntü oluşturan Magic

Leap One, göz hareketlerini izleyerek öğeleri uygun bir mesafede işleyebilmektedir (URL-13, URL-14).

GlassUp F4 (F), endüstriyel alanlar için tasarlanmıştır. AR çözümleri sunarak endüstriyel süreçlerdeki zorluğu azaltmak ve iş süreçlerini hızlandırmak için kullanılmaktadır. Güçlü mekanik özellikleri ile iş sağlığı ve güvenliğini desteklemektedir (URL-15, URL-16).

RealWear HMT-1(G), zorlu çalışma koşullarına karşı dayanıklı bir kullanım sağlamaktadır. Bağlı çalışanlar arasında sürekli iletişim ve veri iletimi sunmaktadır. İsteğe bağlı olarak emniyet kasklarına takılabilmektedir. Kişisel gözlüklerle beraber kullanılabilir. Yüksek çözünürlüklü bir mikro ekrana sahiptir (URL-17-19). Çalışmada kullanılacak olan alternatifler ve alternatiflerin özellikleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

3.4.2. Kriterlerin Belirlenmesi

Endüstriyel alanda kullanılan akıllı gözlüklerin öncelikli ve en önemli amacı teknik destek sağlamak, sesli ve görüntülü konuşabilmek, fotoğraf ve video kaydı yapabilmektir. Seçilecek olan üründe bu özelliklerin olması gerekmektedir. Bu özellikler dışında yapılan çalışma çerçevesinde belirlenen kriterler ve açıklamaları Tablo 3'te verilmiştir.

Maliyet kriteri firmalar için oldukça önemlidir. Seçilecek olan gözlüğün maliyeti, ürünün firmaya getireceği kardan fazla olmamalıdır. Firmanın seçeceği ürün, firmanın isteklerini karşılayacak olan en düşük düzeyde maliyete sahip ürün olmalıdır. Aynı zamanda kullanılacak ürün günde 8-10 saat aralıksız olarak çalışabilir durumda olmalıdır. Bu sebeplerle ürünün pil dolma süresi ile kullanım süresi işlerin aksamaması için oldukça önemlidir. Estetik görünüm ve kullanım kolaylığı da bu kriter içinde sayılabilir.

Ürünlerle fotoğraf, video çekilmesi, ses kaydı ve tüm multimedya özelliklerinin olması dahili bellek kriterinin önemli olmasını sağlamıştır. Dahili bellek ne kadar fazlaysa ürün o kadar fazla belgeyi kaydedip, elde edilen verileri gönderebilmektedir. Ürünün sahip olduğu görüş alanı işçilerin daha kolay hareket etmesine ve dış dünyayla olan bağlantısını korumaya yardımcı olan bir diğer faktördür.

İşçiler ürünü günde 8-10 saate kadar kullanabilmektedir. Bu sebeple ürünün ağırlığı, boyutu, kişiye özel ayarlanabilir olması belli başlı ergonomik özelliklerdir. Ürünün ergonomik olması insanların iş ve sosyal yaşamlarında sağlıklarını etkileyen bir özelliktir (Kaçmaz vd., 2020). Bundan dolayı seçilecek ürünün ergonomik olması işçiler için önemlidir. İşçilerin çalışma sırasında uygun olmayan

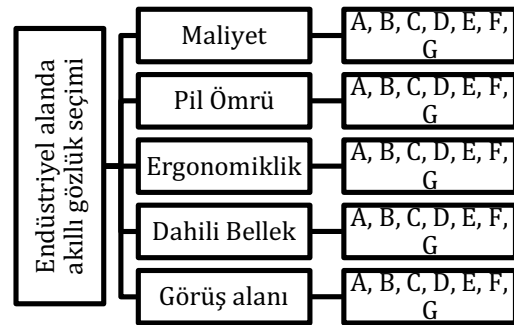
ve tekrarlı hareketler içeren pozisyonlarda çalışması nedeniyle kas iskelet sağlık sistemi bozulmaktadır (Baş ve Yapıcı, 2020; Aksüt vd. 2021b). Çalışmada değerlendirilen ürünler sayesinde işçilerin ürünleri taşıyıp bilgilerini kontrol etmesi yerine gözlüklerle kolayca işlem yapabilmesi ergonomik açıdan önemli bir avantaj sağlanmaktadır. Bu sayede çalışanların motivasyonu da artırılmış ve üretim, zaman, kalite, verimlilik açısından işyerine de katkı sağlanmış olacaktır (Aksüt vd., 2020).

Tablo 3. Çalışmada Kullanılan Kriterler

Kriterler	Açıklama
Maliyet	Ürünün satış maliyetini belirten kriter.
Pil Ömrü	Ürünün pilinin kaç saat gittiğini belirten kriter.
Ergonomiklik	Ürünün ağırlığının kaç gram olduğunu yansıtan kriter.
Dahili Bellek	Ürünün sahip olduğu depolama alanını anlatan kriter.
Görüş Alanı	Ürünün kullanıcıya tanıdığı görüş alan derecesini gösteren kriter.

3.4.3. AHP Yöntemi ile Kriter Önceliklerinin Belirlenmesi

AHP çözümü yapılırken ilk olarak amaç belirlenmelidir. Daha sonra belirlenen amaç doğrultusunda hiyerarşik yapı oluşturulur. Endüstriyel alanda kullanılan akıllı gözlükler için oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Endüstriyel Alanda Akıllı Gözlük Seçimi Hiyerarşisi

Kriter temelinde ikili karşılaştırılma matrisi oluşturulmuş ve her bir kritere ait öncelik değerleri belirlenmiştir. Tablo 4'te ikili karşılaştırma matrisi ve önem değerleri gösterilmiştir. AHP yöntem sonucunda kriter temelinde oluşturulan matris tutarlılığı 0,063 olarak bulunmuştur. Buradan oluşturulan karşılaştırma matrisi tutarlıdır sonucu çıkarılmaktadır. Elde edilen

Tablo 4. Kriter Temelinde İkili Karşılaştırma Matrisi Ve Öncelik Değerleri

	Maliyet	Pil Ömrü	Ergonomiklik	Dahili Bellek	Görüş Alanı	Önem Değeri
Maliyet	1,00	2,00	4,00	5,00	5,00	0,43
Pil Ömrü	0,50	1,00	3,00	4,00	5,00	0,30
Ergonomiklik	0,25	0,33	1,00	0,50	2,00	0,10
Dahili Bellek	0,20	0,25	2,00	1,00	2,00	0,11
Görüş Alanı	0,20	0,20	0,50	0,50	1,00	0,06

sonuçlara göre birinci öncelikli kriter maliyet kriteridir. Daha sonra sırasıyla pil ömrü, dahili bellek, ergonomiklik ve görüş alanı gelmektedir.

3.4.4. TOPSIS Yöntemi Çözümü

Endüstriyel alanda en uygun akıllı gözlüğü bulmak için problem TOPSIS yöntemi ile çözülmüştür. İlk olarak alternatif ve kriterler temelinde Tablo 5'te bulunan karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 5. Karar Matrisi

	Mali yet	Pil Ömrü	Ergono miklik	Dahili Bellek	Görüş Alanı
A	35	4	33	10	37
B	8	6	24	20	10
C	10	11	13	3	7
D	7	8	4	20	19
E	20	13	9	36	16
F	17	21	13	6	6
G	3	36	5	6	5

Karar matrisi oluşturulduktan sonra her bir hücrenin, içinde bulunduğu sütundaki tüm hücrelerin karesinin toplamının kareköküne bölünmesiyle standart karar matrisi elde edilir. Standart karar matrisi Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Standart Karar Matrisi

	Mali yet	Pil Ömrü	Ergono miklik	Dahili Bellek	Görüş Alanı
A	0,76	0,09	0,72	0,21	0,79
B	0,17	0,13	0,52	0,42	0,21
C	0,22	0,24	0,28	0,06	0,15
D	0,15	0,17	0,09	0,42	0,41
E	0,43	0,28	0,20	0,75	0,34
F	0,37	0,45	0,28	0,13	0,13
G	0,06	0,76	0,11	0,13	0,11

Daha sonra her bir hücre bulunduğu sütundaki kritere ait kriter ağırlığı ve 100 ile çarpılarak ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulur. Tablo 7'de oluşturulan ağırlıklı normalize karar matrisi verilmiştir.

Tablo 7. Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi

	Maliyet	Pil Ömrü	Ergono miklik	Dahili Bellek	Görüş Alanı
A	32,56	2,59	7,16	2,31	4,74
B	7,44	3,88	5,21	4,61	1,28
C	9,30	7,08	2,82	0,69	0,90
D	6,51	5,17	0,87	4,61	2,43
E	18,61	8,35	1,95	8,30	2,05
F	15,82	13,40	2,82	1,38	0,77
G	2,79	22,66	1,08	1,38	0,64

TOPSIS çözümünde bir diğer adım ideal ve negatif ideal çözümlerin oluşturulmasıdır. İdeal çözüm her bir kriter sütundaki değerlerin maksimumunu alınarak bulunur. Negatif ideal çözüm ise minimumları alınarak bulunmaktadır. Tablo 8'de ideal ve negatif ideal çözüm değerleri verilmiştir.

Tablo 8. İdeal ve Negatif İdeal Çözüm Değerleri

İdeal Çözüm	32,56	22,66	7,16	8,30	4,74
Negatif İdeal Çözüm	2,79	2,59	0,87	0,69	0,64

Daha sonra her bir alternatifin ideal çözümden ve negatif ideal çözümden uzaklığı hesaplanır. Bunun sonucunda ayırım ölçüleri hesaplanmış olur. Tablo 9'da ayırım ölçüleri verilmiştir.

Tablo 9. Ayırım Ölçüleri

Ayırım Ölçütü	Değer	Ayırım Ölçütü	Değer
S_1^+	20,95	S_1^-	30,75
S_2^+	31,83	S_2^-	7,61
S_3^+	29,58	S_3^-	8,15
S_4^+	32,30	S_4^-	6,25
S_5^+	20,83	S_5^-	18,56
S_6^+	21,18	S_6^-	17,05
S_7^+	31,43	S_7^-	20,08

Sonuncu adımda ideal çözüme görece yakınlığın hesaplanması için negatif ideal çözümün, ideal ve negatif ideal çözümlerinin toplamına bölünmesi gerekmektedir. Yapılan işlem sonucunda ilk sırada yer alan en uygun akıllı gözlük Google Glass Enterprise Edition 2 olarak bulunmuştur. Tablo 10'da ideal çözüme görece yakınlıklar verilmiştir.

Tablo 10. İdeal Çözüme Göreli Yakınlık Değerleri

Alternatif	Sonuç
Google Glass Enterprise Edition 2	0,59
Vuzix M4000	0,19
Moverio Pro BT-2000	0,22
Microsoft HoloLens 2	0,16
Magic Leap One	0,47
GlassUp F4	0,45
RealWear HMT-1Z1	0,39

3.4.5. PROMETHEE Yöntemi Çözümü

Çalışmanın bu aşamasında endüstriyel alanda en uygun akıllı gözlük seçimi problemi PROMETHEE yöntemi ile çözülmüştür. Çözüm için AHP yönteminde bulunan ağırlıklar kullanılmıştır. Kriter temelinde oluşturulan karar matrisi ve ağırlıklar Visual PROMETHEE (2021) paket programına girilerek çözüm yapılmıştır. Karar matrisinin ve ağırlıkların girildiği Visual PROMETHEE sayfası Şekil 2’de verilmiştir. Maliyet kriteri için maliyeti en düşük olan alternatife karşılaştırma tablosunda en yüksek değer verildiği için çözümde kriterin özelliği “max” olarak seçilmiştir. Aynı durum diğer kriterler içinde geçerlidir. Sayısal değerler içeren kriterler için “V-shape” fonksiyonunun seçilmesi uygun görülmüştür.

Scenario1	Maliyet	Pil Ömrü	Ergonomiklik	Dahili Bellek	Görüş Alanı
Unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group					
Preferences					
Min/Max	max	max	max	max	max
Weight	0,43	0,30	0,10	0,11	0,06
Preference Fn.	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
-Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
-P: Preference	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
-S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics					
Minimum	3,00	4,00	4,00	3,00	5,00
Maximum	35,00	36,00	33,00	36,00	37,00
Average	14,29	14,14	14,43	14,43	14,29
Standard Dev.	10,05	10,30	9,77	10,82	10,47
Evaluations					
Google Glass Ent...	35,00	4,00	33,00	10,00	37,00
Vuzix M4000	8,00	6,00	24,00	20,00	10,00
Moverio Pro BT-2...	10,00	11,00	13,00	3,00	7,00
Microsoft HoloLe...	7,00	8,00	4,00	20,00	19,00
Magic Leap One	20,00	13,00	9,00	36,00	16,00
GlassUp F4	17,00	21,00	13,00	6,00	6,00
RealWear HMT-1Z1	3,00	36,00	5,00	6,00	5,00

Şekil 2. Visual PROMETHEE Çözüm Ekranı

Visual PROMETHEE paket programı ile çözülen endüstriyel alanda en uygun akıllı gözlük nedir problemi için sonuçlar Şekil 3’te verilmiştir. Çözüm sonucunda en uygun akıllı gözlük Magic Leap One olarak bulunmuştur.

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	Magic Leap One	0,4833	0,7417	0,2583
2	Google Glass Enterprise	0,2900	0,6450	0,3550
3	GlassUp F4	0,2650	0,6100	0,3450
4	Moverio Pro BT-2000	-0,1183	0,4300	0,5483
5	Vuzix M4000	-0,2575	0,3442	0,6017
6	RealWear HMT-1Z1	-0,3150	0,3267	0,6417
7	Microsoft HoloLens 2	-0,3475	0,2950	0,6425

Şekil 3. Visual PROMETHEE Çözüm Sonucu

5. Sonuç

Endüstriyel alanda en uygun akıllı gözlük seçimi problemi çözümü için ilk olarak AHP yöntemi ile ağırlıklar belirlenmiştir. AHP yöntemi sonucunda en önemli kriter maliyet olarak bulunurken bu kriteri sırasıyla pil ömrü, dahili bellek, ergonomiklik ve görüş alanı izlemiştir. Bulunan kriter ağırlıkları ile TOPSIS ve PROMETHEE çözümleri yapılmıştır. PROMETHEE yönteminde en uygun seçenek Magic Leap One olurken, TOPSIS yönteminde en uygun seçenek Google Glass Enterprise Edition 2 olmuştur. Aynı zamanda Google Glass Enterprise Edition 2 PROMETHEE yönteminde en iyi ikinci alternatifken, Magic Leap One TOPSIS yönteminde en iyi ikinci alternatiftir. Bu sonuca ulaşılmasının nedeni en önemli kriter olan maliyet kriterinde Google Glass ürünü önde gelirken pil ömrü ve dahili bellek kriterlerinde Magic Leap One ürünün öne çıkmasıdır. Birinci alternatiflerin farklı çıkması aynı zamanda bir yöntemde birinci olan alternatifin diğer yöntemde ikinci en iyi alternatif olması ürünlerin birbirini yerine kullanılabileceğini göstermektedir. Bu iki yöntemde birinci alternatiflerin farklı çıkması iki ürünün de tercih edilebileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar ile birlikte Microsoft HoloLens 2’in her iki yöntemde de sonuncu alternatif olarak bulunması, seçilmesinin etkin olmayacağını göstermiştir. Yöntemlere göre ürünlerin sıralaması Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Yöntemlere Göre En Uygun Endüstriyel Akıllı Gözlüklerin Sıralaması

Sıralama	PROMETHEE	TOPSIS
1	Magic Leap One	Google Glass Enterprise Edition 2
2	Google Glass Enterprise Edition 2	Magic Leap One
3	GlassUp F4	GlassUp F4
4	Moverio Pro BT-2000	RealWear HMT-1Z1
5	Vuzix M4000	Moverio Pro BT-2000

6	RealWear HMT-1Z1	Vuzix M4000
7	Microsoft HoloLens 2	Microsoft HoloLens 2

6. Tartışma

Endüstriyel giyilebilir teknoloji pazarının büyümesiyle beraber şirketler iş yerlerin bu teknolojileri kullanmaya başlamıştır. Bu alanda en çok tercih edilen teknolojilerden olan akıllı gözlükler ise AR uygulamaları için uygun ortam sunduğu için oldukça fazla tercih etmektedirler. Büyük firmaların endüstriyel akıllı teknolojilere geçmesi büyük bir rekabet ortamı yaratmıştır. Endüstriyel akıllı gözlüklerin gerçek zamanlı veri iletmesi, uzaktan asistan özellikleri, işçilerin anlık takip edilmesi, fotoğraf ve video kaydının olması, sesli ve görüntülü konuşma, işçilerin iki elleri serbest halde iş yapabilmeleri bu teknolojinin en büyük yararları arasındadır. Bu alana olan talep arttıkça bu alanda üretilen akıllı gözlük sayısı da artmıştır. Yapılan çalışmada endüstriyel alanda kullanılacak olan en uygun akıllı gözlüğün seçilmesi problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için ÇKKV yöntemlerinden AHP, TOPSIS ve PROMETHEE kullanılmıştır. AHP yöntemi ile PROMETHEE ve TOPSIS yöntemlerinde kullanılacak olan kriter ağırlıkları belirlenmiştir. PROMETHEE yönteminin gerçek değerlerle ifade edilebilir olması ve çok sayıda kriter uygulanabilmesi yöntemin basit ve etkili olmasını sağlamaktadır. TOPSIS yöntemi ise minimum fayda sağlayan alternatiften en uzak alternatifi en iyi alternatif seçerek bir sıralama yapmaktadır. Bu yönüyle oldukça gerçekçi sonuçlar üreten TOPSIS yöntemi en uygun alternatifi seçme problemleri içinde oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Seçilen 7 alternatif ve 5 kriter üzerinden çözülen problemin sonucunda TOPSIS ve PROMETHEE de iki farklı ürün en iyi olarak bulunmuştur. Bunlar; PROMETHEE de Magic Leap One, TOPSIS de Google Glass Enterprise Edition 2 ürünüdür. Buradan bu iki ürünün birbirinin yerine kullanılabileceği sonucu çıkarılmıştır. Akıllı gözlük sektörünün her gün giderek büyümesi, akıllı gözlük üreticilerinin de artmasına neden olmaktadır. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda akıllı gözlüklerin sayısı arttırılarak daha geniş kapsamlı çözüm yapılabilir.566

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akıncı, B.N., Danişan, T., Eren, T. (2021). Obezite Hastaları İçin Giyilebilir Teknolojilerin ÇKKV Yöntemleri ile Seçimi. *Politeknik Dergisi*. Basımda.

Aksoy, S. (2017). Değişen Teknolojiler ve Endüstri 4.0: Endüstri 4.0'ı Anlamaya Dair Bir Giriş. *SAV Katkı*. 4, 34-44.

Aksüt, G., Eren, T., & Tüfekçi, M. (2020). Ergonomik Risk Faktörlerinin Sınıflandırılması: Bir Literatür Taraması. *Ergonomi*. 3(3), 169-192.

Aksüt, G., Eren, T., & Tüfekçi, M. (2021a). Tekstil Sektör Çalışanlarının Maruz Kaldığı Ergonomik Risklerin Analitik Ağ Süreci ile Değerlendirilmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*. 13(1), 231-242.

Aksüt, G., Eren, T., & Tüfekçi, M. (2021b). Tekstil Sektöründe Kadın Çalışanların Ergonomik Risklerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Belirlenmesi. *Endüstri Mühendisliği*. Basımda.

Aromaa, S., Väätänen, A., Aaltonen, I., Goriachev, V., Helin, K. & Karjalainen, J. (2020). Awareness of the real-world environment when using augmented reality head-mounted display. *Applied Ergonomics*, 88, 103145.

Asoğlu, İ. & Eren, T. (2018). AHP, TOPSIS, PROMETHEE Yöntemleri ile Bir İşletme İçin Kargo Şirketi Seçimi. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*. 8 (16), 102-122.

Baş, H. & Yapıcı, F. (2020). İş İstasyonlarında Çalışanlarda Zorlanmaya Neden Olan Duruşların Ergonomik Açından İrdelenmesi: Örnek Uygulama. *Ergonomi*, 3(3), 128-137.

Bedir, N. & Eren, T. (2015). AHP-PROMETHEE Yöntemleri Entegrasyonu İle Personel Seçim Problemi: Perakende Sektöründe Bir Uygulama. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 4(4), 46-58.

Bozyer, Z. (2019). Endüstride Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları ve İnsan-Bilgisayar Etkileşimi Perspektifinden Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.

Brans J. P., Vincke P., Mareschal B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method, *European Journal of Operational Research*. 24(2), 228-238.

Brusie, T., Fijal, T., Keller, A., Lauff, C., Barker, K., Schwinck, J., Calland, J.F. & Guerlain, S. (2015). Usability evaluation of two smart glass systems. *2015 Systems and Information Engineering Design Symposium*, 336-341.

Büyüközkan, G., Güler, M. & Uztürk, D. (2016). Selection Of Wearable Glasses In The Logistics Sector. *International Logistics and Supply Chain Congress*.

Cürebal, A., Eren, T., & Özcan, E.C. (2019). Solutions of Technology Manager Selection Problem with

- ANP And PROMETHEE Methods. *Proceedings Book*, 171.
- Deringöz, A., Danişan, T. & Eren, T. (2021). Covid-19 Takibinde Giyilebilir Sağlık Teknolojilerinin ÇKKV Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*. Basımda.
- Elder, S. & Vakaloudis, A. (2015). A technical evaluation of devices for smart glasses applications. *2015 Internet Technologies and Applications (ITA)*, Wrexham, 98-103.
- Eren, T., Hamurcu, M. & Alağaç, H. M. (2017). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Kırıkkale Yüksek Hızlı Tren İstasyon Yerinin Seçimi. *In 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, 29-30 September.
- Fellmann, M., Robert, S., Büttner, S., Mucha, H. & Röcker, C. (2017). Towards a Framework for Assistance Systems to Support Work Processes in Smart Factories. *Lecture Notes in Computer Science*, 10410. Springer, Cham.
- Fraga-Lamas, P., Fernandez-Carames, T. M., Blanco-Novoa, O. & Vilar-Montesinos, M. A. (2018). A review on industrial augmented reality systems for the industry 4.0 shipyard. *IEEE Access*, 6, 13358-13375.
- Güner, H. (2005). Bulanık AHP ile Tedarikçi Seçim Problemi ve Bir Uygulama. *V. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*.
- Hwang C.L., Yoon K., (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag.
- Kaçmaz, S.Ö., Alakaş, H.M., & Eren, T. (2020). Ergonomic Staff Scheduling Problem with Goal Programming In Glass Industry. *Journal of Turkish Operations Management*, 4(1), 369-377.
- Khakurel, J., Pöysä, S. & Porras, J. (2016). The Use of Wearable Devices in the Workplace- A Systematic Literature Review. *In International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good*, Springer, Cham. 284-294.
- Kong, X. T. R., Luo, H., Huang, G. Q. & Yang, X. (2019). Industrial wearable system: the human-centric empowering technology in Industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 30(8), 2853-2869.
- Llm, H.Y. & Ro, K.H. (2018). A Study on a CMS Platform for AR-based Remote Collaboration in a Smart Factory. *Journal of Digital Convergence*, 16(12), 327-334.
- Lukowicz, P., Timm-Giel, A., Lawo, M. & Herzog, O. (2007). WearIT@work: Toward Real-World Industrial Wearable Computing. *IEEE Pervasive Computing*.
- Nithyanandam, G. K., Kothandaraman, P. K., Munguia, J. & Marimuthu, M. (2020, September). Implementing Marked-Based Augmented Reality in Discrete industry-A Case Study. *In 2020 IEEE-HYDICON*, 1-6.
- Ong, S. K., Yuan, M. L. & Nee, A. Y. C. (2008). Augmented reality applications in manufacturing: a survey. *International Journal of Production Research*, 46(10), 2707-2742.
- Özcan, E.C., Danişan, T., Yumuşak, R., & Eren, T. (2020). An artificial neural network model supported with multi criteria decision making approaches for maintenance planning in hydroelectric power plants. *Eksplatacja i Niezawodność-Maintenance and Reliability*, 21(3), 400-418.
- Özcan, E.C., Danişan, T., & Eren, T. (2019). Hidroelektrik Santralların En Kritik Elektriksel Ekipman Gruplarının Bakım Stratejilerinin Optimizasyonu İçin Matematiksel Bir Model Önerisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 498-506.
- Pentenrieder, K., Bade, C., Doil, F. & Meier, P. (2007, November). Augmented Reality-based factory planning-an application tailored to industrial needs. *In 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 31-42.
- Perera, C., Liu, C.H. & Jayawardena, S. (2015). The Emerging Internet of Things Marketplace From an Industrial Perspective: A Survey. *IEEE Transactions On Emerging Topics In Computing*. 3(4), 585-598.
- Pierdicca, R., Frontoni, E., Pollini, R., Trani, M. & Verdini, L. (2017) The Use of Augmented Reality Glasses for the Application in Industry 4.0. *Lecture Notes in Computer Science*, 10324. Springer, Cham.
- Plakas, G., Ponis, S.T., Agalinos, K., Aretoulaki, E. & Gayialis, S.P. (2020). Augmented Reality in Manufacturing and Logistics: Lessons Learnt from a Real-Life Industrial Application. *Procedia Manufacturing*, 51, 1629-1635.
- Regenbrecht, H., Baratoff, G. & Wilke, W. (2005). Augmented reality projects in the automotive and aerospace industries, *In IEEE Computer Graphics and Applications*, 25 (6), 48-56.
- Rice, M., Ma, K., Tay, H.H., Kaliappan, J., Koh, W., Tan, W.P. & Ng, J. (2018). Evaluating an augmented remote assistance platform to support industrial applications. *2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 592-597.

- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal Of Operational Research*, 48(1), 9-26.
- Sarıme Mehmet, B., Hamurcu, M. & Eren, T. (2020). Çok Kriterli Karar Verme: Kırıkkale YHT İstasyonu-Şehir Bağlantısının Sağlanması. *Demiryolu Mühendisliği*, (11), 26-40.
- Taş, C., Bedir, N., Eren, T., Alakaş, H. & Çetin, S. (2018). AHP-TOPSIS Yöntemleri Entegrasyonu ile Poliklinik Değerlendirilmesi: Ankara'da Bir Uygulama. *Sağlık Yönetimi Dergisi*, 2 (1), 1-17.
- Taş, M., Özlemiş, Ş. N., Hamurcu, M. & Eren, T. (2017). Ankara'da AHP ve PROMETHEE yaklaşımıyla monoray hat tipinin belirlenmesi. *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 3(1), 65-89.
- Thierer, A. D. (2015). The internet of things and wearable technology: Addressing privacy and security concerns without derailing innovation. *Adam Thierer, The Internet of Things and Wearable Technology: Addressing Privacy and Security Concerns without Derailing Innovation*, 21.
- Turgut, Z.N., Danişan, T. & Eren, T. (2020). Spor Yapanlar İçin En Uygun Akıllı Saatin AHP ve PROMETHEE Yöntemleri ile Seçimi. *Uluslararası Beden Eğitimi Spor ve Teknolojileri Dergisi*, 1(2), 1-11.
- URL-1 <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/industrial-wearable-market-240394537.html> , Erişim Tarihi: 25.12.2020
- URL-2 <https://abmarketotomasyon.com/endustride-ar-arttirilmis-gerceklik-uygulamalari/> , Erişim Tarihi: 25.12.2020
- URL-3 <https://www.businessnewsdaily.com/10313-google-glass-enterprise-business.html> , Erişim Tarihi: 23.12.2020
- URL-4 <https://www.google.com/glass/tech-specs> , Erişim Tarihi: 23.12.2020
- URL-5 <https://vuzix-website.s3.amazonaws.com/files/Content/pdfs/Vuzix-M4000-Smart-Glasses-d01e.pdf> , Erişim Tarihi: 21.12.2020
- URL-6 <https://www.vuzix.com/products/m4000-smart-glasses> , Erişim Tarihi: 21.12.2020
- URL-7 <https://www.forconstructionpros.com/construction-technology/article/12118108/epson-moverio-pro-bt2000-smart-headset> , Erişim Tarihi: 22.12.2020
- URL-8 <https://tech.moverio.epson.com/en/bt-2000/> , Erişim Tarihi: 22.12.2020
- URL-9 <https://www.aniwaa.fr/produit/vr-ar/epson-moverio-pro-bt-2000/> , Erişim Tarihi: 22.12.2020
- URL-10 <https://www.microsoft.com/tr-tr/hololens/hardware> , Erişim Tarihi: 24.12.2020
- URL-11 https://en.wikipedia.org/wiki/HoloLens_2#:~:text=HoloLens%20%20has%20a%20diagonal,%2047%20pixels%20per%20degree , Erişim Tarihi: 24.12.2020
- URL-12 <https://bitnamic.net/en/in-detail-microsoft-hololens-2-functions-and-improvements/> , Erişim Tarihi: 24.12.2020
- URL-13 <https://www.magicleap.com/en-us/magic-leap-1> , Erişim Tarihi: 23.12.2020
- URL-14 <https://uploadvr.com/magic-leap-how-it-works/> , Erişim Tarihi: 23.12.2020
- URL-15 <https://www.glassup.com/en/f4/> , Erişim Tarihi: 21.12.2020
- URL-16 https://www.glassup.com/wp-content/uploads/2018/10/Datasheet_GlassUp_F4.pdf , Erişim Tarihi: 21.12.2020
- URL-17 <https://realwear.com/knowledge-center/hmt-1/product-overview/> , Erişim Tarihi: 22.12.2020
- URL-18 <https://shop.realwear.com/products/hmt-1z1-intrinsically-safe> , Erişim Tarihi: 22.12.2020
- URL-19 <https://realwear.com/knowledge-center/hmt-1z1/product-overview/specifications/> , Erişim Tarihi: 22.12.2020
- Visual PROMETHEE, (2021). <http://www.promethee-gaia.net/visualpromethee.html?deviceLock=desktop>
- Zheng, X., Foucault, C., Silva, P., Dasari, S., Yang, T. & Goose, S. (2015). Eye-Wearable Technology for Machine Maintenance: Effects of Display Position and Hands-free Operation. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*.