



## ERGONOMİ 4.0 VE AKILLI FABRİKALAR: YENİ İŞ TASARIMINA YÖNELİK İNSAN FAKTÖRÜ TEMELLİ BİR ÖLÇEK ÖNERİSİ

Burcu YILMAZ KAYA<sup>1\*</sup>, Aylin ADEM<sup>2</sup>, Metin DAĞDEVİREN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara. ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-5088-5842>

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara. ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-4820-6684>

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara. ORCID No : <http://orcid.org/0000-0003-2121-5978>

### Anahtar Kelimeler

### Öz

*Ergonomi 4.0, İşbirlikçi robot teknolojisi (Cobot), Akıllı fabrikalar, İnsan-robot etkileşimi, F-SWARA*

*Son yıllarda süreçlerde yaşanan hızlı dijitalleşme etkileri ile sistemler için yeni teknolojiler geliştirilirken iş sistemi tasarımları da bu hızlı değişimden payını almaktadır. İşçi refahı ile endüstriyel sistem üretkenliği arasındaki güçlü ilişkiye bağlı olarak Endüstri Mühendisliği literatüründe ergonomi ve insan faktörleri mühendisliğine olan ilgi artmaktadır. Endüstri 4.0 uygulamalarını iş sistemlerinde hayata geçirebilmek ve iş tasarımını uyarlayabilmek için bilimsel araştırmacılar ve yöneticiler risk faktörlerinin değerlendirilmesi ve ergonomik düzenlemelerin gerçekleştirilmesi için geleneksel bakış açısı ile gelişmekte olan yeni teknolojiyi entegre eden, aynı zamanda mevcut sistemde var olan fiziksel ergonomik riski dengelemek ve azaltmak için müdahaleler öneren yaklaşımlar geliştirmelidir. Bu çalışmada Endüstri 4.0 bileşenlerinden akıllı fabrika ve akıllı üretim alanlarına geçiş süreçlerinde iş tasarımında fiziksel risk seviyesini azaltarak iş ve iş yerinin ergonomik uygunluğu*

\*Sorumlu yazar; e-posta : [burcuylmaz@gazi.edu.tr](mailto:burcuylmaz@gazi.edu.tr)

Bu çalışma 28. Ulusal Ergonomi Kongresinde (2022, Eskişehir Türkiye) sunulan ve özeti basılmış olan "Dijital Ergonomi, Akıllı Fabrikalar ve İşbirlikçi Robot Uygulamaları" isimli bildirinin tam metnidir.

doi : <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1267929>

*arttıracak sistem tasarımı için işbirlikçi robot (collaborative robot-Cobot) teknolojilerinin kullanımı ele alınmıştır. Çalışmada Cobot teknolojisinin atanacağı iş istasyonu seçiminde dikkat edilmesi gereken faktörler araştırılarak insan-robot etkileşimli üretim hatlarında gerçekleştirilecek uygulamalar için bir uygunluk skalası geliştirilmiştir.*

## **ERGONOMICS 4.0 AND SMART FACTORIES: A HUMAN FACTORS BASED SCALE PROPOSITION FOR THE NEW JOB DESIGN**

<b>Keywords</b>	<b>Abstract</b>
<i>Ergonomics 4.0, Collaborative robot technology (cobot), Smart factories, Human-robot interaction, F-SWARA.</i>	<i>With the rapid digitalization effect experienced recently, new technologies have been developed for systems, where, system design has also taken its share from this rapid change. Due to the strong relationship between employee welfare and industrial system productivity, there is an increasing interest in ergonomics and human factors engineering fields in Industrial Engineering literature. In order to implement Industry 4.0 applications in work systems and adapt the job design, scientific researchers and managers are integrating the traditional point of view and developing new technology for the evaluation of risk factors as well as realization of ergonomic regulations, while at the same time suggesting interventions to balance and reduce the physical ergonomic risk existing in the current system. approaches should be developed. In this study, the use of collaborative robot (Cobot) technologies for system design that will increase the ergonomic suitability of the work system and workplace by reducing the level of physical risk in job design during the transformation to smart factory and smart production areas as Industry 4.0 componenta is discussed. In the study, a suitability scale was developed for the applications to be realized in human-robot interactive production lines by investigating the factors that should be considered in the selection of the workstation to which the Cobot technology will be assigned.</i>
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 23.03.2023	Submission Date : 23.03.2023
Kabul Tarihi : 18.04.2023	Accepted Date : 18.04.2023

## 1. Giriş

Endüstri 4.0 uygulamaları günümüzde hem imalat sanayinde hem de hizmet sektöründe değişen düzeylerde kök salarak bugünün teknolojisi ya da bugünün uygulaması olmaya başlamıştır. Yeni teknolojinin bu denli hızla benimsenmesinin en büyük nedenleri arasında pandeminin etkisi ve dayatması ile ivmelenen dijitalleşme süreçleri ve yönetici veya karar vericilerin dijitalleşme ile gelen karı memnun edici bulması yer almaktadır. Bu dijitalleşme sürecinin sistemlere hızla yerleşebilmesini destekleyen kilit noktalardan biri de Endüstri 4.0 teknolojisinin eskiyi tamamen kenara bırakarak farklı metotları benimseme mantığı üzerine değil, aksine, geleneksel yeterliliklerle ilerleyen teknolojik olanakların ve iş yapış biçimlerinin bütünleştirilmesine imkan sağlayarak kendine uygulama alanları oluşturması olarak gösterilebilmektedir (Yılmaz Kaya, Adem ve Dağdeviren, 2022).

Günümüzde Endüstri 4.0 devrimi içerisinde faaliyet gösteren *Akıllı Fabrikalar*, üretim analizi ve iyileştirme için giderek daha güvenilir, hızlı ve otomatik araçlara ihtiyaç duymaktadır. İnsan emeğinin önemli bir role sahip olduğu imalat şirketleri, kaynak kullanımı, ürün karmaşı, bileşen tahsisi ve malzeme taşıma optimizasyonu açısından karmaşık üretim sistemlerini yönetebilecek araçlara ihtiyaç duymaktadır (Bortolini, Faccio, Gamberi ve Pilati, 2020).

Akıllı fabrikalar *IoT, IIoT, bulut teknolojileri ve robotik enstrümanlar* gibi Endüstri 4.0 bileşenlerini birlikte uygulayarak üretici ya da hizmet sağlayıcı tarafında verimliliği, karlılığı ve uyumluluğu, müşteri tarafında ise cevap verme hızını, kaliteyi ve müşteri memnuniyetini artırabilmektedir (Yılmaz Kaya, 2022-a). Bağımsız bir uluslararası veri analizi ve araştırma kuruluşu olan Adroit Pazar Araştırmaları firmasının yayınladığı bir rapora göre dijital üretim pazarının 2025 yılına kadar 767 milyar doları geçmesi beklenmektedir (<https://www.globenewswire.com>). Pazarın geleceği ile ilgili bu ve benzer pek çok tahmin büyümekte olan akıllı fabrika ve üretim teknolojileri ile bu teknolojilere geçişi hem kolaylaştıracak hem de hızlandıracak araştırmaların önemini ortaya koymaktadır.

Üretim süreçleri genelinde ve özel iş istasyonlarında robot teknolojilerinin kullanımı insansız üretim alanlarının tasarımından *işbirlikçi robot (collaborative robot - Cobot)* sistemlerinin iş istasyonlarına adaptasyonu gibi çözümler ile manuel faaliyetlerin belirli oranlarda otomatize edilmesine kadar oldukça geniş bir spektrumda dağılım göstermektedir. İşbirlikçi robotlar ("Cobot"lar) güvenlik ayırımı olarak herhangi bir fiziksel ayırıcı ya da engel olmadan robotik teknolojiler ile insan çalışanların yan yana güvenli bir şekilde çalışması temelinde tasarlanmış, robotların yüksek doğruluk, hız ve tekrarlanabilirlik düzeyleri ile insan işçilerin esnekliği ve bilişsel becerilerinden eşzamanlı olarak faydalanmayı sağlayan sistemlerdir. Cobot teknolojilerinin kullanımı ayrıca insan işçilerin ergonomik olmayan ve tekrarlayan görevlerden kurtarılması ve bilgi tabanlı ve yüksek katma değerli işlere odaklanmalarının sağlanmasını

mümkün kılmakta, işin insana ve insanın işe uyum seviyelerinin artırılması ile iş sistemlerinin ergonomik olarak iyileştirilmesi için faydalı bir araçtır. İş kazaları, iş tasarımı ve iş gereklerinden doğan işle ilgili rahatsızlıklar, ve, sürekli koruyucu ekipman kullanımından doğan meslek hastalıkları geliştirme riskleri, işin içeriği ile olduğu kadar, işyeri koşulları ve işin organizasyonu ile de yakından ilişkilidir; dolayısıyla Cobot teknolojilerinin kullanımı ile yeniden organize edilecek iş ve sistem tasarımı ile bahsi geçen olumsuz koşulların elimine edilmesi ya da etkisinin azaltılması fiziksel ergonomik riski dengelemek ve azaltmak için uygun bir müdahale olabilecektir (Yılmaz Kaya ve ark., 2022).

Cobot teknolojisinin iş sistemlerine entegre edilmesinin sağlayabileceği avantajlar barizken, bu Endüstri 4.0 uygulaması insan veya robot çıktısını tehlikeye atmadan kapsamlı risk değerlendirmesi ve risk azaltma yoluyla kaçınılması gereken yeni tehlikeli durumlar oluşturmaktadır. Bu kapsamda bu çalışmada iş tasarımı fiziksel risk seviyesini azaltarak iş ve iş yerinin ergonomik uygunluğu arttıracak sistem tasarımı için Cobot teknolojilerinin kullanımı ele alınmıştır. Çalışmada akıllı fabrikalarda kullanılmakta olan Endüstri 4.0 temelli teknolojiler genel hatları ile tanıtılmış, Cobot teknolojileri detaylarıyla sunulmuş, Cobot teknolojisinin atanacağı iş istasyonu seçiminde dikkat edilmesi gereken faktörler araştırılarak insan-robot etkileşimli üretim hatlarında gerçekleştirilecek uygulamalar için bir uygunluk skalası geliştirilmiştir. Öne sürülen ölçeğin kullanılması ile insan-işbirlikçi robot uygulamalarında karşılaşılabilecek fiziksel riskler enazlanırken iş sistemine eklenecek yeni teknolojinin ergonomik uygunluğunu arttıracak iş tasarımı yapabilmek için bilimsel araştırmacı ve alan uzmanlarına önerilerde bulunulmuştur. Karar verici (KV) değerlendirmelerinde yer alan dilsel ifadelerin sonuçlara aktarılmasında oluşabilecek olası bilgi kayıplarını minimuma indirgeyebilmek amacı ile KV değerlendirmeleri hesaplamalarda bulanık küme teorisi ve üçgensel bulanık sayı gösteriminden faydalanılarak temsil edilmiştir. İşbirlikçi robot teknolojisinin entegrasyonunu etkileyebilecek faktörler üç ana faktör ve bunlara ilişkin alt faktörler olarak belirlenmiş, tanımlanan faktörlerin yerel ve global öncelikleri temelinde uygulama kararına ergonomik uygunluk açısından etkileri Bulanık SWARA (Fuzzy Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis – Bulanık Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi – F-SWARA) yöntemi ile araştırılmıştır.

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde yapılandırılmıştır, Akıllı Fabrikalar ve Ergonomi 4.0 kavramları ile insan-robot işbirliği ve Cobot teknolojileri sırası ile Bölüm 2 ve Bölüm 3'te sunulmuş ve ilişkili yazın taramaları ile desteklenmiştir. Bölüm 4'te Cobot teknolojileri uygulamalarına ilişkin detaylı bilimsel literatür taraması yer almaktadır. Bölüm 5 araştırmada kullanılan yöntemleri tanıtmakta iken, Bölüm 6 ele alınan problem tanımını ve gerçekleştirilen gerçek hayat uygulamasına dair sayısal deneyleri içermektedir. Elde edilen sonuçlar ve bulgular Bölüm 7'de incelenmiş ve tartışılmış, ayrıca gelecekteki bazı araştırma yönlerine işaret edilerek çalışma sonuçları özetlenmiştir.

## 2. Akıllı Fabrikalar ve Ergonomi 4.0

Akıllı fabrika, üretim tesislerinin ve kaynaklarının tüm üretim süreçleri hakkında bilgi toplamak ve analiz etmek ve otomatik üretim geliştirmek için tasarlanmış olan bir Endüstri 4.0 bileşeni olarak açıklanabilirken, akıllı fabrikaların verimli çalışabilmesi için sensörler, bulut teknolojileri, işbirlikçi robotlar, vb. gibi diğer pek çok Endüstri 4.0 bileşeninin de kullanımı gerekmektedir (Yılmaz Kaya, 2022-a).

Akıllı fabrikalar çağında, dijital ikiz, işbirlikçi robot uygulamaları, dijital gözleme dayalı ergonomik analizler gibi teknolojilerin kullanımı özellikle manuel faaliyetler içeren işler için çalışma ortamını ergonomik olarak iyileştirmede, ergonomi analizlerini geliştirmede, ve işin insana insanın da işe uyum seviyesini arttırmada bir anahtar olabilir. Özellikle manuel faaliyeti yoğun işlerde işle ilgili *kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları* (KİSR; Work-related Musco-Skeletal Disorder - WMSD) riski tüm üretim işletmeleri için kontrol altında tutularak elimine edilmesi ya da enazlanması gereken iş kapsamına ve tasarımına ilişkin en büyük ve en sık rastlanan risk tipini oluşturmaktadır (Otto ve Scholl 2013). KİSR en basit haliyle çalışanın kas-iskelet sistemini (kaslar, sinirler, tendonlar, eklemler, kırık ve omurilik diskleri) etkileyen yaralanmalar veya rahatsızlıklar olarak açıklanabilir (Putz-Anderson ve ark. 1997). Çalışanda ortaya çıkacak KİSR gelişme riski, atanmış olduğu işin içeriği ile olduğu kadar, işyeri koşulları ve işin organizasyonu ile de yakından ilişkilidir (Otto ve Scholl 2013). KİSR geliştirme riski önemli sosyal etkileri ve güçlü ekonomik etkileri nedeniyle Avrupa Birliği'nde işle ilgili en yaygın sağlık sorunu olarak kabul edilmektedir (Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı, 2019), ve hafif rahatsızlık ve ağrılardan, çalışanda kronik ağrıya veya kalıcı sakatlığa neden olabilecek daha ciddi tıbbi durumlara kadar değişebilmektedir (Nordander ve ark., 2008).

İş ve işyeri tasarımına ilişkin bahsedilebilecek tek sorun sadece KİSR geliştirme riski olmayıp, bununla birlikte geçici/kalıcı işitme bozukluğundan beyaz parmak hastalığına fiziksel çalışma çevresi etmenlerinden kaynaklanabilecek riskler, çalışma ortamının performans ve çalışan benliği üzerindeki etkilerine dayanacak psiko-sosyal problemler, ve elbette çeşitli meslek hastalıkları da işi daha insana uygun hale getirerek azaltılması gereken riskler olarak ergonomistler tarafından analiz edilmeli ve hem insan sağlığı hem de üretim ya da hizmet sistemi üzerindeki bozucu etkileri ortadan kaldırılmaya çalışılmalıdır. Rezagholi ve Bantekas (2015) çalışmalarında, hem psikososyal hem de fiziksel ergonomik risk faktörlerini göz önünde bulundurarak, mesleki maliyetlerin %40'ının işle ilgili bozuklukların toplam maliyetlerinden kaynaklandığını tahmin etmektedir. Bahsi geçen bu şartlar akıllı fabrika birleşenlerinden biri olan insan işçilerin üretim tesislerinde tekrarlayan ve ergonomik olmayan görevlerden kaçınmasını sağlamak için yeni ekipman ve sistem geliştirmeyi zorlamaktadır (Garg, Pawar, Gosavi, Sharan, ve More, 2021). Bu görevlere bir örnek olarak, depodan parçaların toplanması ve iş istasyonları arasında dağıtılmasından oluşan sipariş toplama ve bunun tersi olarak malzeme ya da ara mamül iş istasyonlarına

dağıtma işi verilebilir. Bu görev tüm bileşenleri ile bir mobil robot üzerine monte edilmiş bir endüstriyel manipülatörden oluşan bir mobil manipülatör tarafından gerçekleştirilebilir (Garg ve ark., 2021).

Tarih bize, üretim verimliliğini arttırma ve çalışma koşullarını iyileştirebilmenin anahtarının endüstriyel-teknolojik ilerlemeyi benimsemenin olduğunu ve bu ilerlemedeki asıl itici gücün üretimdeki temel bu iki temel amaç olduğunu öğretmiştir (Yılmaz Kaya, 2022-b). İş tasarım faaliyetlerinde artık yalnızca kar amacı gütmeyen değil, verimlilik ve üretkenliği arttırırken değerli bir varlık olan insanın işyeri refahının iyileştirilmesini de hedefleyen çözümlerin uygulanması gereği dünya tarafından kabul gören yadsınmaz bir gerçektir. Bu bağlamda günümüzde ergonomistler, özellikle Endüstri 4.0 uygulamalarının yaygınlaşması çerçevesinde ana hedeflerinin içerisinde *İnsan-Robot İşbirliğinin (Human Robot Collaboration - HRC)* yer aldığı yeni alanlarda gerekli çalışmaları gerçekleştirerek bu gereğin sağlanmasını hedeflemektedir.

### 3. İnsan-Robot İşbirliği ve İşbirlikçi Robot Teknolojisi

HRC'nin asıl amacı, robotların yüksek doğruluk, hız ve tekrarlanabilirlik düzeylerini, insan işçilerin esnekliği ve bilişsel becerileri ile birleştirmektir (Garg ve ark., 2021) ve doğru uygulamalar ile HRC'nin üretkenliği ve performansı artıracağı tahmin edilmektedir.

Endüstri 4.0'ın ortaya çıkışıyla birlikte akıllı fabrikalarda yerini alan bahsi geçen HRC temelinde yeni teknolojik ilerlemelerden biri de işbirlikçi robot (Collaborative Robot - Cobot) uygulamalarıdır. Cobot güvenlik ayırımı olarak herhangi bir fiziksel engel olmadan insanlarla yan yana güvenli bir şekilde çalışması için tasarlanmış, özellikle insan işçilerin çalışma koşullarını iyileştirecek ve ortadan kaldırılamayan ya da azaltılamayan risklere maruz kalmalarını engelleyecek robotik teknoloji ile üretim, taşıma, elleçleme vb. araçlarıdır (Garg ve ark., 2021).

ISO 10218-2'e göre bir cobot, "tanımlanmış bir işbirlikçi çalışma alanı içinde bir insanla doğrudan etkileşim için tasarlanmış bir robottur". (ISO 10218-2, 2011). Colgate, Wannasuphprasit ve Peshkin (1996) tarafından oluşturulan "cobot" terimi "bir insan operatörle işbirliği içinde nesnelere manipüle eden robotik bir cihaz"dan söz eder. ISO TS 15066 standardı Cobot teknolojilerini tanımlayarak bu teknolojiyi yardımcı robotik cihaz olarak betimlerken aynı zamanda Cobot kullanımında güvenlik gereksinimlerinin de tanımlanmaktadır (ISO 15066, 2016).

Cobot uygulamalarının yaygınlaşmasını sağlayan ve ilişkin literatürde sıklıkla bahsedilen başlıca avantajlar, üretkenlik kazanımları, süreç tasarımında artan esneklik, daha yüksek çalışan memnuniyeti ve süreç takibi kolaylığı – yüksek durum farkındalığıdır. Ek olarak, insan-Cobot sisteminde esnek görev tahsisi,

insan çalışanlar için kıymetli öğrenme fırsatları sağlayan bir kolaylaştırıcı olarak görülmektedir (Liu ve ark., 2020). İşgücü piyasasının otomasyona bağlı olarak gelişmesine yönelik çalışmalar, üretim ortamlarında insan ve Cobotlar arasında görev paylaşımının önemini ayrıca ortaya koymaktadır. Dünya Ekonomik Forumu'nun 'Yarının İşleri' raporu, önümüzdeki beş yıl içinde imalat sanayiinde çalışanların ortalama olarak yalnızca %14'ünün yerinden edilme riski altında olduğunu belirtirken (Hanna, Bengtsson, Götvall ve Ekström, 2020), Avusturya'daki başka bir çalışma çoğu imalat şirketinin (2019'da %63.4 ve 2020'de %53,0) gelecek beş yıl içinde atölyeleri için ek işçi çalıştırmayı beklediğini göstermiştir (Hata, Inam, Raizer, Wang ve Cao, 2019). Bu bilgiler dahilinde Cobot uygulamalarının Endüstri 4.0 akıllı fabrikalarının işgücü ve ekonomi dengesini sekteye uğratmadan verimliliği arttırabilecek önemli bir enstrüman olduğunu göstermektedir.

İnsanlar Cobot teknolojisinin entegre edildiği döngülere esnekliği, bilişsel becerileri, zekayı ve beklenmedik görevlerin üstesinden gelme becerisini getirirken, robotlar tekrarlayan ve monoton görevleri doğruluk, çeviklik ve güçle gerçekleştirmektedir (Fast-Berglund, Palmkvist, Nyqvist, Ekered ve Åkerman, 2016; Hentout, Aouache, Maoudj ve Akli, 2019; Paliga, 2022). İnsan ve Cobot yeteneklerinin karşılıklılığının akıcı bir şekilde eşleştirildiği böyle sinerjik bir sistem, insan operatörlerin fiziksel olarak zorlayıcı görevleri Cobotlara bırakmasıyla yüksek düzeyde el becerisi ve kabiliyetle katma değerli görevlere konsantre olabilmelerini sağlar (Schou, Andersen, Chrysostomou, Bøgh ve Madsen, 2018; Cohen, Naseraldin, Chaudhuri ve Pilati, 2019; Paliga, 2022).

Üretimde insanlar ve Cobotlar arasındaki etkileşim, öncelikle güvenlik gereksinimleri tarafından belirlenir. İnsan -Cobot etkileşimlerine özel olarak ISO/TS 15066:2016 standardı, (i) güvenlik dereceli izlemeli durdurma, (ii) elle yönlendirme, (iii) hız ve ayırma takibi, (iv) güç ve kuvvet sınırlaması olmak üzere dört güvenlik özelliği tanımlamaktadır (ISO 15066, 2016). Bunlar göz önüne alındığında, insan-Cobot ilişkileri, birlikte yaşama, etkileşim, işbirliği ve işbirliği etkileşim biçimleriyle karakterize edilebilmektedir (Kim, Peternel, Lorenzini, Babic ve Ajoudani, 2021). Bununla birlikte, işbirlikçi robotiğin avantajlarından yalnızca robotun insan işçiler için bir araç olarak kullanılmasıyla tam olarak yararlanılabilir. Bu nedenle, iş tanımlarının doğru yapılmamış ve iş görevlerinin bölünmesi, üretimde robotik uygulamaların planlanmasında önemli bir adımdır. İnsan-cobot sistemlerinde dinamik görev dağılımı ve risk indirgeme faaliyetleri Dede, Mitropoulou, Nikolaidou, Kamalakis ve Michalakelis (2020); Hanna, Bengtsson, Götvall ve Ekström (2020) ve Liu ve ark. (2020) gibi araştırmacılar tarafından son yıllarda incelenmekte olan önemli bir konudur.

Gelecekteki işlerle ilgili kesin bir tahmin olmasa bile, yeni teknolojinin kullanımının insanların çalışma şeklini değiştirdiği kesindir. Cobot'lar, artan ürün çeşitleri ve artan süreç karmaşıklığı açısından değişen pazar taleplerini karşılamak için üretimde insan-makine işbirliğinin yolunu açmaktadır. Ancak insan-makine işbirliği, yalnızca makineler için değil, insanlar için de yeni

becerilere sahip olmayı gerektirmektedir. Ortaya çıkan en önemli beceriler (i) teknoloji kullanımı, izleme ve kontrol, (ii) eleştirel düşünme ve analiz, (iii) aktif öğrenme ve öğrenme stratejileri, (iv) liderlik ve sosyal etki, (v) analitik düşünme ve yenilik, (vi) akıl yürütme, problem çözme ve fikir yürütme, (vii) karmaşık problem çözme, (viii) hizmet yönelimi, (ix) esneklik, stres toleransı ve esnekliğin yanı sıra (x) teknoloji tasarımı ve programlama olarak sıralanabilir. Buna ek olarak, insansı olmayan robotların kullanımı, endüstride benimsenen en alakalı üçüncü teknoloji olarak belirtilmektedir (Fast-Berglund ve ark., 2016; Schou ve ark., 2018; Hentout ve ark., 2019; Kopp, Baumgartner ve Kinkel, 2021; Bozkuş, Kaya ve Yakut, 2022; Paliga, 2022; Yılmaz Kaya ve ark., 2022).

İş sistemlerinde Cobot uygulamalarının faydaları iki yönlüdür. Bireysel düzeyde, insanlar ve Cobot'lar arasındaki akıcı etkileşim, istihdamı düşürmeden üretkenlikle sonuçlanır. Böylece, kurumsal düzeyde, Cobot teknolojisini iş sistemine uygulayan fabrikalar, işbirlikçi robotları hem kendi hem de çalışanlarının avantajına kullanabilen esnek ve yenilikçi işverenler olarak daha itibarlı hale gelmektedir (Paliga, 2022). Bunların yanı sıra, Endüstri 4.0 yeteneklerini insanı değiştirmek yerine insan çalışan verimliliğini arttırmaya yönelik olarak kullanmakta Cobot teknolojisi entegrasyonu büyük fayda sağlamaktadır. Cobot'lar operatörlerin yardımcısıdır ve insan operatörlerin manuel üretim görevlerini daha fazla denetleme ve izleme rolleriyle değiştirmek için onlara fırsat oluşturarak işgücünü daha hızlı kalifiye hale getirmekte de bir araç olarak kullanılabilirler. Endüstri 4.0 uygulamaları ile kalite ve üretim hızını iyileştirirken maliyet minimizasyonu sağlamak isteyen işletmeler için insan işgücünün bu yeni teknolojiye karşı geliştireceği olası direnci kırmada da bir araç olarak kullanılabilir. Cobot teknolojileri, iş sistemindeki insan işgücü insanların ve Cobotların ekipler oluşturduğu ve Cobot'un insan varlığını ortadan kaldırmaktan ziyade sürdürmeye yardımcı olduğunu anladıkça otomasyonun yerini alan teknolojiye çekince önemli ölçüde azaltılabilecek yeni teknolojinin iş sistemine yerleştirilmesi kolaylaşacaktır.

#### **4. Bilimsel Yazın Taraması**

Cobot uygulamaları her ne kadar gerek ergonomi gerekse genel üretim yönetimi konu başlıkları altında incelenen genç bir alan olsa da bu çalışma şekline duyulan ihtiyaç ve gösterilen ilgi kendisine literatürde hızla önemli yer edinmesi için fırsat vermiştir. Var olan çalışmalara örnek olarak; Zacharaki, Kostavelis, Gasteratos ve Dokas (2020) insan-cobot takımlarında gerekli beceri setlerinin neler olduğunu ele almıştır, Al-Hamouz, El-Omari ve Al-Naimat (2019) bir öğrenen fabrika ortamında insan-cobot iş sistemlerinin işbirlikçi tasarımı ve uygulamasını ele almışken, Scimmi, Melchioarre, Troise, Mauro ve Pastorelli (2021) çalışmalarında iş sistemi tasarımına bağlı farklı görev tahsisi olasılıklarını incelemiştir. Yapılan literatür araştırması mevcut yazında bulunan ilişkin çalışmaların özellikle 2016 yılından itibaren sıklaştığını, çalışma



konularının ise Cobot teçhizat ve robotik cihazlarının seçimi (Chatterjee ve ark., 2010; İç ve ark., 2013; Parameshwaran, Kumar ve Saravanakumar, 2015; Ghorabae, 2016; Koch ve ark., 2017; Veza ve ark., 2022), var olan iş istasyonuna Cobot teknolojilerinin konuşlandırılmasının araştırılması (Devi, 2011; Djuric, Urbanic ve Rickli, 2016; Bortolini, Ferrari, Gamberi, Pilati ve Faccio, 2017; Gil-Vilda, Sune, Yagüe-Fabra, Crespo ve Serrano, 2017; Guiochet, Machin ve Waeselynck, 2017; Papetti, Ciccarelli, Scoccia ve Germani, 2021; Caterino, Rinaldi ve Fera, 2022; Liu ve ark., 2022; Sriviboon ve Jiamsanguanwong, 2022; Stefanakos ve ark., 2022; Vitolo ve ark., 2022), Cobot iş modeli analizi (Johansson, Christiernin ve Pejryd, 2016; de Man & Strandhagen, 2017; Dilibal & Şahin, 2018; Lee, Kim ve Kim, 2019; Borboni, Elamvazuthi & Cusano., 2022; Yılmaz Kaya ve ark., 2022), ve Cobot teknolojilerinin iş sistemlerine entegrasyonunun sosyo-ekonomik açıdan analizi (Dekker, Salomons ve Waal, 2017; Makridakis, 2017; Virgillito, 2017; McClure, 2018; Chromjakova ve ark., 2021; Adriaensen ve ark., 2022; Paliga, 2022) şeklinde gruplanabildiği görülmektedir. Bu konu başlıklarına ek olarak Vysoccky ve Novak (2016), Komenda, Schmidbauer, Kames ve Schlund (2021), Bozkuş ve ark. (2022) ve Fournier ve ark. (2022) gibi araştırmacıların ise işbirlikçi robot entegrasyonu konusunu çalışmalarında insan-robot etkileşimi çerçevesinde incelemiş olduğu görülmektedir.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen detaylı literatür analizi çıktıları ve bu yazın taramasının gruplandırılmış sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Tablonun üçüncü sütununda yıldız ile belirtilen çalışmalarda yürütülmüş araştırmalar gerçek hayat uygulama örnekleri ile sunulmuştur.

Bu çalışmada Endüstri 4.0 uygulamalarına geçişte yeni bir alan olarak görülebilecek Ergonomi 4.0 felsefesine dair araştırmalara temel oluşturmak, Cobot teknolojilerinin entegrasyonunda fiziksel risk seviyesini azaltarak iş ve iş yerinin ergonomik uygunluğu arttıracak sistem tasarımı için yol haritası oluşturabilmek amaçlarıyla Cobot teknolojisi ve HRC uygulamaları birlikte ele alınmıştır. Çalışmada akıllı fabrikalar, Endüstri 4.0 bileşenleri, Cobot teknolojileri ve HRC analizi detaylarıyla sunulmuş ve Ergonomi 4.0 uygulamaları için Türkçe literatür kaynağı oluşturmak hedeflenmiştir. Ayrıca Cobot teknolojisinin atanacağı iş istasyonu seçiminde dikkat edilmesi gereken faktörler araştırılarak insan-robot etkileşimli üretim hatlarında gerçekleştirilecek uygulamalar için tehlike ve riskler analiz edilmiştir. Bu teknolojinin iş istasyonuna uygulanmasının insan faktörleri temelinde uygunluğun ölçülebilmesi ve karar aşamasında proaktif yaklaşım benimsenmesine imkan verecek bir ölçek geliştirilmiştir. Geliştirilen bu öncelik sırası belirtilen uygulamaya uygunluk ölçeği gerek bilimsel araştırmacıların gerekse alan uzmanlarının gerçek hayat uygulamalarında kullanabilmesine uygun olarak

tasarlanmış ve araştırma sonuçları detaylı olarak tartışılmıştır. Öne sürülen uygunluk ölçeği geliştirilirken, KV değerlendirmelerinde içerilen bilginin en üst seviyede kullanılabilmesi adına bulanık küme teorisinden faydalanılmış, ana ve alt faktörlerin önem sıralamaları gözetilerek uygulayıcılar için insan-işbirlikçi robot uygulamalarında karşılaşılabilecek fiziksel riskleri enazlayacak ve iş sistemine eklenecek yeni teknolojinin ergonomik uygunluğunu arttıracak iş tasarımını önerilerinde bulunulmuştur.

**Tablo 1**  
**Ergonomi 4.0 Bağlamında Cobot Teknolojisi Yazın Taraması Özeti**

Araştırmacılar	Yıl	Bağlam	Tür
Chatterjee ve ark.	2010	COBOT seçimi	Araştırma makalesi
Devi	2011	COBOT konuşlandırma uygulaması *	Araştırma makalesi
İç ve ark.	2013	COBOT seçimi	Araştırma makalesi
Parameshwaran ve ark.	2015	COBOT seçimi	Araştırma makalesi
Ghorabae	2016	COBOT seçimi	Konferans bildirisi
Djuric ve ark.	2016	COBOT konuşlandırma çerçevesi	Araştırma makalesi
Johansson ve ark.	2016	COBOT iş modeli	Konferans bildirisi
Vysocky & Novak	2016	HRC - İnsan robot işbirliği	Araştırma makalesi
Bortolini ve ark.	2017	COBOT konuşlandırma çerçevesi	Araştırma makalesi
Dekker ve ark.	2017	COBOT teknolojilerinin sosyo-ekonomik açıdan analizi	
Gil-Vilda ve ark.	2017	COBOT konuşlandırma uygulaması *	Araştırma makalesi
Guiochet ve ark.	2017	COBOT konuşlandırma uygulaması *	Araştırma makalesi
Koch ve ark.	2017	COBOT seçimi	Araştırma makalesi
Makridakis	2017	COBOT teknolojilerinin sosyo-ekonomik açıdan analizi	Araştırma makalesi
Strandhagen	2017	COBOT iş modeli	Konferans bildirisi
Virgillito	2017	COBOT teknolojilerinin sosyo-ekonomik açıdan analizi	
Dilibal & Şahin	2018	COBOT iş modeli	Araştırma makalesi
McClure	2018	COBOT teknolojilerinin sosyo-ekonomik açıdan analizi	
Lee ve ark.	2019	COBOT iş modeli	Araştırma makalesi
Adriaensen ve ark.	2022	COBOT teknolojilerinin sosyo-ekonomik açıdan analizi	Araştırma makalesi
Chromjakova ve ark.	2021	COBOT teknolojilerinin sosyo-ekonomik açıdan analizi	Araştırma makalesi
Komenda ve ark.	2021	HRC - İnsan robot işbirliği	Konferans bildirisi
Papetti ve ark.	2021	COBOT konuşlandırma uygulaması *	Araştırma makalesi

Borboni ve ark.	2022	COBOT iş modeli	Araştırma makalesi
Bozkuş ve ark.	2022	HRC - İnsan robot işbirliği	Konferans bildirisi
Caterino ve ark.	2022	COBOT konuşlandırma uygulaması *	Araştırma makalesi
Fournier ve ark.	2022	HRC - İnsan robot işbirliği	Araştırma makalesi
Liu ve ark.	2022	COBOT konuşlandırma uygulaması * COBOT teknolojilerinin sosyo-ekonomik açıdan analizi	Araştırma makalesi
Paliga Sriviboon & Jiamsanguanwong	2022	COBOT konuşlandırma uygulaması *	Konferans bildirisi
Stefenakos ve ark.	2022	COBOT konuşlandırma uygulaması *	Araştırma makalesi
Veza ve ark.	2022	COBOT seçimi	Konferans bildirisi
Vitolo ve ark.	2022	COBOT konuşlandırma uygulaması *	Araştırma makalesi
Yılmaz Kaya ve ark.	2022	COBOT iş modeli	Konferans bildirisi

## 5. Yöntem

Bu çalışma kapsamında ele alınan problem karar verme takımı (KVT) üyelerinin öznel görüşlerinde ihtiva edilen bilgiyi en yüksek seviyede koruyabilmek amacıyla üçgensel bulanık dilsel ifade kümesi kullanılarak değerlendirilmiş, orijinal SWARA yönteminin bulanık genişlemesi olan F-SWARA yöntemi kullanılarak Ergonomi 4.0 felsefesine dair araştırmalar temelinde akıllı fabrika dönüşümünde Cobot teknolojileri entegrasyonu için kullanılabilir bir uygunluk ölçeği geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm araştırma ve analizlerde bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

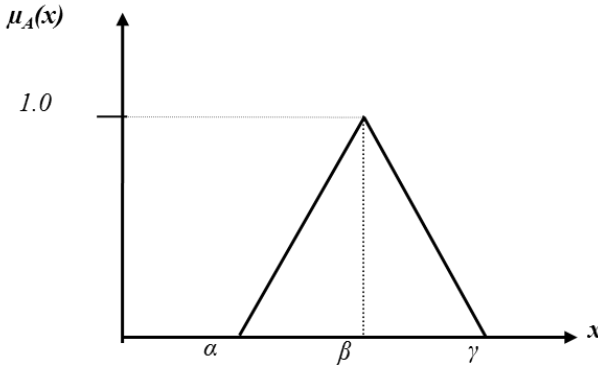
### 5.1 Bulanık Kümeler ve Üçgensel Bulanık Sayılar

Bulanık küme teorisi, 1965 yılında Zadeh (Zadeh, 1965) tarafından tanıtıldığından beri, öznel ve kesin olmayan veriler dahil olmak üzere gerçek hayat problemlerini ele almak için yaygın olarak uygulanmıştır. Geleneksel küme teorisine göre bir  $x$  elemanı,  $A$  kümesine aitse "1", değilse "0" üyelik değerine sahiptir. Öte yandan, bulanık küme kavramına göre, üyeler esnek üyelik değerleri alabilirler, yani bu sefer  $x$  elemanı  $[0,1]$  arasında tanımlanan bir üyelik derecesine kadar bulanık küme  $A$ 'ye ait olabilir. Bulanık küme teorisi uygulamalarında kullanılan üçgensel bulanık sayılar (Sun, 2010; Yılmaz Kaya ve Dağdeviren, 2010; Opricovic, 2011; Yılmaz Kaya ve Dağdeviren, 2011; Dong, Li ve Zhang, 2015; Delice ve Zegerek, 2016; Yılmaz Kaya ve Dağdeviren, 2016; Park ve Shin, 2017; Yılmaz Kaya ve Dağdeviren, 2017; Can ve Delice, 2018; Ly, Lai, Hsu ve Shih, 2018; Özcan, Yıldızbaşı ve Eraslan, 2019; Kasap, Şahin ve Çınar, 2020; Eski ve Uzun Araz, 2021; Dalay ve Sarı, 2022), Pisagor bulanık sayılar (Peng ve Yang, 2015; Peng ve Yuan, 2016; Jiao, 2020; Yücesan ve Gul, 2020; Adem, Yılmaz Kaya ve Dağdeviren, 2021; Adem, Yılmaz Kaya ve Dağdeviren, 2022; Perçin, 2023), çekimsel bulanık sayılar (Ashtiani ve Azgomi, 2016; Zhang, 2016; Adar ve

Kılıç Delice, 2019; Mo, 2021; Deng, Li ve Liu, 2022; Chander ve Das, 2023; Fang, 2023), sezgisel bulanık sayılar (Savaş, 2016; Büyüközkan, Feyzioglu ve Göçer, 2018; Can, 2018; Ayyıldız, 2021; Gül, 2021-a; Gül, 2021-b; Yener ve Can, 2021; Pant ve Kumar, 2022) veya küresel bulanık sayılar (Guleria ve Bajaj, 2020; Sharaf ve Khalil, 2020; Yılmaz Kaya, 2022-c; Chander ve Das, 2023) gibi değişen farklı üyelik fonksiyonları vardır. İşlem kolaylığı ve sezgisel oluşturma özelliği nedeniyle üçgensel üyelik fonksiyonu en sık kullanılan bulanık sayı türü olduğundan (Yılmaz Kaya ve Dağdeviren, 2016; Yılmaz Kaya, Adem ve Dağdeviren, 2021), bu çalışmada kullanılmak üzere üçgensel bulanık sayılar seçilmiştir.

Bir üçgensel bulanık sayı terimsel olarak ( $\alpha \leq \beta \leq \gamma$ ) iken  $(\alpha, \beta, \gamma)$  üçlü gösterimi ile ifade edilebilir, ve bu  $(\alpha, \beta, \gamma)$  üçgensel sayısının üyelik fonksiyonu Eşitlik (1) ile tanımlanabilir (Şekil 1).

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{(x-\alpha)}{(\beta-\alpha)} & x \in [\alpha, \beta] \\ \frac{\gamma-x}{\gamma-\beta} & x \in [\beta, \gamma] \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (1)$$



Şekil 1.  $(\alpha, \beta, \gamma)$  üçgensel bulanık sayısının grafik gösterimi

Ayrıca,  $A_1$  ve  $A_2$  şeklinde tanımlanan herhangi iki bulanık sayının ( $A_1 = (\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$ ;  $A_2 = (\alpha_2, \beta_2, \gamma_2)$  olmak üzere) cebirsel işlemleri Tablo 2'de gösterildiği gibi gerçekleştirilecek matematiksel hesaplamalar ile ifade edilebilir.

Tablo 2

## Üçgensel Bulanık Sayılarda Cebirsel İşlemler

İşlemler	Cebirsel Gösterimler
Toplama	$\widetilde{A}_1 + \widetilde{A}_2 = (\alpha_1 + \alpha_2, \beta_1 + \beta_2, \gamma_1 + \gamma_2)$
Çıkarma	$\widetilde{A}_1 - \widetilde{A}_2 = (\alpha_1 - \alpha_2, \beta_1 - \beta_2, \gamma_1 - \gamma_2)$
Çarpma	$\widetilde{A}_1 \times \widetilde{A}_2 = (\alpha_1 * \alpha_2, \beta_1 * \beta_2, \gamma_1 * \gamma_2)$
Bölme	$\widetilde{A}_1 / \widetilde{A}_2 = (\alpha_1/\gamma_2, \beta_1/\beta_2, \gamma_1/\alpha_2)$
Ters	$\widetilde{A}_1^{-1} = (1/\gamma_1, 1/\beta_1, 1/\alpha_1)$

## 5.2. F-SWARA Yöntemi

Orijinal SWARA yöntemi Keršulienė, Zavadskas ve Turskis (2010) tarafından geliştirilmiş olan, özellikle daha basit hesaplama yapısı ve önemli ölçüde daha az sayıda ikili karşılaştırma hesaplama yükü içermesi gibi avantajları temelinde son yıllarda çok kriterli karar verme literatüründe kendisine yer edinen bir ağırlıklandırma ve önceliklendirme yöntemidir (Yılmaz Kaya ve Dağdeviren, 2019). Bu çalışma kapsamında ele alınan probleme dair gerçekleştirilen hesaplamalarda bulanık küme teorisinden faydalanılarak karar verme takımı (KVT) üyelerinin subjektif görüş ve değerlendirmelerinde ihtiva edilen bilgiyi en yüksek seviyede koruyabilmek adına üçgensel bulanık dilsel ifade kümesi kullanılarak orijinal SWARA yönteminin bulanık genişlemesi olan F-SWARA yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm araştırma ve analizlerde bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

SWARA yöntemi, verilerin dilsel olarak değerlendirilmesi sürecinde yer alan belirsizliklerin üstesinden gelmek için kullanılır. Diğer benzer ağırlıklandırma ÇKKV yöntemleri AHP veya ANP gibi, SWARA da uzman görüşlerine dayalı öznel bir ağırlıklandırma ÇKKV yöntemidir ancak bir artı olarak, burada uzmanların bu yöntemin daha basit hesaplama yapısı sayesinde DM sürecine daha kolay katılması sağlanır. Ayrıca, özellikle ikili karşılaştırmalara dayalı AHP veya ANP yöntemlerine göre, önemli ölçüde daha az sayıda ikili karşılaştırma SWARA yönteminin bir başka avantajı olarak belirtilebilir (Yılmaz Kaya, Adem & Dağdeviren, 2018; Yılmaz Kaya ve Dağdeviren, 2019). Bu çalışmada F-SWARA yöntemi Sumrit (2020) ve Yılmaz Kaya ve ark. (2021) tarafından önerilen hesaplama mekanizması ile hesaplanmış, F-SWARA yönteminin hesaplama algoritması aşağıda sunulmuştur.

Adım 1. Kriterler, her bir KV tarafından beklenen önemlerine göre azalan sırada düzenlenir.

Adım 2. Ortalama değerin karşılaştırmalı önemi hesaplanır. Bu çalışmada önem değerleri için Chang, Watada ve Ishii (2012) tarafından önerilen dilsel çıkarım ölçeğinden, ve, dilsel değerlendirme değerleri için Chang (1996) tarafından önerilen dilsel çıkarım ölçeğinden faydalanılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3

**Kriterlerin göreceli ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılan bulanık ölçekler**

Önem Değerleri	Üçgensel Bulanık Sayılar	Dilsel Değerlendirme Değerleri	Üçgensel Bulanık Sayılar
Çok düşük (ÇD)	(0, 0, 1/4)	Eşit önemli (EÖ)	(1, 1, 1)
Düşük (D)	(0, 1/4, 1/2)	Orta derece daha az önemli (OÖ)	(2/3, 1, 3/2)
Orta (O)	(1/4, 1/2, 3/4)	Daha az önemli (DÖ)	(2/5, 1/2, 2/3)
Yüksek (H)	(1/2, 3/4, 1)	Çok daha az önemli (ÇDÖ)	(2/7, 1/3, 2/5)
Çok yüksek (ÇH)	(3/4, 1, 1)	Oldukça az önemli (OAÖ)	(2/9, 1/4, 2/7)

Tüm KV'lerden önem değerleri toplandıktan sonra, aritmetik ortalama kullanılarak her  $j$  kriterine ilişkin göreceli önem oranı ( $p_j$ ) elde edilir (Eşitlik 2). Daha sonra ikinci kriterden başlayarak sonuncu kriter kadar her  $j$  kriterine ilişkin "Ortalama Değerin Karşılaştırmalı Önemi" bir önceki kriterin ( $j-1$ ) göreceli önemine göre Eşitlik (3) ile Chang (1996) tarafından önerilen dilsel ölçek kullanılarak hesaplanır.

$$\tilde{p}_j = (\tilde{p}_j^\alpha, \tilde{p}_j^\beta, \tilde{p}_j^\gamma) \quad (2)$$

$$\tilde{S}_j = (\tilde{S}_j^\alpha, \tilde{S}_j^\beta, \tilde{S}_j^\gamma) \quad (3)$$

Adım 3. Eşitlik (4) kullanılarak her bir kriter için  $k_j$  katsayısı belirlenir.

$$\tilde{k}_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \tilde{S}_j + 1 & j > 1 \end{cases}, \quad \tilde{k}_j = (\tilde{k}_j^\alpha, \tilde{k}_j^\beta, \tilde{k}_j^\gamma) \quad (4)$$

Adım 4. Eşitlik (5) kullanılarak her bir kriter için yeniden hesaplanan  $q_j$  ağırlık değerleri hesaplanır.

$$\check{q}_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{\check{q}_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases}, \quad \tilde{q}_j = (\tilde{q}_j^\alpha, \tilde{q}_j^\beta, \tilde{q}_j^\gamma) \quad (5)$$

Adım 5. Daha sonra, Eşitlik (6) kullanılarak değerlendirme kriterlerinin göreceli ağırlıkları belirlenir. Burada  $\tilde{w}_j$ ,  $j$ 'inci kriterin bulanık göreceli ağırlığını,  $n$  ise kriter sayısını temsil etmektedir.

$$\tilde{W}_j = \frac{\check{q}_j}{\sum_{k=1}^n \check{q}_k}, \quad \tilde{w}_j = (\tilde{w}_j^\alpha, \tilde{w}_j^\beta, \tilde{w}_j^\gamma) \quad (6)$$

Adım 6. Son olarak, kriterlerin bulanık göreceli ağırlıkları olarak hesaplanan  $\tilde{w}_j$  değerleri kriterlerin nihai sıralamasını belirlemek için bulanık olmayan (net) değerlere dönüştürülür. Bu çalışmada Eşitlik (7) ile ifade edilen Alan Merkezi (Center of Area - COA) yöntemi kullanılarak  $\tilde{w}_j$  değerleri durulaştırılmış ve her bir  $j$  kriteri için  $W_j$  değerleri hesaplanmıştır.

$$W_j = \frac{(\tilde{w}_j^\gamma - \tilde{w}_j^\alpha) + (\tilde{w}_j^\beta - \tilde{w}_j^\alpha)}{3} + \tilde{w}_j^\alpha \quad (7)$$

## 6. Uygulama ve Bulgular

Bu çalışmada gerçekleştirilen gerçek hayat problemi uygulamasında alan uzmanı üç ayrı karar verici ( $KV_1$ ,  $KV_2$ ,  $KV_3$ ) yer almıştır. Cobot teknolojisinin iş sistemlerine insan veya robot çıktısını tehlikeye atmadan ve risk azaltma yoluyla entegre edilmesinde kullanılabilecek bir uygunluk ölççeği geliştirilmiştir. Bu sayede bilimsel araştırmacılar ve alan uzmanları akıllı fabrika ve COBOT-insan paylaşımlı iş tasarımı fiziksel risk seviyesini azaltarak iş ve iş yerinin ergonomik uygunluğu arttıracak sistem tasarımı için çalışma bulguları ışığında karar verebileceklerdir. KV'ler karar verme takımı (KVT) dinamikleri ve düşünme teknikleri açısından yürütülen çalışmada ele alınan konuda uzman (10, 15 ve 25 yılın üzerinde deneyime sahip), insan faktörler mühendisliği ve iş sağlığı ve güvenliği alanlarında çalışmalar yapan Endüstri Mühendisleri olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen derin literatür araştırması sonuçları ile KV tecrübeleri bütünleştirilerek belirlenen karar kriterleri "iş gerekleri", "sistem

tasarımı” ve “iş sağlığı ve güvenliği” ana kriterleri olmak üzere üç ana kriter temelinde gruplanmıştır. Bu ana kriter gruplarına ilişkin alt kriterler de yine KVT tarafından ayrıca belirlenmiştir. Problem analizinde kullanılacak kriterler setinin oluşturulmasında faydalanan çalışmalara dair özet bilgiler Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4  
Problem kriterleri araştırması özet tablosu

Araştırmacılar	Yıl	Bağlam
Chatterjee ve ark.	2010	COBOT seçimi
İç ve ark.	2013	COBOT seçimi
Parameshwaran ve ark.	2015	COBOT seçimi
Ghorabae	2016	COBOT seçimi
Johansson ve ark.	2016	COBOT iş modeli
Koch ve ark.	2017	COBOT seçimi
Lee ve ark.	2019	COBOT iş modeli
Papetti ve ark.	2021	COBOT konuşlandırma uygulaması *
Chromjakova ve ark.	2021	COBOT teknolojilerinin sosyo-ekonomik açıdan analizi
Komenda ve ark.	2021	HRC - İnsan robot işbirliği
Adriaensen ve ark.	2022	COBOT teknolojilerinin sosyo-ekonomik açıdan analizi
Sriviboon & Jiamsanguanwong	2022	COBOT konuşlandırma uygulaması *
Bozkuş ve ark.	2022	HRC - İnsan robot işbirliği
Veza ve ark.	2022	COBOT seçimi

KVT tarafından belirlenmiş olan Cobot teknolojilerinin uygulanmasında ergonomik açıdan değerlendirilmede iş seçimini etkileyebilecek üç ana faktör; iş gerekleri ve işin tasarımından kaynaklanan faktörler ( $C_1$ : İş gerekleri), sistem tasarımı ve sistem gereksinimlerinden kaynaklanan faktörler ( $C_2$ : Sistem tasarımı) ve fiziksel çalışma ortamı/çalışma duruşuna bağlı ve İSG riskleri doğuran faktörler ( $C_3$ : İş sağlığı ve güvenliği) olarak değerlendirilmiştir. Bu kriterler temelinde birinci ana kriter için dört, ikinci ana kriter altında beş, üçüncü ana kriter için ise dört alt kriter belirlenmiş ve değerlendirme sürecinde KVT tarafından ayrı senaryolar temelinde global ağırlıklar hesaplanarak sonuçlar yorumlanmıştır.

KVT'nin belirlediği alt kriterlerden “ $C_{11}$ -İşlemlerin sayısallaştırılabilirlik seviyesi” operasyonların dijitalleştirilebilme ve otomasyona uygunluk seviyesi, entegre teknoloji kullanımına uygunluk seviyesini, “ $C_{12}$ -Veri karmaşıklığı” işlem ve işleme dair verilerin karmaşıklık seviyesini, “ $C_{13}$ -Operasyonların standardizasyon seviyesi” operasyonların standardize edilmeye uygunluğu, mikro-hareket yoğunluğu, tekrarlı işlem yoğunluğunu, “ $C_{14}$ -İşlem çevrim süresi” operasyonel



faaliyetlerin parça ve bütün olarak süreleri, işlemlerin modülerleştirilebilirliği ve istasyonun modüller halinde kullanılabilirliğini temsil etmektedir. İkinci ana kritere bağlı tanımlanan alt kriterlerden “*C<sub>21</sub>-Tesis planı*” tesis planının istasyon kurulumuna uygunluğu, mekan ve teçhizat yeterliliğini, “*C<sub>22</sub>-Maliyet*” istasyonu kurmak için gereken tüm malzeme ve parçaların toplam maliyetini, “*C<sub>23</sub>-Proses performans parametreleri*” süreç performansının dijitalleştirilebilmesi, süreç performans doğrulamasının çevrimiçi değerlendirmeye uygunluğu, üretim planlarının çevrimiçi süreç izleme performans göstergelerine dayalı tasarıma uygunluğunu, “*C<sub>24</sub>-Süreç üretkenlik seviyesi*” üretim planlaması ile koordineli bakım ve önleyici/kestirimci hizmetlerin entegre tasarlanabilirliğini, “*C<sub>25</sub>-Sistem tepki süresi*” insan-cobot ve istasyon-sistem olay tepki çeviklik seviyesini ve insan-cobot ilişkilerin esnekliğini temsil etmektedir. Üçüncü ana kriter temelinde tanımlanmış olan alt kriterler ise sırası ile “*C<sub>31</sub>-Emniyet, Güvenilirlik & Çarpışma olasılığı*” insan-cobot sınırlı olası çarpışma tanımını ve insan operatörler için güvenlik seviyesi, “*C<sub>32</sub>-Boyutlar*” boyutlar nedeniyle işlem gerçekleştirmede zorluk derecesini, ve, sistem, cobot ve mobil robot boyutlarının uyumluluğunu, “*C<sub>33</sub>-Zihinsel rahatlık*” bilişsel yük, operatör memnuniyeti, sistem kullanılabilirlik seviyesini, “*C<sub>34</sub>-İşbirliği faydaları*” mikro-hareket ve tekrarlı işlem yoğunluğunu, ve, talep edilen görev veri iletişimi uygunluğunu temsil etmektedir. KVT'nin belirlediği kriter ve alt kriterler okuyuculara kolaylık sağlamak adına Tablo 5'te özetlenerek toplu olarak sunulmuştur.

Tablo 5

**COBOT iş sistemi tasarımı karar problemi kriter ve alt kriterleri**

C1 İş gerekleri	C11	İşlemlerin sayısallaştırılabilirlik seviyesi
	C12	Veri karmaşıklığı
	C13	Operasyonların standardizasyon seviyesi
	C14	İşlem çevrim süresi
C2 Sistem tasarımı	C21	Tesis planı
	C22	Maliyet
	C23	Proses performans parametreleri
	C24	Süreç üretkenlik seviyesi
	C25	Sistem tepki süresi
C3 İş sağlığı ve güvenliği	C31	Emniyet, Güvenilirlik & Çarpışma olasılığı
	C32	Boyutlar
	C33	Zihinsel rahatlık
	C34	İşbirliği faydaları

Tablo 2'de verilen bulanık dilsel çıkarım ölçekleri kullanılarak her KV tarafından ana ve alt kriterler gözetilerek yerel ve global ağırlıkların hesaplanmasına dair oluşturulmuş farklı senaryolar için değerlendirmeler yapılmış, bu değerlendirmelerde kullanılan dilsel ölçek ve sıralama değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Uygulama sürecinde sıradaki adımlar olarak her bir  $j$  kriterinin göreceli önem değeri  $\check{S}_j$ ,  $k_j$  katsayıları ve yeniden hesaplanan ağırlık gösterimi  $\check{q}_j$  sırası ile Eşitlik (3) – Eşitlik (5) kullanılarak hesaplanmıştır. Ana kriterler ve alt kriterler için hesaplanan değerleri ve Eşitlik (6) ve Eşitlik (7) kullanılarak hesaplanmış olan bulanık ve durulaştırılmış önem ağırlıkları sırası ile Tablo 7 ve Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 6  
COBOT iş sistemi tasarımı karar problemi KVT girdi verileri

Kriterler	KV <sub>1</sub>		KV <sub>2</sub>		KV <sub>3</sub>	
C1	3	ÇD	2	O	1	ÇY
C1 <sub>1</sub>	1	ÇY	1	ÇY	1	ÇY
C1 <sub>2</sub>	6	O	8	O	6	O
C1 <sub>3</sub>	2	ÇY	3	Y	5	Y
C1 <sub>4</sub>	4	Y	2	ÇY	3	Y
C2	1	ÇY	1	ÇY	2	O
C2 <sub>1</sub>	3	Y	4	Y	2	ÇY
C2 <sub>2</sub>	5	Y	6	O	4	Y
C2 <sub>3</sub>	8	O	13	ÇD	10	D
C2 <sub>4</sub>	7	O	5	Y	8	O
C2 <sub>5</sub>	12	ÇD	12	ÇD	13	ÇD
C3	2	O	3	ÇD	3	ÇD
C3 <sub>1</sub>	9	D	10	D	7	O
C3 <sub>2</sub>	11	D	7	O	9	D
C3 <sub>3</sub>	10	D	9	D	12	ÇD
C3 <sub>4</sub>	13	ÇD	11	D	11	D

Tablo 7  
Ana kriterler temelinde gerçekleştirilen hesaplama sonuçları

	$S_j$	$k_j$	$q_j$	$w_j$	$W_j$
C2	-	(1,000; 1,000; 1,000)	(1,000; 1,000; 1,000)	(0,450; 0,474; 0,510)	0,478
C1	(0,400; 0,500; 0,667)	(1,400; 1,500; 1,667)	(0,600; 0,667; 0,714)	(0,270; 0,316; 0,364)	0,317
C3	(0,400; 0,500; 0,667)	(1,400; 1,500; 1,667)	(0,360; 0,444; 0,510)	(0,162; 0,211; 0,260)	0,211

Bu çalışmada belirlenen problem uzayı üç ana kriter ve bu üç ana kriter altında gruplandırılmış toplam onüç alt kriterden oluşan karar kriterleri kümesi temelinde incelenmiştir. Değerlendirmelerin analiz edilmesi için yalnızca ana kriter yerel ağırlıklarının, yalnızca alt kriter yerel ağırlıklarının ve tüm kriterler kümesi gözetilerek hesaplanan global ağırlıkların incelendiği üç senaryo üretilmiştir. Elde edilen kriter önem ağırlıkları sonuçları Tablo 9’da verilmiştir.

**Tablo 8**  
Alt kriterler temelinde gerçekleştirilen hesaplama sonuçları

	$S_j$	$k_j$	$q_j$	$w_j$	$W_j$
C11	-	(1,000; 1,000; 1,000)	(1,000; 1,000; 1,000)	(0,372; 0,419; 0,477)	0,423
C13	(0,667; 1,000; 1,500)	(1,667; 2,000; 2,500)	(0,400; 0,500; 0,600)	(0,167; 0,236; 0,321)	0,241
C14	(1,000; 1,000; 1,000)	(2,000; 2,000; 2,000)	(0,200; 0,250; 0,300)	(0,084; 0,118; 0,161)	0,121
C21	(1,000; 1,000; 1,000)	(2,000; 2,000; 2,000)	(0,100; 0,125; 0,150)	(0,042; 0,059; 0,080)	0,060
C22	(0,222; 0,250; 0,286)	(1,222; 1,250; 1,286)	(0,078; 0,100; 0,123)	(0,032; 0,047; 0,066)	0,048
C24	(0,286; 0,333; 0,400)	(1,286; 1,333; 1,400)	(0,056; 0,075; 0,095)	(0,023; 0,035; 0,051)	0,037
C12	(0,400; 0,500; 0,667)	(1,400; 1,500; 1,667)	(0,033; 0,050; 0,068)	(0,014; 0,024; 0,037)	0,025
C33	(1,000; 1,000; 1,000)	(2,000; 2,000; 2,000)	(0,017; 0,025; 0,034)	(0,007; 0,012; 0,018)	0,012
C34	(0,667; 1,000; 1,500)	(1,667; 2,000; 2,500)	(0,007; 0,013; 0,020)	(0,003; 0,006; 0,011)	0,007
C31	(0,400; 0,500; 0,667)	(1,400; 1,500; 1,667)	(0,004; 0,008; 0,015)	(0,002; 0,004; 0,008)	0,004
C32	(1,000; 1,000; 1,000)	(2,000; 2,000; 2,000)	(0,002; 0,004; 0,007)	(0,001; 0,002; 0,004)	0,002
C23	(0,400; 0,500; 0,667)	(1,400; 1,500; 1,667)	(0,001; 0,003; 0,005)	(0,001; 0,001; 0,003)	0,002
C25	(0,667; 1,000; 1,500)	(1,667; 2,000; 2,500)	(0,000; 0,001; 0,003)	(0,000; 0,001; 0,002)	0,001

**Tablo 9**  
Uygulama sonuç değerleri

Ana faktörler		Alt faktörler		Global değerler		
C1	0,317	C11	0,423	C11	0,403	1
		C12	0,025	C12	0,024	7
		C13	0,241	C13	0,23	2
		C14	0,121	C14	0,115	3
C2	0,478	C21	0,06	C21	0,087	4
		C22	0,048	C22	0,07	5
		C23	0,002	C23	0,002	12
		C24	0,037	C24	0,053	6
		C25	0,001	C25	0,001	13
C3	0,211	C31	0,004	C31	0,003	10
		C32	0,002	C32	0,001	11
		C33	0,012	C33	0,008	8
		C34	0,007	C34	0,004	9

## 7. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada ele alınan üç ana ve onüç alt kriterin önem ağırlıkları ve öncelik sıraları Tablo 6-8'de sunulduğu üzere incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre (Tablo 9), mevcut iş istasyonlarına ergonomik faktörler gözetilerek Cobot

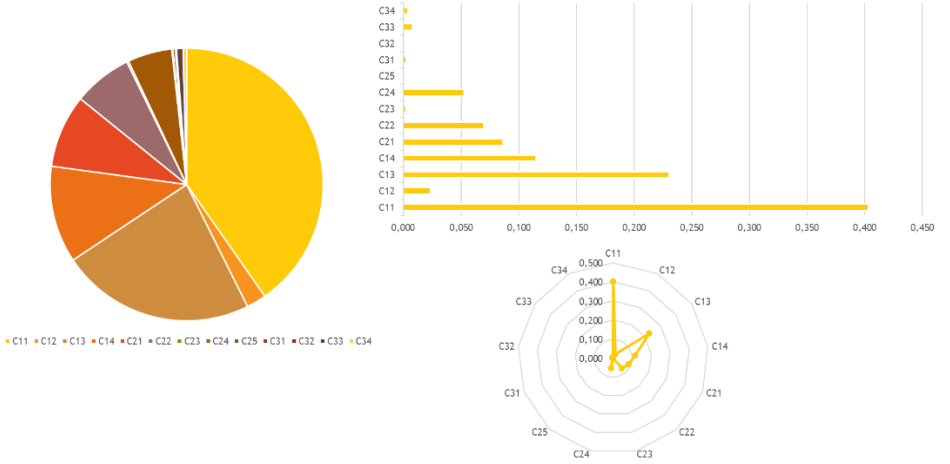
entegrasyonuna etki edebilecek faktörlerin iş sistemini ve çıktıları etkileme gücü, yalnızca belirlenen ana kriterler dikkate alınarak, yerel öncelikler dikkate alınarak ve hesaplanan küresel öncelikler dikkate alınarak üç aşamalı olarak analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre yerel önem ağırlıkları analizinde en önemli ana kriter "*C<sub>2</sub>-Sistem tasarımı*", en önemli alt kriterler ise sırası ile "*C<sub>11</sub>-İşlemlerin sayısallaştırılabilirlik seviyesi*", "*C<sub>13</sub>-Operasyonların standardizasyon seviyesi*", "*C<sub>14</sub>-İşlem çevrim süresi*", "*C<sub>21</sub>-Tesis planı*" ve "*C<sub>22</sub>-Maliyet*" olarak bulunmuştur.

Global ağırlık analizi sonuçlarına göre ise en önemli kriterler "*C<sub>25</sub>-Sistem tepki süresi*", "*C<sub>23</sub>-Proses performans parametreleri*" ve "*C<sub>32</sub>-Boyutlar*" olarak belirlenmiştir.

Sonuçların da gösterdiği gibi (Tablo 6-9, Şekil 2) akıllı fabrikalarda kullanılmakta olan Endüstri 4.0 temelli teknolojiler için yapılan analizde Cobot teknolojisinin atanacağı iş istasyonu seçiminde dikkat edilmesi gereken faktörlerin önemlerinin ergonomik açıdan ele alındığında karar faktörleri kümesinin yapısına ve kurulan hiyerarşik ilişkinin KV'ler tarafından nasıl ele alındığına göre değiştiği gözlemlenmiştir. Kriterler arası ilişki daha önce ve KV değerlendirmelerinin sonuç uzayını belirlemedeki genel etkisi dikkate alındığında Cobot entegrasyonu kararında en yüksek etkiye sahip olduğu bulunan "*C<sub>11</sub>-İşlemlerin sayısallaştırılabilirlik seviyesi*", "*C<sub>13</sub>-Operasyonların standardizasyon seviyesi*", "*C<sub>14</sub>-İşlem çevrim süresi*" gibi kriterlerin yerine "*C<sub>25</sub>-Sistem tepki süresi*", "*C<sub>23</sub>-Proses performans parametreleri*" ve "*C<sub>32</sub>-Boyutlar*" kriterlerinin etkisi en büyük kriterler olarak belirlendiği görülmüştür. Ana ve alt faktörlerin ile bu faktörler arasındaki ilişki bütün olarak değerlendirmeye katıldığında elde edilen sonuçlar Endüstri 4.0 transformasyon sürecinde iş istasyonuna Cobot entegrasyonu seçeneğini değerlendirecek firmalar için sistemin insan-cobot ve istasyon-sistem olay tepki çeviklik seviyesi ve insan-cobot ilişkilerinin esnekliği ile süreç performans parametrelerinin dijitalleşmeye uygunluğunun daha önemli olduğu ortaya koyulmuştur. Bununla birlikte, verimlilik düzeyi ve kar oranı ne denli arttırılacak olursa olsun "*C<sub>32</sub>-Boyutlar*" kriteri ile temsil edilmekte olduğu gibi Cobot teknolojisinin iş tasarımı ve iş istasyonuna uygunluğu seçim kriterinde en büyük etkileyici rollerden birini oynamaktadır; öyle ki bu faktör global sıralamada her işletme için değerlendirmelerde göz önüne alınması gereken "*C<sub>22</sub>-Maliyet*" kriterinden de önce gelerek daha büyük öneme ve entegrasyon kararında belirleyici etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuç maliyeti ne olursa olsun öncelikle sistem tepki süresi ve esnekliği yüksek, performansı dijital olarak izlenebilen ve performans göstergeleri dijitalleştirilebilen, iş istasyonuna ve genel tesis planına uygun olan Cobot teknolojilerinin seçilmesinin ve var olan iş sistemine eklenmesinin insan faktörleri mühendisliği ve verimlilik açısından daha iyi sonuç vereceğini göstermektedir. Kriter hiyerarşisi ve kriterler arası ilişkilerin göz ardı edilmesi ve dikkate alınması ile belirlenen yerel ve global sıralamalarda en önemli ilk üç kriterin tamamının farklı bulunduğu, dördüncü ve beşinci sırada gelen kriterlerin önem ağırlıklarına göre belirlenen sıralarını korudukları,

bununla birlikte onüç kriter içerisinde çok sayıda kriterin etki düzeyinin iki senaryoda da değiştiği görülmektedir.

Global ağırlık sonuçlarına göre kriterler kümesinin etki düzeyleri ve ağırlık oranı değişimi incelenmiş ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kriterler kümesi global etki düzeyleri ve önem dereceleri

Hesaplamalarda bulanık küme teorisinden faydalanılarak KVT üyelerinin subjektif görüş ve değerlendirmeleri ihtiva edilen bilgiyi en yüksek seviyede koruyabilmek ve en doğru ölçme ile ölçmek adına üçgensel sayılar bulanık dilsel ifade kümesi kullanılarak analiz edilmiştir. Endüstri 4.0 uygulamaları temelinde Cobot teknolojisi entegrasyonuna etki edebilecek faktörler SWARA yönteminin bulanık genişlemesi ile ele alınmış, yerel ve global öncelik sıraları belirlenmiş, iş sistemlerine Cobot entegrasyonu için uygunluk skalası geliştirilerek bilimsel araştırmacı ve alan uzmanlarının kullanımına sunulmuştur.

Bu çalışmada gerçekleştirilen bilimsel yazın araştırması ve gerçek hayat uygulaması sonuçlarına göre geliştirilen bazı öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Üretim işyerinde karşılıklı insan-cobot işbirliği, doğrudan yeterli düzeyde standartlaştırılmış süreçlere bağlıdır.
- Üretim planlayıcısı, işyerinde insan-cobot işbirliğinin önemli parametrelerini belirleyebilir.
- Geliştirilen skala ile planlı üretim performansının insan-cobot iş gücü biçiminde gerçekleştirilmesi için en uygun koşulları tanımlayabilir.
- Uyumluluk değerlendirmesi, işyerinde yapılan işlerle ilgili olarak hem insan hem de cobot için benzer kuralları takip eder.

- Tüm temel insan ve cobot sorumlulukları belirlenir ve iş yeri organizasyonları tarafından indirgenmiş riskli süreçler için kullanılabilir.

Çalışma konusunda dair gelecek dönem araştırmalara konu edilebilecek bazı öneriler olarak; KVT takımının genişletilmesi ve bilimsel araştırmacılar ile saha uygulayıcıların ortak görüşlerinin alınması ile öncelik farklılıklarının gözlenmesi, farklı bulanık küme notasyonları ya da farklı kriter-hiyerarşi yapıları kullanılması ile oluşturulabilecek yeni senaryoların çıktılarının karşılaştırılması ya da Delphi metodu gibi bir araştırma aracı ile başlangıç etmen setinin incelenmesiyle araştırmada kullanılmak üzere daha odaklı bir karar kriteri kümesinin belirlenmesi verilebilir.

### **Araştırmacıların Katkısı**

Bu araştırmada; Burcu YILMAZ KAYA, konu seçimi, bilimsel yayın araştırması, yöntemlerin belirlenmesi, veri setlerinin oluşturulması, yöntemlerin uygulanması, sonuçların analizi, makalenin oluşturulması; Aylin ADEM, yöntemlerin uygulanması, makalenin oluşturulması; Metin DAĞDEVİREN, çalışmanın yönetilmesi, konu seçimi, makalenin tasarımı ve son okuma konularında katkı sağlamışlardır.

### **Çıkar Çatışması**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

### **Kaynaklar**

Adar T. ve Delice E. (2019). New integrated approaches based on MC-HFLTS for healthcare waste treatment technology selection, *Journal of Enterprise Information Management*, 32 (4), 688-711. Doi: <https://doi.org/10.1108/JEIM-10-2018-0235>

Adem, A., Kaya, B. Y. ve Dağdeviren, M. (2021) Analyzing The OHS Risks Emerged in Transportation of Medical Materials in The Covid-19 Pandemic. *19th International Logistics and Supply Chain Congress*, 348-358, Gaziantep, Türkiye.

Adem, A., Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2022). Intelligent and Fuzzy Techniques in Aviation 4.0. *Studies in Systems: Decision and control technology analysis for Logistics 4.0 applications: Criteria affecting UAV performances*. Springer, Cham. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-75067-1\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75067-1_21)

- Adriaensen, A., Costantino, F., Di Gravio, G. ve Patriarca, R. (2022). Teaming with industrial cobots: A socio-technical perspective on safety analysis. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 32(2), 173-198. Doi: <https://doi.org/10.1002/hfm.20939>.
- Al-Hamouz, S. O. El-Omari, N. K. ve Al-Naimat, A. M. (2019) An ISO compliant safety system for human workers in human-robot interaction work environment, *12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*. 9-14, Kazan, Rusya, Doi: <https://doi.org/10.1109/DeSE.2019.00012>
- Ashtiani, M. ve Azgomi, M. A. (2016). A hesitant fuzzy model of computational trust considering hesitancy, vagueness and uncertainty. *Applied Soft Computing*, 42, 18-37. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.01.023>.
- Ayyıldız, E. (2021). Interval valued intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process-based green supply chain resilience evaluation methodology in post COVID-19 era. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 42476–42494. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16972-y>
- Borboni, A., Elamvazuthi, I. ve Cusano, N. (2022). EEG-Based Empathic Safe Cobot. *Machines*, 10(8), 603. Doi: <https://doi.org/10.3390/machines10080603>
- Bortolini, M., Faccio, M., Gamberi, M ve Pilati, F. (2020). Motion Analysis System (MAS) for production and ergonomics assessment in the manufacturing processes. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105485. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.046>
- Bortolini, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F. ve Faccio, M. (2017). Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework. *Ifac-Papersonline*, 50(1), 5700-5705. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1121>
- Bozkuş, E., Kaya, İ ve Yakut, M. (2022). A fuzzy based model proposal on risk analysis for human-robot interactive systems. *International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*. 1-6. IEEE. Erişim adresi: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9799820>.
- Büyüközkan, G., Feyzioğlu, O. ve Göçer, F. (2018). Selection of sustainable urban transportation alternatives using an integrated intuitionistic fuzzy Choquet integral approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58, 186-207. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.005>
- Can G. F. ve Delice E. (2018). A Task-Based Fuzzy İntegrated Mcdm Approach For Shopping Mall Selection Considering Universal Design Criteria. *Soft Computing*, 22(22), 7377-7397. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3074-4>

- Can, G. F. (2018). An intuitionistic approach based on failure mode and effect analysis for prioritizing corrective and preventive strategies. *Human Factors And Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 28(3), 130-147. Doi: <https://doi.org/10.1002/hfm.20729>
- Caterino, M., Rinaldi, M., & Fera, M. (2023). Digital ergonomics: an evaluation framework for the ergonomic risk assessment of heterogeneous workers. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(2), 239-259. Doi: <https://doi.org/10.1080/0951192x.2022.2090023>
- Chander, G. P. ve Das, S. (2023). Hesitant T-spherical fuzzy linear regression model based decision making approach using gradient descent method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 122, 106074. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106074>
- Chatterjee, P., Athawale, V.M. ve Chakraborty, S. (2010). Selection of industrial robots using compromise ranking and outranking methods, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(5), 483-489. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2010.03.007>
- Chromjakova, F., Trentesaux, D. ve Kwarteng, M. A. (2021). Human and cobot cooperation ethics: The process management concept of the production workplace. *Journal of Competitiveness*. 13(3), 21-38. Doi: <https://doi.org/10.7441/joc.2021.03.02>
- Cohen, Y. Naseraldin, H. Chaudhuri, A. ve Pilati, F. (2019). Assembly systems in Industry 4.0 era: a road map to understand Assembly 4.0, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 105, 4037-4054, Doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04203-1>.
- Colgate, J. E., Wannasuphoprasit, W. ve Peshkin, M. A. (1996). Cobots: Robots for collaboration with human operators. *ASME international mechanical engineering congress and exposition*. 55, 433-439, Atlanta. Erişim adresi: [https://peshkin.mech.northwestern.edu/publications/1996\\_Colgate\\_Cobots\\_RobotsCollaboration.pdf](https://peshkin.mech.northwestern.edu/publications/1996_Colgate_Cobots_RobotsCollaboration.pdf).
- Dalay, M. ve Sarı, K. (2022). Tedarikçi Seçiminde Yeşil Kriterin Öneminin Araştırılması: Türk Gıda Sektörü Örneği. *Endüstri Mühendisliği*, 33 (3) , 500-513 . Doi: <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1152540>
- de Man, J. C. ve Strandhagen, J. O. (2017). An Industry 4.0 research agenda for sustainable business models. *Procedia CIRP*, 63, 721-726. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.315>
- Dede, G. Mitropoulou, P. Nikolaidou, M. Kamalakis T. ve Michalakelis, C. (2020). Safety requirements for symbiotic human-robot collaboration systems in smart factories: a pairwise comparison approach to explore requirements dependencies. *Requirements Engineering*. 26(1), 115-141. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00766-020-00337-x>



- Dekker, F., Salomons, A. ve Waal, J. V. D. (2017). Fear of robots at work: the role of economic self-interest. *Socio-Economic Review*, 15(3), 539-562. Doi: <https://doi.org/10.1093/ser/mwx005>
- Delice E. ve Zegerek S. (2016). Ranking occupational risk levels of emergency departments using a new fuzzy mcdm model: A case study in Turkey, *Applied Mathematics And Information Sciences*.10(6), 2345-2356. Doi: <https://doi.org/10.18576/amis/100638>
- Deng, X., Li, W. ve Liu, Y. (2022). Hesitant fuzzy portfolio selection model with score and novel hesitant semi-variance. *Computers & Industrial Engineering*, 164, 107879. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107879>
- Devi, K. (2011). Extension of VIKOR method in intuitionistic fuzzy environment for robot selection. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 14163-14168. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.227>
- Dilibal, S. ve Şahin, H. (2018). İşbirlikçi endüstriyel robotlar ve dijital endüstri. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2(1), 86-96. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/435679>.
- Djuric, A. M., Urbanic, R. J. ve Rickli, J. L. (2016). A framework for collaborative robot (CoBot) integration in advanced manufacturing systems. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 9(2), 457-464. Doi: <https://doi.org/10.4271/2016-01-0337>
- Dong, M., Li, S. ve Zhang, H. (2015). Approaches to group decision making with incomplete information based on power geometric operators and triangular fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 42(21), 7846-7857. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.06.007>
- Eski, Ö. ve Uzun Araz, Ö. (2021). İyileştirme Projelerinin Bulanık Vikor Yöntemi İle Değerlendirilmesi. *Endüstri Mühendisliği*, 32 (3), 473-495. Erişim adresi : <https://Dergipark.Org.Tr/Tr/Pub/Endustrimuhandisligi/Issue/66238/955025>
- Fang, B. (2023). Some uncertainty measures for probabilistic hesitant fuzzy information. *Information Sciences*. 625, 255-276, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.12.101>
- Fast-Berglund, Å, Palmkvist, F, Nyqvist, P, Ekered S. ve Åkerman, M. (2016) Evaluating cobots for final assembly, *Procedia CIRP*. 44, 175–180, [Doi: https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.114](https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.114)
- Fournier, É., Kilgus, D., Landry, A., Hmedan, B., Pellier, D., Fiorino, H. ve Jeoffrion, C. (2022). The impacts of human-cobot collaboration on perceived cognitive load and usability during an industrial task: an exploratory experiment. *IIEE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 10(2), 83-90. Doi: <https://doi.org/10.1080/24725838.2022.2072021>

- Garg, K., Pawar, P., Gosavi, J., Sharan N. ve More J. (2021). Industry 4.0 Integration with Industrial Engineering. *1st Indian International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Bangalore, India. Erişim adresi: <https://www.ieomsociety.org/proceedings/2021india/215.pdf>.
- Ghorabae, M. K. (2016). Developing an MCDM method for robot selection with interval type-2 fuzzy sets. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 37, 221-232. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.04.007>
- Gil-Vilda, F., Sune, A., Yagüe-Fabra, J. A., Crespo, C. ve Serrano, H. (2017). Integration of a collaborative robot in a U-shaped production line: a real case study. *Procedia Manufacturing*, 13, 109-115. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.015>
- Guiochet, J., Machin, M. ve Waeselynck, H. (2017). Safety-critical advanced robots: A survey. *Robotics and Autonomous Systems*, 94, 43-52. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2017.04.004>
- Guleria, A. ve Bajaj, R. K. (2020). T-spherical fuzzy graphs: operations and applications in various selection processes. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45(3), 2177-2193. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13369-019-04107-y>
- Gül, S. (2021). Fermatean fuzzy set extensions of SAW, ARAS, and VIKOR with applications in COVID-19 testing laboratory selection problem. *Expert Systems*, 38(8), e12769. Doi: <https://doi.org/10.1111/exsy.12769>.
- Gül, S. (2021). Hastane Yeri Seçiminde Nesnel Ağırlıklandırılmalı Sezgisel Bulanık Vikor Yöntemi. *Endüstri Mühendisliği*, 32(2), 177-200. Doi: <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.795479>
- Hanna, A. Bengtsson, K. Götvall P. -L. ve Ekström, M. (2020). Towards safe human robot collaboration - Risk assessment of intelligent automation, *25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, 424-431, Doi: <https://doi.org/10.1109/ETFA46521.2020.9212127>
- Hata, A., Inam, R., Raizer, K., Wang, S. ve Cao, E. (2019). AI-based safety analysis for collaborative mobile robots. *24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*. 1722-1729. Doi: <https://doi.org/10.1109/ETFA.2019.8869263>
- Hentout, A. Aouache, M. Maoudj, A. ve Akli, (2019). I. Human-robot interaction in industrial collaborative robotics: a literature review of the decade 2008-2017, *Adv. Robot.* 33, (15-16), 1-36, [Doi: https://doi.org/10.1080/01691864.2019.1636714](https://doi.org/10.1080/01691864.2019.1636714).
- <https://www.globenewswire.com/news-release/2019/08/19/1903451/0/en/Digital-Transformation-in-Manufacturing-Market-to-hit-642-35-billion-by-2025-Analysis-by-Technology-and-Innovation-Landscape-Key-Initiatives-Case-Studies-and->

[Vendor-Outlook-Adroit.html](#) : “Technology and Innovation Landscape, Key Initiatives, Case Studies and Vendor Outlook: Adroit Market Research”

ISO 10218 “Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots”, with parts 1 (“Robots”) and 2 (“Robot systems and integration”), ISO Copyright Office, Geneva, 2011.

ISO/TS 15066, “Robots and robotic devices - Collaborative robots,” 2016.  
[URL:https://www.sis.se/en/produkter/manufacturing-engineering/industrial-automation-systems/industrial-robots-manipulators/isots150662016](https://www.sis.se/en/produkter/manufacturing-engineering/industrial-automation-systems/industrial-robots-manipulators/isots150662016).

Jiao, H. (2020). Selection of resettlement site in reservoir construction using Pythagorean fuzzy MULTIMOORA multi-criteria decision-making method. *Journal of Coastal Research*, 115(SI), 502-505. Doi: <https://doi.org/10.2112/JCR-SI115-138.1>

Johansson, A., Christiernin, L. G. ve Pejryd, L. (2016). Manufacturing system design for business value, a holistic design approach. *Procedia CIRP*, 50, 659-664. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.140>

Kasap, S. S. , Şahin, Y. ve Çınar, T. (2020). Bulanık Tabanlı Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri İle Demirçelik Endüstrisinde En Uygun Yatırım Seçeneğinin Belirlenmesi. *Endüstri Mühendisliği*, I.EİM Kongresi, 59-71. Erişim adresi : <https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi/issue/52861/641077>

Keršulienė, V., Zavadskas, E. K. ve Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243-258. Doi: <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>

Kim, W. Peternel, L. Lorenzini, M. Babič J. ve Ajoudani, A. (2021). A Human-Robot Collaboration Framework for Improving Ergonomics During Dexterous Operation of Power Tools, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 68, 102084, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102084>

Koch, P. J., van Amstel, M. K., Dębska, P., Thormann, M. A., Tetzlaff, A. J., Bøgh, S. ve Chrysostomou, D. (2017). A Skill-based Robot Co-worker for Industrial Maintenance Tasks. *Procedia Manufacturing*, 11, 83-90. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.141>

Komenda, T., Schmidbauer, C., Kames, D. ve Schlund, S. (2021). Learning to share-teaching the impact of flexible task allocation in human-cobot teams. *Conference on Learning Factories (CLF)*. Graz, Avusturya. Doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3869551>

Kopp, T. Baumgartner, M. ve Kinkel, S. (2021) Success factors for introducing industrial human-robot interaction in practice: an empirically driven

- framework, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 112, 685–704, [Doi: https://doi.org/10.1007/s00170-020-06398-0](https://doi.org/10.1007/s00170-020-06398-0)
- Lee, H. J., Kim, J. S. ve Kim, H. W. (2019). Analysis of artificial intelligence technology based on the requirements of collaborative robots through patent analysis. *ICIC Express Letters*, 13(6), 521-527. Doi: <https://doi.org/10.24507/iciyel.13.06.521>.
- Liu, B., Fu, W., Wang, W., Li, R., Gao, Z., Peng, L. ve Du, H. (2022) Cobot Motion Planning Algorithm for Ensuring Human Safety Based on Behavioral Dynamics. *Sensors*, 22, 4376. [Doi: https://doi.org/10.3390/s22124376](https://doi.org/10.3390/s22124376).
- Liu, Z., Wang, X., Cai, Y., Xu, W., Liu, Q., Zhou, Z. ve Pham, D. T. (2020). Dynamic risk assessment and active response strategy for industrial human-robot collaboration. *Computers & Industrial Engineering*, 141, 106302. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106302>
- Ly, P. T. M., Lai, W. H., Hsu, C. W. ve Shih, F. Y. (2018). Fuzzy AHP analysis of Internet of Things (IoT) in enterprises. *Technological Forecasting and Social Change*, 136(C), 1-13. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.08.016>
- Makridakis, S. (2017). The forthcoming Artificial Intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. *Futures*, 90, 46-60. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.03.006>.
- McClure, P. K. (2018). “You’re fired,” says the robot: The rise of automation in the workplace, technophobes, and fears of unemployment. *Social Science Computer Review*, 36(2), 139-156. Doi: <https://doi.org/10.1177/0894439317698637>.
- Mo, H. (2021). A SWOT method to evaluate safety risks in life cycle of wind turbine extended by D number theory. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 40(3), 4439-4452. Doi: <https://doi.org/10.3233/JIFS-201277>.
- Nordander, C., Ohlsson, K., Balogh, I., Hansson, G-A<sup>a</sup>, Axmon, A., Persson, R. ve Skerfving, S. (2008). Gender differences in workers with identical repetitive industrial tasks: exposure and musculoskeletal disorders. *Int Arch Occup Environ Health* 81:939–94. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00420-007-0286-9>.
- Opricovic, S. (2011). Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12983-12990. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.097>
- Otto, A. ve Scholl, A. (2013). Reducing ergonomic risks by job rotation scheduling. *OR spectrum*, 35, 711-733. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00291-012-0291-6>.
- Özcan, S. G. , Yıldızbaşı, A. ve Eraslan, E. (2019). İnşaat Firmalarının İSG Bağlamında Bulanık Grup Karar Verme Yaklaşımı ile Değerlendirilmesi.

*Endüstri Mühendisliği*, 30(3), 204-219. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi/issue/50398/606553>

- Paliga, M. (2022). Human-cobot interaction fluency and cobot operators' job performance. The mediating role of work engagement: A survey. *Robotics and Autonomous Systems*, 155, 104191. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2022.104191>.
- Pant, M. ve Kumar, S. (2022). Particle swarm optimization and intuitionistic fuzzy set-based novel method for fuzzy time series forecasting. *Granular Computing*, 7(2), 285-303. Doi: <https://doi.org/10.1007/s41066-021-00265-3>.
- Papetti, A., Ciccarelli, M., Scoccia, C. ve Germani, M. (2021). A multi-criteria method to design the collaboration between humans and robots. *Procedia CIRP*, 104, 939-944. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.158>
- Parameshwaran, R., Kumar, S. P. ve Saravanakumar, K. (2015). An integrated fuzzy MCDM based approach for robot selection considering objective and subjective criteria. *Applied Soft Computing*, 26, 31-41. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.09.025>.
- Park, K. C. ve Shin, D. H. (2017). Security assessment framework for IoT service, *Telecommunication Systems*, 64(1), 193-209. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11235-016-0168-0>.
- Peng, X. ve Yang, Y. (2015). Some results for Pythagorean fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 30(11), 1133-1160. Doi: [10.1002/int.21738](https://doi.org/10.1002/int.21738).
- Peng, X. ve Yuan, H. (2016). Fundamental properties of Pythagorean fuzzy aggregation operators. *Fundamenta Informaticae*, 147(4), 415-446. Doi: <https://doi.org/10.1002/int.21790>.
- Perçin, S. (2023). Identifying barriers to big data analytics adoption in circular agri-food supply chains: a case study in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-17. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26091-5>
- Putz-Anderson, V., Bernard, B. P., Burt, S. E., Cole, L. L., Fairfield-Estill, C., Fine, L. J., Grant, K.A., Gjessing, C., Jenkins, L., Hurrell Jr., J.J., Nelson, N., Pfirman, D., Roberts, R., Stetson, D., Haring-Sweeney, M. ve Tanaka, S. (1997). Musculoskeletal disorders and workplace factors. *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)*, 104, 97-141. Erişim adresi: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/97-141/pdfs/97-141.pdf?id=10.26616/NIOSH97141>.
- Rezagholi, M. ve Bantekas, A. (2015). Making economic social decisions for improving occupational health a predictive cost-benefit analysis. *Occupational Medicine & Health Affairs*. 3(06), 1000225, Doi: <https://doi.org/10.4172/2329-6879.1000225>.

- Savaş, E. (2016). On Generalized Double Statistical Convergence of Order  $\alpha$  in Intuitionistic Fuzzy Normed Spaces. *Mathematical and Computational Applications*, 21(3), 36. Doi: <https://doi.org/10.3390/mca21030036>.
- Schou, C., Andersen, R.S., Chrysostomou, D., Bøgh, S. Ve Madsen, O. (2018). Skill-based instruction of collaborative robots in industrial settings, *Robot. Comput. Integr. Manuf.* 53 72–80, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.03.008>
- Scimmi, L. S., Melchiorre, M., Troise, M., Mauro, S. ve Pastorelli, S. (2021). A practical and effective layout for a safe human-robot collaborative assembly task. *Applied Sciences*, 11(4), 1763. Doi: <https://doi.org/10.3390/app11041763>.
- Sharaf, I. M. ve Khalil, E. A. H. A. (2021). A spherical fuzzy TODIM approach for green occupational health and safety equipment supplier selection. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 16(1), 1-13. Doi: <https://doi.org/10.1080/17509653.2020.1788467>.
- Sriviboon, Y., & Jiamsanguanwong, A. Usability Evaluation and User Acceptance of Cobot: Case Study of Universal Robots CB Series. *The International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Istanbul, Türkiye. Doi: <https://doi.org/10.1145/3419249.3420161>.
- Sumrit, D. (2020). Supplier selection for vendor-managed inventory in healthcare using fuzzy multi-criteria decision-making approach. *Decision Science Letters*, 9, 233–256. Doi: <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2019.10.002>.
- Sun, C. C. (2010). A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert systems with applications*, 37(12), 7745-7754. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.04.066>.
- Veza, I., Mladineo, M., Kutlesa, M., Gjeldum, N., Bilic, B., Crnjac Zizic, M., Alinovic, A. ve Basic, A. (2022). Selection of the Cobot Workstation for the Learning Factory by using the Multi-Criteria Analysis. *12th Conference on Learning Factories, CLF2022*, Singapur. Doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4072387>
- Virgillito, M. E. (2017). Rise of the robots: Technology and the threat of a jobless future, *Labor History*, 58(2), 240-242.
- Vitolo, F., Rega, A., Di Marino, C., Pasquariello, A., Zanella, A. ve Patalano, S. (2022). Mobile Robots and Cobots Integration: A Preliminary Design of a Mechatronic Interface by Using MBSE Approach. *Applied Sciences*, 12(1), 419. Doi: <https://doi.org/10.3390/app12010419>.
- Vysocky, A. ve Novak, P. (2016). Human-robot collaboration in industry. *MM Science Journal*, 9(2), 903-906. Doi: [https://doi.org/10.17973/MMSJ.2016\\_06\\_201611](https://doi.org/10.17973/MMSJ.2016_06_201611)

- Yener, Y. ve Can, G. F. (2021). A FMEA based novel intuitionistic fuzzy approach proposal: Intuitionistic fuzzy advance MCDM and mathematical modeling integration. *Expert Systems with Applications*, 183, 115413. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115413>.
- Yılmaz, B. ve Dağdeviren, M. (2010) Comparative analysis of PROMETHEE and fuzzy PROMETHEE methods in equipment selection problem. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25(4). Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6686/88606>.
- Yılmaz, B. ve Dağdeviren, M. (2011). A combined approach for equipment selection: F-PROMETHEE method and zero-one goal programming. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 11641-11650. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.03.043>.
- Yılmaz Kaya, B. (2022). Human factors engineering on the edge of Industry 4.0: Analysis for IoT-Aided technologies. *Endüstri Mühendisliği*, 33(1), 1-21. Doi: <https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1025701>.
- Yılmaz Kaya, B. (2022). Contemplation and analysis of pandemic impacts on accommodation industry and a system reformulation proposal with Kano model: Turkey case. *Current Issues in Tourism*, 25(8), 1226-1241. Doi: <https://doi.org/10.1080/13683500.2021.2007860>
- Yılmaz Kaya, B. (2022). Minimizing OHS Risks with Spherical Fuzzy Sets as a Verdict to Inventory Management: A Case Regarding Energy Companies. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 9511339. Doi: <https://doi.org/10.1155/2022/9511339>.
- Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2016). Selecting occupational safety equipment by MCDM approach considering universal design principles. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 26(2), 224-242. Doi: <https://doi.org/10.1002/hfm.20625>
- Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2017) A fuzzy marketing strategy benchmarking analysis in service sector. *The 5th International Fuzzy Systems Symposium, TOBB-ETU, Ankara, Türkiye*.
- Yılmaz Kaya, B. ve Dağdeviren, M. (2019). A guiding analysis to accomplish the challenges for implementation of Industry 4.0. *10th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems*, 738-746, Sakarya, Türkiye.
- Yılmaz Kaya, B., Adem, A. ve Dağdeviren, M. (2018). A human centered multi-criteria decision making approach proposition for prioritization of ergonomic factors in terms of working productivity. *The 12th International Conference on New Challenges in Industrial Engineering and Operations Management, Ankara, Türkiye*.

- Yılmaz Kaya, B., Adem, A. ve Dağdeviren, M. (2021). A Multi-criteria Approach to Usability Research for Digital Platforms in Fuzzy Environment. INFUS 2021 Conference, August 24-26, 2021. 417-425, İstanbul, Türkiye.
- Yılmaz Kaya, B., Adem, A. ve Dağdeviren, M. (2022). Dijital ergonomi, akıllı fabrikalar ve işbirlikçi robot uygulamaları. 28. *Ulusal Ergonomi Kongresi*, 14-16 Ekim, Eskişehir, Türkiye.
- Yücesan, M. ve Gül, M. (2020). Hospital service quality evaluation: An integrated model based on Pythagorean fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS. *Soft Computing*, 24(5), 3237-3255. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04084-2>.
- Zacharaki, A., Kostavelis, I., Gasteratos, A. ve Dokas, I. (2020). Safety bounds in human robot interaction: A survey. *Safety science*, 127, 104667. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104667>.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).
- Zhang, Z. (2016). Some hesitant multiplicative aggregation operators and their application in group decision making with hesitant multiplicative preference relations. *International Journal of Fuzzy Systems*, 18(2), 177-197. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40815-016-0158-0>.