



## ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMASI İÇİN STRATEJİLERİN AAS VE TOPSIS YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Buse USLU<sup>1</sup>, Şeyda GÜR<sup>1</sup>, Tamer EREN<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye

### ÖZET

Sanayide Endüstri 4.0 ile ilgili üretimde verimliliğin yükseltilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Endüstri 4.0, ürünlerin ve üretim sistemlerinin yaşam döngüsündeki bütün değer zincirinin, organizasyon ve yönetiminde yeni bir seviye olan dördüncü endüstri devrimidir. Dijital dönüşüm ve Endüstri 4.0 ile birlikte ulaşılabilecek yeni seviyede, insanların ve nesnelerin interneti aynı zamanda sistemlerin birbirleri ile bağlantısı etkin ve verimli bir hale getirilebilecektir. Bu yapı sayesinde dinamik, gerçek zamanlı sistemler optimize edilebilecek ve kendi kendine organize olabilen ağlar oluşturulacaktır. Endüstri 4.0'ın teknoloji dünyasına ve sosyal hayata getireceği yenilikler gün geçtikçe gelişme göstereceği öngörülmektedir.

Şirketler artık kendi kendine yetebilen sistemlere geçmek için Endüstri 4.0'ı bir aracı olarak görmektedir. Yapılan çalışmada ise, Endüstri 4.0'a geçmek isteyen bir şirketin Endüstri 4.0 stratejilerinden hangisini seçmesi gerektiği çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile belirlenmiş ve şirkete sunulmuştur. Endüstri 4.0 strateji seçimine yönelik alternatif ve ölçütler belirlenmiştir. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılarak problem çözümünün gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Endüstri 4.0'a yönelik araştırmalar yapılmış ve ardından çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AAS ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak en uygun strateji seçimi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstri 4.0, Çok ölçütlü karar verme, Analitik ağ süreci, TOPSIS

### ABSTRACT

With the Industry 4.0, work is being done to increase productivity in production. Industry 4.0 is an industrial revolution, a new level in the organization and management of the entire value chain in the life cycle of products and production systems. With Digital Transformation and Industry 4.0 will make it efficient and productive the Internet of objects and the connection of people with each other. Thanks to this structure, dynamic, real-time systems will be optimized, and self-organizing networks will be created. Innovations that Industry 4.0 will bring to the world of technology and social life will improve day by day.

In the study, it was determined by multi-criteria decision-making methods that a company seeking to move to Industry 4.0 should select Industry 4.0 strategies. Alternatives and criteria for the selection of the industry 4.0 strategy have been identified. It is aimed to solve the problem by applying multi-criteria decision-making methods. Companies now see Industry 4.0 as a vehicle to pass autonomous systems. Research has been conducted for Industry 4.0. Then, the most appropriate strategy selection was made by using AAS and TOPSIS methods of multi-criteria decision-making methods.

**Keywords:** Industry 4.0, Multi-criteria decision making, Analytic networking process, TOPSIS

## 1. GİRİŞ

İlk sanayi devrimi (1.0), su ve buhar gücünü kullanarak mekanik sistemler ile ortaya çıkmıştır. Dünya, endüstriyel devrimden beri her dönem katlanarak hızla değişmiştir. Bu devrimi, halkın nüfus artışını ve bundan doğan ihtiyaç açlığını karşılayabilmek için Endüstri 2.0 ve Endüstri 3.0 olarak adlandırılan 2. ve 3. kuşaklar takip etmiştir. İkinci sanayi devriminde (2.0) elektrik gücünün yardımıyla seri üretime geçilmiştir. Üçüncü sanayi devriminde (3.0) ise dijital devrim, elektroniklerin kullanımı ve bilgi teknolojilerinin gelişmesiyle üretim daha da otomatikleştirilmiştir. İlerleyen yıllarda sanayi ve sanayi ürünlerine yapılan yatırımlar ve getirileri aşırı miktarlarda karşılıklı olarak artmıştır.

\*Sorumlu Yazar: [tamereren@gmail.com](mailto:tamereren@gmail.com)

Geliş: 04.07.2018 Kabul:06.12.2018

Günümüzde, büyüyen insan nüfusunun taleplerini karşılamak için bu gelişmeyi daha da ileriye taşımak amacıyla, Sanayi 4.0 adında yeni bir kavramın geçişine adımlar atılmıştır.

Firmanın stratejik kararlar vermesi, en az bir amaç doğrultusunda ve bir ölçüte dayanarak en uygun bir ya da birkaç seçeneği seçme durumudur. Buna göre karar verme süreci karar verici, seçenekler, ölçütler, çevresel etkiler, karar vericinin öncelikleri ve kararın sonuçları elemanlarını içerir. Evren [1], süreç kavramını karar vericinin mevcut seçenekler arasından bir seçim, sıralama ya da sınıflandırma yapması şeklinde tanımlamıştır. Bu aşamada en doğru kararı vermek için çok ölçütlü karar verme yöntemleri karşımıza çıkmaktadır. Belirli ölçütlerin genel olarak ikili karşılaştırmalarının esas alındığı çok ölçütlü karar verme yöntemleri, en doğru kararın verilmesine sayısal verilerle yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada Endüstri 4.0 stratejilerinden en uygun olanının seçim problemi ele alınmıştır. Son zamanlarda neredeyse her şirketin endüstri 4.0'a geçmesi ile beraber bu kavramın literatürde de yerini almaya başladığı görülmektedir. Endüstri 4.0'a geçmek isteyen şirketler hangi stratejiyi seçmesi gerektiğini ve daha sonra nasıl bir sıra izlemesi gerektiğini bilmemektedir. Bunun için yapılan bu çalışmada Endüstri 4.0'a geçmek isteyen bir şirket için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan Analitik Ağ Süreci (AAS) ve Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)'den yararlanarak en uygun strateji belirlenmiştir. Ele alınan problemde; insan kaynakları yönetimi odaklı strateji, iş organizasyonu ve tasarımı odaklı strateji, bilgi sistemi geliştirme stratejisi, kaynakların etkin kullanımı ve standartları ile ilgili strateji ve yeni iş modellerinin geliştirilmesiyle ilgili teknolojiler olmak üzere beş alternatif bulunmaktadır. Bu çalışmada ele alınan ölçütler ise lider, müşteri, yönetim, çalışan, kalite, kültür, organizasyon, teknoloji, operasyon ve ürün olmak üzere on adettir.

AAS ve TOPSIS yöntemleri ile Endüstri 4.0 için belirlenen beş alternatif, önem sırasına göre sıralanmıştır. Endüstri 4.0 için seçim yapmak isteyen şirket karar verme yöntemlerinden herhangi birini kullanarak kendisine en uygun stratejiyi belirleyebilmektedir. Erdoğan vd. [2], çalışmasında Endüstri 4.0 uygulaması için en iyi stratejinin bulunmasını amaçlamıştır. Bu uygulamada ortaya konan ölçütler ile insan kaynakları, iş organizasyonu ve tasarımı, bilgi sistemleri ve kaynakların etkin kullanımı dikkate alınmıştır.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Giriş kısmında Endüstri 4.0 kavramı ve karar verme yöntemleri üzerinde durulmuştur. Ele alınan problemin ölçütlerinden kısaca bahsedilmiştir. İkinci bölümünde Endüstri 4.0 hakkında genel bilgilerden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümünde çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümünde Endüstri 4.0 strateji seçimi ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelenmiştir. Strateji seçimi ile ilgili uygulama beşinci bölümde yapılmıştır. Altıncı bölümde ise yapılan çalışmanın sonuçları verilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

## 2. ENDÜSTRİ 4.0 GENEL BİLGİLER

Endüstri 4.0 ile nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler ve hizmetlerin interneti (kablosuz ağ sistemleri ve sektöre bulut bilişim) gibi teknik ilerlemeyi ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Stratejilerin karşılaştırılmasında kullanılan niteliksel ve niceliksel birbirleri ile çelişebilen birçok ölçütü içerdiğinde, uzmanların karar vermesi çok zor olmaktadır. Uzmanlar bu karmaşık ortamlarla başa çıkabilmek için, süreç içinde kaç tane ölçütün etkili olduğuna karar vermeli ve bir takım olası stratejiler oluşturmalıdır. Bu ölçütleri belirledikleri zaman daha kolay ve sistematik karar vermeleri için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.

Endüstri 4.0 ve strateji, piyasaların kalıplaşmış olduğu, sınırlarının belirli olduğu veya öyle kabul edildiği zamanlarda bile üzerinde net bir uzlaşmaya varılamayan bir kavram olmuştur. Strateji, çok yönlü amaçlara ulaşmak üzere kaynakların üstüne önemle gitmek ve harekete geçmek için yapılmış genel programlardır. Bir organizasyon amaçlarının üzerinde yapılan değişiklikler, kaynakların bu amaçlara erişmek için kullanılması, kâr yönetimi politikaları, temel uzun dönemli amaçların

belirlenmesi, faaliyetlerin bunlara adapte edilmesi ve gerekli kaynakların dağıtılması gibi tüm bu süreç ve faaliyetler işletmenin stratejilerini oluşturur. Endüstri 4.0 ise, teknolojilerin ve değer zinciri organizasyonları kavramlarının birleştirildiği bir bütündür. Endüstri 4.0 kavramı siber-fiziksel sistemlerin kavramına, nesnelerin internetine ve hizmetlerin internetine dayalıdır. Bu yapı akıllı fabrikalar vizyonunun oluşmasına büyük katkı sağlar.

Yönetimin aklında bu yatırımı yapıp yapmama, elde edeceği faydalar ve mevcut iş modelini tehlikeye atıp atmadığı gibi sorular vardır. Aynı zamanda organizasyonel bölümlerin bunu nasıl uygulanacağını bilememesi, iyi fikirlere karşın iş faydasının ortaya konamaması, fikirlerin gerçekleşmesi için diğer departmanlara ve uzmanlara ihtiyaç duyulması ve mevcut Bilgi Teknolojileri (BT)'nin yavaş olduğu ve esnek olmadığı endişesi hakimdir. Teknoloji tarafındaki temel zorluklar ise; mevcut esnek olmayan uygulamalar ve sistemler, kısa vadeli gereksinimleri gerçekleştirme önceliği ve BT yol haritasının sürekli değişmesi olarak özetlenebilir.

Sağladığı katkıların yanı sıra işletmelerin karar noktalarında problem yaşadığı görülmektedir. Endüstri 4.0 ve birçok yeni teknolojinin gelmesi ile birlikte seçim yapmakta da bir o kadar zorlanılmaktadır. Belirlenen ölçüt ve alternatiflere göre çok ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılarak, karar vericinin daha doğru karar vermesini sağlamak amaçlanmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çok ölçütlü karar verme yöntemleri günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. İnsanların, günlük hayatta karşılaştıkları problemlerin çözümüne yönelik farklı yollara sahip olduğu bilinmektedir. Bu yollar göz önüne alındığında seçim yapmak için bu problemi etkileyen ölçütleri değerlendiren yöntemler olarak tanımlanan çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile literatürde birçok çalışma yapılmıştır [3]. Bu çalışmada AAS ve TOPSIS yöntemleri kullanılmış ve bu yöntemler ile ilgili bilgi verilmiştir. AAS yöntemi ile belirlenen ölçütlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. TOPSIS yönteminde ise, AAS yönteminde elde edilen ağırlıklar ile belirlenen alternatiflerin sıralaması yapılmıştır. Böylelikle şirket için Endüstri 4.0'a geçiş aşamasında önem vermesi gereken strateji sıralaması elde edilmiştir.

#### 3.1. Analitik Ağ Süreci Yöntemi

Karar verme problemlerinden birçoğu faktörler arasındaki bağımlılıklardan ve kendi içindeki etkileşimlerden dolayı hiyerarşik olarak yapılandırılmamaktadır. Bu tür karar verme problemlerini analiz etmek, kümeler arasındaki etkileşimleri göz önünde bulundurmaya gerektirmektedir. Saaty [4] alternatifler ve ölçütler arasındaki bu tarz iç veya dış bağımlılıkların olduğu problemlerde kullanmak üzere AAS yöntemini önermiştir [5].

AAS yöntemi beş aşamadan oluşmaktadır:

**Adım 1:** Problemin tanımlanması ve ağ yapısının oluşturulması

Bu adımda ele alınan problem ile ilgili sınırlar ve ölçütlerin yapısı belirlenmektedir. Ölçütler arasındaki etkileşimler, ilişkiler ve geri bildirimlere göre ağ yapısı oluşturulmaktadır. Amaç, ölçütler ve alt ölçütler net bir şekilde ifade edilir.

**Adım 2:** İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması.

Tanımlanan karar problemi içerisindeki ölçütler ve alt ölçütler arasındaki oluşturulan etkileşimlere göre ikili karşılaştırma matrisleri yapılmaktadır. Saaty'nin 1-9 [4] skalası kullanılarak ölçütler /alt ölçütler arası kıyaslamalar yapılmaktadır. Tablo 1'de 1-9 skalası gösterilmektedir.

Tablo 1. 1-9 Skalası

DEĞER	TANIM
1	Eşitlik
3	Az önemli
5	Oldukça önemli
7	Çok önemli
9	Son derece önemli
2,4,6,8	Ara değerler

**Adım 3:** Matrislerin öz vektörlerinin hesaplanması ve tutarlılık analizi

İkili karşılaştırma matrislerinde ölçütler /alt ölçütler tüm etkileşimleri dikkate alınmaktadır. 1-9 skalası yardımıyla kıyaslaması yapılan ölçütler /alt ölçütler öz vektörleri hesaplanmaktadır. Öz vektör hesaplamasında Eşitlik 1'den yararlanılmaktadır.

$$A \cdot w = \lambda_{max} \cdot w \quad (1)$$

Bu değerlerin hesaplanmasından sonra Analitik hiyerarşi prosesinde olduğu gibi tutarlılık analizi yapılmaktadır. 0,1'den küçük olması beklenen bu sonucun elde edilmesi yapılan karşılaştırmaların anlamlı ve tutarlı olduğunun göstergesidir.

**Adım 4:** Süpermatris oluşturma

Süper matris yapısı oluşturulan ağ yapısındaki tüm etkileşimlerin gösterildiği bir matris yapısıdır. Parçalı bir matris yapısına sahip olan süpermatris ikili karşılaştırma matrislerinden elde edilen öz vektör değerlerini içermektedir ve iki ölçüt/alt ölçüt arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bir ağdaki bileşenler  $C_h (h = 1, \dots, n)$  ile gösterildiğinde her bir bileşenin  $n_h$  tane ölçüte sahiptir. Bu faktörler ise  $e_{h1}, e_{h2}, e_{h3}, \dots, e_{hn_h}$  şeklinde gösterilmektedir. Bu durumda bir bileşendeki ölçütün sistemdeki diğer ölçütler üzerindeki etkisi süpermatris yapısında yerleştirilerek ifade edilmektedir. Şekil 1'de genel bir süpermatris yapısı gösterilmektedir.

$$W = \begin{matrix} & & & c_1 & & c_2 & & \dots & & c_N \\ & & & e_{11} & & e_{12} & & \dots & & e_{1n_1} \\ c_1 & e_{11} & & & & & & & & \\ & e_{12} & & & & & & & & \\ & \vdots & & & & & & & & \\ c_2 & e_{21} & & & & & & & & \\ & \vdots & & & & & & & & \\ & e_{nm_n} & & & & & & & & \end{matrix} \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & \dots & W_{1N} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & \dots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \dots \\ W_{N1} & W_{N2} & \dots & \dots & W_{NN} \end{bmatrix}$$

Şekil 1. Süpermatris yapısı

AAS yönteminde 3 çeşit süpermatris yapısı bulunmaktadır. Bu yapılar ağırlıklandırılmamış, ağırlıklandırılmış ve limit matris olarak adlandırılmaktadır. Ağırlıklandırılmamış süpermatris yapısı ikili karşılaştırma matrislerinden elde edilen öncelik değerlerinin matris yapısına yerleştirilmiş halidir. İkili karşılaştırma matrislerinde kıyaslamalar yapıldıktan sonra ağ yapısındaki ilişkili kümelerin birbirleri ile karşılaştırılması sonucunda göreceli öncelik değerler elde edilmektedir. bu öncelik değerleri ile ağırlıklandırılmamış süpermatrisdeki ilgili kısımların öz vektör değerleri ile çarpılması sonucu ağırlıklandırılmış süpermatris yapısı elde edilmektedir. Elde edilen matris yapısındaki değerlerin birbirine yakınsaması için üssel kuvvetleri alınmaktadır.  $(2k+1)$  sayıda üssü alınarak matris içindeki değerler birbirine yakınsayarak limit matris yapısı elde edilmektedir. Burada  $k$  çok büyük bir sayıdır.

**Adım 5:** En iyi alternatifin seçilmesi [6]

Limit matris yapısındaki değerler sonucunda alternatiflerin sıralaması yapılmaktadır. Bu sonuca göre önem derecesi en yüksek olan alternatif en iyi alternatif olarak seçilmektedir.

### 3.2. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi Yoon ve Hwang [7] tarafından geliştirilmiştir. Alternatifler arasında sıralama yaparak, seçilecek olan alternatifin ideal çözüme en yakın mesafede ve negatif ideal çözüme ise en uzak mesafede olmasını sağlayan yöntemdir. Üstünlükleri sıralanmak istenen ölçütlerin satırlarda, karar vermede kullanılacak değerlendirme alternatiflerinin sütunlarda yer aldığı matris kurularak çözüm sürecine başlanır [7].

TOPSIS yöntemi 6 aşamadan oluşmaktadır:

**Adım 1:** Karar matrisinin (A) oluşturulması

Bu adımda ele alınan probleminin, satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenilen alternatifler, sütunlarında ise ölçütlerin yer aldığı başlangıç matrisi (A) oluşturulur.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

$A_{ij}$  matrisinde m alternatif sayısını, n ise ölçüt sayısını ifade etmektedir.

**Adım 2:** Standart karar matrisinin (R) oluşturulması

A matrisinin elemanları kullanılarak Eşitlik 2 yardımıyla standart karar matrisi oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad i=1, \dots, m \quad j=1, \dots, n \quad (2)$$

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

**Adım 3:** Ağırlıklı standart karar matrisinin (V) oluşturulması

Değerlendirilecek ölçütlere ilişkin  $W_j$  değerleri (ağırlık değerleri) belirlenir. Daha sonra standart karar matrisi ile bu ağırlık değerleri çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi elde edilir.

$$V_{ij} = W_j * r_{ij} \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (3)$$

**Adım 4:** İdeal ( $A^*$ ) ve negatif ideal ( $A^-$ ) çözümlerin oluşturulması

Ağırlıklı standart karar matrisine göre ideal ve negatif ideal çözümler oluşturulmaktadır. Eşitlik 4 ve Eşitlik 5 yardımıyla  $A^*$  ve  $A^-$  değerleri hesaplanır.

$$A^* = \{V_1^*, V_2^*, \dots, V_n^*\} \quad (4)$$

$$A^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-\} \quad (5)$$

Bu eşitlikler fayda ve kayıp yani maksimizasyon ve minimizasyon değerlerini göstermektedir. Ulaşılabilir en iyi ölçüt değerlerinin birleşimi ideal çözüm setini, ulaşılabilir en kötü ölçüt değerlerinin bileşimi ise negatif ideal çözüm setlerini göstermektedir.

**Adım 5:** Ayrım ölçütlerinin hesaplanması

Ayrım ölçütlerinin hesaplanmasında Öklid Uzaklık Yaklaşımından faydalanılmaktadır. Her alternatifin pozitif ideal çözüm setinden uzaklığı  $S_i^*$ , negatif ideal çözüm setinden uzaklığı ise  $S_i^-$  olarak gösterilir ve Eşitlik 6 ve Eşitlik 7 yardımıyla hesaplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^*)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

$S_i^-$  ve  $S_i^*$  karar noktası kadar yani alternatif sayısı kadar olacaktır.

**Adım 6:** İdeal çözüme görelî yakınlığın hesaplanması [8].

Her bir karar noktasının ideal çözüme göre yakınlığı hesaplanmaktadır. Eşitlik 8 yardımıyla  $C_i^*$  hesaplanmaktadır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

$C_i^*$  değeri 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır.

#### 4. LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Endüstri 4.0, son yıllarda araştırmacılar tarafından çok ilgi gören bir konu olmuştur. Endüstri 4.0 ile ilgili bazı çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir. Yapılan literatür çalışması, uygulaması yapılan konu ile ilgili çok ölçütlü karar verme yöntemleri ve Endüstri 4.0 ile ilgili çalışmalar olmak üzere iki paragrafa ayrılmıştır.

Hua vd. [9], Long-range pazarlama politikası oluşturmak için stratejik bir planlama çerçevesi geliştirmişlerdir. Bu çerçeve pazarlama yönlendirme ve toplam kalite yönetimi arasındaki ilişkiyi keşfetmek için kullanılmıştır. Bunun için AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemini kullanarak pazarlama stratejik yönelimini üç türden incelemişlerdir. Abdi ve Labib [10], Recon Manufacturing İyileştirilebilir Üretim Sistemi (RMS)'ne yönelik bir tasarım stratejisi seçme problemini ele almışlardır. RMS çalışmasına dayanan uygun alternatifler arasından bir üretim sisteminin seçilmesi için karar verme sürecinde AHP yöntemini kullanmışlardır. Mevcut kaynakları alternatif çözümlere sunmak için sırt çantası algoritmasını kullanmışlardır. Ayyıldız [11], bilgisayarla bütünleşik imalat (CIM) yatırımını değerlendirirken bulanık AHP (BAHP) yöntemini kullanmıştır. Li ve Li [12], belirsiz uzman sistemleri için AHP ve simülasyon ile belirsizlik altında strateji oluşturma durumunu ele almışlardır. AHP yöntemini kullanarak stratejik karar verme sürecinde etkili olan faktörlerin önem

sırasını belirlemişlerdir. Chandima ve Markeset [13], yapılan çalışmada TI (Technical Integrity) ve bakım yönetimi arasında sinerji iyileştirmesi gereğini vurgulamışlardır. AHP yöntemi ile bakım stratejisi seçim problemini çözmüşlerdir. Paksoy vd. [14], dağıtım kanal yönetim organizasyon stratejisini BAHF yöntemini kullanarak geliştirmişlerdir. Fouladgar vd. [15], belirsiz bir ortamda bakım stratejisi seçimi için AHP ve COPRAS (karmaşık orantılı değerlendirme) yöntemini kullanmışlardır. Bir gerçek örnek çalışma uygulanması ile önerilen modelin etkinliğini sunmuşlardır. Zaim vd. [16], kritik üretim gereksinimleri olan kuruluşlar için en uygun bakım stratejisi seçimi için AHP ve AAS yöntemlerini kullanmışlardır. Wu vd. [17], yatırım stratejisi seçimini yapmak için AHP- grup karar yapma modelini önermişlerdir. Veza vd. [18], Endüstri 4.0'daki akıllı fabrikaların üretim ağlarını ele almışlardır. Ayrıca, yenilikçi üretim ağları, Endüstri 4.0'ın kilit unsurlarından biri olarak görülmektedir. Yapılan çalışmada, otomatik eş seçimi için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden PROMETHEE yöntemini kullanmışlardır.

Forstner ve Dümmler [19], akıllı fabrikanın Endüstri 4.0'ın merkezi unsuru olduğunu söylemişlerdir. Şirketler arasında birleşik değer zincirlerini etkileştirmek için inovatif çözümler üretmeyi amaçlamışlar ve sunmuşlardır. Can vd. [20], Endüstri 4.0'ın üretim ile doğrudan ya da direkt olarak ilişkili olan bütün birimlerin birbiri ile ortak çalışmasını planladığını, dijital verilerin, yazılım teknolojilerinin birbiri ile birleşik halinde çalışması gerektiğini belirtmişlerdir. Schumacher vd. [21], Endüstri 4.0'ın internetin ve fiziksel nesnelere, akıllı makineleri, üretim hatlarını ve süreçlerini birleştirmenin omurgasını oluşturduğundan bahsetmişlerdir. Çalışmalarında 9 boyut ve 62 bileşenden oluşan bir model kurmuşlardır. Kolberg vd. [22], Endüstri 4.0 ile gelişen siber fiziksel sistemler kullanarak yalın üretim yöntemlerini incelemişler ve bu yöntemler ile ilgili çalışma sunmuşlardır. Yapılan bu çalışmada, bahsedilen konu için bir ara yüz geliştirmişlerdir. Sepulcre vd. [23], Endüstri 4.0 kavramında, geleneksel endüstrilerin uyumluluklarını geliştirmek, iyileştirmek ve kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmak için ara bağlantı ve bilgisayarlaşma düşüncesinden bahsetmişlerdir. Oesterreich ve Teuteberg [24], "Endüstri 4.0" kavramını, işletme otomasyonuna yönelik eğilimi olduğunu belirtmek için kullanılan popüler bir terim olarak tanımlamışlardır. Yapılan çalışmanın amacı, endüstrinin en son halini, devletin politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, çevresel ve yasal etkilerini ortaya koyarak incelemektir. Rennung vd. [25], hizmet sektörünü Endüstri 4.0 perspektifinden incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, ilgili iş hizmetlerinin belirlenmesi ve "Endüstri 4.0" projesi için hizmet ağlarına bilimsel yaklaşımların uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini yapmışlardır. Fleischmann vd. [26], siber fiziksel sistemler tabanlı izleme sistemleri için yeni sistem ve yaklaşımlardan söz etmişlerdir. Gorecky vd. [27], geleceğin vizyonunun fabrikasını gerçeğe dönüştürmek için birçok gereksinimin karşılanması gerektiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada Vistra firmasında gelişmiş bir sanal eğitim sisteminin tasarımı, uygulanması ve değerlendirilmesi üzerinde durmuşlardır. Bunun için otomotiv endüstrisini seçmişlerdir. Otomotiv endüstrisi, siber fiziksel sistemler ve nesnelere interneti gibi gelecekteki fabrika sistemlerinin olmazları başında gelecek endüstrilerden sadece biri olarak görülmektedir. Grundstein vd. [28], Endüstri 4.0 ile ortaya çıkan siber-fiziksel üretim sistemlere olan gereksinimi belirtmişlerdir. İşyeri imalatında kendi kendine yeten üretim kontrol yönetimi (APC) hakkında bir çalışma önermişlerdir. Kendi kendine yetebilen üretim kontrol yönetimi ile teslim tarihlerini karşılamak için sipariş, sıralama ve kapasite kontrol görevlerini birleştirmişlerdir. Oluşturdukları simülasyon ile APC yönetimini diğer yöntemler ile karşılaştırmışlardır. Barbosa vd. [29], Endüstri 4.0 vizyonunun, siber fiziksel sistemler (CPS) ve akıllı ürününün (IP) kavramlarını incelemişlerdir. İncelenen iki yaklaşımın entegrasyonunun gelecekteki akıllı endüstriler için faydalı olduğunu söylemişlerdir. Macit [30], kurumsal kaynak planlamasını klasik anlamın dışında tanımlayarak veri işleme ve aktarımı kavramlarını Endüstri 4.0 ile farklı bir boyuta taşımışlardır. Yapılan bu çalışmada Endüstri 4.0 ve kurumsal kaynak planlama ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Çalışma doğrultusunda uygulama sırasında bir çatı önermişlerdir. Oluşturulan yapısal sistemin Endüstri 4.0 işleyişine katkısı ve gelecekteki önemini vurgulamışlardır. Ögüt vd. [31], çalışmalarında hidrolik sistemlerde ve pompa üretiminde gürültünün minimizasyonu amaçlayarak, uygulamaları Endüstri 4.0 vizyonu ile incelemişlerdir. Öztürk vd. [32], mobilya sektörünün yapısı gereği gelişmeye ve gelişen teknolojiye açık olunması gerektiğini belirtmişlerdir.

Mobilya sektöründe gelecekte dijital teknolojilerin ön plana çıkacağı öngörülmüştür. Bu çalışmada, mobilya endüstrisinin Endüstri 4.0'a yaklaşımı, Endüstri 4.0'ın mobilya endüstrisine olası etkileri, geçiş ve dönüşüm süreci değerlendirilmiştir ve bu değerlendirmeler sonucunda öneriler geliştirilmiştir. Mrugalska vd. [33], Endüstri 4.0 kavramını, yaptıkları çalışmada, “ürünlerin yaşam döngüsü boyunca yeni bir değer zinciri organizasyonu ve yönetimi seviyesi” olarak tanımlamışlardır. Çalışmada Endüstri 4.0 süreci için yalın üretim tekniklerinden faydalanmışlardır. Yıldız [34], günümüzdeki rekabet ortamı düşünülürse, işletmelerin varlıklarını koruyabilmeleri ve sürdürebilmeleri için Endüstri 4.0'ı organizasyonlarına uygulaması gerektiğinden bahsetmiştir. Yapılan çalışmada, Endüstri 4.0 ve temel paradigmaları açıklanmış, akıllı fabrikalar hakkında bilgi verilerek genel bir değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca çalışma içerisinde siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, bulut tabanlı imalat ve akıllı fabrikalar konularına değinilmiş ve Endüstri 4.0 için önemi gösterilmiştir.

## 5. UYGULAMA

Bu çalışmada Endüstri 4.0'a geçmek isteyen bir şirketin hangi ölçütlere önem vermesi gerektiğini ve hangi stratejiler doğrultusunda ilerlemesi gerektiğini belirlemek üzere çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AAS ve TOPSIS'den yararlanılmıştır. AAS yöntemini kullanarak Endüstri 4.0'a ait ölçütlerin önem ağırlıkları bulunmuştur. Elde edilen ölçütlerin önem ağırlıkları TOPSIS yöntemine aktarılarak Endüstri 4.0'a geçmek isteyen bir şirketin hangi stratejileri sırasıyla uygulaması gerektiği belirlenmiştir.

Endüstri 4.0 strateji seçimi için belirlenen insan kaynakları yönetimi odaklı strateji, iş organizasyonu ve tasarımı odaklı strateji, bilgi sistemi geliştirme stratejisi, kaynakların etkin kullanımı ve standartları ile ilgili stratejiler ve yeni iş modellerinin geliştirilmesiyle ilgili teknolojiler olmak üzere beş alternatif bulunmaktadır. Bu çalışmada ele alınan ölçütler ise lider, müşteri, yönetim, çalışan, kalite, kültür, organizasyon, teknoloji, operasyon ve ürün olmak üzere on tanedir. Erdoğan vd. [2], çalışması baz alınarak ölçütler ve alternatifler belirlenmiştir. Aynı zamanda literatürdeki çalışmalardan yararlanılarak ve Endüstri 4.0 ile ilgili uzman 5 kişiye danışılarak ölçütler ve alternatifler oluşturulmuştur. Uzman kişilerin görüşleri geometrik ortalama ile birleştirilmiş daha sonra ikili karşılaştırma matrislerine aktarılmıştır. Çalışmanın uygulama kısmı ise Türkiye'de bulunan orta ölçekli özel bir beyaz eşya şirketi olup büyük firmalara ürün üreten bir firmada gerçekleştirilmiştir. Burada yapılan çalışmanın sonuçları öneri olarak sunulmuştur. Tablo 2'de ana ölçütler ve alt ölçütler, Tablo 3'te alternatifler gösterilmektedir.

**Tablo 2.** Ana ölçütler ve alt ölçütler

Ana Ölçütler	Alt Ölçütler
İdari	Liderlik
	Yönetim
	Çalışan
	Müşteri
Sistem	Teknoloji
	Kalite
	Organizasyon
	Kültür
Süreç	Ürün
	Operasyon

Tablo 2'de bulunan alt ölçütlere bakıldığında; liderlik, şirket içinde oluşturulan gruptaki lider kişinin grup içindeki performansını ölçmek için ilgili grupta çalışan diğer kişilerin değerlendirmesi gerekmektedir. Yönetim, şirket içinde belirlenen işlerin yönetime geçirilmesindeki etkinlik değeri olarak tanımlanmıştır. Çalışan, ilgili bölümlerdeki kişilerin çalışma performansınıdır. Müşteri, şirketin planladığı müşteri hedefi ve müşteri çeşitliliği; teknoloji, şirketteki



sistemde kullanılan teknolojiler ve bu teknolojilerin Endüstri 4.0' a olan uygunluğu; kalite, sistemin tanımladığı kalite kavramına göre uygunluk dereceleri; organizasyon, sistemin oluşturduğu organizasyon biçimlerinin değerlendirilmesi; kültür, şirketin oluşturduğu şirket kültürünün çalışanlar tarafından değerlendirilmesi; ürün, üretilen ürünün miktarı ve üretim sırasındaki performansı; operasyon, süreç içinde oluşturulan tüm kaynakların ürün ya da hizmete dönüştürülmesi için gereken uygulamaların değerlendirilmesi olarak tanımlanmıştır.

**Tablo 3.** Alternatifler

Alternatifler	
A1	Yeni İş Modellerinin Geliştirilmesiyle ilgili Teknolojiler
A2	Bilgi Sistemleri Geliştirme Stratejisi
A3	Kaynakların Etkin Kullanımı ve Standartları ile ilgili Stratejiler
A4	İnsan Kaynakları Yönetimi Stratejisi
A5	İş organizasyonu ve Tasarımı Odaklı Strateji

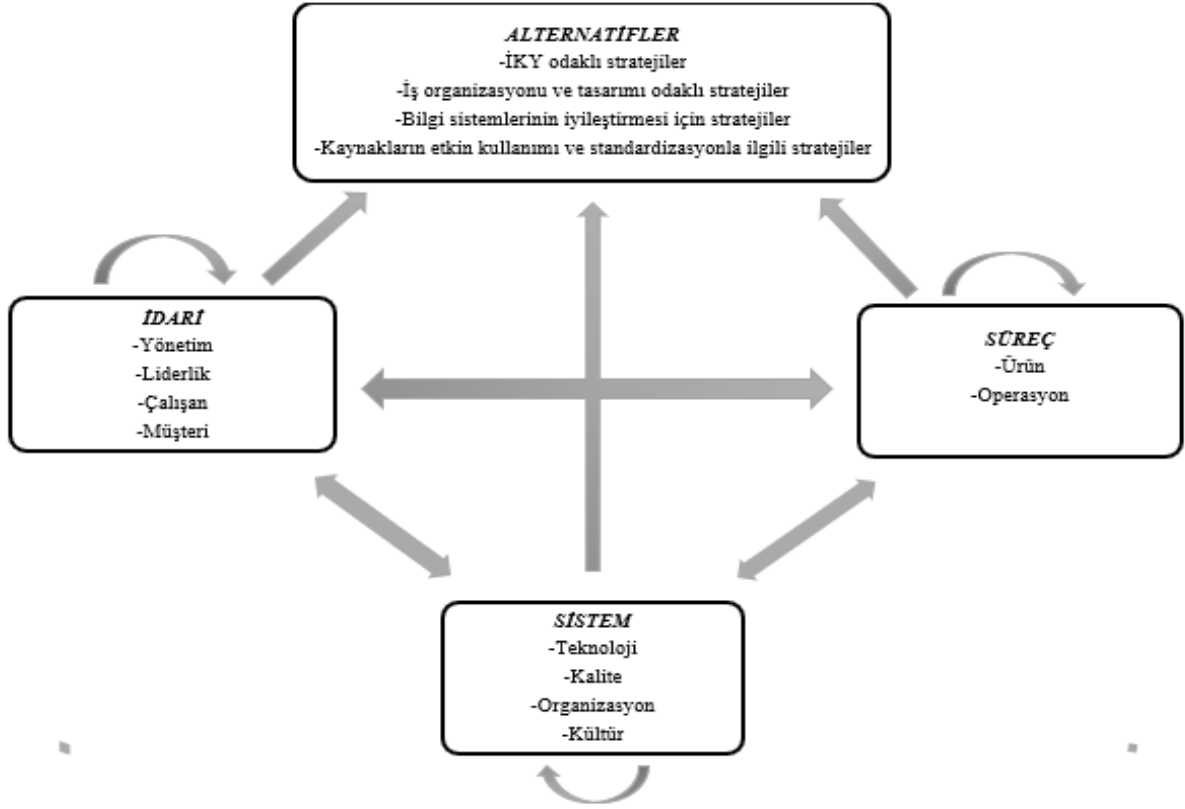
Endüstri 4.0 strateji seçim probleminde insan kaynakları, yeni iş modelleri, bilgi sistemi, kaynakların etkin kullanımı, iş organizasyonu ve tasarım üzerine yoğunlaşılması gerektiği görülmektedir. Bunun için Tablo 2'de de görüldüğü gibi alternatifler oluşturulmuştur. Yeni iş modellerinin geliştirilmesiyle ilgili teknolojiler; Endüstri 4.0'ın bilişim ile ilgili olmasından dolayı Endüstri 4.0'a geçiş aşamasında yeni bir teknolojik yapının gelmesi ya da geliştirilmesi gerektiğine yönelik bir stratejidir. Bilgi sistemleri geliştirme stratejisi ise, şirkette bulunan bilgi sisteminin Endüstri 4.0'a olan yakınlığı ve Endüstri 4.0'a geçebilmeleri için gerekli olan alt yapı ve düzeneklerdir. Kaynakların etkin kullanımı ve standartları ile ilgili stratejiler ise, Endüstri 4.0 ile birlikte stokların azaltılması ve eldeki kaynakların etkin kullanılmasının daha da önem arz ettiğini göstermektedir. Bunun için şirkete bağlı izlenecek yol ve yapılması gereken işlemlerle ilgili belirlenen yöntemlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. İnsan kaynakları yönetimi stratejisi; şirketlerin yapı taşı olan insan kaynaklarının belirledikleri yönetim ve planları doğrultusunda Endüstri 4.0'a nasıl geçiş yapacakları ve nereden başlamaları gerektiği ile ilgili işlemleri yapmaları için belirlenen stratejidir. İş organizasyonu ve tasarımı odaklı strateji; şirkette bulunan iş organizasyonu ve tasarımı ile ilgili Endüstri 4.0'a geçişinde gerçekleştirilecek ürün tasarımı ve işleyişi ile ilgili belirlenen yöntemleri içermektedir.

### 5.1. AAS Uygulama Adımları

Endüstri 4.0 strateji seçim probleminde ele alınan problemin ölçütlerinin önem derecelerini dikkate alınmıştır. Dikkate alınan on ölçüt, idari, sistem ve süreç olmak üzere üç ana ölçütte toplanmıştır. Üç ana ölçütte toplanılan ölçütler Tablo 2'de gösterilmektedir. AAS yöntemi sonunca belirlenen ölçüt ağırlıklarının önem dereceleri tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Bu belirlenen ölçütler ele alınarak ölçütler arasındaki etkileşimleri ve bağımlılıkları gösteren ağ yapısı oluşturulmuştur. Şekil 2'de bu ağ yapısı verilmektedir.

Ağ yapısında yapılan iç bağımlılık ve dış bağımlılıkların karşılaştırmalarda örnek olarak; yönetim ölçütü, iç bağımlılık olarak liderlik, çalışan ve müşteri ölçütlerini etkilerken; dış bağımlılık olarak sistem ve süreç ana ölçütlerin alt ölçütlerini etkilemektedir. Endüstri 4.0 strateji seçimi için ölçütler arasındaki etkileşimler, literatürde yapılan çalışmalar ve uzman görüşler doğrultusunda tanımlanmıştır.

Bu ikili karşılaştırma matrisleri Super Decision Paket programı yardımıyla çözülmüştür. AAS yöntemi sonucu elde edilen alt ölçüt ağırlıkları Tablo 4'te gösterilmiştir.



Şekil 2. Ağ Yapısı

Tablo 4. Ölçütlerin önem dereceleri

Ana Ölçütler	Ana Ölçüt Ağırlıkları	Alt Ölçütler	Alt Ölçüt Ağırlıkları	Ana Ölçüt*Alt Ölçüt
İdari	0,38	Liderlik	0,55	0,2090
		Yönetim	0,12	0,0456
		Çalışan	0,07	0,0266
		Müşteri	0,26	0,0988
Sistem	0,30	Teknoloji	0,21	0,0630
		Kalite	0,46	0,1380
		Organizasyon	0,22	0,0660
		Kültür	0,11	0,0330
Süreç	0,32	Ürün	0,51	0,1632
		Operasyon	0,49	0,1568

Tablo 4'te bulunan ölçüt ağırlıkları elde edilmiştir. Çözüm sonucunda tutarlılık oranı 0,1'den düşük çıkmıştır. Tablo 4'teki alt ölçütlerin, ana ölçütler bazında toplamı 1 etmektedir. Tablo 4'te bulunan ölçütlerin ağırlık sıralamasına göre en önemli ölçütün, idari ana ölçütünün alt grubu olan liderlik ölçütü olduğu görülmektedir. Ölçüt ağırlıklarına bakıldığında ana ölçütlerde yer alan idari ölçütü ilk sırada yer almaktadır. Daha sonra süreç ölçütünün geldiği en son sırada ise sistem ölçütünün yer aldığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre alt ölçütlere bakıldığında %55 oranda liderlik ölçütü ilk sırada yer alırken; bu sıralamanın en altında %7 oranı ile çalışan ölçütü yer almaktadır. Bu ölçütlerin önem dereceleri seçilecek olan strateji için büyük önem arz etmektedir. AAS yöntemi ile elde edilen ölçütlerin önem derecelerini TOPSIS yönteminde kullanarak en uygun strateji sıralamasının yapılması amaçlanmıştır.

## 5.2. TOPSIS Uygulama Adımları

Endüstri 4.0 strateji seçimini etkileyen ölçütlerin önem dereceleri kullanılarak TOPSIS yönteminin uygulama adımlarına geçilmiştir. TOPSIS yönteminde kullanılan ölçütlerin önem dereceleri Tablo 4'te gösterilmektedir.

### Karar Matrisinin Oluşturulması:

Oluşturulan karar matrisi değerleri, belirlenen ölçütlere göre stratejilerin ikili karşılaştırmaları 1-10 skalasında yapılmıştır. Değerlendirme skalası sonucunda meydana gelen karar matrisi Tablo 5'te gösterilmiştir.

**Tablo 5.** Karar Matrisi

Alt. Ölçüt	Liderlik	Müşteri	Yönetim	Çalışan	Kalite	Kültür	Organizasyon	Teknoloji	Operasyon	Ürün
A1	0,05	0,24	0,05	0,41	0,06	0,06	0,06	0,18	0,18	0,12
A2	0,41	0,09	0,40	0,32	0,11	0,47	0,14	0,05	0,43	0,22
A3	0,08	0,12	0,08	0,04	0,41	0,11	0,49	0,20	0,10	0,06
A4	0,28	0,09	0,28	0,12	0,28	0,23	0,14	0,09	0,22	0,38
A5	0,18	0,45	0,19	0,11	0,13	0,13	0,17	0,48	0,07	0,21

### Standart Karar Matrisinin Oluşturulması:

Karar matrisindeki değerlerin kareleri toplamının karekökü alınarak Tablo 6'da bulunan standart karar matrisi oluşturulmuştur.

### Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Oluşturulması:

Ağırlıklı standart karar matrisini oluşturmak için standart karar matrisi ile ölçütlerin ağırlıkları çarpılarak, Tablo 7'deki ağırlıklı standart karar matrisi elde edilmiştir.

**Tablo 6.** Standart karar matrisi

Alt. Ölçüt	Liderlik	Müşteri	Yönetim	Çalışan	Kalite	Kültür	Organizasyon	Teknoloji	Operasyon	Ürün
A1	0,10	0,45	0,09	0,75	0,11	0,11	0,10	0,32	0,34	0,24
A2	0,76	0,17	0,75	0,58	0,21	0,85	0,25	0,09	0,81	0,44
A3	0,15	0,22	0,15	0,07	0,78	0,20	0,88	0,36	0,19	0,12
A4	0,52	0,17	0,53	0,22	0,53	0,42	0,25	0,16	0,42	0,75
A5	0,34	0,83	0,36	0,20	0,25	0,23	0,30	0,86	0,13	0,42

**Tablo 7.** Ağırlıklı standart karar matrisi

Ağırlıklar	0,55	0,26	0,12	0,07	0,46	0,11	0,22	0,21	0,49	0,51
Alt. Ölçüt	Liderlik	Müşteri	Yönetim	Çalışan	Kalite	Kültür	Organizasyon	Teknoloji	Operasyon	Ürün
A1	5,53	11,57	1,13	5,27	5,22	1,19	2,29	6,76	16,65	12,12
A2	42,00	4,34	9,02	4,08	9,58	9,34	5,44	1,88	39,78	22,22
A3	8,20	5,79	1,80	0,51	35,70	2,19	19,33	7,47	9,25	6,06
A4	28,69	4,34	6,31	1,53	24,38	4,57	5,52	3,38	20,35	38,39
A5	18,44	21,70	4,28	1,40	11,32	2,58	6,71	18,02	6,48	21,21

İdeal (A\*) ve İdeal (A-) Çözümlerinin Oluşturulması:

Her bir değerlendirme faktörünün monoton artan veya monoton azalan eğilimlere sahip olduğu bilinmektedir. İdeal çözüm için Tablo 7’de bulunan ağırlıklı standart matristeki sütun değerlerinin en büyüğü seçilir. Negatif ideal çözümde ise, belirlenen sütunun en küçük değeri seçilir. Oluşturulan ideal ve negatif ideal çözüm setleri Tablo 8’e yerleştirilmiştir.

Ayrım Ölçütlerinin ve İdeal Çözüme Göreli Yakınlığının Hesaplanması:

Bu aşamaya kadar monoton artan ve monoton azalan eğilimlerine sahip olduğu varsayılan ideal çözümler hesaplanmıştır. Varsayılan bu ideal çözümler ideal ve negatif ideal çözüm setleri olarak ayrılmış ve sapmaları hesaplanmıştır. Hesaplanan sapmalar, belirlenen ideal ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları hesaplanmış ve Tablo 9’da stratejiler sıralanmıştır.

**Tablo 8.** İdeal ve Negatif İdeal çözüm setleri

<b>İdeal Çözüm</b>	42,00	21,70	9,02	5,27	35,70	9,34	19,33	18,02	39,78	38,39
<b>Negatif İdeal Çözüm</b>	5,53	4,34	1,13	0,51	5,22	1,19	2,29	1,88	6,48	6,06

**Tablo 9.** Sonuç Tablosu (ideal çözüme yakınlık)

<b>ALTERNATİFLER</b>	<b>C<sub>i</sub></b>	<b>TERCİH SIRASI</b>
A1	0,17	5
A2	0,54	1
A3	0,38	3
A4	0,45	2
A5	0,33	4

Kullanılan TOPSIS yöntemi ile Endüstri 4.0 strateji seçiminde en uygun strateji seçimi yapılmıştır. Tablo 9’a bakıldığında C<sub>i</sub> değerlerin en büyüğü olan %54 ile A2 yani bilgi sistemleri geliştirme stratejisi olarak belirlenmiştir. Bir şirket Endüstri 4.0 strateji seçiminde ilk önce A2 alternatifine odaklanması gerektiği görülmektedir. Bu sırayı takip eden sıralama ise A4-A3-A5-A1’dir. Strateji seçiminde en son öneme sahip olan strateji ise yeni iş modellerinin geliştirilmesiyle ilgili teknolojiler stratejisidir. Oluşturulan sıralama ile Endüstri 4.0 strateji seçiminde daha az zaman ve maliyet için en uygun sıra olduğu görülmektedir.

**6. SONUÇ ve ÖNERİLER**

Şirketler arası rekabet oldukça fazla olması sebebiyle şirketlerin hedefinde daha az maliyet, daha hızlı teslim ve daha kaliteli ürün ya da hizmet gibi faktörler yer almaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile beraberinde gelen bilgi- bilişim sistemleri bu rekabeti oldukça arttırmıştır ve artık dijital çağa geçilmiş durumdadır. Bu çağı elinde tutan ya da bu çağa adapte olmak isteyen şirketler hızla Endüstri 4.0’a geçmeyi amaçlamaktadırlar. Hızla artan bu rekabetin farkında olan şirketler Endüstri 4.0’a geçmesi için gerekli stratejileri ve ölçütleri belirleyerek kendi şirketlerine uygulamalı ve hızlı bir şekilde piyasaya atılmalıdır. Bunun için kendisine en uygun stratejiyi belirlemek zorundadır.

Bu çalışma kapsamında, bir vaka çalışması ile Endüstri 4.0 uygulaması için en iyi stratejiyi seçme problemi ele alınmıştır. Piyasada yeni bir kavram olması ile beraber şirketler hangi stratejiden başlayacağını bilmemektedir ya da yanlış bir yol izleyerek yüksek maliyetlere katlanmak zorunda kalmaktadır. Bunun için yapılan çalışmada öncelikle Endüstri 4.0 kavramına değinilmiştir. Endüstri 4.0 için şirketlerin hangi stratejilere odaklanabilecekleri sıralanmış ve bu stratejiler için başlıca önemli

on ölçüt belirlenmiştir. Bu stratejilerin hangi sıra ile uygulanacağını belirleyebilmek için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AAS ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada uzman kişiler yardımıyla, ele alınan insan kaynakları yönetimi odaklı strateji, iş organizasyonu ve tasarımı odaklı strateji, bilgi sistemi geliştirme stratejisi, kaynakların etkin kullanımı ve standartları ile ilgili stratejiler ve yeni iş modellerinin geliştirilmesiyle ilgili teknolojiler olmak üzere beş alternatif; lider, müşteri, yönetim, çalışan, kalite, kültür, organizasyon, teknoloji, operasyon ve ürün olmak üzere on tane ölçüt belirlenmiştir. AAS yöntemi ile ölçütlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Ağırlıkları hesaplanan ölçütler, TOPSIS yönteminde kullanılarak en uygun strateji sıralaması bulunmuştur. Bu sıralamada en iyi stratejinin %54 ile bilgi sistemleri geliştirme stratejisi olduğu ve %17 ile sıralamada en son sıraya giren yeni iş modellerinin geliştirilmesiyle ilgili teknolojiler stratejisi olduğu görülmektedir. AAS yöntemi sonucunda hesaplanan ölçüt ağırlıklarına bakıldığında %55 oranı ile en yüksek değere sahip olan “Liderlik” ölçütünün yer aldığı görülmektedir. Sonuç olarak genel bir sıralamaya bakarsak, A2-A4-A3-A5-A1 sıralaması elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre bilgi sistemleri geliştirme stratejisi ilk sırada yer almaktadır. Uygulanan vaka analizine bakıldığında, işletmenin Endüstri 4.0’a geçiş sürecinde bilgi sistemlerinin gelişimi üzerine yoğunlaşması gerektiği görülmektedir. Endüstri 4.0 ‘ın temelinde veri akışlarının kendi kendine yetebilen sistemlerle bütünleşik bir şekilde çalışacağı yatmaktadır. Ele alınan problemde ise şirket bu alan üzerinde düzenlemeler yaparsa Endüstri 4.0’a geçiş sürecinde daha rahat edeceği görülmektedir. Aksi taktirde Endüstri 4.0’a uyum sağlamakta zorlanılacağı ve daha büyük problemle karşılaşılacağı öngörülmektedir. Ayrıca Endüstri 4.0’ a geçmek isteyen başka şirketlerinde, belirledikleri ekip ve uzmanların değerlendirmeleri sonucunda bu vaka analizini örnek alabileceği ve uygulayabileceği önerilmektedir.

Yapılan vaka analizinde uzmanların AAS’de ölçütler arasındaki karşılaştırmaları sonucunda teknoloji ölçütü en son sırada çıkmıştır. Bunun sebebi ele alınan yerin Endüstri 4.0’ın ölçütlerine göre değerlendirilmesidir. Burada şirketin Endüstri 4.0’a göre hangi ölçütü daha çok düşünmesi gerektiğinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Endüstri 4.0’a geçiş yapmak isteyen bir şirket, yapılan bu çalışmayı örnek alması ve kendilerine göre değerlendirme yapması gerekmektedir. Çalışmanın sonucunda, ele alınan problem ve ölçüt değerlendirmeleri ile o şirketin hangi strateji ile başlaması gerektiğini ve izleyeceği strateji sıralaması belirlenmiştir. Örneğin çalışma sonucunda bilgi sistemlerinin geliştirilmesi daha sonra insan kaynakları yönetiminin Endüstri 4.0 kavramına göre düzenlenmeleri gerektiği önerilmiştir. Bu yolda şirketler birkaç stratejiyi aynı anda uygularsa büyük problemlere yol açabileceği düşünülmektedir.

Son yıllarda şirketlerin ilgi alanına giren Endüstri 4.0 kavramı, literatürde de yerini almaktadır. Literatürde Endüstri 4.0 kavramı geçse de çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile bir strateji seçimine rastlanılmamıştır. Bu noktada araştırmacılara katkıda bulunulması, aynı zamanda karar vericilerin strateji seçim süreçlerinde etkili olan ölçütlerin en iyi strateji seçim sürecindeki üzerindeki rolünün belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma stratejilerin sıralanmasını içererek işletme için hangi sırayı izlemesine dair bir öneride bulunulmuştur dolayısıyla bu durum bu çalışmanın sınırlarını oluşturmaktadır. Stratejilerin tamamlayıcı özelliği bu çalışma için göz ardı edilerek bağımsız olarak varsayımında bulunulmuş ve bu çalışmada bu varsayım altında çözüm gerçekleştirilmiştir. Alternatifler arasında bulunan stratejilerin aynı anda değerlendirilebilmesi ilerleyen çalışmalar için araştırmacılara öneri olarak sunulmaktadır. Ayrıca ilerleyen çalışmalarda belirlenen stratejilere daha ayrıntılı yaklaşılarak şirketlerin kendileri için uygun olabilecek alternatif stratejiler eklenebilir, daha sonraki yıllarda karşılımları çıkan farklı ölçütlerde göz önüne alınabilir. Ayrıca ele alınan problemde sadece çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AAS ve TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. İlerleyen çalışmalarda ise bu yöntemlerin bulanık karar verme yöntemleri ile çözümü sonucu daha karmaşık sorunlara çözüm bulunabileceği ön görülmektedir.

## KAYNAKÇA

- [1] Evren R, Ülengin F. Yönetimde çok amaçlı karar verme. Istanbul Technical University Publications, Istanbul, Turkey, 1992.
- [2] Erdoğan M, Ozkan B, Karasan A, Kaya I. Selecting the best strategy for industry 4.0 applications with a case study. In: industrial engineering in the industry 4.0 era. Springer, Cham, 109-119, 2018.
- [3] Abalı YA., Kutlu BS., Eren T. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile bursiyer seçimi: bir eğitim kurumunda uygulama. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 2012; 26.3-4.
- [4] Saaty T. The analytical hierarchy process, planning, priority. Resource allocation. RWS publications, USA, 1980.
- [5] Şah N. Analytic network process and evaluation of alternative routes between Mersin-Torino. MSc, Dokuz Eylül University, Izmir, Turkey, 2010.
- [6] Ayık Y, Kılavuz Y. Analitik ağ süreci yaklaşımı ve TOPSIS yöntemi ile öğrenci işleri bilgi sistemi yazılımı seçimi. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 2013; 27(4):1-18.
- [7] Yoon P. Hwang, Ching-Lai. Multiple Attribute Decision Making: An Introduction. SAGE Publications, 1995.
- [8] Demireli E. TOPSIS çok kriterli karar verme sistemi: Türkiye'deki kamu bankaları üzerine bir uygulama. Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi, 2010; 5(1):101-112.
- [9] Hua Lu, M., Madu, C. N., Kuei, C. H., Winokur, D. Integrating QFD, AHP and benchmarking in strategic marketing. Journal of Business & Industrial Marketing, 1994, 9.1: 41-50.
- [10] Abdi R, Labib W. A design strategy for Reconfigurable Manufacturing Systems (RMSS) using analytical hierarchical process (AHP): a case study. Int J Prod Res, 2003, 41.10: 2273-2299.
- [11] Ayyıldız G. The Evaluation of CIM investments using fuzzy AHP method. MSc, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 2003.
- [12] Li S, Li, Jim Z. Hybridising human judgment, AHP, simulation and a fuzzy expert system for strategy formulation under uncertainty. Exp. Sys. with App., 2009, 36.3: 5557-5564.
- [13] Chandima RM, Markeset T. Technical integrity management: measuring HSE awareness using AHP in selecting a maintenance strategy. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2010, 16.1: 44-63.
- [14] Paksoy T, Pehlivan Y, Kahraman C. Organizational strategy development in distribution channel management using fuzzy AHP and hierarchical fuzzy TOPSIS. Exp. Sys. with App., 2012, 39.3: 2822-2841.
- [15] Fouladgar M. Yazdani-Chamzini A, Lashgari A, Zavadskas EK, Turskis Z. Maintenance strategy selection using AHP and COPRAS under fuzzy environment. International Journal of Strategic Property Management, 2012, 16.1: 85-104.

- [16] Zaim S, Turkyılmaz A, Acar MF, Al-Turki U, Demirel OF. Maintenance strategy selection using AHP and ANP algorithms: a case study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2012, 18.1: 16-29.
- [17] Wu W, Kou G, Peng Y, Ergu, D. Improved AHP-group decision making for investment strategy selection. *Technological and Economic Development of Economy*, 2012, 18.2: 299-316.
- [18] Veza I, Mladineo M. Gjeldum N. Managing innovative production network of smart factories. *Ifac-Papersonline*, 2015, 48.3: 555-560.
- [19] Forstner L. Dümmler, mathias. Integrierte wertschöpfungsnetzwerke–chancen and potenziäle durch industrie 4.0. *E & I Elektrotechnik and Informationstechnik*, 2014, 131.7: 199-201.
- [20] Can V, Kıymaz M. Bilişim teknolojilerinin perakende mağazacılık sektörüne yansımaları: muhasebe departmanlarında endüstri 4.0 etkisi. *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, CİEP Özel Sayısı*, 2016; 107-117.
- [21] Schumacher A, Erol S, Sihn W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 2016, 52: 161-166.
- [22] Kolberg D, Knobloch J, Zühlke D. Towards a lean automation interface for workstations. *International journal of production research*, 2017, 55.10: 2845-2856.
- [23] Sepulcre M, Gozalvez J, Coll-Perales B. Multipath Qos-Driven routing protocol for industrial wireless networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 2016, 74: 121-132.
- [24] Oesterreich D, Teuteberg F. Understanding the implications of digitization and automation in the context of industry 4.0: a triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 2016, 83: 121-139.
- [25] Rennung F, Luminosu T, Draghici A. Service provision in the framework of industry 4.0. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2016, 221: 372-377.
- [26] Fleischmann H. Kohl, J., Franke, J., Reidt, A., Duchon, M., Krcmar, H. Improving maintenance processes with distributed monitoring systems. In: *industrial informatics (INDIN), 2016 IEEE 14th International Conference On. IEEE, 2016. P. 377-382.*
- [27] Gorecky D, Khamis M, Mura K. Introduction and establishment of virtual training in the factory of the future. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2017, 30.1: 182-190.
- [28] Grundstein S, Freitag M, Scholz-Reiter B. A new method for autonomous control of complex job shops–integrating order release, sequencing and capacity control to meet due dates. *Journal of Manufacturing Systems*, 2017, 42: 11-28.
- [29] Barbosa J, Leitão P, Trentesaux D, Colombo AW, Karnouskos S. Cross benefits from cyber-physical systems and intelligent products for future smart industries. In: *industrial informatics (INDIN), 2016 IEEE 14th International Conference On. IEEE, 2016. P. 504-509.*
- [30] Macit İ. Kurumsal kaynak planlamasının endüstri 4.0 kazanımları: bir yapısal çatı modeli önerisi. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 2017; 3(1): 50-60.

- [31] Öğüt A, Boztaş F. Endüstri 4.0 ışığında yeni nesil üretim: sessiz hidrolik pompa uygulamaları. VIII. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi, 2017; 105-112.
- [32] Öztürk E, Koç H. Endüstri 4.0 ve mobilya endüstrisi. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2017, 6.3: 786-794.
- [33] Mrugalska B, Wyrwicka K. Towards lean production in industry 4.0. Procedia Engineering, 2017, 182: 466-473.
- [34] Yıldız A. Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. Sakarya University Journal of Science, 2018, 22.2: 546-556