

Karanlık Üretim Faktörlerinin Tesis Planlama Açısından Değerlendirilmesi

İrem DÜZDAR^{1*}, Selinay KOLÇAK²

¹Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce

²Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce

¹<https://orcid.org/0000-0002-7642-8121>

²<https://orcid.org/0000-0002-4322-1386>

*Sorumlu yazar: iremduzdar@duzce.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 15.02.2023

Kabul tarihi: 17.07.2023

Online Yayınlanma: 25.06.2024

Anahtar Kelimeler:

Analitik hiyerarşi prosesi

Endüstri 4.0

Karanlık üretim

Tesis planlama

ÖZ

Karanlık üretim Endüstri 4.0 ile hayatımıza giren bir kavramdır. Karanlık üretim fabrikaların insan gücüne ihtiyaç duymadan üretimin baştan sona makinelerin organize bir şekilde üretimi sağladığı üretim biçimidir. Karanlık üretim diğer üretim şekillerine göre kaliteli, ucuz, hızlı ve daha az israf yapabilecek bir üretimi hedeflemiştir. Şirketlerin bu yeni çağa ayak uydurabilmesi gelişmeleri izlemesi için çok önemlidir. Tesis planlaması karanlık üretimin doğru, en hızlı ve en az maliyet ile gerçekleştirilmesi için dikkat edilmesi gereken konudur. Bu yüzden yapılan bu çalışmada, karanlık üretim yapmak isteyen bir şirketin tesis planlaması için gerekli kriterlerin önceliğinin çok kriterli karar verme yöntemlerinden (ÇKKV) analitik hiyerarşi proses (AHP) yöntemi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmanın hedefi uygulamadan elde edilen sonuçlarla fabrikaların tesis planlaması için önemli etkiye sahip kriterlerin daha öncelikli incelenmesini sağlamaktır.

Lights-Out Manufacturing Factors Evaluation in Terms of Facility Planning

Research Article

Article History:

Received: 15.02.2023

Accepted: 17.07.2023

Published online: 25.06.2024

Keywords:

Analytical hierarchy process

Industry 4.0

Lights-out manufacturing

Facility planning

ABSTRACT

Lights-Out Manufacturing is a concept that entered our lives with Industry 4.0. Lights-Out Manufacturing is a form of production in which production is ensured by the organized production of machines from beginning to end without the need for manpower of factories. Lights-Out Manufacturing has aimed at a production that is high quality, cheap, fast and less wasteful compared to other forms of production. It is very important for companies to keep up with this new era for their development. Plant planning is an issue that needs to be considered in order to ensure that production is carried out correctly, as quickly as possible and to minimize costs. So, in this study, it is aimed to determine the priority of the criteria required for facility planning of a company that wants to make dark production, with the analytical hierarchy process (AHP) method, which is one of the multi-criteria decision making methods (MCDM). The aim of this study is to provide a more priority examination of the criteria that have a significant impact on the plant planning of factories with the results obtained from the application.

To Cite: Düzdar İ., Kolçak S. Karanlık Üretim Faktörlerinin Tesis Planlama Açısından Değerlendirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 994-1009.

Giriş

Geçmişten günümüze üretim için birçok farklı yöntem bulunmuştur ve üretim birçok farklı şekilde uygulanmıştır. Sanayide gerçekleşen teknolojik, sosyal ve ekonomik gelişmeler endüstri devrimi olarak ifade edilmektedir. Bu gelişmeler bir süre sonra zorunluluk haline gelmiş ve dönemin getirilerine ayak uyduramayan şirketler rekabet ortamından elenmişlerdir (Gökten, 2018). Bu gelişmelerin son hali olan Endüstri 4.0 halen daha gelişmekte olan ve araştırılmaya, öğrenilmeye devam edilen bir konudur. Endüstri 4.0'da üretim “Karanlık Üretim” kavramı ile adlandırılırken, üretimin olduğu yere ise “Karanlık Fabrika” adı verilmektedir (Oğrak ve Şık, 2020).

Tesisler kurulmadan önce amacı belirlenir ve bu amaca göre tesis planlaması yapılır. Bu çalışmada karanlık üretimi gerçekleştirmek için kriterlerin önceliklerinin belirlenmesinde temel alınan nokta tesis planlamasıdır. Karanlık üretim ile tesis planlamasının kriterleri iç içe geçirilerek tesis planlaması yapılabilir. Literatür araştırması yapılarak günümüzde karanlık üretim hakkında çalışmalar mevcut olduğu ancak detaylı anlatım ya da konuyla alakalı örnek alınabileceği çok sayıda detaylı uygulama çalışması bulunmamaktadır. Bu çalışma, konu ile ilgili çalışma yapacakların referans alabileceği kaynak olabilmesi bunun yanı sıra gelişmekte olan dünyanın bu yeni kavramın niteliği eskimeden nasıl bir süreci ve ne gibi getirileri olduğunu öğrenmesini, karanlık üretim uygulanmasında nasıl bir yol izlenmesi gerektiğini göstermeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada karanlık üretim fabrikalarının tesis kurulumu planını yaparken kriterlerin belirlenmesi ve hangi kriterlerin önemli olduğu, nasıl bir yol izlenmesi gerektiği hakkında bilgi vermek hedeflenmiştir. Çalışmanın kriterlerinin önem sırasını belirleyebilmek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemi kullanılmıştır. AHP yönteminin, henüz yeni ve çok sayıda uygulaması olmayan bir konu olan karanlık üretim ile ilgili olarak ilk pilot çalışma olarak kriter ağırlıklarının önceliklendirilmesi amacı ile kullanılmıştır. AHP, karar verme sürecindeki karmaşıklığı azaltmak ve objektif bir değerlendirme yapmak için yapısal bir yaklaşım sunar (Khatwani ve Kar, 2017). AHP, karar verme sürecini yapılandırır ve analiz eder. Problemdeki kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkiler hiyerarşik bir yapıda gösterilir. Bu, karar verme sürecini daha anlaşılır ve yönetilebilir hale getirir. AHP, ağırlıklandırma ve önceliklendirme yaparak nispeten hassas sonuçlar üretir. Karar vericiler, kriterlerin önem sıralamasını değiştirdikçe veya alternatiflerin değerlendirmesini değiştirdikçe sonuçlar da değişir. Bu şekilde, karar vericilerin tercihlerine bağlı olarak sonuçlar esneklik gösterebilir (Russel ve Taylor III, 2003). Yapılan literatür araştırmasından elde edilen kriterler ülkemizdeki günümüz şartlarına uygun olması ve gerçekçi bir yaklaşım ortaya koymak amacı ile ülkemiz örnekleri üzerinden belirlenmiştir. Özellikle üretimde tesis planlaması aşaması açısından inceleme yapılması amaçlanarak yatırımcı için yol gösterici olması hedeflenmiştir.

Endüstri Devrimi

Endüstri devrimi ilk olarak 18. Yüzyılda ortaya çıkmıştır. Endüstri 1.0 olarak adlandırılan bu ilk devrim sanayileşmenin ilk adımı olan su ve buharın makinelerde kullanılmaya başlamasıyla olmuştur. İnsan ve hayvan gücünü makine devralmıştır (Yıldız, 2018). Elektrik kullanılmaya başlaması ile Endüstri 2.0 devrimi oluşmuştur. Bu dönemde seri üretime geçilmiştir. Bu dönem otomobil teknolojisinde gelişmeyi sağlamıştır (Gökten, 2018). Endüstri 3.0'a geçmemiz ise analog sistemlerin yerine dijital sistemlerin geldiği dönemdir. Yazılım destekli sistemlerin oluşması ile üretim süreci otomasyona geçmiştir (Gökten, 2018 ve Balkan, 2020). Böylece, bu ilk üç devrimin sonunda, üretime mekanizasyon, bilgi teknolojisi ve elektrik gelmiştir (Yıldız, 2018).

Endüstri 4.0

1960'lı yıllarda ürünü satın alma eyleminde olan müşterilerin 2000 yıllarına doğru, talep ve beklenenlerin yön değiştirmesi ile firmaların üretim proseslerinde karmaşık bir duruma girilmiştir. Böylelikle firmalar farklı departmanlar arasında çalışma gereği duyduğu ve internetten tüm nesnelere iletişim ve etkileşim içinde olduğu döneme girmiştir, bu döneme Endüstri 4.0 denir (Yıldız, 2018). Bu dönemin, ülkelerin gelişim düzeyini etkileyeceği ve insan işgücünün azalmaya başlayacağı beklenmektedir. (Balkan, 2020).

Endüstri 4.0'ın temelleri Almanya'da görülmüştür ve hemen ardından tüm dünyaya yayılmıştır (Oğrak ve Şık, 2020). Endüstri 4.0 ile nesnelere interneti (IOT), akıllı makineler, bulut teknolojileri, büyük veri, yapay zekâ, veri madenciliği, siber sistemler, otonom robotlar, karanlık fabrikalar gibi kavramlar hayatımıza girmiştir (Gökten, 2018).

Bu yeni süreç üretim ve tüketim ilişkisini tamamen değiştirecek bir yapıdır. Teknolojik gelişme ile birbirine dijital olarak bağlanan akıllı makineler ile iş süreçleri planlanmaya başlanmıştır (Gökten, 2018). Tüketicinin hızlı değişen ihtiyaçlarını karşılamaya ve aynı zamanda birbiriyle iletişim ve koordinasyon içinde olan otomasyon sistemlerini oluşturmuştur (Yıldız, 2018). Endüstri 4.0'a kadar "merkezileşmiş" üretim sistemi bu dönemden sonra "merkezleşmemiş" üretim sistemine dönerek verimliliği arttırmak amaçlanmaktadır (Çakır, 2018). Endüstri 4.0 kavramının benimsenmesi önemli bir konudur çünkü Endüstri 4.0'a ayak uyduramayan şirketler rekabet ortamında ayakta kalamaz (Yıldız, 2018).

Karanlık Üretim

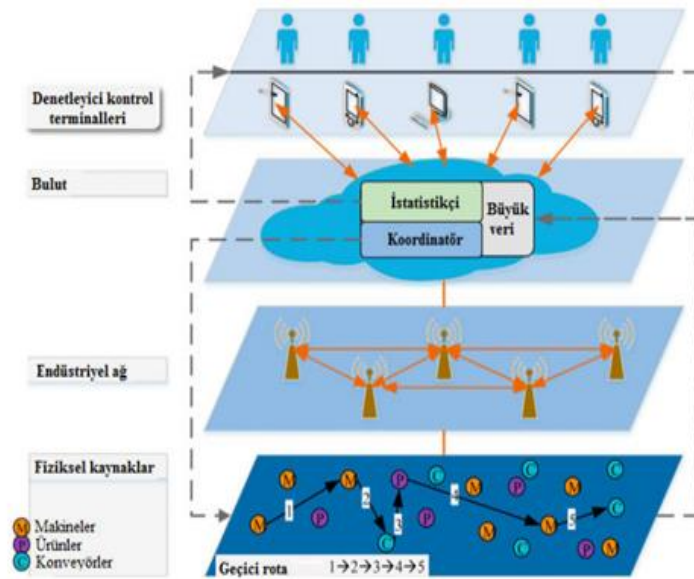
Karanlık üretim kavramı Endüstri 4.0 ile gelişen bir süreçtir. Karanlık üretimde, üretim sürecinde ürünler bir müdahale olmadan üretilip her an ulaşılabilir durumda olmaları beklenmektedir. Karanlık üretim, dijital olarak birbirine bağımlı önem zinciri unsurlarına bağlı şekilde tasarlanan iş modeliyle üretimin gerçekleşmesidir. Karanlık üretim adımları siber fiziksel sistemi ile sağlanması planlanmaktadır. Karanlık üretim otomasyon adımlarını, makineler, internet yardımı ile cihazlar bir bütün şeklinde hem birbirleriyle hem de diğer unsurlarla iletişim kurar, ihtiyaç duydukları üretim ile

ilgili bilgileri bulut sistem içindeki “Büyük Veriden” (Big Data) alan akıllı makine ve sistemleri içerir. Örnek olarak, üretim sürecinin bir adımında kaynak yetmezliği var siber fiziksel sistem bunu tespit edip hemen sipariş verebilir ya da ürünlerin satış hacmiyle ilgili hesaplama yapıp hangi üründe fazla talep varsa onun üretim hacmini artırabilir.

Bu sistemlere ek olarak, ürün tasarımı, planlanması, üretim mühendisliği, üretim, servisler gibi birçok üretim süreci, modüller şeklinde simülasyonu yapılacaktır ve ayrıyeten bu ilerlemeler esnasında birbirine bağlı bir şekilde kontrol edildiği anlamına gelen uçtan uca sistemiyle birbirine bağlı olacağı için merkezileşmemiş sistem tarafından tek yürütülmeyeceği düşünülmektedir (Gökten,2018; Yıldız, 2018). Karanlık üretim, üretim sürecinin artan sorunları işçiler için yönetilebilir duruma getirir ve üretimi aynı zaman da istenebilir, kentsel çevrede yürütülebilir ve maliyetsiz olmasını sağlaması amaçlanmaktadır.

Karanlık üretimin son teknoloji akıllı robotlarla üretim yapılmasının birçok avantajı vardır bunlar insan işinin az olduğu, işlerin çoğundan fazlasını makinelerin yaptığı, iş güvenliğinin sorun olmadığı, üretilen ürünün kalite derecesini yakalaması, kesintisiz ve verimli üretimin olması gibi hedefleri vardır (Yıldız, 2018; Oğrak ve Şık, 2020). Karanlık üretimin bilim kurgu boyutu olarak, yapay zekâ makine öğrenmesinin bir sonraki aşamasıdır. Yani makine öğrenmesi bilgisayarlara anlama yeteneği veren yapay zekâ uygulamasıyken, yapay zekâ makinelerine insan gibi düşünme, öğrenme yeteneği verir. Bu yöntem şu anlık teknolojik ilerlemeler nedeniyle sadece makine öğrenmesine dayalı yapay zekâdan bahsedilir.

Karanlık üretimin oluşan aksaklıklara karşı makine öğrenmesinin gelişmesiyle önüne geçebilir. Örnek verilecek olursa, oluşan bir arızaya dışardan müdahale edilmeden ve anında çözüm bulunabilecek ya da üretim sürekli olarak kalite kontrolü altında ilerleyecek ve bu şekilde üretim kesintiye uğramadan ve bakım, kalite gibi giderler hemen hemen ortadan kalkacak (Gökten, 2018). Şekil 1’de karanlık üretim tesis planlamasına örnek bir çizim gösterilmiştir.



Şekil 1. Endüstri 4.0 karanlık fabrika çerçevesi

Karanlık Üretim Etkileri

Endüstri 4.0 üretiminin ilk örneğinden biri Çin’de kurulu olan ve telefon modellerinin üretiminin yapıldığı bir şirketin genel müdürünün yaptığı bir açıklamasında süreç ile iç içe çalışan işçi sayısının 650’lerden 60’a kadar indirildiği ve firmanın üretkenliğinde %250 artış gözlemlendiğini, ürünlerin hatalı parça oranlarının %25’lerden %5’lere düştüğünü söylemiştir. Karanlık üretim tesisleri ışık kaynağına ihtiyaç duymadan karanlık yerde üretim yapabildikleri için büyük elektrik tasarrufu sağlayan çevreci fabrikalardır. Karanlık üretim iş güvenliği açısından diğer üretim şekillerine göre daha güvenilirdir. Karanlık üretim fabrikalarında insan sağlığını tehlikeye atacak çeşitli üretim aşamaları insan gücü olmadan makineler tarafından gerçekleştirilmektedir (Gökten, 2018; Oğrak ve Şık, 2020).

Karanlık üretime geçiş sürecinde işgücü paradigmaları değişim gösterecektir. Bu süreçte büyük krizlerden sakınmak için iş imkânı olan alanlarda çalışma oranlarını fazlalaştırmak, eğitim, yatırım ve teşviklerle yardım sağlamak önemlidir (Çakır, 2018).

Karanlık Üretimin Maliyeti

Kesintisiz üretime sahip karanlık üretim tesisi kurulumu çok yüksek yatırım maliyetine sahiptir. Karanlık üretim kesintisiz üretim yaptığı için pratik ve teorik kapasite ayırımını ortadan kaldırma ihtimali vardır. Bu sebeple kullanılmayan kapasite etkisi maliyetlemesi kalkabilir. Karanlık üretim de siber fiziksel sistem modellerinin tesis için gerekli maddi ve maddi olmayan yatırımı yapabilecek şirketlerin sayısı azdır. Bu nedenle Endüstri 4.0’ın global seviyede çok sayıda şirketin batabileceği ve sektörler bazında bazı şirketlerin üstünlüğünü koruyacağı düşünülebilir. Bu düşünce ile karanlık üretimin kesintisiz ve doğal bir şekilde tam kapasite üretim yapabilme potansiyelinde olabileceği yüksek ihtimaldir (Gökten, 2018).

Karanlık Üretimin Dünyadaki Durumu

Çin, pazarın en büyüğü olarak görülüyor ve hızla büyüyen ekonomisini gelecek yıllarda da ayakta tutmak istiyor ve bu yüzden sahip olduğu işçi gücüne bakmaksızın bu liderliği elinde tutmak için Endüstri 4.0’ı benimseyip izlemektedir. Gelişmiş ülkelerden farklı olarak Çinliler gelişim sürecinin otomasyon tarafına odaklanmıştır. Amerika’nın Endüstri 4.0 çalışmaları uzun zamandır süregeliyor. Amerika’nın Endüstri 4.0 devrimine yakın ülkelerden biri olmasının sebebi gelişmiş teknolojisi ve inovasyon kültürü. İnovasyon, yazılım geliştirme ve eğitim alanında kanıtlamış olduğu geçmişi Endüstri 4.0 için sağlam temellere sahip olduğunu gösterir. Finlandiya, ülke olarak çok fazla kendinden bahsedilmese de Endüstri 4.0 ile ilgili gelişmeler gösterdiğini söylemek mümkündür. İnovasyon ve teknoloji mali destek ajansının yürüttüğü Ar-Ge programı ve buna ek olarak birbirinden farklı şirketleri birbirine bağlayabilmek için “Fin Endüstriyel İnternet Forumu (FIIF)” vardır. Türkiye’ye bakacak olursak, bunların gerisinde kaldığını söylemek mümkündür. Bu gelişmiş ülkelere yetişebilmesi için teknolojilerin etkin kullanılması gerekmektedir. Türkiye Endüstri 4.0’a

yetişebilmesi ve önder ölkeler içinde olması için, bütün sanayi şirketlerinin dijital teknolojilere erişimin kolaylaştırılması vb. çalışmalar yapılmalıdır (Yıldız, 2018).

Karanlık Üretim Avantaj ve Dezavantajları

Bütün yeni süreçlerde olduğu gibi karanlık üretimde de avantajları ve dezavantajları vardır. Bunlar alt bölümlerde maddeler halinde belirtilmiştir (Lee, 2018).

Avantajları

- Makineler üretimi 24 saat devam ettirebilir ve enerji maliyetleri azaltılır.
- Fabrikada işlerin çoğundan fazlasını robotlar yapacağı için işçi maliyetleri azalır.
- Ar-Ge ve yönetici grubunun farklı işlerle ilgilenmesine gerek kalmayacağı için kendi işlerinde daha verimli olacaklardır.
- Verimlilik artışından dolayı üreticiler arası rekabet avantajı sağlanacaktır.
- Üretim başlamadan doğru planlamanın yapılması sağlanır.

Dezavantajları

- Karanlık üretim sisteminin kurulması ve yükseltilmesi maliyetlidir.
- Üretim içindeki makine parçalarının bazıları operatör olmadan yönetilemeyecek kadar karmaşıktır.
- Karanlık üretimin üstesinden gelmesi gereken en büyük engel, birden çok alanda uygulanabilir olmamasıdır.
- Karanlık üretime geçişte bazı makineler bu üretim şekline uyum sağlamakta zorlanabilir.
- Sıcaklık ile ilgili sorunlar makinelerde iletişim hatası olması durumunda sıkışma veya tıkanma meydana gelebilir.

Tesis Planlama

Tesisler, belirli olan amacına göre planlı bir şekilde kurumsal bir yapıyı oluşturur. Planlar, tanımlanan amacı gerçekleştirmek için işlerin hangilerinin yapılacağını, belirlenen bu işlerin nasıl, ne zaman, ne kadar zamanda yapılması gerektiğini ve hangi sırayla yapılacağını gösterir (Yanık, 2021).

Tesis planlama, kurumsal bir yapının ilk düşünce adımlarından görevini sonlandırmaya kadar geçen adımların tamamını içeren faaliyetler topluluğudur. Tesisin asıl hedefi değer üretmektir. Üretilmiş olan değer tesislerin üretim türüne göre ürün ya da hizmet olarak karşımıza çıkar. Tesisler; kâğıt, motor, televizyon vb. ürün üretilen kurum olabileceği gibi; üniversite, hastane, vb. gibi hizmet üreten kurum da olabilir. Var olan özellikleri ile tesis bir dönüştürücü görevi üstlenir. Belirlenmiş girdilerle beslenen tesis, bunları uygun şekilde karışımını yaparak dönüşüme uğratar ve bunun sonucunda da değer üretir. Bir firmanın içeriği, firmanın girdilerinin ve çıktılarının türüne göre farklılıklar gösterir. Firmanın içeriğini tanımlayıcı ana faktör tesisin amacıdır (Yanık,2021).

Literatür Taraması

Endüstri 4.0 ülkemiz açısından fazla benimsenmemiş yeni bir süreçtir. Karanlık üretim de Endüstri 4.0 ile hayatımıza giren bir kavramdır. Karanlık üretimle ilgili çalışmalar eksik kalsa da bu konu ile ilgili literatür çalışmaları aşağıda yapılmıştır. Bu konuya ek olarak Endüstri 4.0, tesis planlama ve çok kriterli karar verme yöntemleri ile ilgili çalışmalarında literatür çalışmaları yapılmıştır.

Gökten(2018) çalışmasında, Endüstri 4.0 ve karanlık fabrikaların tanımı, etkilerini araştırmış ve sonucunda Endüstri 4.0 ve karanlık fabrikaların ne olduğu faydaları ile nasıl uygulanacağını bulmasını amaçlamıştır. Oğrak ve Şık (2020) çalışmasında, kurulumundan beri büyüme yoluna gitmemiş bir firmada Endüstri 4.0 uygulamasını üretim yöntemleri ile araştırmıştır. Sonucunda daha fazla kar ile daha az hatalı üretimin yapılabildiğini bulmuşlardır. Yıldız (2018) çalışmasında, Endüstri 4.0, akıllı fabrika, nesnelerin interneti, siber fiziksel sistemleri araştırılıp gözlem yapılmış ve Türkiye'nin gelişmiş ülkeleri yakalayabilmesi için gerekenleri belirlemiştir. Balkan (2020) çalışmasında, enerji dağıtımında en iyi faydayı sağlayacak yeri seçmek için ELECTRE ve ikili logit modeli yöntemleri ile araştırmıştır. Sonucunda mesafe sorunu olan alternatifler elenmiştir, dağıtım yapılacak yerlere yakın olması gerektiği, iç ve dış kaynağının ulaşılabilir olduğu mesafede olması gibi sonuçlara varılmıştır. Çakır (2018) çalışmasında, Endüstri 4.0'ın işgücünde ve koşulları üzerinde yaratması muhtemel değişiklikler araştırma ve gözlemlerle incelemiştir. Endüstri 4.0'ın çalışmadaki katkıları bulunmuştur. Ceylan ve Gürsev (2020) çalışmasında, Türkiye bankacılık alanlarında çalışan lider olan bir kurumun telefon uygulamasının farklı yöntemleri içinde bulunan Scrum, Kanban ve Şelale gibi proje yönetimi metotları ile çalışan 4 farklı yazılım geliştirme projesini özellikleri ve başarı kriterleri üzerine araştırma yapılmıştır. ÇKKV yöntemleri arasında yer alan AHP metodu ile kriterlerin ağırlık katsayısı hesaplanmış ve bu belirlenen ağırlıklar TOPSIS yöntemi ile önceliği belirlenmiştir. Ilgın vd.(2021) çalışmasında, Türkiye'de imalat sanayinde Endüstri 4.0'a geçiş sürecini olumsuz etkileyen faktörleri DEMATEL ve analitik ağ süreci yöntemleri ile incelemiştir ve önemli olan fazla kaynak kullanmadan en yüksek verimliliği sağlayabilecek küçük, basit ama kesin çözümler sağlayabilmektir sonucuna varılmıştır. Kiraz vd. (2020) çalışmasında, Endüstri 4.0 ile gelişen firmaların eksikliklerini görüp hemen müdahale edebilmelerini yapısal eşitlik modeli ile incelemiştir. Endüstri 4.0 için önemli kriterler ve bu kriterlerin firma tarafından karşılanabilmeleri için gereken öncelik belirlenmiştir. Özkaya vd. (2018) çalışmasında, firmaları etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve bunların etkilerinin anlaşılması DEMATEL yöntemi ile belirlenmiştir. Koçak vd. (2019) çalışmasında, günümüzde kendini hızlı bir şekilde hayatımıza katan ve her an gelişmekte olan nesnelerin internetinin bir firmada başarıyla uygulanabilmesi için en iyi faktörlerin AHP ve DEMATEL yöntemleri ile değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri ve en yaygın kullanılan AHP yöntemi kullanılarak karanlık üretimin tesis planlaması gözünden önceliklendirilecek kriterleri değerlendirilmek amaçlanmıştır.

Materyal ve Metodoloji

AHP Yönteminin Tanımı

AHP yöntemi 1970'li yıllarda Thomas L. Saaty ile geliştirilen çok kriterli karar verme ve ölçmede kullanılan bir modeldir. Zorlanmış sorunlarda karşılaşılan karmaşık çözümleri basitleştirir. AHP, önemli kriteri belirlemek için ya da birkaç alternatifi önem sırasına göre belirlemek için karar alan kişiye yardım edebilecek yöntemdir (Ceylan ve Gürsev,2020).

AHP Uygulama Adımları

Adım-1: Uzmanların eşleştirilmiş karşılaştırmaları.

$$D_k = \begin{bmatrix} b_{11k} & \dots & b_{1nk} \\ \cdot & b_{ijk} & \cdot \\ b_{n1k} & \dots & b_{nnk} \end{bmatrix}$$

$k = 1,2,3,..,K, i = 1,2,\dots, n, j = 1,2,\dots, n$ (1)

Eşitlik 1'de k uzman sayısını ifade etmektedir. D_k , k . uzman tarafından yapılan eşleştirilmiş karşılaştırma matrisini ifade eder. b_{ijk} , i . kriterin k . uzmanın bakış açısıyla j . alternatifin üzerindeki etki derecesini ifade eder (Ceylan ve Gürsev, 2020).

Adım-2: Uzmanlar tarafından yapılan karşılaştırma matrislerinin geometrik ortalamasının hesaplanması.

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \vdots & d_{ij} & \vdots \\ d_{n1} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$d_{ij} = \sqrt[k]{\prod_{k=1}^k b_{ij=1}} / d_{ij} \quad \forall i,j$$

(3)

Eşitlik 2'de gösterilen D matrisi uzman görüşlerinin geometrik ortalamasını gösterir.

Adım-3: Normalizasyon

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^2} \quad \mathbf{V}_{i,j} \quad (4)$$

Bu adımda, r_{ij} (i. kriter ve j. Kriterinin) normalleştirilmiş matris girdilerini gösterir.

Adım-4: Ağırlıkların hesaplanması.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij}} \quad (5)$$

Bu adımda, w_i , i. kriterin ağırlığını gösterir.

Adım-5: Tutarlık oranının hesaplanması.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (7)$$

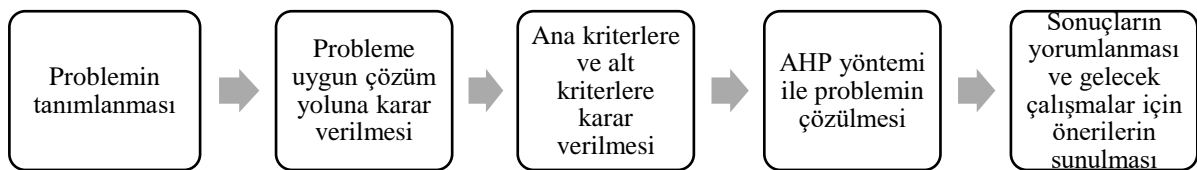
$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ij} w_j}{w_i} \quad (8)$$

Bu adımda, n kriter sayısını, CR ifadesi tutarlık faktörünü, CI tutarlık endeksini, RI ise kararlılık faktörünü gösterir (Ceylan ve Gürsev, 2020).

Bulgular ve Tartışma

Problemin Tanımlanması

Birçok firma Endüstri 4.0'a ayak uydurmaya çalışmakta ve bunun için adımlar atmakta ve yakın zamanda her ölçekten firmaların bu yeni gelişmelere ayak uydurması beklenmektedir. Bu çalışma karanlık üretime geçiş sürecinde ya da yeni bir kurulum yapmak isteyen firmalara hangi kriterin önceliğe sahip olduğu hakkında bilgi sahibi olunması için hazırlanmıştır. Çalışmanın adımları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın akış şeması

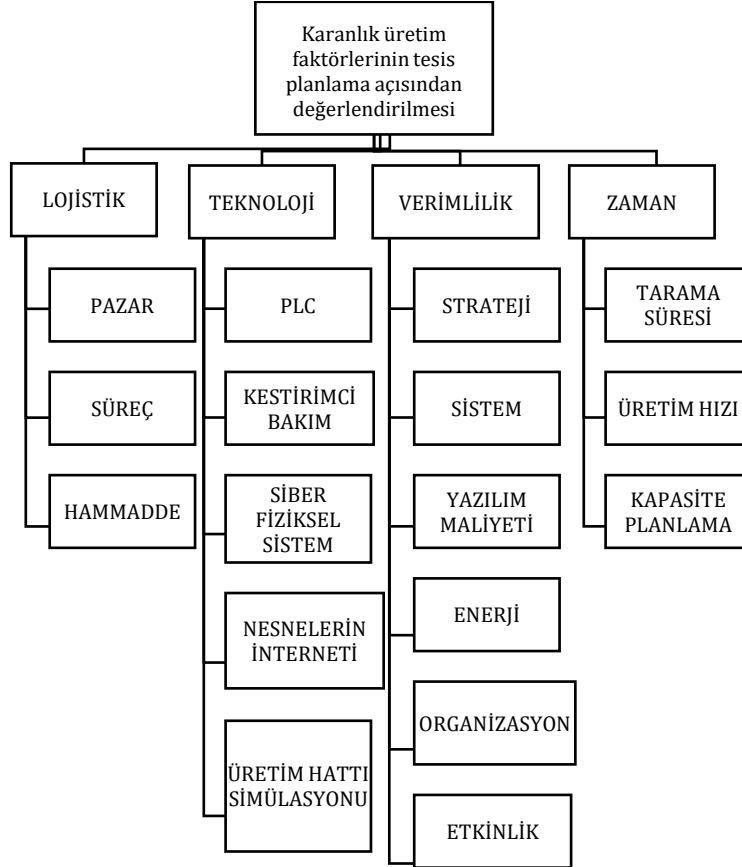
Kriterlerin Belirlenmesi

Literatür çalışması yapılarak kriterler belirlenmiştir. Yapılan literatür araştırmasında ülkemizdeki günümüz şartlarına uygun olması ve gerçekçi bir yaklaşım ortaya koymak amacı ile ülkemiz örnekleri incelenmiştir. Elde edilen kriterler kendi aralarında 4 ana kriter ve geri kalan 17 kriterler bu 4 ana kriterin alt kriterleri olarak belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin tanımları ve ait olduğu ana başlık Tablo 1’de belirtilmiştir. Kriterlerin hiyerarşik yapısı Şekil 3’te gösterilmiştir.

Tablo 1. Kriterler ve alt kriterler tanımları

ANA KRİTER	ALT KRİTER	AÇIKLAMA
LOJİSTİK (K1)	PAZAR (K11)	Mal ve hizmetin alınıp satılmasının olduğu yer (Aksakal ve Dağdeviren, 2010).
	SÜREÇ (K12)	Ürün için girdi işleminden çıktı işlemine kadar geçen süreye denir (Aksakal ve Dağdeviren, 2010).
	HAMMADDE (K13)	Bir ürün için gereken işlenmemiş maddeye denir (Aksakal ve Dağdeviren, 2010).
	PLC (K21)	Fabrikalardaki imalat hatları veya makinelerin kontrolü gibi işçilerin denetiminde kullanılan özel bilgisayar (Ceylan ve Gürsev, 2020).
TEKNOLOJİ (K2)	KESTİRİMCİ BAKIM (K22)	Malzeme israfı ve zaman harcayan bakım duruşlarına yol açmadan arızaların önüne geçilir (Yıldız, 2018).
	SİBER FİZİKSEL SİSTEM (K23)	Makineler arası bağlantı kurup iletişimin sağlanması, veri erişimine ve işlenmesi servislerinin internet ile kullanımında olduğu birlikte çalışan varlık hesaplayan sistemdir (Yıldız, 2018).
	NESNELERİN İNTERNETİ (K24)	Aygitların adresleme şemaları ile birbiriyle iletişime geçmesine ve çevresindekilerle iş birliği yapmasına izin verir (Yıldız, 2018).
	ÜRETİM HATTI SİMÜLASYONU (K25)	Sistem ya da süreçlerin modelini yapmadır (Yıldız, 2018).
VERİMLİLİK (K3)	STRATEJİ (K31)	Firmanın içinde bulunduğu yerin hareketliliğine karşın, kararlılığını koruyarak varlığını sürdürebilmek için seçtiği yolu betimler (Yanık, 2021).
	SİSTEM (K32)	Bütün birimlerin birbirini etkilediği ve bağlı olduğu, farklı bölümlerden oluşan ve belli bir planla kurulan, amaca yönelik bütüne sistem denir (Yanık, 2021).
	YAZILIM MALİYETİ (K33)	Yapımından ölümüne kadar yapılması gereken tüm harcamaları ifade eder (Yıldız vd., 2018).
	ENERJİ (K34)	Bir sistemin iş yapma kapasitesidir (Gökten, 2018).
ORGANİZASYON (K35)	ORGANİZASYON (K35)	İşleri belirlemek, gruplandırmak, sorumluluk ve yetkiyi tanımlamak ve hedeflere ulaşmada insanların birlikte düzen ve verim içinde çalışmasını sağlayabilmek için ilişkiler kurma sürecine denir (Yanık, 2021).
	ETKİNLİK (K36)	Üretim süreci içinde yapılan işler (Yanık, 2021).

	TARAMA SÜRESİ (K41)	Tarama süresi genelde 1024 Byte başına işlem hızı olarak tanımlanır ve 0.1ms – 20ms arasında değişebilmektedir (Yıldız, 2018).
ZAMAN (K4)	ÜRETİM HIZI (K42)	Üretimde bir ürünün yapılması için gereken süre (Yanık, 2021).
	KAPASİTE PLANLAMA (K43)	Firmaların belirli bir süre dilimi için kullanılacak kapasiteyi tespit etmede kullanılır (Yanık, 2021).



Şekil 3. Hiyerarşik yapı

AHP Yöntemi ile Kriterlerin Değerlendirilmesi

AHP yöntemi kriterlerin önem sıralarını bulmak için kullanılmıştır. Bu kriterlerin önem sırasını belirlemek için bu alanda uzman üç kişi ile kriter ağırlıklarını belirleyebilmek için anket yapılmıştır. Anket içerisinde, her uzman, kriterlerin yer aldığı ikili karşılaştırma matrisini doldürmüştür. İkili karşılaştırma matrislerinde 1-9 aralığında bir puanlama sistemi kullanılmıştır ve uzmanların bu sistemi baz alarak kriterler arasındaki önem derecesine karar vermeleri istenmiştir (Tablo 2) (Ceylan ve Gürsev, 2020).

Tablo 2. İkili karşılaştırma ölçeği

Önem Değeri	Belirteç
1	Eşit derece
3	Daha Kuvvetli
5	Kuvvetli Önemli
7	Çok Kuvvetli Önemli
9	Aşırı Derecede
2, 4, 6, 8	Önemli Ara Değerler

Uzman kişilerin kriterler için vermiş olduğu ikili karşılaştırma puanlarının geometrik ortalamaları hesaplanıp ortak bir görüş elde edilmiştir. AHP yöntemi kullanılarak kriterlerin değerleri SuperDecisions programında hesaplanmıştır.

Karanlık üretim tesisinin kurulumunu etkileyen ana ve alt kriterlerin önem sırası gösterilmiştir. İkili karşılaştırma matrisleri için tutarlılık oranı (CR) uygulanır. Tutarlılık oranı için önerilen üst sınır 0,10'dur. Tutarlılık oranı değerinin 0,10'un altında olması karar vericinin yeterli bir tutarlılık sergilediği ve değerlendirmenin devam edilebileceği anlamına gelir. Ama, bu oran 0,10'un üzerinde olması karar vericinin ikili karşılaştırma matrislerinde tutarsız olduğu anlamına gelir (Ceylan ve Gürsev, 2020). Bu çalışmada yapılan ikili karşılaştırma matrisi için hesaplanan CR değeri 0,10 altında çıkmıştır. Bu nedenle elde edilen sonuçların tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Inconsistency: 0.06020		
LOJİSTİK		0.37993
TEKNOLOJİ		0.42646
VERİMLİLİK		0.12354
ZAMAN		0.07006

Şekil 4. Ana kriterlerinin önem değerleri

Ana kriterleri kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman en önemli kriter teknoloji çıkmıştır. Bu kriteri sırasıyla Lojistik, Verimlilik ve Zaman kriterleri takip etmektedir. Günümüzde teknoloji hızla ilerlemektedir (Şekil 4). Karanlık üretim teknolojik gelişmeler üzerine kurulduğu için en önemli kriterin teknoloji çıkması beklenen bir sonuçtur. Karanlık üretim tesislerinin içinde teknoloji kullanımı gelecek yıllarda çok önemli bir kriter olacaktır.

Inconsistency: 0.07559		
KESTİRİMC~		0.22089
NESNELERİ~		0.15949
PLC		0.25641
SİBER FİZ~		0.31389
ÜRETİM HA~		0.04932

Şekil 5. Teknoloji kriterinin alt kriterlerinin önem değerleri

Teknoloji ana kriteri en önemli kriter olduğu için ilk olarak teknolojinin alt kriterlerine bakılmalıdır. Alt kriterlerinden en önemlisi Siber Fiziksel Sistem, bu kriteri sırasıyla PLC, Kestirimci Bakım, Nesnelerin İnterneti, Üretim Hattı Simülasyonu alt kriterleri takip etmektedir (Şekil 5).

Siber fiziksel sistem fabrikalardan başlayarak tüm değer zincirinin eş zamanlı olarak iletişim kurabilmesini sağlamaktadır, bu da karanlık üretim tesisinin içindeki makineler ve diğer dijital aletlerin kolayca iletişimini sağlayacağı için en önemli kriter çıkması beklenebilir bir sonuçtur.

Inconsistency: 0.09040		
HAMMADDE		0.09888
PAZAR		0.53682
SÜREÇ		0.36429

Şekil 6. Lojistik kriterinin alt kriterlerinin önem değerleri

Lojistik ana kriterinin alt kriterlerinin karşılaştırmalardan en önemli kriter Pazar olduğu görülmüştür. Pazar alt kriterini Süreç, Hammadde alt kriterleri sırasıyla takip etmektedir (Şekil 6).

Lojistik ana kriteri için pazar alt kriterinin önemli olması beklenen bir sonuçtur. Çünkü pazara ulaşımın hızlı ve sorunsuz olmalıdır.

Inconsistency: 0.05340		
ENERJİ		0.17735
ETKİNLİK		0.06955
ORGANİZAS-		0.05373
SİSTEM		0.21492
STRATEJİ		0.31878
YAZILIM M-		0.16566

Şekil 7. Verimlilik kriterinin alt kriterlerinin önem değerleri

Verimlilik kriterinin en önemli alt kriteri stratejidir. Stratejiyi sırasıyla Sistem, Enerji, Yazılım, Etkinlik, Organizasyon kriterleri önemli gelmektedir (Şekil 7).

Verimlilik için stratejinin iyi yapılmış olması önemlidir. Çünkü bir şirket ilk önce stratejisini belirlemelidir.

Inconsistency: 0.05156		
KAPASİTE ~		0.25992
TARAMA SÜ-		0.32748
ÜRETİM HI-		0.41260

Şekil 8. Zaman ana kriterinin alt kriterlerinin önem değerleri

Zaman kriterinin alt kriterleri arasında en önemli kriter Üretim Hızı çıkmıştır. Üretim hızını sırasıyla Tarama Süresi, Kapasite Planlama kriterleri takip etmektedir (Şekil 8).

Zaman kriteri için en önemli alt kriterin üretim hızı çıkması tahmin edilebilen bir sonuçtur. Çünkü üretim hızı süresinin hesaplanması herhangi bir durma ya da yavaşlamada üretimin aksamasına olumsuz sonuçlar getirebileceği için önemlidir.

Sonuç ve Öneriler

Günümüzde firmalar rekabet ortamında yerlerini koruyup, yükselebilmek için Endüstri 4.0 teknolojilerinden yardım almayı hedefleyip; maliyetlerini, üretim hızlarını, kaliteli ürün gibi önemli işlevleri için iyileştirme yapmayı hedeflemektedir. Karanlık üretim de aslında bu firmaların istediği özellikleri taşımaktadır ama firmalar yeni bir süreç olan karanlık üretimin tam olarak ne olduğunu bilemiyorlar. Karanlık üretim insansız bir şekilde üretim yapan üretim şeklidir, şu an tamamen insansız üretim pek mümkün olmasa da ilerleyen yıllarda bununda gerçekleşeceği tahmin etmek zor değil. Herhangi bir firma karanlık üretim sürecini ne kadar hızlı benimseyip, kendi iş süreçlerinde kullanmayı hedef haline getirirlerse, o derecede rekabet ortamında varlıklarını koruyup yükselebilirler. Bu çalışma herhangi bir firmanın karanlık üretim hakkında merak ettiklerini bulabileceğini, tesis planlamasında nelere önem vereceklerini, nasıl bir plan oluşturacaklarını göstermeyi hedeflemiştir. Bu konuyla ilgili yeni bir çalışma yapacak olan kişilerin referans alabileceği bir kaynak olarak görülmesi amaçlanmıştır. Çalışma genel olarak karanlık üretimin detaylı anlatımı ve tesis planlaması için kriterlerin belirlenip önem değerlerini bulmayı içermektedir.

Bu çalışmada karanlık üretim tesisinin kurulumu için konuyla alakalı literatür taraması yapılmıştır. Yapılan literatür araştırmasında günümüz şartlarına uygun olması amacı ile ülkemiz örnekleri incelenmiştir. Bu literatür taramasından elde edilen bilgilerle Teknoloji, Lojistik, Verimlilik Ve Zaman ana kriterleri ve Pazar, Süreç, Hammadde, PLC, Kestirimci Bakım, Siber Fiziksel Sistem, Nesnelerin İnterneti, Üretim Hattı Simülasyonu, Strateji, Sistem, Yazılım Maliyeti, Enerji, Organizasyon, Etkinlik, Tarama Süresi, Üretim Hızı, Kapasite Planlama alt kriterleri olmak üzere 21 kriter belirlenmiştir. Çalışmada ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi ile kriterlerin önem değerlerini belirlemek amaçlanarak yöntemi uygulayabilmek için üç uzmanın görüşleri alınmıştır. Sonuç olarak en önemli ana kriter %43 ile Teknoloji kriteri çıkmıştır ve %7 ile en son sırada yer alan zaman kriteridir.

Karanlık üretim tesisi kurulumu yapılırken ilk önce teknoloji üzerine yoğunlaşılması önerilmektedir hatta teknolojinin alt kriterlerinden yardım alınmalı ve alt kriterlerin önem sırasına göre bir yöntem planlanmalıdır. Teknoloji kriterinin alt kriterlerinin önem sırası Siber Fiziksel Sistem, PLC, Kestirimci Bakım, Nesnelerin İnterneti, Üretim Hattı Simülasyonu çıkmıştır. Elde edilen önem sırasını örnek olarak bir plan oluşturulabilir. Bulunan teknoloji kriterinin önemi ve alt kriterleri Yıldız (2018)'de de üzerinde durup detaylı anlatım yapmıştır (Yıldız, 2018). Teknoloji kriterinin üzerine durulduktan sonra %38 ile ikinci önemli kriter olan Lojistik kriterini de bu plana dahil etmek mümkündür. Bu kriterden sonra Verimlilik ve Zaman kriterleri de isteğe bağlı olarak plana dahil edilebilir.

Karanlık üretim sürekli üretim ve karma üretim sistemlerine daha kolay uygulanabilir. Karanlık üretimi bir firmaya uygulamak istediğimizde, fabrikanın üretim şekline, makinelerin yapay zekâ ve siber fiziksel sistemler gibi kavramlara elverişli olup olmadığına ve firmanın karanlık üretim için üretim hattına bakılabilir. Fabrikanın, eksiklikleri belirlendikten sonra önem sırasına düzenlenir. Önem sırasında diyelim ki teknoloji alanında bu fabrikanın alt yapısı yok bunun için gerekli işlemler

başlatılır bunlar yazılım uzmanları ile görüşme yapıp nelerin yapılması gerektiği belirlenip bunun en kısa sürede çözülmesi, alt yapıyı yükseltebilecek bu alanda eğer varsa alım gücünü arttırma gibi şeyler yapılabilir.

Yapılan çalışma Endüstri 4.0 ya da karanlık üretime geçiş yapacak ya da yeni bir kurulum yapacak firmalara örnek teşkil etmesi düşünülmüştür. Firmalar bu çalışmayı kendi yapısına göre tekrardan değerlendirip kendi eksikliklerini belirleyip bunun üzerinden bir süreç oluşturabilirler. Örnek verilecek olursa; bu çalışmada en önemli iki ana kriter Teknoloji ve Lojistikdir. Bu çalışmayı örnek olarak inceleyecek olan herhangi bir firmada teknoloji olarak son teknoloji kullanıldığı için önem verilmesi gereken Lojistik kriteri ve Verimlilik kriteri olabilir.

Bunun yanı sıra gelecekte AHP yönteminden farklı olarak diğer çok kriterli karar verme yöntemleri ele alınarak çalışmanın geliştirilmesi sağlanabilir ve sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanabilir. Yapılan bu pilot çalışmanın sonrasında belirlenen kriter ağırlıkları ile diğer ÇKKV yöntemlerinin uygulanması ile daha detaylı sonuçlar çıkarılması ileriki çalışmalarda faydalı olacaktır. Ayrıca ileriki çalışmalarda ülkemiz dışında yapılan çalışmalar da incelenerek hiyerarşik yapı genişletilerek daha yararlı sonuçlar elde edilebilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynaklar

- Aksakal E., Dağdeviren M. ANP ve Dematel yöntemleri ile personel seçimi problemine bütünlük bir yaklaşım. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi 2010; 25(4): 905-913.
- Balkan D. Endüstri 4.0 sürecinde Electre yöntemi ile enerji tesis yer seçiminin gerçekleştirilmesi. NÖHÜ Mühendislik Bilim. Dergisi 2020; 9(1): 238-253.
- Ceylan Z., Gürsev S. AHP ve TOPSIS yöntemleri ile bilgi teknolojileri projelerinde scrum-kanban-şelale uygulamaları karşılaştırması. Bilişim Teknolojileri Dergisi 2020; 13(3): 329-339.
- Çakır N. Endüstri 4.0 ve çalışmanın geleceği. Electronic Journal of Vocational Colleges 2018; 8(2): 97-105.
- Gökten P. Karanlıkta üretim: yeniçağda maliyetin kapsamı. Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi 2018; 20(4): 880-897.
- İlgın M., Urkan B., Kurtul E. Türk imalat sanayinin endüstri 4.0'a geçiş sürecini olumsuz etkileyen faktörlerin kalite evi ve çok kriterli karar verme teknikleri ile analizi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; 21: 591-599.

- Khatwani G, Kar AK. Improving the cosine consistency index for the analytic hierarchy process for solving multi-criteria decision making problems. *Applied Computing and Informatics* 2017; 13(2): 118-129.
- Kiraz A., Canpolat O., Özkurt C., Taşkın H., Sarp E. Endüstri 4.0'ı etkileyen kriterlerin yapısal eşitlik modeli ile incelenmesi ve bir pilot çalışması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2020; 35(4): 2183-2196.
- Koçak A., Diyardin A. Sanayi 4.0 geçiş süreçlerinde kritik başarı faktörlerinin dematel yöntemi ile değerlendirilmesi. *Ege Akademik Bakış* 2018; 18(1): 107-120.
- Lee NK. Total automation: the possibility of lights-out manufacturing in the near future. *Missouri S&T's Peer to Peer* 2018; 2(1): 1-12.
- Oğrak Z., Şık A. Plastik üretiminin endüstri 4.0'da örnek vaka uygulaması üzerinden incelenmesi. *Tykh* 2020; 5(8): 35-57.
- Özkaya A., Gür Ş., Eren T. Endüstri 4.0'a geçiş sürecinin analitik ağ süreci ile değerlendirilmesi. *Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2019; 3(2): 59.
- Russel III RS., Taylor III V. BW (2003). *Operations Management*, 4. Baskı.
- Saçak R., Gür Ş., Eren T. AHP ve Dematel yöntemleri ile nesnelerin internetinin işletmelerde yapılan uygulamalarının analizi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019; 8(2): 82-95.
- Uslu B., Gür Ş., Eren T. Endüstri 4.0 uygulaması için stratejik ASS ve Topsis yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B- Teorik Bilimler* 2019; 7(1): 13-28.
- Yanık S. Tesis planlama. *Ders Notları*, İstanbul 2021.
- Yıldız A. Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2018; 22(2): 546-556.
- Yıldız A., Ergül E., Gezegin C., Dirik H. Akıllı depolar için PLC ünitelerinin bulanık Topsis yöntemiyle değerlendirilmesi. *III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi* 2018.