

KARAR ZEKÂSI, ENDÜSTRİ 7.0 VE STRATEJİK DÖNÜŞÜM:

GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE UYGULAMALAR

EDİTÖR:
HÜSEYİN ŞANLI



BİDGE Yayınları

Karar Zekası, Endüstri 7.0 ve Stratejik Dönüşüm: Güncel Yaklaşımlar Ve Uygulamalar

Editör: HÜSEYİN ŞANLI

ISBN: 978-625-8989-70-0

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2026-06-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Dijital dönüşüm, yapay zeka teknolojileri ve veri odaklı karar verme yaklaşımları, günümüzün sosyo-teknik sistemlerinde önemli değişimlere yol açmaktadır. Bu dönüşüm süreci, karar bilimi, eğitim sistemleri ve stratejik yönetim alanlarında yeni teorik çerçevelerin ve uygulama modellerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

Karar Zekası, Endüstri 7.0 ve Stratejik Dönüşüm: Güncel Yaklaşımlar ve Uygulamalar başlıklı bu eser, karar analitiği, geleceğin eğitim sistemleri ve stratejik planlama alanlarında güncel yaklaşımları disiplinler arası bir perspektifle ele almaktadır. Kitapta yer alan çalışmalar, belirsizlik altında karar verme, Endüstri 7.0'ın ortaya çıkardığı dönüşüm dinamikleri ve entegre stratejik planlama yaklaşımları gibi güncel araştırma konularına odaklanmaktadır.

Bu eserin; ilgili alanlarda çalışan araştırmacılar, akademisyenler ve uygulayıcılar için yararlı bir kaynak oluşturmasının yanı sıra, gelecekte gerçekleştirilecek bilimsel çalışmalara da katkı sağlamasını dilerim.

Prof.Dr. Hüseyin ŞANLI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

SCORE FUNCTIONS AND DISTANCE MEASURES IN SPHERICAL FUZZY TOPSIS: A RANK STABILITY ANALYSIS	1
<i>DOĞAN ŞENGÜL</i>	
AI-SUPPORTED LOGISTICS MANAGEMENT: PERSPECTIVES ON FORECASTING, ROUTE OPTIMIZATION, AND RESILIENT SUPPLY CHAIN MANAGEMENT	26
<i>İREM KARAKAYA, AYKUT KARAKAYA</i>	
ENDÜSTRİ 7.0 VE GELECEĞİN EĞİTİM SİSTEMLERİ	42
<i>FATİH AYKURT</i>	
ENTEGRE STRATEJİK PLANLAMA ÇERÇEVESİ (ISPF): ÜRETİM STRATEJİLERİNE DAYALI SEKTÖREL ENTEGRASYONLU DİNAMİK PLANLAMA YAKLAŞIMI ..	60
<i>BESTE YAĞMUR ÖZGENALP</i>	

BÖLÜM 1

SCORE FUNCTIONS AND DISTANCE MEASURES IN SPHERICAL FUZZY TOPSIS: A RANK STABILITY ANALYSIS

Doğan ŞENGÜL¹

Introduction

Multi-criteria decision making addresses a central question: given several alternatives judged against several criteria, which alternative is best? When the judgements are vague, fuzzy sets in the sense of Zadeh (1965) carry the vagueness into the calculus. Among the many extensions of the original idea, spherical fuzzy sets have become one of the most active. Introduced by Kutlu Gündoğdu and Kahraman (2019), a spherical fuzzy set records a membership degree, a non-membership degree and a hesitancy degree whose squared sum is at most one, so that an expert may express support, opposition and indecision at the same time. The same paper extended the classical TOPSIS procedure of Hwang and Yoon (1981) to this setting; spherical fuzzy TOPSIS has since been applied to problems ranging from site selection to technology evaluation.

¹ PhD in Industrial Engineering. Assistant Professor, Department of Software Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Istanbul Sabahattin Zaim University, Istanbul, Türkiye, dogan.sengul@izu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2285-3907.

In spherical fuzzy TOPSIS applications, two methodological choices are often fixed before calculation. A score function turns spherical fuzzy numbers into real numbers so that the positive and negative ideal solutions can be identified, while a distance measure quantifies how far each alternative lies from those ideals. Both choices may affect the calculation. Sharaf (2023) showed that the reference points of spherical fuzzy TOPSIS and VIKOR change with the score function in use and redesigned both methods to avoid reference points altogether. Ali (2021) documented limitations of earlier score functions and proposed an alternative. Garg and Sharaf (2022) reported VIKOR rankings that shift as the distance measure and its parameter change. Nguyen (2022) reported that the same tour provider data produce different orders under arithmetic and geometric aggregation. Most recently, Güler (2026) proposed a geometrically consistent spherical distance for SF-TOPSIS and measured how it improves the agreement between arithmetic and geometric aggregation; contributions of that kind refine a single component of the pipeline. These studies publish sensitivity in rankinn and recent refinements, yet the joint mutual effect of published score functions and measures of distance has not been examined systematically across a full grid.

A second issue concerns terminology and formula citation. More than one formulation of some basic functions appears in the literature. Several papers that cite the founding article report its score function in different forms. Garg and Sharaf (2022) and Jafarzadeh Ghouschi et al. (2023) give the form in Equation (8) below, while two papers co-authored by the originators, Shishavan et al. (2020) and Donyatalab et al. (2020), give the form in Equation (7). A third form, Equation (9), appears in applied work such as Ayyildiz and Taskin (2022) and Nguyen et al. (2023). Two different spherical arc-distance formulas are also reported under the same name, as the formulations of Jafarzadeh Ghouschi et al. (2023) and Garg and

Sharaf (2022) show. A researcher implementing spherical fuzzy TOPSIS from secondary literature may consequently employ a formulation distinct from the originally intended model; the experimental findings show that this divergence can alter the final ranking.

Instead of introducing an alternative algorithmic variant, this chapter presents a systematic analysis of the prevailing methodological choices. First, it establishes a formal catalogue of six score functions and six distance measures, every formula verified against an accessible full text and quoted with its source. Second, it establishes the elementary properties of the catalogue. Ranges, monotonicity, order equivalence and metric axioms are covered. Each property receives a short proof or an explicit counterexample. The order equivalence analysis addresses one recurrent case. Some compared forms are algebraically equivalent in terms of TOPSIS ranking. A comparison between such forms may offer limited sensitivity evidence. Third, it analyses four generated cases under all thirty six combinations of score function and distance measure. It then estimates the frequency of selected instability patterns over a random sample of five thousand generated matrices. Rank correlation statistics quantify the stability of the resulting rankings. Fourth, it converts the findings into reporting guidance for applied work. All numerical inputs are generated from a stated master seed. Every computed element is reproduced by code written for this research. The implementation is validated against a published worked example before the experiment starts.

The contribution can be practically stated for three audiences. For applied analysts, the closing guidance table and the catalogue provide as a checklist. The checklist has two uses. It declares exactly which score and which distance a study uses. It also tests whether the data fall in a region where the choice may matter. For reviewers, the order equivalence results identify comparison panels that are not

expected to produce different rankings. Such panels should be interpreted with care when discussing sensitivity. For method developers, the documented ranking changes provide a benchmark for comparative evaluation. Any newly proposed score or distance can be evaluated against this benchmark before comparative claims are made.

The remainder of the chapter is organised as follows. The next section fixes notation and recalls the operations of spherical fuzzy sets. The two sections that follow build the catalogue of score functions and distance measures and establish their properties. The experimental design section describes the pipeline, the generation protocol and the validation of the implementation. The results section reports the factorial experiment, the discussion section explains the mechanism behind the observed reversals and distils practical guidance and the final section concludes.

Spherical Fuzzy Sets and Their Operations

Two conventions for three-component spherical fuzzy sets coexist in the literature and the distinction matters for everything that follows. In the convention of Kutlu Gündoğdu and Kahraman (2019), a spherical fuzzy number on a universe element is a triple $A = (\mu, \nu, \pi)$ of membership, non-membership and hesitancy degrees satisfying

$$0 \leq \mu^2 + \nu^2 + \pi^2 \leq 1. \quad (1)$$

In the lineage associated with Ashraf and Abdullah, used for instance by Barukab et al. (2019), the triple is $A = (\mu, \eta, \nu)$ of positive, neutral and negative membership degrees under the same quadratic constraint, while a refusal degree $r = \sqrt{1 - \mu^2 - \eta^2 - \nu^2}$ is derived as a residual. The two models share one mathematical domain, the part of the unit ball lying in the non-negative octant, but they name the third state differently: hesitancy

is an explicit component in the first convention and the neutral degree occupies the corresponding slot in the second. Throughout this chapter the hesitancy degree of the first convention and the neutral degree of the second are treated as playing the same role. This is a computational role correspondence adopted for cross-catalogue comparison, not a claim of semantic identity between the two modelling traditions; it is stated openly so that the reader can judge it. Score functions are sensitive to this role assignment. Distance measures, as will become clear, treat the three components symmetrically and are unaffected by it.

The operational laws of Kutlu Gündoğdu and Kahraman (2019), as restated in the open access source from which they were verified (Garg and Sharaf, 2022), include multiplication of two spherical fuzzy numbers,

$$A \otimes B = (\mu_A \mu_B, \sqrt{\nu_A^2 + \nu_B^2 - \nu_A^2 \nu_B^2}, \sqrt{(1 - \nu_B^2) \pi_A^2 + (1 - \nu_A^2) \pi_B^2 - \pi_A^2 \pi_B^2}), \quad (2)$$

multiplication by a scalar $\lambda > 0$,

$$\lambda \odot A = (\sqrt{1 - (1 - \mu_A^2)^\lambda}, \nu_A^\lambda, \sqrt{(1 - \mu_A^2)^\lambda - (1 - \mu_A^2 - \pi_A^2)^\lambda}), \quad (3)$$

and the spherical weighted arithmetic mean over numbers $A_1, \dots, A_n$ with non-negative weights summing to one,

$$SWAM(A_1, \dots, A_n) = (\sqrt{1 - \prod (1 - \mu_i^2)^{w_i}}, \prod \nu_i^{w_i}, \sqrt{\prod (1 - \mu_i^2)^{w_i} - \prod (1 - \mu_i^2 - \pi_i^2)^{w_i}}). \quad (4)$$

The Ashraf lineage weights a number by a scalar through the simpler law used by Barukab et al. (2019),

$$\lambda \odot A = (\sqrt{1 - (1 - \mu^2)^\lambda}, \eta^\lambda, \nu^\lambda), \quad (5)$$

in which the neutral and negative components are raised to the power of the weight. Both laws keep their results inside the admissible domain. Finally, every comparison rule in the catalogue below breaks score ties with the accuracy function

$$\text{acc}(A) = \mu^2 + \nu^2 + \pi^2, \quad (6)$$

which is stated identically across all sources consulted, so that a larger accuracy wins whenever scores are equal.

A Verified Catalogue of Score Functions

A score function maps a spherical fuzzy number to a real number so that numbers can be ordered. Six functions enter the experiment. Their formulas follow, each with the source from which it was verified; Table 1 collects them. The first three illustrate the citation variance described in the introduction, since all three are presented somewhere in the literature as the score function of the founding article. Two papers co-authored by the originators state it as

$$S_1(A) = (\mu - \pi/2)^2 - (\nu - \pi/2)^2, \quad (7)$$

with Shishavan et al. (2020, Eq. 13) and Donyatalab et al. (2020, Eq. 13) as verified statements. Independent citing groups state it as

$$S_2(A) = (\mu - \pi)^2 - (\nu - \pi)^2, \quad (8)$$

with Garg and Sharaf (2022, Eq. 4) and Jafarzadeh Ghouschi et al. (2023, Definition 4) as verified statements. Applied work in the analytic hierarchy lineage uses

$$S_3(A) = (2\mu - \pi)^2 - (\nu - \pi)^2, \quad (9)$$

verified in Ayyildiz and Taskin (2022, Eq. 2.14) and Nguyen et al. (2023, Eq. 20). The original article is not openly accessible, so the chapter takes no position on which form is the literal original; the relevant point here is that S_1 , S_2 and S_3 all appear in the literature

under one citation and that, as the results indicate, they can lead to different rankings. The linear score used in the Ashraf lineage, stated by Barukab et al. (2019, Definition 7) and restated by Bechar et al. (2024, Definition 5), is

$$S_4(A) = (2 + \mu - \eta - \nu) / 3. \quad (10)$$

Wan et al. (2023, Definition 5) propose a refusal-aware score, verified from the openly archived original,

$$S_5(A) = (1 + \mu^2 - \eta^2 - \nu^2 - \ln(1 + r^2)) / 2, \quad (11)$$

where r is the refusal degree; their Theorem 2 places its values in the unit interval. Bechar et al. (2024, Definition 7) propose a two-parameter quadratic score, verified from the journal's own copy,

$$S_6(A) = \mu^2 + m\eta^2 - n\nu^2, \quad 0 < m, n \leq 1, \quad (12)$$

According to Theorem 5, the score increases in m and decreases in n . The experiment fixes both variables at 0.5. This point is serving as the neutral centre in the admissible range. Some formulas follow one convention; the underlying data follow another. The preliminary role correspondence resolves this mismatch. The hesitancy degree provides the value for η . The refusal degree is calculated as the mathematical residual. Applied studies use these functions in the same way. The convention is stated explicitly so that it keeps every experimental number reproducible.

Table 1. Score functions' verified catalogue for spherical fuzzy numbers

Id	Formula	Verified statement in	Native convention
S_1	$(\mu - \pi/2)^2 - (\nu - \pi/2)^2$	Shishavan et al. (2020); Donyatalab et al. (2020)	(μ, ν, π)
S_2	$(\mu - \pi)^2 - (\nu - \pi)^2$	Garg and Sharaf (2022); Jafarzadeh Ghoushechi et al. (2023)	(μ, ν, π)

Id	Formula	Verified statement in	Native convention
S ₃	$(2\mu - \pi)^2 - (v - \pi)^2$	Ayyildiz and Taskin (2022); Nguyen et al. (2023)	(μ, v, π)
S ₄	$(2 + \mu - \eta - v)/3$	Barukab et al. (2019); Bechar et al. (2024)	(μ, η, v)
S ₅	$(1 + \mu^2 - \eta^2 - v^2 - \ln(1 + r^2))/2$	Wan et al. (2023)	(μ, η, v) with refusal r
S ₆	$\mu^2 + m\eta^2 - nv^2$	Bechar et al. (2024)	(μ, η, v)

Source: Compiled by the author; every formula verified against the accessible full text cited in the second column; for S₄, S₅ and S₆ the role correspondence $\eta := \pi$ applies.

Properties of the Score Functions

Proposition 1. On the admissible domain, S₁ and S₂ take values in $[-1, 1]$, S₃ in $[-1, 4]$, S₄ in $[0, 1]$, S₅ in $[0, 1]$ and S₆ with $m = n = 0.5$ in $[-0.5, 1]$. The functions S₄, S₅ and S₆ are non-decreasing in the membership degree and non-increasing in the negative degree everywhere on the domain. The functions S₁, S₂ and S₃ are not monotone with respect to the membership degree.

Proof. The bounds follow by inspecting extreme admissible values; for S₅ the bounds are Theorem 2 of Wan et al. (2023). Monotonicity of S₄ is immediate from linearity. For S₅, writing $r^2 = 1 - \mu^2 - \eta^2 - v^2$, the partial derivative with respect to μ equals $\mu(1 + 1/(1 + r^2))$, which is non-negative, while the derivatives with respect to η and to v equal $\eta(1/(1 + r^2) - 1)$ and $v(1/(1 + r^2) - 1)$, both non-positive; hence the claim. For S₆ the derivatives are 2μ and $-2nv$. To establish non-monotonicity, a single counterexample suffices. Consider the admissible numbers $A = (0.10, 0.10, 0.60)$ and $B = (0.20, 0.10, 0.60)$, which differ solely by an increased membership degree. Direct evaluation gives $S_1(A) = 0$ and $S_1(B) = -0.03$, $S_2(A) = 0$ and $S_2(B) = -0.09$, $S_3(A) = -0.09$ and $S_3(B) = -0.21$. In all three cases the number with the larger membership degree receives the lower score. The mechanism can be explained as follows: each of S₁,

S_2 and S_3 is a difference of squared distances to a hesitancy-dependent reference point; when μ lies below that reference point, an increase in μ moves the first square towards zero. $\square$

This non-monotone region can occur in practical calculations. It is entered whenever the membership degree falls below $\pi/2$, π or $\pi/2$ respectively; the discussion section shows that the standard weighting operations can place real decision matrices in this region.

Proposition 2. Let g be a strictly increasing real function and let $S' = g(S)$. Then S and S' identify the same positive and negative ideal solutions in every criterion column and produce identical TOPSIS rankings for every distance measure. Likewise, if a distance measure is multiplied by a positive constant, every closeness coefficient is unchanged.

Proof. Ideal identification uses only the order of score values within a column and a strictly increasing transformation preserves that order. For the succeeding claim, write the closeness coefficient as $CC = D^-(D^+ + D^-)$; replacing D by cD with $c > 0$ cancels. $\square$

Proposition 2 carries a direct and practical implication. Certain published comparisons might offer limited independent sensitivity evidence. The normalised Euclidean distance provides one example. Shishavan et al. (2020, Eq. 35) place the factor $1/q$ inside the root. Nguyen et al. (2023, Eq. 28) state the factor $1/2q$ instead. These two mathematical forms differ solely by a positive constant multiple. By Proposition 2 they are not expected to produce different TOPSIS rankings. A sensitivity analysis varying only these two formulas lacks independence because it compares two TOPSIS-equivalent normalisations. It does not test two distinct distance choices. The analysis code confirms this equivalence for the applied calculations. The six catalogue scores can produce different ranking orders, as Table 2 illustrates through admissible pairs.

Table 2. Witness pairs on which the catalogue score functions disagree

Pair	A	B	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
P1	(0.58, 0.65, 0.08)	(0.42, 0.04, 0.49)	B	A	A	B	A	B
P2	(0.39, 0.64, 0.27)	(0.14, 0.48, 0.42)	B	B	A	A	A	B
P3	(0.02, 0.09, 0.72)	(0.46, 0.16, 0.50)	A	A	A	B	B	B

Source: Author's computations; components in the order (μ, ν, π) ; for S_4, S_5 and S_6 the role correspondence $\eta := \pi$ applies.

Each row of Table 2 reports which of A and B is preferred by every score function. Three score functions prefer one number while the other three prefer the other in the first row; the remaining rows realise other disagreement patterns. Since ideal identification is the entry point of the TOPSIS pipeline, such pairs are possible sources of ranking differences.

A Verified Catalogue of Distance Measures

Khan et al. (2020, Definition 9) state the axioms expected of a distance measure D between spherical fuzzy sets: values in the unit interval, so that $D(x, y)$ lies between 0 and 1; the identity-of-indiscernibles condition, so that $D(x, y) = 0$ exactly when $x = y$; symmetry, so that $D(x, y) = D(y, x)$; and monotonicity with respect to set inclusion. Published forms do not always respect the first of these on the whole admissible domain; where a published distance differs from another only by a positive normalisation constant, the TOPSIS closeness ranking is unaffected by Proposition 2, although the stated numerical range may differ. Six measures enter the experiment, again each verified against an accessible source. For two alternatives x and y described over q criteria by spherical fuzzy numbers, the normalised Hamming and normalised Euclidean distances, as stated by Shishavan et al. (2020, Eqs. 34 and 35), are

$$D_1(x, y) = (1/q) \sum_j (|\mu_{xj} - \mu_{yj}| + |\nu_{xj} - \nu_{yj}| + |\pi_{xj} - \pi_{yj}|), \quad (13)$$

$$D_2(x, y) = \sqrt{(1/q) \sum_j ((\mu_{xj} - \mu_{yj})^2 + (v_{xj} - v_{yj})^2 + (\pi_{xj} - \pi_{yj})^2)}. \quad (14)$$

Barukab et al. (2019, Eq. 7) define a generalised distance on squared components, taken here at its Euclidean parameter value,

$$D_3(x, y) = \sqrt{(1/2q) \sum_j (|\mu_{xj}^2 - \mu_{yj}^2|^2 + |v_{xj}^2 - v_{yj}^2|^2 + |\pi_{xj}^2 - \pi_{yj}^2|^2)}. \quad (15)$$

Khan et al. (2020, Eq. 24) define a set-theoretic distance,

$$D_4(x, y) = 1 - \sum_j (\mu_{xj}^2 \mu_{yj}^2 + v_{xj}^2 v_{yj}^2 + \pi_{xj}^2 \pi_{yj}^2) / \sum_j (\max(\mu_{xj}^4, \mu_{yj}^4) + \max(v_{xj}^4, v_{yj}^4) + \max(\pi_{xj}^4, \pi_{yj}^4)). \quad (16)$$

Jafarzadeh Ghouschi et al. (2023, Eq. 21) state the normalised spherical arc distance,

$$D_5(x, y) = (2/(q\pi)) \sum_j \arccos(1 - ((\mu_{xj} - \mu_{yj})^2 + (v_{xj} - v_{yj})^2 + (\pi_{xj} - \pi_{yj})^2)/2), \quad (17)$$

in which π outside the component symbols is the circle constant. A different expression, $(2/\pi) \arccos(\mu_x \mu_y + v_x v_y + \pi_x \pi_y)$, is also reported under the same name in Garg and Sharaf (2022, Eq. 11); the two formulas are not algebraically identical, a further case in which the same label is used for different formulas. Finally, Wei et al. (2019, Eq. 17) define a cosine similarity and propose the angle it subtends as a distance,

$$\cos(x, y) = (1/q) \sum_j \frac{\mu_{xj}^2 \mu_{yj}^2 + v_{xj}^2 v_{yj}^2 + \pi_{xj}^2 \pi_{yj}^2}{\sqrt{\mu_{xj}^4 + v_{xj}^4 + \pi_{xj}^4} \sqrt{\mu_{yj}^4 + v_{yj}^4 + \pi_{yj}^4}}, \quad (18)$$

$$D_6(x, y) = \arccos(\cos(x, y)). \quad (19)$$

Proposition 3. D_6 does not satisfy the identity-of-indiscernibles condition. The admissible numbers $A = (0.4, 0.4, 0.4)$ and $B = (0.5, 0.5, 0.5)$ are distinct, yet $D_6(A, B) = 0$.

Proof. The squared component vectors $(0.16, 0.16, 0.16)$ and $(0.25, 0.25, 0.25)$ are proportional, so the cosine in Equation (18) equals one and its arccosine vanishes. $\square$

This result is due to the form of the measure rather than numerical rounding. Pairs of spherical fuzzy numbers whose squared components are proportional can receive zero computed distance. D_6 is included in the experiment because it appears in the literature; the results show how this property can affect the calculation. All six measures treat the three components symmetrically, so the role correspondence between conventions does not affect them. Table 3 summarises the catalogue.

Table 3. Verified catalogue of distance measures for spherical fuzzy sets

Id	Type	Verified statement in	Axiom note
D_1	Normalised Hamming	Shishavan et al. (2020), Eq. 34	Distance axioms stated in source
D_2	Normalised Euclidean	Shishavan et al. (2020), Eq. 35	$1/2q$ variant is closeness-equivalent (Prop. 2)
D_3	Generalised, squared components	Barukab et al. (2019), Eq. 7	Hamming and Chebyshev as parameter limits
D_4	Set-theoretic	Khan et al. (2020), Eq. 24	Satisfies axioms of their Definition 9
D_5	Normalised spherical arc	Jafarzadeh Ghouschi et al. (2023), Eq. 21	Non-identical namesake in Garg and Sharaf (2022)
D_6	Arc of cosine similarity	Wei et al. (2019), Eq. 17	Does not satisfy identity of indiscernibles (Prop. 3)

Source: Compiled by the author; axiom column as proved in the cited source or in Proposition 3.

Experimental Design

The experiment runs one fixed pipeline in which only the score function and the distance measure vary. Every case supplies a

spherical fuzzy decision matrix and a vector of spherical fuzzy criteria weights, both produced by the generation protocol described below. The weighted matrix is formed with the spherical multiplication of Equation (2) throughout. The factorial axes then act. For each of the six score functions the positive ideal solution collects, criterion by criterion, the weighted entry with the highest score, with ties broken by accuracy; the negative ideal solution collects the lowest. For each of the six distance measures the separation of every alternative from both ideals is computed and the closeness coefficient

$$CC_i = D(x_i, NIS) / (D(x_i, PIS) + D(x_i, NIS)) \quad (20)$$

orders the alternatives, largest first. Thirty six configurations result for each dataset. All criteria are benefit criteria by construction, so no cost transformation is required. Rankings are compared with the Kendall tau-b and Spearman rho coefficients, the number of distinct rankings, the split of first places and two conditional means. The first conditional mean averages correlations between configurations sharing a score function and so isolates the effect of the distance; the second conditions on a shared distance and isolates the effect of the score.

The data-generation framework is designed so that every result can be regenerated from the designated master seed. The protocol meets four structural objectives: the underlying data remain free from manual transcription errors, the experiment regenerates from a single stated seed, the design avoids focusing the analysis on a single applied study and the cases are selected by predefined rules. Each case is a five by four decision matrix whose ratings and weights are independent draws from a graded judgement scale of twenty seven spherical fuzzy terms. The scale crosses nine strength grades with three hesitancy levels: grade k carries membership $k/10$ and non-membership $(10-k)/10$, the hesitancy component takes the value 0.1, 0.2 or 0.3 and every term satisfies the spherical constraint. A

stream of random cases is produced from master seed 20260612. The four cases are the first members of the stream that satisfy the four selection rules recorded in Table 4, one rule for each stability regime. A further random sample of five thousand matrices from the same stream is used for the prevalence analysis reported with the results.

Table 4. Generated cases entering the factorial experiment

Case	Regime	Selection rule	Position	Size
C1	Full stability	First matrix returning a single ranking across all configurations	4	5 x 4
C2	Mild variation	First matrix with a unanimous leader, two to four distinct rankings and both axes active	43	5 x 4
C3	Leader change	First matrix with at least two leaders and minimum tau between -1 and -0.2	50	5 x 4
C4	Opposite ranking order	First matrix in which two configurations return exactly opposite ranking orders	904	5 x 4

Source: Author's construction; the supplementary code regenerates every case from master seed 20260612.

Validation precedes experimentation. The implementation of the operational laws, the score functions, the distance measures and the TOPSIS pipeline is the same engine used for the catalogue verification in the earlier sections and it reproduces the published worked example of Garg and Sharaf (2022), including the ranking. The generator is intentionally kept simple. Ratings and weights are independent draws from the graded scale, each generated triple satisfies the admissibility constraint by construction, and the selection rules of Table 4 were fixed before the stream was inspected. The stream, the four cases and the reported numerical results using the master seed are regenerated by the supplementary code.

Results

Tables 5 to 8 report the full grids: each cell shows the ranking, written as the sequence of alternative indices from best to worst, produced by the row's score function combined with the distance measure of the column. Table 9 condenses the stability statistics of the four cases and Table 10 reports the prevalence experiment over the random sample.

Table 5. Rankings for case C1, full stability

	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
S ₁	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1
S ₂	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1
S ₃	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1
S ₄	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1
S ₅	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1
S ₆	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1	4·2·3·5·1

Source: Author's computations on the generated case; entries list alternatives best to worst.

Table 6. Rankings for case C2, mild variation

	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
S ₁	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3
S ₂	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3
S ₃	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3
S ₄	5·4·1·2·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·1·2·3	5·4·2·1·3
S ₅	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3
S ₆	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3	5·4·2·1·3

Source: Author's computations on the generated case; entries list alternatives best to worst.

Table 7. Rankings for case C3, leader change

	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆
S ₁	1·2·5·3·4	1·5·4·2·3	1·5·2·4·3	1·2·5·3·4	1·2·5·3·4	5·4·1·2·3
S ₂	1·2·3·5·4	1·5·4·2·3	1·5·2·3·4	1·2·3·5·4	1·2·3·5·4	5·4·1·3·2
S ₃	1·3·2·5·4	1·5·4·2·3	1·5·2·3·4	1·2·3·5·4	1·3·2·5·4	5·4·1·3·2
S ₄	1·2·5·3·4	1·5·2·4·3	1·5·2·4·3	1·2·5·3·4	1·2·5·3·4	5·1·4·2·3
S ₅	1·2·5·3·4	1·5·4·2·3	1·5·2·4·3	1·2·5·3·4	1·2·5·4·3	5·4·1·2·3
S ₆	1·2·5·3·4	1·5·4·2·3	1·5·2·4·3	1·2·5·3·4	1·2·5·3·4	5·4·1·2·3

Source: Author's computations on the generated case; entries list alternatives best to worst.

Table 8. Rankings for case C4, opposite ranking order

	D₁	D₂	D₃	D₄	D₅	D₆
S ₁	5·2·1·3·4	1·5·3·2·4	5·1·2·4·3	5·2·1·4·3	5·2·1·3·4	3·4·2·1·5
S ₂	5·2·1·4·3	1·5·4·3·2	5·1·4·2·3	5·2·1·4·3	5·2·1·4·3	3·4·2·1·5
S ₃	5·2·1·4·3	1·5·4·3·2	5·1·4·2·3	5·2·1·4·3	5·2·1·4·3	3·4·2·1·5
S ₄	3·5·2·1·4	3·1·5·2·4	5·1·2·3·4	5·2·1·3·4	3·2·5·1·4	3·4·2·1·5
S ₅	5·2·1·3·4	1·2·3·5·4	5·1·2·4·3	5·2·1·4·3	2·5·1·3·4	3·4·2·1·5
S ₆	5·2·1·3·4	1·5·3·2·4	5·1·2·4·3	5·2·1·4·3	5·2·1·3·4	3·4·2·1·5

Source: Author's computations on the generated case; entries list alternatives best to worst.

Table 9. Stability statistics over the thirty six configurations of each case

Statistic	C1	C2	C3	C4
Distinct rankings	1	2	10	13
Mean tau, all pairs	1.000	0.978	0.503	0.187
Minimum tau	1.000	0.800	-0.400	-1.000
Mean tau, same score	1.000	0.982	0.473	0.158
Mean tau, same distance	1.000	0.978	0.856	0.753
First places	4: 36	5: 36	1: 30; 5: 6	5: 21; 3: 9; 1: 5; 2: 1

Source: Author's computations; tau denotes Kendall tau-b averaged over all pairs of configurations.

Table 10. Prevalence of the stability regimes over the random sample

Indicator	Value
Sampled matrices	5,000
Single ranking across all thirty-six configurations	482 (9.6 per cent)
Unanimous leading alternative	2,917 (58.3 per cent)
At least one pair at or below tau = 0	369 (7.4 per cent)
At least one exactly opposite pair	3 (0.06 per cent)
Different leaders from the two founding score forms	553 (11.1 per cent)
Mean agreement, configurations sharing a score	0.836
Mean agreement, configurations sharing a distance	0.963

Source: Author's computations over five thousand sampled matrices; tau denotes Kendall tau-b.

Case C1 shows complete stability. All thirty-six configurations return the same ranking. The choice of score function or distance measure is not affecting the ranking in this case. The reason is visible in the data. The fourth alternative carries the highest strength grade on every criterion. Every notion of ideal and every notion of separation therefore points the same way. Stability of this kind is a property of the data, not of the method.

Case C2 shows limited variation. The winner is unanimous, yet two distinct rankings appear. The deviation needs both axes at once: it appears only where the linear score S_4 meets D_1 or D_5 ; there the third and fourth places swap. The average correlation between configurations sharing a distance is 0.978. The corresponding figure for configurations sharing a score is 0.982. The two axes contribute almost equally in this case. The leading alternative is not changed by any configuration.

Case C3 is showing instability in the leading alternative. Ten distinct rankings arise. Thirty configurations select the first alternative. On the other hand, the entire D_6 column, all six score functions, selects the fifth alternative. The minimum pairwise correlation falls to -0.40. The conditional means locate the variation on the distance axis: configurations sharing a distance agree at 0.856 on average while configurations sharing a score agree at 0.473. The leader change is produced by the arc-cosine distance as noted in Proposition 3.

Case C4 shows the largest difference in the study. Thirteen distinct rankings appear and four different alternatives take first place across the grid. The minimum pairwise Kendall correlation is -1. For three of the six score functions the D_3 column and the D_6 column hold exactly opposite orders; the other two exactly opposite events in the random sample also involve D_6 . The conditional means agree with this picture: configurations sharing a distance agree at 0.753 on average while configurations sharing a score agree at only

0.158. The rows of Table 8 show the pattern clearly. The D_2 column favours the first alternative in five of its six cells, the D_6 column selects the third throughout and the remaining columns mostly select the fifth.

The four cases are selected draws from the stream and illustrate each regime in full. The random sample attaches frequencies to the regimes and Table 10 condenses them. Just under one sampled matrix in ten returns a single ranking across all thirty six configurations and a clear majority leaves the leading alternative untouched. A non-positive rank correlation appears in 7.4 per cent of matrices. Exactly opposite ranking orders appear three times in five thousand, so this event is rare in the sampled setting; all three events involve the arc-cosine distance D_6 . On average, configurations sharing a distance agree at 0.963 and configurations sharing a score agree at 0.836, so the score axis carries the larger share of the ordinary variation and the distance axis is associated with the rarest and largest ranking changes. The two circulating forms of the founding score select different leaders in 553 sampled matrices, about one in nine.

Discussion

The mechanism underlying ranking changes across the score formulations is the interaction between weighting and the non-monotone region identified in Proposition 1. The weighting laws, Equations (3) and (5), raise components to powers of weights that are typically far below one. Raising the non-membership and hesitancy components to such powers inflates them towards one while the membership component, transformed through its own root law, is compressed towards zero. Weighted matrices can therefore fall in a region of the domain where μ is small and π is large, which is precisely where $\mu < \pi$ and the quadratic difference scores may assign higher values when membership decreases. The first sampled

matrix in which the two founding forms select different leaders, stream position 9, shows the effect in one cell. The third alternative enters the first criterion with the strongest grade (0.9, 0.1, 0.2) and leaves the weighting step as (0.180, 0.802, 0.316), while the fourth alternative enters with (0.7, 0.3, 0.3) and leaves as (0.140, 0.820, 0.326); evaluating S_2 on the weighted entries gives -0.218 for the stronger entry against -0.210 for the weaker, so the entry with the stronger raw grade receives the lower score after weighting. A score function that is monotone on the whole domain is not affected in this way. Mean agreement statistics do not capture the full extent of this variation. In the random sample the mean within-row agreement is nearly identical across the six score functions. The risk of the non-monotone region appears in specific events instead: the two circulating forms of the founding score select different leaders in 553 of the five thousand sampled matrices, about one matrix in nine.

These observations aim to clarify structural sensitivity and complement prior empirical applications. They show that formula variations, normalisation procedures and reporting discrepancies can affect reproducibility and may change the ranking obtained from an identical decision matrix. Therefore, the purpose of this research is methodological clarification rather than criticism of individual studies.

Table 11 categorises these findings into practical reporting guidelines. Authors should state both the mathematical formula and its citation. The founding article is cited for at least three distinct score functions. A citation alone may not fully specify the implemented formula. The random sample illustrates this risk. The two circulating forms select different leading alternatives in roughly one out of nine matrices. Analysts should prefer score functions that are monotone on the whole domain for ideal identification. The quadratic difference scores contain a non-monotone region. Researchers should verify that the weighted decision matrix avoids

this region. The resulting ideal solutions can then be relied on. Practitioners should check the data for near-dominance. A dominant alternative protects every configuration. Case C1 shows this pattern. Stability of that kind belongs to the data rather than to the method. Researchers should interpret distance sensitivity panels with care. Varying a distance by a positive constant adds no independent information. Exchanging the two circulating normalisations of the Euclidean distance is one example. Under Proposition 2 this does not constitute an independent sensitivity test. Authors should verify the metric axioms before adopting a distance measure. The selected cosine-arc form does not satisfy one of them. It can assign zero computed distance to some distinct profiles. All three exactly opposite ranking pairs in the random sample are associated with this distance. Finally, new applied studies should print the aggregated matrix and the criteria weights in full. Complete numerical reporting supports verification. It enables independent re-analysis.

Table 11. Reporting guidance distilled from the analysis

Concern	Recommendation
Method identity	State the score function and distance formulas explicitly; a citation to the founding article may refer to at least three reported forms
Ideal identification	Prefer scores monotone on the whole domain (S_4 , S_5 type); otherwise check that weighted data avoid the non-monotone region
Apparent stability	Check for near-dominance in the data before attributing stability to the method
Sensitivity panels	Avoid treating positively proportional distance pairs as independent tests, since they cannot change the ranking (Proposition 2)
Distance adoption	Verify the distance axioms; the selected cosine-arc form can assign zero computed distance to some distinct profiles (Proposition 3)
Data publication	Print aggregated matrices and weights in full to keep results verifiable

Source: Author's elaboration on the results of this chapter.

Three limitations bound the claims. The experiment pairs four selected cases with a random sample of five thousand matrices, so the frequency of every phenomenon is estimated rather than only demonstrated; the estimates are confined to one generation protocol, one matrix size and one weighting law. The pipeline varies score and distance inside a single TOPSIS family; other method families carry their own sensitivities, as the VIKOR evidence of Garg and Sharaf (2022) already indicates. The parameters of S_6 were fixed at a single point of their admissible range and the role correspondence between hesitancy and neutrality, while standard in applied practice, is an interpretive choice that other analysts might draw differently. Extensions to interval-valued and T-spherical settings, to other method families and to the interaction with weighting schemes are natural continuations, as is a study of aggregation operators in the spirit of the SWAM and SWGM divergence reported by Nguyen (2022).

Conclusion

This chapter examined an issue that is often handled as a secondary modelling choice in the spherical fuzzy decision-making literature: the score function and the distance measure inside spherical fuzzy TOPSIS are methodological choices with measurable effects whose variation can change the resulting recommendation given to a decision maker. Across four generated cases and a random sample of five thousand matrices, each evaluated under all thirty six configurations, outcomes ranged from full stability, when one alternative dominates, to opposite ranking orders in the sampled setting. The usual ranking variation in the sample is associated mainly with the score axis and is consistent with the region identified in Proposition 1, since standard weighting operations can place matrices in the non-monotone region of the quadratic difference scores; the two reported forms of the founding score selected different leading alternatives in about one sampled

matrix in nine, while the largest ranking changes were associated with the arc-cosine distance as noted in Proposition 3. The catalogue, propositions, examples and guidance serve as a diagnostic framework for future research: a practical way to identify which method is actually being implemented and the extent to which a reported ranking depends on the data, the selected method and the reported formula.

Declarations

Funding. This research received no external funding.

Conflicts of interest. The author declares no conflict of interest.

Data availability. All case matrices are generated from a stated master seed by the protocol described in the experimental design section. A supplementary package accompanies the chapter containing the analysis engine, the generator and the complete machine readable results; both are also available from the author upon reasonable request.

References

Ali, J. (2021). A novel score function based CRITIC-MARCOS method with spherical fuzzy information. *Computational and Applied Mathematics*, 40(8), 280. <https://doi.org/10.1007/s40314-021-01670-9>

Ayyildiz, E., & Taskin, A. (2022). A novel spherical fuzzy AHP-VIKOR methodology to determine serving petrol station selection during COVID-19 lockdown: A pilot study for İstanbul. *Socio-Economic Planning Sciences*, 83, 101345. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101345>

Barukab, O., Abdullah, S., Ashraf, S., Arif, M., & Khan, S. A. (2019). A new approach to fuzzy TOPSIS method based on entropy measure under spherical fuzzy information. *Entropy*, 21(12), 1231. <https://doi.org/10.3390/e21121231>

Bechar, I., Bechar, R., & Benyettou, A. (2024). A novel score function for spherical fuzzy sets and its application to assignment problem. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 58(3), 210-224. <https://doi.org/10.24818/18423264/58.3.24.13>

Donyatalab, Y., Seyfi-Shishavan, S. A., Farrokhizadeh, E., Kutlu Gündoğdu, F., & Kahraman, C. (2020). Spherical fuzzy linear assignment method for multiple criteria group decision-making problems. *Informatica*, 31(4), 707-722. <https://doi.org/10.15388/20-INFOR433>

Garg, H., & Sharaf, I. M. (2022). A new spherical aggregation function with the concept of spherical fuzzy difference for spherical fuzzy EDAS and its application to industrial robot selection. *Computational and Applied Mathematics*, 41(5), 212. <https://doi.org/10.1007/s40314-022-01903-5>

Güler, E. (2026). A novel spherical distance measure for SF-TOPSIS: A generalized MCDM framework via application to municipal solid waste landfill site selection. *Mathematics*, 14(9), 1416. <https://doi.org/10.3390/math14091416>

Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>

Jafarzadeh Ghouschi, S., Shaffiee Haghsheenas, S., Memarpour Ghiaci, A., Guido, G., & Vitale, A. (2023). Road safety assessment and risks prioritization using an integrated SWARA and MARCOS approach under spherical fuzzy environment. *Neural Computing and Applications*, 35(6), 4549-4567. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07929-4>

Khan, M. J., Kumam, P., Deebani, W., Kumam, W., & Shah, Z. (2020). Distance and similarity measures for spherical fuzzy sets and their applications in selecting mega projects. *Mathematics*, 8(4), 519. <https://doi.org/10.3390/math8040519>

Kutlu Gündoğdu, F., & Kahraman, C. (2019). Spherical fuzzy sets and spherical fuzzy TOPSIS method. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 36(1), 337-352. <https://doi.org/10.3233/JIFS-181401>

Nguyen, P.-H. (2022). Spherical fuzzy decision-making approach integrating Delphi and TOPSIS for package tour provider selection. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 4249079. <https://doi.org/10.1155/2022/4249079>

Nguyen, P.-H., Tran, T.-H., Thi Nguyen, L.-A., Pham, H.-A., & Thi Pham, M.-A. (2023). Streamlining apartment provider evaluation: A spherical fuzzy multi-criteria decision-making model. *Heliyon*, 9(12), e22353. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22353>

Shishavan, S. A. S., Kutlu Gündoğdu, F., Farrokhizadeh, E., Donyatalab, Y., & Kahraman, C. (2020). Novel similarity measures in spherical fuzzy environment and their applications. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 94, 103837. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103837>

Sharaf, I. M. (2023). A new approach for spherical fuzzy TOPSIS and spherical fuzzy VIKOR applied to the evaluation of hydrogen storage systems. *Soft Computing*, 27(8), 4403-4423. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07749-7>

Wan, G., Rong, Y., & Garg, H. (2023). An efficient spherical fuzzy MEREC-CoCoSo approach based on novel score function and aggregation operators for group decision making. *Granular Computing*, 8(6), 1481-1503. <https://doi.org/10.1007/s41066-023-00381-2>

Wei, G., Wang, J., Lu, M., Wu, J., & Wei, C. (2019). Similarity measures of spherical fuzzy sets based on cosine function and their applications. *IEEE Access*, 7, 159069-159080. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2949296>

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

BÖLÜM 2

AI-SUPPORTED LOGISTICS MANAGEMENT: PERSPECTIVES ON FORECASTING, ROUTE OPTIMIZATION, AND RESILIENT SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

İREM KARAKAYA¹
AYKUT KARAKAYA²

Introduction

Logistics management is no longer viewed only as an operational activity that moves products from the point of origin to the point of consumption. It has become a data-driven decision area where many variables such as demand, capacity, cost, delivery time, risk, and customer satisfaction need to be managed together. The growing complexity of global supply networks, the expansion of e-commerce, changing customer expectations for speed and flexibility, and increasing uncertainty in supply chains have raised the need for intelligent decision support systems in logistics processes. These systems are expected to make more accurate forecasts, adapt to

¹ Dr. İrem Karakaya, Department of Management and Organisation, Bartın University, 74100 Bartın, Türkiye, Orcid: 0000-0003-3176-1518

² Dr. Aykut Karakaya, Department of Computer Technologies, Bulent Ecevit University, Zonguldak, Türkiye, Orcid: 0000-0001-6970-3239

changing conditions, and support decision makers. In this context, logistics management has become a multidimensional research area at the intersection of industrial engineering, data science, and artificial intelligence approaches.

Artificial intelligence is considered one of the key technologies that supports data-driven improvement in decision-making processes in logistics and supply chain management. Approaches such as machine learning, deep learning, reinforcement learning, big data analytics, and explainable artificial intelligence are widely used in this field. These approaches are applied to different problem areas, including demand forecasting, delivery time estimation, vehicle routing, transportation planning, inventory management, supplier evaluation, risk analysis, and supply chain resilience. Studies examining the role of artificial intelligence in supply chain management show that these technologies are not used only for automation. They also make important contributions to improving decision quality, reducing uncertainty, and enhancing operational performance (Sharma et al., 2022; Richey et al., 2023).

One of the important application areas of artificial intelligence in logistics management is forecasting. Demand levels, delivery times, delay probabilities, and operational bottlenecks need to be estimated in advance so that production, inventory, distribution, and transportation decisions can be planned more effectively. Traditional forecasting methods are often based on certain assumptions and linear relationships in historical data. In contrast, machine learning and deep learning methods can model more complex data structures. This makes AI-based forecasting models more valuable in logistics systems where product variety is high, demand fluctuations are frequent, and delivery performance has become an important factor in competition.

Another key dimension of AI-supported logistics management is route optimization. Vehicle routing problems have

long been discussed in the classical optimization literature. However, in today's logistics systems, these problems have become more dynamic and uncertain. Traffic congestion, time windows, vehicle capacity, delivery priorities, real-time demand changes, and customer locations directly affect routing decisions. For this reason, reinforcement learning and deep reinforcement learning approaches have attracted attention in vehicle routing and last-mile delivery problems. These approaches can generate decisions according to changing environmental conditions. Applications such as same-day delivery, drone-assisted distribution, and dynamic route planning further increase the practical importance of AI in this field (Yan et al., 2022; Giuffrida et al., 2022).

The third key dimension is resilient supply chain management. The COVID-19 pandemic, natural disasters, geopolitical risks, supply disruptions, and global market fluctuations have shown that supply chains cannot be designed only around cost and efficiency. Today, supply chains are expected to be agile, visible, flexible, and resistant to risks. AI-supported big data analytics, IoT, blockchain, digital twins, and explainable artificial intelligence contribute to meeting these expectations. In particular, the use of real-time data, early warning mechanisms, and explainable decision support structures helps logistics systems to be managed more reliably under crisis and uncertainty conditions (Zamani et al., 2023; Culot et al., 2024; Le & Fan, 2024).

This chapter evaluates AI-supported logistics management through forecasting, route optimization, and resilient supply chain management. It examines recent application studies published between 2021 and 2026 to show how AI methods are used in logistics problems, which problem areas they mainly focus on, and what kinds of contributions they provide for logistics management. The chapter therefore centers on how AI applications support

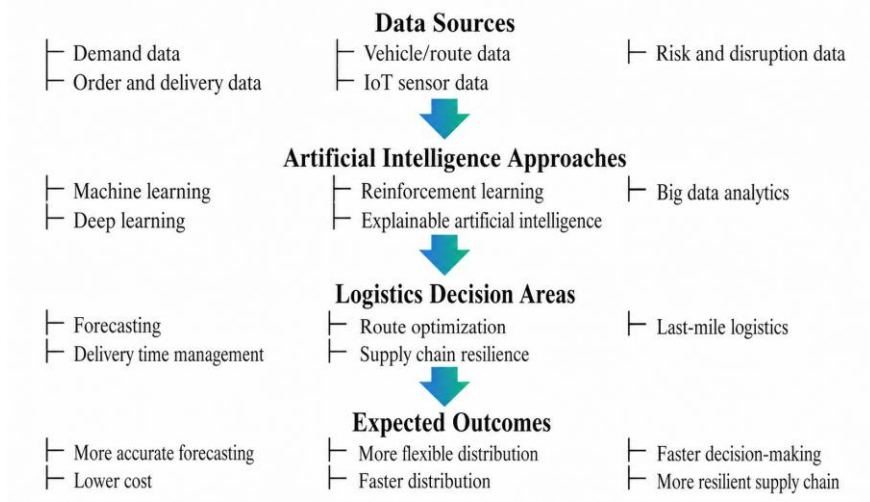
operational planning, decision support, performance improvement, and strategic resilience.

2. Literature Review of Recent Application Studies

When recent application studies on AI-supported logistics management are examined, the research appears to focus mainly on forecasting, route optimization, and supply chain resilience. These topics are related to different decision levels in logistics management. Forecasting studies mostly aim to reduce uncertainty in demand, delivery time, and planning processes. Route optimization studies contribute to making distribution processes more adaptable to changing conditions. Resilience-oriented studies aim to make supply chains more robust and manageable under risk, disruption, and uncertainty.

AI-supported logistics management can be considered an integrated structure that draws on different data sources and transforms these data into decision processes. Demand, order, delivery, vehicle, route, sensor, and risk data represent information coming from different points of the logistics system. Approaches such as machine learning, deep learning, reinforcement learning, big data analytics, and explainable artificial intelligence help transform this information into outputs with decision value. The structure summarized in Figure 1 establishes a direct link between data sources and logistics outcomes. It also shows that decision areas such as forecasting, delivery time management, route optimization, last-mile logistics, and supply chain resilience complement each other within the same system. Therefore, AI-supported logistics management is not only a technical approach focused on producing more accurate forecasts or lower costs. It is also a strategic decision support approach that contributes to the development of logistics systems that can adapt to changing conditions, make faster decisions, and maintain resilience under uncertainty.

Figure 1. Main components of AI-supported logistics management



2.1. AI-Based Forecasting

Forecasting is one of the key elements that directly affects demand, inventory, capacity, delivery time, and service level decisions in logistics management. For this reason, machine learning and deep learning approaches are increasingly used, especially in sectors where demand uncertainty is high. Rožanec et al. (2021) compared different forecasting algorithms in the automotive supply chain and showed that AI-based models can contribute to planning processes. Yani and Aamer (2023) showed that demand forecasting plays a critical role in product availability and service continuity in the pharmaceutical supply chain.

Another important issue in the forecasting literature is irregular and difficult-to-predict demand patterns. Chien et al. (2023) used an ensemble learning approach for aftermarket spare parts demand and showed that more reliable forecasts can be produced for variable demand structures. Rokoss et al. (2024) addressed the problem of delivery time estimation in small-batch production companies using machine learning. Their study showed that AI

models can also provide decision support for businesses of different scales. Tang and Zha (2026) proposed an intelligent logistics supply chain approach by combining IoT and machine learning. This study shows that real-time data is becoming increasingly important in forecasting and planning processes.

When these studies are considered together, the contribution of AI-based forecasting approaches is not limited to improving forecast accuracy. These approaches also help reduce uncertainty in logistics processes by linking forecasting results with inventory, capacity, delivery, and transportation decisions.

2.2. AI-Based Route Optimization

Route optimization is one of the important decision areas that directly affects distribution performance in logistics management. Classical vehicle routing problems mostly focus on reducing distance or cost. However, the decision process has become more complex in today's logistics systems. Traffic congestion, time windows, vehicle capacity, real-time demand changes, and delivery priorities directly affect routing decisions. For this reason, AI has become an important tool that supports decision makers, especially in dynamic and uncertain route planning problems.

Chen et al. (2022) used a Deep Q-learning approach for a same-day delivery system involving vehicles and drones. Their study highlighted the importance of hybrid distribution models in last-mile logistics. Li, J. et al. (2022) developed a deep reinforcement learning-based approach for the heterogeneous capacitated vehicle routing problem. This study shows that AI-based route planning can be applied to vehicle fleets with different capacities and operational characteristics. Pan and Liu (2023) focused on the dynamic and uncertain vehicle routing problem and emphasized that routing decisions need to be updated according to changing conditions. Jiang and Chang (2025) combined deep reinforcement learning with

queueing theory and proposed an approach that considers route, waiting time, and service intensity together in last-mile delivery.

When these studies are considered together, AI use in route optimization appears to be moving from static planning toward dynamic decision-making. Deep reinforcement learning stands out in last-mile logistics and vehicle routing problems because it can adapt to changing environmental conditions and learn from experience.

2.3. AI-Based Resilient Supply Chain Management

In recent years, resilience, agility, visibility, and preparedness for risks have become increasingly important in supply chain management, alongside cost and efficiency objectives. Global pandemics, natural disasters, geopolitical uncertainties, and supply disruptions have shown that logistics systems should be designed not only as efficient systems but also as resilient structures. In this context, AI is considered an important tool for identifying risks earlier, developing alternative decision scenarios, and supporting recovery processes.

Belhadi et al. (2022) presented an AI-based decision-making framework to improve supply chain resilience. Dubey et al. (2022) examined the effect of AI-supported big data analytics on agility and resilience in humanitarian supply chains. They emphasized the importance of data-driven decision-making in crisis logistics. Hu et al. (2023) proposed an intelligent system for the vaccine supply chain by combining blockchain, IoT, and machine learning. This study shows that traceability, real-time data, and decision support should be considered together in critical healthcare logistics. Li, X. et al. (2025) presented a recent approach for end-to-end supply chain resilience management by using deep learning, survival analysis, and explainable artificial intelligence.

These studies show that AI-supported logistics management is not limited to operational efficiency. In the recent literature, AI stands out as a strategic decision support tool that increases visibility in supply chains, detects risks earlier, and provides decision makers with more explainable outputs.

3. Comparative Evaluation and General Trends

The logistics context, problem type, AI approaches, and main contributions of the recent application studies examined in this chapter are summarized in Table 1. The table shows how the literature on AI-supported logistics management has diversified under the themes of forecasting, route optimization, and resilient supply chain management.

Table 1. Recent studies on AI-supported logistics management

Study	Application area	Problem	Method	Main contribution
Rožanec et al. (2021)	Automotive supply chain	Demand forecasting	ML	Compared forecasting methods
Yani & Aamer (2023)	Pharmaceutical supply chain	Demand forecasting	ML	Focused on improving forecasting accuracy
Chien et al. (2023)	Spare parts logistics	Spare parts demand forecasting	Ensemble learning	Supported the data-driven value chain
Rokoss et al. (2024)	Small-batch production	Delivery time estimation	ML	Developed a model for delivery time estimation
Tang & Zha (2026)	Intelligent logistics	Demand, inventory, and transportation planning	ML + IoT	Supported intelligent logistics decisions
Chen et al. (2022)	Same-day delivery	Vehicle-drone delivery	Deep Q-learning	Addressed dynamic delivery decisions

Li, J. et al. (2022)	Vehicle routing	Heterogeneous capacitated vehicle routing	DRL	Presented a deep learning-based solution for heterogeneous capacitated vehicle routing
Pan & Liu (2023)	Dynamic vehicle routing	Uncertain vehicle routing	DRL	Modeled dynamic and uncertain routing decisions
Jiang & Chang (2025)	Last-mile logistics	Dynamic route optimization	DRL + queueing theory	Improved last-mile delivery performance
Belhadi et al. (2022)	Supply chain	Resilience	AI-based decision framework	Presented a decision model for resilience management
Dubey et al. (2022)	Humanitarian logistics	Agility and resilience	AI + big data	Examined resilience in crisis logistics
Hu et al. (2023)	Vaccine supply chain	Intelligent tracking and management	Blockchain + IoT + ML	Proposed a traceable and intelligent supply chain
Li, X. et al. (2025)	Supply chain	Risk and resilience	DL + survival analysis + XAI	Presented explainable resilience management

When the studies summarized in Table 1 are evaluated together, it can be seen that the literature on AI-supported logistics management has developed around three main axes, as presented in Table 2. These axes are forecasting, route optimization, and resilient supply chain management. This classification shows that AI is not used in logistics only to solve a specific operational problem. On the contrary, AI is becoming an integrated management tool that supports different decision levels.

Table 2. Year and theme based distribution of the reviewed studies

Year	Forecasting	Route Optimization	Resilient Supply Chain
2021	Rožanec et al.	-	-
2022	-	Chen et al.; Li, J. et al.	Belhadi et al.; Dubey et al.
2023	Yani & Aamer; Chien et al.	Pan & Liu	Hu et al.
2024	Rokoss et al.	-	-
2025	-	Jiang & Chang	Li, X. et al.
2026	Tang & Zha	-	-

Forecasting-oriented studies stand out because of their contribution to reducing uncertainty in logistics processes. Although Rožanec et al. (2021), Yani and Aamer (2023), Chien et al. (2023), Rokoss et al. (2024), and Tang and Zha (2026) focus on different application areas, their common aim is to make demand, delivery time, inventory, and transportation planning decisions more reliable. These studies show that machine learning and IoT-supported approaches do not only improve forecasting accuracy. They also contribute to making inventory, capacity, and delivery decisions in a more data-driven way.

Studies on route optimization highlight the dynamic decision-making capacity of AI. The studies conducted by Chen et al. (2022), Li, J. et al. (2022), Pan and Liu (2023), and Jiang and Chang (2025) show that classical vehicle routing problems have become more complex under current logistics conditions. Problems such as vehicle-drone assisted delivery, heterogeneous vehicle fleets, uncertain route conditions, and last-mile delivery require more flexible and adaptive solutions. At this point, deep reinforcement learning attracts attention because it can generate decisions according to changing conditions and learn from the process.

Studies on resilient supply chain management make the strategic decision support role of AI more visible. The studies

conducted by Belhadi et al. (2022), Dubey et al. (2022), Hu et al. (2023), and Li, X. et al. (2025) show that supply chains should be evaluated not only in terms of cost and efficiency, but also in terms of risk, agility, traceability, explainability, and recovery capacity. In particular, the combined use of big data analytics, blockchain, IoT, and explainable artificial intelligence reveals the need for more reliable and traceable decision mechanisms in logistics systems.

From a methodological perspective, there is a clear alignment between the type of problem addressed and the AI approach used. Machine learning is mostly used in forecasting and delivery time estimation problems. Deep reinforcement learning stands out in route optimization and dynamic decision-making problems. IoT, blockchain, big data analytics, and explainable artificial intelligence are mostly used in studies focusing on resilience, traceability, and risk management. This shows that as logistics problems become more complex, the methods used also become more integrated and flexible.

Considering the general trends, it can be said that AI-supported logistics management is undergoing an important transformation. The focus of studies is shifting from merely improving forecasting accuracy to improving decision-making processes. Static planning is being replaced by dynamic decision systems supported by real-time data. Logistics performance is no longer evaluated only through cost, speed, and efficiency. Resilience, explainability, flexibility, and preparedness for risks have also become important performance dimensions.

In conclusion, the studies examined show that AI plays a transformative role in logistics management. Forecasting applications contribute to more effective planning by reducing uncertainty. Route optimization studies support the adaptation of distribution processes to changing conditions. Studies focusing on resilient supply chains show that AI can provide strategic decision

support under crisis, disruption, and risk conditions. Therefore, AI-supported logistics management should not be viewed only as a technological innovation. It should be considered an integrated management approach that contributes to the development of more predictable, flexible, explainable, and resilient logistics systems.

Future studies should focus on integrating AI models more strongly with real-time data sources. In addition, model outputs need to be more easily interpreted by decision makers, and hybrid approaches that address different logistics problem areas within the same system should be developed. Explainable artificial intelligence, digital twins, IoT-supported monitoring systems, and sustainable logistics decision models are among the research topics that may become more prominent in AI-supported logistics management in the coming years.

Kaynakça

Belhadi, A., Kamble, S. S., Wamba, S. F., & Queiroz, M. M. (2022). Building supply-chain resilience: An artificial intelligence-based technique and decision-making framework. *International Journal of Production Research*, 60(14), 4487–4507. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1950935>

Chen, X., Ulmer, M. W., & Thomas, B. W. (2022). Deep Q-learning for same-day delivery with vehicles and drones. *European Journal of Operational Research*, 298(3), 939–952. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.06.021>

Chien, C.-F., Ku, C.-C., & Lu, Y.-Y. (2023). Ensemble learning for demand forecast of after-market spare parts to empower data-driven value chain and an empirical study. *Computers & Industrial Engineering*, 185, Article 109670. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109670>

Culot, G., Podrecca, M., & Nassimbeni, G. (2024). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review of empirical studies and research directions. *Computers in Industry*, 162, Article 104132. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2024.104132>

Dubey, R., Bryde, D. J., Dwivedi, Y. K., Graham, G., & Foropon, C. (2022). Impact of artificial intelligence-driven big data analytics culture on agility and resilience in humanitarian supply chain: A practice-based view. *International Journal of Production Economics*, 250, Article 108618. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108618>

Giuffrida, N., Fajardo-Calderin, J., Masegosa, A. D., Werner, F., Steudter, M., & Pilla, F. (2022). Optimization and machine learning applied to last-mile logistics: A review. *Sustainability*, 14(9), Article 5329. <https://doi.org/10.3390/su14095329>

Hu, H., Xu, J., Liu, M., & Lim, M. K. (2023). Vaccine supply chain management: An intelligent system utilizing blockchain, IoT and machine learning. *Journal of Business Research*, 156, Article 113480. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113480>

Jiang, T.-H., & Chang, Y.-C. (2025). Machine learning-enhanced last-mile delivery optimization: Integrating deep reinforcement learning with queueing theory for dynamic vehicle routing. *Applied Sciences*, 15(21), Article 11320. <https://doi.org/10.3390/app152111320>

Le, T. V., & Fan, R. (2024). Digital twins for logistics and supply chain systems: Literature review, conceptual framework, research potential, and practical challenges. *Computers & Industrial Engineering*, 187, Article 109768. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109768>

Li, J., Ma, Y., Gao, R., Cao, Z., Lim, A., Song, W., & Zhang, J. (2022). Deep reinforcement learning for solving the heterogeneous capacitated vehicle routing problem. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 52(12), 13572–13585. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2021.3111082>

Li, X., Krivtsov, V., Pan, C., Nassehi, A., Gao, R. X., & Ivanov, D. (2025). End-to-end supply chain resilience management using deep learning, survival analysis, and explainable artificial intelligence. *International Journal of Production Research*, 63(3), 1174–1202. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2367685>

Pan, W., & Liu, S. Q. (2023). Deep reinforcement learning for the dynamic and uncertain vehicle routing problem. *Applied Intelligence*, 53, 405–422. <https://doi.org/10.1007/s10489-022-03456-w>

Richey, R. G., Jr., Chowdhury, S., Davis-Sramek, B., Giannakis, M., & Dwivedi, Y. K. (2023). Artificial intelligence in

logistics and supply chain management: A primer and roadmap for research. *Journal of Business Logistics*, 44(4), 532–549. <https://doi.org/10.1111/jbl.12364>

Rokoss, A., Syberg, M., Tomidei, L., Hülsing, C., Deuse, J., & Schmidt, M. (2024). Case study on delivery time determination using a machine learning approach in small batch production companies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 35, 3937–3958. <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02290-2>

Rožanec, J. M., Kažič, B., Škrjanc, M., Fortuna, B., & Mladenčić, D. (2021). Automotive OEM demand forecasting: A comparative study of forecasting algorithms and strategies. *Applied Sciences*, 11(15), Article 6787. <https://doi.org/10.3390/app11156787>

Sharma, R., Shishodia, A., Gunasekaran, A., Min, H., & Munim, Z. H. (2022). The role of artificial intelligence in supply chain management: Mapping the territory. *International Journal of Production Research*, 60(24), 7527–7550. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2029611>

Tang, Y., & Zha, C. (2026). Application of internet of things and machine learning in intelligent logistics supply chain. *Discover Internet of Things*, 6, Article 31. <https://doi.org/10.1007/s43926-026-00282-1>

Yan, Y., Chow, A. H. F., Ho, C. P., Kuo, Y.-H., Wu, Q., & Ying, C. (2022). Reinforcement learning for logistics and supply chain management: Methodologies, state of the art, and future opportunities. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 162, Article 102712. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102712>

Yani, L. P. E., & Aamer, A. (2023). Demand forecasting accuracy in the pharmaceutical supply chain: A machine learning approach. *International Journal of Pharmaceutical and Healthcare*

Marketing, 17(1), 1–23. <https://doi.org/10.1108/IJPHM-05-2021-0056>

Zamani, E. D., Smyth, C., Gupta, S., & Dennehy, D. (2023). Artificial intelligence and big data analytics for supply chain resilience: A systematic literature review. *Annals of Operations Research*, 327(2), 605–632. <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04983-y>

BÖLÜM 3

ENDÜSTRİ 7.0 VE GELECEĞİN EĞİTİM SİSTEMLERİ

Fatih AYKURT¹

Giriş

Dijital dönüşümün hızlanması, yapay zekâ teknolojilerinin yaygınlaşması, büyük veri analitiği, kuantum bilişim ve insan-merkezli teknolojik yaklaşımlar eğitim sistemlerinin yeniden tasarlanmasını zorunlu hale getirmektedir. Endüstri 4.0 ile başlayan dijital dönüşüm süreci, Endüstri 5.0 ile insan odaklı bir boyut kazanmış, geleceğe yönelik öngörüler ise Endüstri 7.0 kavramını gündeme getirmiştir. Endüstri 7.0; yapay zekâ, biyoteknoloji, kuantum teknolojileri, dijital ikizler ve insan-makine iş birliğinin ileri düzey entegrasyonunu ifade eden bir gelecek vizyonudur. Bu bölümde Endüstri 7.0 yaklaşımının temel özellikleri açıklanmakta, eğitim sistemlerine etkileri incelenmekte ve geleceğin okul modeli üzerine değerlendirmeler yapılmaktadır.

¹ Öğr. Gör. Dr., Talia Yaşar Bakdur Ortaokulu, Ankara/Türkiye, Orcid: 0000-0002-7926-621X, fatihaykurt06@gmail.com

ENDÜSTRİ DEVRİMLERİNDEN ENDÜSTRİ 7.0'A

1.1. Giriş

İnsanlık tarihi boyunca yaşanan teknolojik gelişmeler ekonomik ve sosyal yaşamın yeniden şekillenmesine neden olmuştur. Özellikle sanayi devrimleri üretim süreçlerini dönüştürmenin yanında eğitim sistemlerinin de yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılmıştır. Her sanayi devrimi kendi döneminin ihtiyaç duyduğu insan profilini ortaya çıkarmış ve eğitim sistemleri bu ihtiyaca cevap verecek şekilde değişmiştir.

Günümüzde yapay zekâ teknolojilerinin hızla gelişmesi, veri ekonomisinin büyümesi ve dijitalleşmenin toplumsal yaşamın her alanına yayılması yeni bir dönüşüm sürecini beraberinde getirmektedir. Bu dönüşüm, Endüstri 7.0 olarak adlandırılan geleceğe yönelik bir vizyonun tartışılmasına neden olmaktadır.

1.2. Sanayi Devrimlerinin Tarihsel Gelişimi

Endüstri 1.0

18.yüzyılın sonlarında buhar gücünün üretimde kullanılmaya başlanmasıyla ortaya çıkmıştır. Tarım toplumundan sanayi toplumuna geçiş sürecini temsil etmektedir.

Endüstri 2.0

Elektrik enerjisinin üretime entegrasyonu ile seri üretim sistemleri gelişmiş, fabrikalar büyümüş ve üretim kapasitesi önemli ölçüde artmıştır.

Endüstri 3.0

Bilgisayarların ve otomasyon sistemlerinin üretim süreçlerine girmesiyle başlamıştır. Programlanabilir mantık denetleyicileri (PLC) ve robot teknolojileri bu dönemin temel unsurlarıdır.

Endüstri 4.0

Almanya tarafından ortaya konulan Endüstri 4.0 yaklaşımı; nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler, büyük veri ve yapay zekâ uygulamalarını kapsamaktadır.

Endüstri 5.0

Avrupa Komisyonu tarafından geliştirilen Endüstri 5.0 yaklaşımı insan merkezlilik, sürdürülebilirlik ve dayanıklılık ilkelerini ön plana çıkarmaktadır.

1.3. Endüstri 7.0 Kavramı

Endüstri 7.0 henüz resmi bir sanayi politikası olmamakla birlikte geleceğe yönelik teknolojik dönüşüm senaryolarını ifade eden kavramsal bir yaklaşımdır.

Bu yaklaşımın temel bileşenleri şunlardır:

- Yapay Genel Zekâ (AGI)
- Kuantum Bilgisayarlar
- Dijital İkiz Ekosistemleri
- Otonom Karar Sistemleri
- Biyoteknoloji
- İnsan-Makine Entegrasyonu
- Sürdürülebilir Akıllı Sistemler

Endüstri 7.0'ın temel amacı teknolojiyi yalnızca verimlilik için değil, insanlığın gelişimi ve gezegenin sürdürülebilirliği için kullanmaktır.

1.4. Endüstri 7.0'ın Temel Özellikleri

İnsan ve Yapay Zekâ İş Birliği

Gelecekte yapay zekâ insanın yerine geçen bir unsur olmaktan ziyade insanın karar alma kapasitesini artıran bir ortak olarak değerlendirilecektir.

Otonom Sistemler

Makinalar yalnızca görevleri yerine getirmeyecek, aynı zamanda öğrenebilecek ve karar verebilecektir.

Dijital İkiz Teknolojileri

Fabrikalar, şehirler ve eğitim kurumlarının sanal kopyaları oluşturularak süreçlerin önceden simüle edilmesi mümkün olacaktır.

Kuantum Hesaplama

Karmaşık problemlerin saniyeler içerisinde çözülebilmesi eğitim, sağlık ve sanayi alanlarında yeni fırsatlar yaratacaktır.

1.5. Endüstri 7.0 ve Toplumsal Dönüşüm

Endüstri 7.0 yalnızca üretim sistemlerini değil;

- Eğitim sistemlerini,
- Kamu yönetimini,
- Sağlık hizmetlerini,
- Ekonomik yapıları,
- İş gücü piyasalarını

doğrudan etkileyecektir.

Bu nedenle geleceğin toplumları bilgi toplumundan "zeka toplumu"na dönüşecektir.

ENDÜSTRİ 7.0 ÇAĞINDA EĞİTİM SİSTEMLERİ

2.1. Eğitimde Paradigma Değişimi

Sanayi toplumlarında eğitim sistemlerinin temel amacı standart bilgiye sahip bireyler yetiştirmekti. Ancak Endüstri 7.0 döneminde bilgiye erişim son derece kolaylaşacağından eğitim sistemlerinin temel amacı bilgi aktarmak değil, bilgiyi anlamlandırabilen bireyler yetiştirmek olacaktır.

Bu nedenle eğitim;

- Öğretmen merkezli yapıdan,
- Öğrenci merkezli yapıya,

doğru dönüşecektir.

2.2. Geleceğin Öğrencilerinde Bulunması Gereken Beceriler

Eleştirel Düşünme

Öğrencilerin bilgiyi sorgulayabilmesi ve değerlendirebilmesi gerekmektedir.

Yaratıcılık

Yapay zekânın rutin işleri üstleneceği bir dünyada yaratıcılık en önemli insan becerilerinden biri olacaktır.

Problem Çözme

Karmaşık problemlere çözüm üretme kapasitesi geleceğin temel yetkinliklerinden biridir.

Dijital Okuryazarlık

Öğrencilerin dijital araçları etkin ve etik biçimde kullanabilmeleri beklenmektedir.

Veri Okuryazarlığı

Büyük veri çağında bireylerin veriyi analiz edebilme becerileri önem kazanacaktır.

Yapay Zekâ Okuryazarlığı

Yapay zekâ sistemlerini anlayabilen ve yönetebilen bireyler yetiştirmek eğitim sistemlerinin temel hedeflerinden biri olacaktır.

2.3. Geleceğin Öğretmeni

Öğretmenin rolü önemli ölçüde değişecektir.

Geleceğin öğretmeni;

- Rehber,
- Mentor,
- Koç,
- Tasarımcı,
- Öğrenme lideri

rollerini üstlenecektir.

Öğretmenler artık bilginin tek kaynağı olmayacak, öğrencilerin öğrenme süreçlerini yöneten uzmanlar haline gelecektir.

2.4. Yapay Zekâ Destekli Eğitim

Yapay zekâ sistemleri;

- Kişiselleştirilmiş öğrenme,
- Öğrenme analitikleri,
- Otomatik değerlendirme,
- Kariyer yönlendirme,
- Öğrenci takibi

alanlarında kullanılacaktır.

Öğrencilerin öğrenme hızları ve öğrenme stilleri analiz edilerek bireyselleştirilmiş eğitim programları oluşturulabilecektir.

2.5. Dijital Kampüsler ve Akıllı Okullar

Endüstri 7.0 döneminde okulların fiziksel yapıları da değişecektir.

Akıllı okullar;

- Sensör sistemleri,
- Yapay zekâ destekli yönetim,
- Enerji verimliliği,
- Sanal laboratuvarlar,
- Artırılmış gerçeklik sınıfları

gibi özelliklere sahip olacaktır.

2.6. Eğitimde Etik ve Güvenlik

Yapay zekâ kullanımının yaygınlaşması beraberinde bazı riskleri de getirmektedir.

Bunlar;

- Veri gizliliği,
- Algoritmik önyargılar,
- Dijital bağımlılık,
- Siber güvenlik sorunları

olarak sıralanabilir.

Bu nedenle eğitim politikalarının teknoloji kadar etik boyuta da odaklanması gerekmektedir.

TÜRKİYE'DE ENDÜSTRİ 7.0 VE GELECEĞİN OKUL MODELİ

3.1. Türkiye'nin Mevcut Durumu

Türkiye son yıllarda eğitim teknolojileri ve dijital dönüşüm alanında önemli yatırımlar gerçekleştirmiştir.

Özellikle;

- FATİH Projesi,
- EBA Platformu,
- Yapay zekâ stratejileri,

- Mesleki eğitim reformları

dijital dönüşüm sürecine katkı sağlamaktadır. Ancak Endüstri 7.0 perspektifinden bakıldığında daha kapsamlı dönüşümlere ihtiyaç duyulmaktadır.

3.2. Geleceğin Okul Modeli

Geleceğin okulları aşağıdaki özelliklere sahip olacaktır:

Esnek Öğrenme Alanları

Sabit sınıf anlayışı yerine modüler öğrenme ortamları kullanılacaktır.

Kişiselleştirilmiş Eğitim

Her öğrencinin öğrenme profiline göre farklılaştırılmış eğitim sunulacaktır.

Yapay Zekâ Destekli Rehberlik

Öğrencilerin akademik ve kariyer gelişimleri sürekli izlenecektir.

Yaşam Boyu Öğrenme

Okullar yalnızca çocukların değil yetişkinlerin de öğrenme merkezi olacaktır.

3.3. Eğitim Yöneticilerinin Yeni Roller

Okul yöneticileri;

- Teknoloji lideri,
- Veri yöneticisi,
- Stratejik planlamacı,
- Yenilik lideri rollerini üstlenecektir.

Karar alma süreçlerinde büyük veri ve yapay zekâ destekli sistemlerden yararlanılacaktır.

3.4. Politika Önerileri

Türkiye'nin Endüstri 7.0 sürecine hazırlanabilmesi için;

1. Yapay zekâ okuryazarlığı dersleri yaygınlaştırılmalıdır.
2. Öğretmen eğitimleri yeniden yapılandırılmalıdır.
3. Eğitimde veri yönetimi güçlendirilmelidir.
4. Üniversite-sanayi iş birlikleri artırılmalıdır.
5. Kuantum teknolojileri alanında insan kaynağı yetiştirilmelidir.
6. STEM ve STEAM uygulamaları yaygınlaştırılmalıdır.
7. Eğitim teknolojileri girişimleri desteklenmelidir.

3.5. Sonuç

Endüstri 7.0, teknolojik gelişmelerin insan merkezli bir yaklaşımla bütünleştiği yeni bir toplumsal dönüşüm vizyonu sunmaktadır. Eğitim sistemleri bu dönüşümün merkezinde yer almakta ve geleceğin bireylerini yetiştirme sorumluluğunu üstlenmektedir.

Geleceğin okulları bilgi aktaran kurumlar olmaktan çıkacak; bireylerin problem çözme, yaratıcılık, eleştirel düşünme ve yaşam boyu öğrenme becerilerini geliştiren merkezler haline gelecektir. Türkiye'nin bu dönüşüme uyum sağlayabilmesi için eğitim politikalarının bugünden itibaren Endüstri 7.0 perspektifi doğrultusunda şekillendirilmesi gerekmektedir.

ENDÜSTRİ 7.0 ÇAĞINDA EĞİTİM SİSTEMİNİN GELECEĞİ: 2040-2060 SENARYOLARI

4.1. Gelecekte Okul Kavramı Değişecek mi?

Sanayi toplumunun ürünü olan mevcut okul sistemi yaklaşık 150 yıldır büyük ölçüde aynı mantıkla çalışmaktadır. Öğrencilerin yaş

gruplarına göre sınıflara ayrıldığı, derslerin belirli sürelerde işlendiği ve başarının merkezi sınavlarla ölçüldüğü yapı, Endüstri 7.0 döneminde önemli ölçüde dönüşebilir.

Gelecekte eğitim sistemleri;

- Zamandan bağımsız,
- Mekândan bağımsız,
- Kişiselleştirilmiş,
- Veri temelli,
- Yapay zekâ destekli

bir yapıya dönüşebilir.

Bu dönüşüm okul binalarının tamamen ortadan kalkacağı anlamına gelmemektedir. Ancak okulun işlevi değişecektir.

Bugünün okulları bilgi aktarma merkezleri iken geleceğin okulları;

- Sosyalleşme merkezleri,
- İnovasyon laboratuvarları,
- Tasarım ve üretim atölyeleri,
- Problem çözme merkezleri

haline gelebilir.

4.2. Sınıf Sistemi Yerine Kişisel Öğrenme Ekosistemleri

Günümüzde 30 öğrencinin aynı sınıfta aynı konuyu aynı hızda öğrenmesi beklenmektedir.

Ancak yapay zekâ destekli öğrenme sistemleri sayesinde her öğrencinin;

- Öğrenme hızı,
- İlgil alanları,
- Yetenekleri,

- Akademik performansı,
- Psikolojik özellikleri

analiz edilerek kişiye özel eğitim planları hazırlanabilecektir.

Örnek Senaryo

2045 yılında bir öğrencinin sabah okula geldiğini düşünelim.

Yapay zekâ sistemi öğrencinin:

- Bir önceki gün çözemediği soruları,
- Güçlü yönlerini,
- Eksik öğrenmelerini

otomatik olarak analiz edecek ve o günkü öğrenme programını buna göre oluşturacaktır.

Böylece her öğrenci kendi öğrenme yolculuğunu yaşayacaktır.

4.3. Dersler Yerine Yetkinlik Temelli Eğitim

Endüstri 7.0 döneminde ders kavramı değişebilir.

Bugün;

- Matematik,
- Fen Bilimleri,
- Türkçe,
- Sosyal Bilgiler

şeklinde ayrılmış disiplinler bulunmaktadır.

Gelecekte ise;

Problem Çözme

Veri Analizi

Yapay Zekâ Tasarımı

Dijital Etik

Sürdürülebilir Yaşam

Küresel Vatandaşlık

gibi disiplinler arası öğrenme alanları ön plana çıkabilir.

Öğrenciler gerçek yaşam problemleri üzerinden öğrenebilir.

Örneğin;

"Ankara'nın enerji tüketimini azaltacak bir sistem tasarlayın."

projesi içerisinde;

- Matematik,
- Fizik,
- Yazılım,
- Coğrafya,
- Ekonomi

bir arada öğrenilebilir.

4.4. Yapay Zekâ Öğretmenleri ve İnsan Öğretmenler

Gelecekte öğretmenlerin yerini tamamen yapay zekâların alacağı yönünde çeşitli görüşler bulunmaktadır.

Ancak araştırmalar eğitimde insan faktörünün önemini koruyacağını göstermektedir.

Gelecekte yapay zekâ;

Öğretecek

Ölçecek

Analiz edecek

Kişiselleştirecek

Ancak öğretmen;

İlham verecek

Rehberlik edecek

Değer kazandıracak

Sosyal gelişimi yönetecek

kişi olmaya devam edecektir.

Bu nedenle öğretmenlik mesleği ortadan kalkmayacak, dönüşecektir.

4.5. Sınavlar Ortadan Kalkabilir mi?

Bugünkü sınav sistemleri belirli bir zamanda öğrenilen bilgiyi ölçmektedir.

Yapay zekâ destekli eğitim sistemlerinde öğrencinin tüm öğrenme süreci kayıt altına alınabilecektir.

Bu nedenle gelecekte;

- Tek oturumlu sınavlar,
- Ezbere dayalı testler,

- Standart başarı ölçümleri

yerine;

Sürekli Performans Değerlendirmesi

uygulanabilir.

Öğrencinin;

- Problem çözme becerisi,
- Takım çalışması,
- İletişim becerileri,
- Yaratıcılığı,
- Liderlik özellikleri

anlık olarak değerlendirilebilir.

4.6. Diplomaların Yerini Dijital Yetenek Pasaportları Alabilir

Bugün bireylerin eğitim düzeyi diplomalarla belgelenmektedir.

Ancak gelecekte işverenler yalnızca diploma yerine kişinin sahip olduğu becerileri görmek isteyecektir.

Bu nedenle;

"Dijital Yetenek Pasaportu" uygulamaları yaygınlaşabilir.

Bu pasaportlarda;

- Yapay zekâ becerileri,
- Yazılım bilgisi,
- Dil yeterlilikleri,
- Liderlik özellikleri,
- Proje deneyimleri

blokszincir teknolojisi ile kayıt altına alınabilir.

4.7. Artırılmış Gerçeklik ve Metaverse Okulları

2040 sonrasında eğitim ortamlarının önemli bir kısmı sanal ve artırılmış gerçeklik teknolojileri ile desteklenebilir.

Örneğin;

Bir öğrenci;

- Osmanlı Devleti'ni öğrenirken Topkapı Sarayı'nın sanal modelinde gezebilecek,
- Hücre bölünmesini hücrenin içerisinde gözlemleyebilecek,
- Mars yüzeyinde sanal deneyler yapabilecektir.

Bu durum öğrenmenin kalıcılığını artırabilir.

4.8. Beyin-Bilgisayar Arayüzleri ve Eğitim

Bilim insanları beyin ile bilgisayar arasındaki doğrudan iletişim sistemleri üzerinde çalışmaktadır.

2050 sonrasında;

- Hafıza destek sistemleri,
- Düşünce ile kontrol edilen uygulamalar,
- Nöro-teknolojik öğrenme araçları gündeme gelebilir.

Bu gelişmeler öğrenme süreçlerini kökten değiştirebilir.

Ancak etik tartışmaları da beraberinde getirecektir.

4.9. Geleceğin Okul Müdürü Nasıl Olacak?

Endüstri 7.0 döneminde okul müdürü yalnızca yönetsel görevleri yerine getiren kişi olmayacaktır.

Geleceğin okul liderleri;

Veri Analisti

Teknoloji Lideri

Değişim Yöneticisi

İnovasyon Koçu rollerini üstlenecektir.

Karar verme süreçlerinde yapay zekâ destekli yönetim panelleri kullanılacaktır.

Öğrenci devamsızlığı, akademik başarı, okul iklimi ve risk analizleri anlık olarak takip edilebilecektir.

4.10. Türkiye İçin Olası Eğitim Senaryosu (2050)

2050 yılında Türkiye'de;

- Her öğrenciye kişisel yapay zekâ asistanı,
- Ulusal öğrenme analitik sistemi,
- Dijital yetenek pasaportları,
- Sanal laboratuvarlar,
- Yapay zekâ destekli rehberlik sistemleri,
- Karma öğrenme kampüsleri

yaygın hale gelebilir.

Öğrenciler haftanın belirli günlerinde fiziksel kampüse gelirken diğer günlerde proje temelli ve bireyselleştirilmiş öğrenme etkinliklerine katılabilirler.

Sonuç ve Değerlendirme

Endüstri 7.0 çağında eğitim sistemleri yalnızca teknolojik araçların kullanıldığı yapılar olmayacaktır. Eğitim; yapay zekâ, veri bilimi,

kuantum teknolojileri ve insan merkezli öğrenme yaklaşımlarının bütünleştiği yeni bir ekosisteme dönüşecektir.

Geleceğin eğitim sisteminde;

- Bilgi yerine yetkinlik,
- Ezber yerine üretim,
- Rekabet yerine iş birliği,
- Standartlaşma yerine kişiselleştirme,
- Öğretme yerine öğrenmeyi öğrenme

ön plana çıkacaktır.

Bu dönüşümün merkezinde ise teknoloji değil, teknolojiyi anlamlı biçimde kullanabilen insan yer alacaktır.

Kaynakça

European Commission. (2021). Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry. Brussels.

Schwab, K. (2017). The Fourth Industrial Revolution. Crown Business.

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2018). The Second Machine Age. W.W. Norton.

OECD. (2023). Future of Education and Skills 2030. Paris: OECD Publishing.

UNESCO. (2023). Global Education Monitoring Report. Paris: UNESCO.

Luckin, R. (2018). Machine Learning and Human Intelligence. UCL Institute of Education Press.

Selwyn, N. (2019). Should Robots Replace Teachers?. Polity Press.

Fullan, M., Quinn, J., Drummy, M., & Gardner, M. (2020). Education Reimagined. Corwin.

World Economic Forum. (2025). The Future of Jobs Report. Geneva.

Aoun, J. E. (2017). Robot-Proof: Higher Education in the Age of Artificial Intelligence. MIT Press.

Zawacki-Richter, O., Marín, V., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic Review of Research on Artificial Intelligence Applications in Higher Education. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 16(39).

MEB. (2024). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli. Ankara: Millî Eğitim Bakanlığı.

BÖLÜM 4

Entegre Stratejik Planlama Çerçevesi (ISPF): Üretim Stratejilerine Dayalı Sektörel Entegrasyonlu Dinamik Planlama Yaklaşımı

BESTE YAĞMUR (ADALI) ÖZGENALP¹

Giriş

Günümüzde üretim sistemleri, artan rekabet, müşteri taleplerindeki çeşitlilik ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle giderek daha karmaşık bir yapıya dönüşmektedir. Bu dönüşüm, üretim planlama süreçlerinin yalnızca operasyonel bir faaliyet olarak ele alınmasını yetersiz hale getirmiş; planlamayı stratejik, veri odaklı ve bağlama duyarlı bir disiplin haline getirmiştir. Özellikle Endüstri 4.0, dijitalleşme ve akıllı sistemlerin yaygınlaşması ile üretim planlama, sistemler arası entegrasyonun ve veri yönetiminin merkezinde konumlanmaktadır.

Literatürde üretim planlama genellikle MRP ve ERP sistemleri çerçevesinde sınıflandırılmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar, farklı üretim ortamlarında planlama süreçlerinin nasıl değiştiğini bütüncül bir şekilde açıklamakta yetersiz kalmaktadır. Özellikle veri yapıları (BOM ve reçete), sistem altyapısı ve organizasyonel

¹ Yüksek Mühendis, Tepe Prefabrik, Akıllı Sistemler ve Endüstri Mühendisliği, 0009-0003-9681-3988

faktörlerin birlikte ele alınmaması, teorik modeller ile saha uygulamaları arasında önemli bir boşluk oluşturmaktadır.

Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmak amacıyla, yazarın yaklaşık 10 yıllık üretim planlama deneyimi ile akademik birikimini bir araya getirmektedir. Yazar, kariyeri boyunca mühendis, kıdemli mühendis, yönetici ve lider rollerinde görev alarak; seri üretim, kesikli üretim, karma üretim ve proje bazlı üretim sistemlerinde planlama süreçlerini doğrudan yönetmiş ve geliştirmiştir. Bu süreçte elde edilen deneyimler, üretim planlamanın evrensel bir yapıdan ziyade bağlama göre şekillenen dinamik bir süreç olduğunu açıkça ortaya koymuştur.

Yazarın Endüstri Mühendisliği eğitimi, sistem düşüncesi ve optimizasyon temelli yaklaşımın temelini oluştururken; Akıllı Sistemler Mühendisliği yüksek lisansı, veri odaklı karar verme ve sistem entegrasyonu konularında derinlik kazandırmıştır. Bunun yanı sıra, tedarik zinciri yönetimi, proje yönetimi (PMP), Mini MBA, duygusal zekâ ve yapay zekâ çağında dijital liderlik eğitimleri çalışmanın yalnızca teknik değil aynı zamanda stratejik ve organizasyonel boyutlarını da şekillendirmiştir.

Bu çok disiplinli yaklaşım, üretim planlamayı yalnızca bir zamanlama problemi olarak değil; aynı zamanda veri mimarisi tasarımı, sistem seçimi ve entegrasyonu, organizasyonel adaptasyon ve liderlik, maliyet ve verimlilik optimizasyonu gibi çok boyutlu bir yapı olarak ele almayı mümkün kılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, inşaat, savunma, otomotiv, mobilya ve plastik üretimi gibi farklı sektörlerde elde edilen saha deneyimleri analiz edilerek, üretim planlama yaklaşımlarının üretim stratejilerine göre nasıl değiştiği ortaya konulmuştur. Her bir vaka, planlama süreçlerinin yalnızca teknik araçlara değil, veri yapısına ve sistemsel uyuma bağlı olduğunu göstermektedir.

Bu doğrultuda çalışma, üretim planlama süreçlerini bütüncül bir çerçevede açıklamaya yönelik bir model önermektedir. Sonuç olarak üretim planlama alanında teori ile uygulama arasındaki boşluğu doldurmayı hedeflemekte; akademik literatüre özgün bir katkı sunarken, uygulayıcılar için de yol gösterici bir çerçeve sağlamaktadır.

Literatür İncelemesi

Üretim Stratejileri ve Planlama Paradigmaları

Üretim stratejileri, işletmelerin rekabet avantajı elde etmesinde kritik rol oynayan temel unsurlardan biridir. Üretim sistemleri genellikle talep yapısı ve ürün çeşitliliğine bağlı olarak stoğa dayalı üretim (MTS), siparişe dayalı üretim (MTO), Mühendisliğe dayalı üretim (ETO) ve proses üretimi olarak sınıflandırılmaktadır (Olhager, 2003). Bu sınıflandırma, üretim planlama yaklaşımlarının belirlenmesinde doğrudan etkili olmaktadır.

MTS sistemlerinde planlama, talep tahminlerine dayalı olarak stok optimizasyonu ve kapasite dengeleme üzerine kuruludur. Buna karşılık MTO ve ETO sistemlerinde müşteri taleplerinin belirsizliği ve ürün özelleştirme gereksinimi, planlama süreçlerinin daha esnek ve adaptif olmasını zorunlu kılmaktadır (Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2016)

(Hayes & Wheelwright, 1979) Üretim stratejisinin işletme performansı üzerindeki etkisini vurgulanmasıyla ile üretim süreçlerinin ürün yaşam döngüsü ile uyumlu olması gerektiğini ortaya konulmuştur Bu yaklaşım, üretim planlamanın yalnızca operasyonel bir faaliyet değil, aynı zamanda stratejik bir karar alanı olduğunu göstergesi haline gelmiştir.

Ancak literatürde üretim stratejileri genellikle üst düzey kavramsal çerçevede ele alınmakta, bu stratejilerin veri yapıları ve

sistem altyapısı ile ilişkisi sınırlı düzeyde incelenmektedir. Bu durum, özellikle yüksek varyasyon içeren üretim sistemlerinde planlama problemlerinin anlaşılmasını zorlaştırmaktadır.

Veri Mimarisi: BOM (Bill of Materials) ve Reçete (Routing) Yapıları

Üretim planlamanın temelini oluşturan veri yapıları, ürün ağacı (Bill of Materials- BOM) ve üretim rotaları (Routing) olarak iki ana bileşenden oluşmaktadır (Stadtler, 2015). BOM, bir ürünün bileşenlerini ve hiyerarşik yapısını tanımlarken, reçete üretim sürecinin operasyonel akışını belirlemektedir.

MRP sistemlerinin temel girdisi olan çok seviyeli BOM yapıları, teorik olarak üretim süreçlerinin detaylı kontrolünü sağlamaktadır (Orlicky, 1975). Ancak pratikte, özellikle ETO ve proje bazlı üretim ortamlarında bu yapıların yönetimi karmaşık hale gelmekte ve planlama süreçlerini yavaşlatabilmektedir.

Buna karşılık, düşük varyasyonlu ve seri üretime yakın sistemlerde tek seviyeli BOM yapıları daha hızlı ve pratik çözümler sunabilmektedir. Ancak bu yapı, izlenebilirlik ve kontrol açısından sınırlılıklar yaratabilmektedir.

Benzer şekilde, reçete yapıları da üretim planlamanın kritik bir bileşenidir. Standart reçeteler, seri üretim sistemlerinde verimlilik sağlarken; değişken üretim ortamlarında esnek ve adaptif reçete yapıları gerekmektedir.

Bu bağlamda, literatürde BOM ve reçete yapılarının üretim stratejisine bağlı olarak nasıl şekillenmesi gerektiği yeterince ele alınmamıştır. Bu çalışma, veri mimarisinin planlama başarısındaki belirleyici rolünü ortaya koyarak bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

ERP Sistemleri ve Planlama Üzerindeki Etkileri

Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) sistemleri, işletmelerde farklı fonksiyonları entegre ederek veri akışını merkezi hale getirmeyi amaçlamaktadır (Davenport, 1998). ERP sistemleri, üretim planlama süreçlerinde veri bütünlüğü, izlenebilirlik ve koordinasyon sağlama açısından kritik bir rol oynamaktadır.

ERP sistemlerinin başarısı, teknik kapasitenin ötesinde, organizasyonel uyum, veri bütünlüğü ve kullanıcı adaptasyonu gibi kritik başarı faktörlerinin etkin yönetimine bağlıdır (Umble, Haft, & Umble, 2003). Birçok çalışmada ERP uygulamalarının başarısız olmasının temel nedenleri arasında kullanıcı direnci, sistemlerin esnek olmaması, veri giriş süreçlerinin yetersizliği gibi faktörler gösterilmektedir.

Ayrıca ERP sistemleri genellikle standartlaştırılmış süreçler üzerine kuruludur. Bu durum, yüksek değişkenlik içeren üretim ortamlarında sistemlerin yetersiz kalmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, ERP sistemlerinin her üretim ortamında aynı başarıyı göstermesi beklenmemelidir.

ERP Seçimi ve Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımları

ERP sistemlerinin seçimi, işletmeler için kritik stratejik kararlardan biridir. Bu süreçte yalnızca teknik kriterler değil; maliyet, esneklik, kullanıcı dostu olması ve organizasyonel uyum gibi çok sayıda faktör dikkate alınmalıdır.

Bu nedenle literatürde ERP seçim problemleri, çok kriterli karar verme (Multi-Criteria Decision Making – MCDM) yöntemleri ile ele alınmaktadır. Bu yöntemler, farklı alternatiflerin çok boyutlu kriterler üzerinden sistematik bir şekilde değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

Bu bağlamda, (Özgenalp, 2019) literatürde gerçekleştirilen bir çalışmada, ERP seçim sürecinin çok kriterli karar verme

teknikleri ile ele alınması gerektiği ortaya konulmuş ve sistem seçiminin organizasyonel performans üzerindeki etkisi vurgulanmıştır. Bu yaklaşım, ERP sistemlerinin yalnızca teknik bir araç değil, stratejik bir karar unsuru olduğunu gösterir nitelikte değerlendirilmiştir.

Coğrafi ve Organizasyonel Bağlamın Etkisi

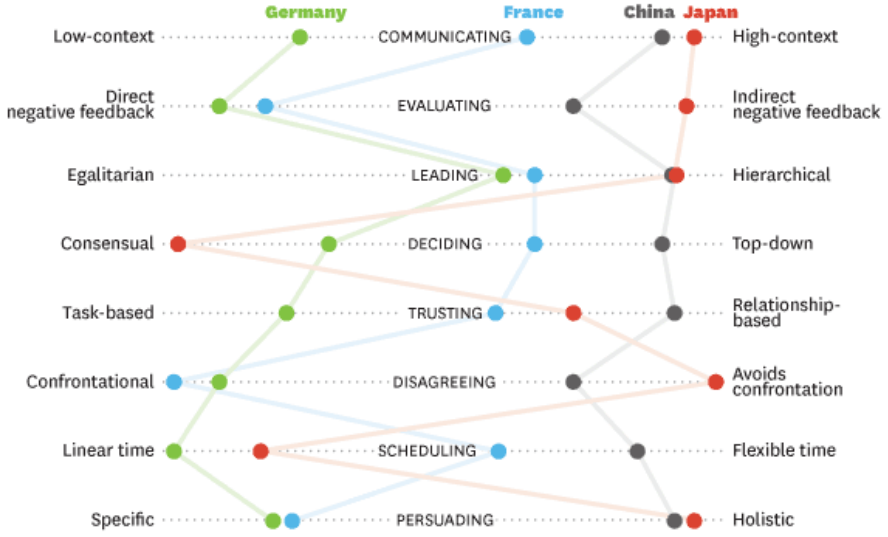
ERP sistemlerinin ve üretim planlama yaklaşımlarının etkinliği, yalnızca teknik yeterlilikler veya yazılım özellikleri ile açıklanamaz. Bu sistemlerin başarısı, büyük ölçüde uygulandıkları coğrafi ve organizasyonel bağlam ile olan uyumuna bağlıdır. Farklı ülkelerde ve organizasyon kültürlerinde karar alma süreçlerinin merkezîyet düzeyi, teknolojiye adaptasyon hızı ve iş yapma biçimleri önemli farklılıklar göstermekte; bu durum ERP sistemlerinin kullanım şekli ve performansı üzerinde doğrudan etkili olmaktadır.

Özellikle hiyerarşik karar yapısına sahip organizasyonlarda sistem kullanımı daha kontrollü ve sınırlı kalabilirken, daha çevik ve yatay organizasyonlarda ERP sistemleri karar destek aracı olarak daha etkin kullanılabilir. Benzer şekilde, dijital olgunluk seviyesi yüksek olan ortamlarda sistem entegrasyonu ve veri kullanımı daha ileri düzeyde gerçekleşirken, düşük dijital adaptasyon seviyesine sahip organizasyonlarda ERP sistemleri çoğu zaman yalnızca operasyonel kayıt aracı olarak konumlandırılmaktadır.

(Adalı, 2018) Başka bir çalışma da ERP sistemlerinin farklı coğrafyalarda farklı algılandığını ve uygulama başarısının teknik faktörlerden ziyade bağlamsal değişkenlere bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgu, ERP sistemlerinin evrensel ve standart çözümler olarak ele alınamayacağını; aksine organizasyonel yapı, kültür ve çevresel faktörler ile uyumlu olacak şekilde konumlandırılması gerektiğini göstermektedir. Şekil 1'deki görsel

ise dört farklı kültüre göre yönetim tarzına örnek olarak gösterilmektedir.

Şekil 1:Farklı Kültürlerde Yönetim Tarzı



Bu doğrultuda ERP sistemleri, tek başına bir çözüm değil; doğru strateji, uygun veri mimarisi ve organizasyonel uyum ile değer yaratan bir kültürel yapı olarak değerlendirilmelidir. Bu yaklaşım, üretim planlama süreçlerinde bağlamsal farkındalığın kritik bir başarı faktörü olduğunu ortaya koymaktadır

Yalın Üretim, Verimlilik ve Sürekli İyileştirme

Yalın üretim yaklaşımı, üretim sistemlerinde israfın sistematik olarak ortadan kaldırılması ve süreç verimliliğinin artırılması üzerine kurgulanmış bütüncül bir yönetim felsefesidir (Womack & Jones, 1996). Bu yaklaşım kapsamında Kaizen, 5S, Kanban ve TPM gibi araçlar, operasyonel süreçlerin iyileştirilmesi, standartlaştırılması ve sürdürülebilir hale getirilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknikler, özellikle üretim

sahasında görünürlük, düzen ve sürekli iyileştirme kültürünün oluşturulmasında önemli rol oynamaktadır.

Seri üretim sistemlerinde yalın üretim araçlarının etkisi daha belirgin hale gelmektedir. Üretim akışının kesintisiz devam etmesi gereken bu ortamlarda, küçük bir aksaklığın dahi tüm hattı etkileyebilmesi, süreçlerin dengeli ve senkronize şekilde yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu noktada hat dengeleme, çekme sistemleri ve otonom bakım uygulamaları, üretim sürekliliğinin sağlanmasında kritik rol üstlenmektedir. Benzer şekilde, Kısıtlar Teorisi (Theory of Constraints – TOC), üretim sistemlerinde darboğazların belirlenmesi ve sistem performansının bu kritik noktalar üzerinden optimize edilmesi açısından önemli bir yaklaşım sunmaktadır (Goldratt, 1984).

Bununla birlikte, çalışma kapsamında elde edilen bulgular, yalın üretim tekniklerinin çoğunlukla operasyonel düzeyde uygulandığını ve üretim planlama sistemleri ile entegrasyonunun sınırlı kaldığını göstermektedir. Bu durum, sahada elde edilen iyileştirme kazanımlarının planlama seviyesine yeterince yansıtılamamasına neden olmaktadır. Örneğin, 6S, hat dengeleme (yamazumi) veya Kanban uygulamaları ile sağlanan akış iyileştirmeleri, veri mimarisi ve planlama algoritmaları ile desteklenmediğinde sürdürülebilirlik açısından zayıf kalabilmektedir.

Dolayısıyla yalın üretim yaklaşımlarının gerçek potansiyeline ulaşabilmesi, yalnızca operasyonel iyileştirmeler ile değil; bu iyileştirmelerin üretim planlama sistemleri, veri yapıları ve dijital altyapılar ile entegre edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu entegrasyon sağlandığında, yalın üretim yalnızca saha seviyesinde değil, planlama ve karar destek süreçlerinde de etkin bir rol üstlenebilmektedir.

Literatürdeki Boşluk ve Çalışmanın Katkısı

Literatür incelendiğinde, üretim planlama alanındaki çalışmaların büyük ölçüde parçalı bir yapı sergilediği görülmektedir. Üretim stratejileri genellikle sipariş karşılama noktası ve üretim tipi üzerinden ele alınırken (Olhager, 2003) , ERP sistemleri daha çok kurumsal entegrasyon ve bilgi akışı perspektifinden değerlendirilmektedir (Davenport, 1998). Veri yapıları ise çoğunlukla tedarik zinciri ve planlama algoritmaları bağlamında incelenmekte ve teknik bir unsur olarak konumlandırılmaktadır (Stadtler, 2015). Ancak bu üç bileşen arasındaki etkileşim, özellikle uygulama düzeyinde, sınırlı sayıda çalışmada bütüncül olarak ele alınmıştır.

Bu parçalı yaklaşım, üretim planlama problemlerinin kök nedenlerinin anlaşılmasını zorlaştırmakta ve çözüm önerilerinin çoğunlukla tek boyutlu kalmasına neden olmaktadır. Özellikle ERP odaklı yaklaşımların, veri yapısı ve üretim stratejisi ile uyumsuz olduğu durumlarda başarısız olması, literatürdeki bu boşluğu daha da belirgin hale getirmektedir.

Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı hedefleyerek üretim planlamayı üç temel eksenin etkileşimi üzerinden yeniden tanımlamaktadır: üretim stratejisi, veri mimarisi (BOM ve reçete yapıları) ve sistem altyapısı (ERP, MES ve diğer dijital çözümler). Bu üç bileşen, yalnızca bağımsız değişkenler olarak değil, birbirini şekillendiren ve karşılıklı olarak etkileyen bir yapı içerisinde ele alınmaktadır.

Bu bağlamda geliştirilen ISPF modeli, üretim planlamayı çok katmanlı bir sistem olarak kurgulamakta ve planlama başarısını bu katmanlar arasındaki uyum ile açıklamaktadır. Modelin geliştirilme sürecinde aşağıdaki temel unsurlar dikkate alınmıştır:

- Farklı üretim stratejilerinin (ETO, seri, hibrit, lean vb.) planlama davranışları üzerindeki etkisi

- BOM ve reçete yapılarının planlama doğruluğu ve sistem performansı üzerindeki belirleyici rolü
- ERP ve MES sistemlerinin veri ile uyumlu olmadığına değır üretmekte yetersiz kalması
- Dijitalleşme seviyesinin ve gerçık zamanlı veri akışının planlama üzerindeki etkisi
- Organizasyonel yapı, kullanıcı davranışı ve kültürel faktörlerin sistem başarısındaki rolü
- Farklı sektörlerde (savunma, otomotiv, inşaat, mobilya, plastik) gözlemlenen saha deneyimleri

Bu unsurların birlikte değırlendirilmesi sonucunda, üretim planlamanın yalnızca teknik bir optimizasyon problemi değıl; stratejik, veri odaklı ve bağlamsal faktörlerin kesişiminde yer alan bir uyum problemi olduğu ortaya konulmuştur.

ISPF modelinin literatüre en önemli katkısı, üretim planlamayı oluşturan temel bileşenleri tek bir çerçevede bütünleştirerek aralarındaki ilişkiyi açık ve sistematik bir şekilde tanımlamasıdır. Model, özellikle veri mimarisini planlamanın merkezine yerleştirerek mevcut yaklaşımlardan ayırmakta ve ERP sistemlerini sonuç üreten bir yapıdan ziyade, doğru konumlandırıldığında değır yaratan bir araç olarak yeniden tanımlamaktadır.

Bu yönüyle çalışma, hem teorik literatürdeki parçalı yapıyı bütünleştirmekte hem de saha deneyimleri ile desteklenmiş uygulanabilir bir model sunarak üretim planlama disiplinine yeni bir perspektif kazandırmaktadır.

Metodoloji

Araştırma Yaklaşımı ve Felsefesi

Bu çalışma, üretim planlama süreçlerinin farklı üretim stratejileri altında nasıl değiştiğini ve bu değişimin veri mimarisi ile sistem altyapısı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla **nitel araştırma yaklaşımı** ile tasarlanmıştır. Nitel araştırma yöntemleri, karmaşık ve bağlama duyarlı olguların derinlemesine analiz edilmesine olanak sağlamaktadır (Yin, 2009).

Çalışmanın epistemolojik temeli, **yorumlayıcı (interpretivist) yaklaşım** üzerine kuruludur. Bu yaklaşım, üretim planlama süreçlerinin yalnızca sayısal verilerle değil, aynı zamanda bağlamsal ve deneyimsel faktörlerle şekillendiğini kabul etmektedir. Bu doğrultuda çalışma, üretim planlamayı evrensel bir model yerine **bağlama duyarlı dinamik bir sistem** olarak ele almaktadır

Araştırma Tasarımı: Çoklu Vaka Analizi

Araştırma, çoklu vaka analizi (multiple case study) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çoklu vaka analizi, farklı bağlamlarda ortaya çıkan benzer veya farklı örüntülerin karşılaştırmalı olarak incelenmesine olanak tanımaktadır (Yin, 2009).

Bu çalışma kapsamında seçilen vakalar, farklı üretim stratejilerini temsil edecek şekilde belirlenmiştir:

- İnşaat sektörü (çelik yapı üretimi – ETO)
- Savunma sanayi (proje bazlı üretim)
- Otomotiv sektörü (seri üretim)
- Mobilya sektörü (kesikli–seri hibrit üretim)
- Plastik üretimi (maliyet odaklı üretim)

Bu çeşitlilik, üretim planlama yaklaşımlarının farklı üretim ortamlarında nasıl değiştiğinin sistematik olarak analiz edilmesini sağlamaktadır.

Vaka Seçim Kriterleri

Araştırma kapsamında farklı üretim stratejilerini temsil edecek şekilde beş farklı sektör seçilmiştir: inşaat, savunma, otomotiv, mobilya ve plastik üretimi. Bu sektörler, üretim tipi, ürün yapısı ve planlama gereksinimleri açısından farklılık göstermekte olup, modelin farklı bağlamlarda test edilmesine imkân sağlamaktadır.

Vaka seçiminde aşağıdaki kriterler dikkate alınmıştır:

- Farklı üretim tiplerini (ETO, proje, seri, kesikli, hibriti maliyet) temsil etmesi
- Farklı ERP ve sistem altyapılarının kullanılması
- Gerçek saha deneyimine dayalı olması
- Planlama problemlerinin gözlemlenebilir olması

Bu doğrultuda seçilen vakalar, üretim planlama süreçlerinin çok yönlü olarak analiz edilmesine olanak sağlamıştır.

Veri Toplama Süreci

Araştırma kapsamında kullanılan veriler, yazarın farklı sektörlerde edindiği doğrudan saha deneyimlerine dayanmaktadır. Bu veriler, üretim planlama süreçlerinde aktif rol alınarak elde edilmiş olup, aşağıdaki kaynaklardan derlenmiştir:

- Üretim planlama ve çizelgeleme faaliyetleri
- ERP ve MES sistem kullanımı
- Süreç iyileştirme projeleri (Kaizen, 6S, TPM, Yamazumi)

- Kapasite planlama ve hat dengeleme çalışmaları
- Yönetim raporlamaları ve performans analizleri

Bu veri toplama yaklaşımı, çalışmanın hem derinlik hem de uygulama açısından güçlü bir temele dayanmasını sağlamaktadır.

Veri Analiz Yöntemi

Toplanan veriler, karşılaştırmalı analiz yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda her vaka üretim stratejisi, veri mimarisi), sistem altyapısı, planlama yaklaşımı, karşılaşılan problemler ve uygulanan çözümler açısından analiz edilmiştir.

Elde edilen bulgular, vakalar arası benzerlikler ve farklılıklar üzerinden yorumlanmış ve ortak örüntüler belirlenmiştir. Bu analiz süreci, üretim planlama süreçlerinin temel belirleyicilerini ortaya çıkarmaya yönelik sistematik bir yaklaşım sunmaktadır.

Model Geliştirme Yaklaşımı

ISPF modeli, tümevarımsal bir yaklaşımla geliştirilmiş olup, vaka analizlerinden elde edilen bulguların sistematik olarak incelenmesi, ortak örüntülerin belirlenmesi ve bu örüntülerin literatür ile karşılaştırılması sürecine dayanmaktadır. Bu yaklaşım, modelin hem teorik hem de uygulamaya dayalı bir temele oturmasını sağlamaktadır.

Bu süreç, modelin yalnızca teorik değil, aynı zamanda **saha deneyimleri ile doğrulanmış** bir yapı olmasını sağlamaktadır.

Geçerlilik, Güvenilirlik ve Sınırlılıklar

Bu çalışmada kullanılan çoklu vaka analizi yönteminin geçerliliğini ve güvenilirliğini sağlamak amacıyla (Yin, 2009) önerilen dört temel kriter dikkate alınmıştır: yapı geçerliliği (construct validity), iç geçerlilik (internal validity), dış geçerlilik (external validity) ve güvenilirlik (reliability).

Yapı geçerliliğini artırmak amacıyla, veri toplama sürecinde farklı kaynaklardan elde edilen bilgiler birlikte değerlendirilmiş ve saha deneyimleri, sistem çıktıları ve operasyonel gözlemler bir arada kullanılmıştır. Bu yaklaşım, veri üçgenleme (data triangulation) sağlayarak bulguların doğruluğunu güçlendirmiştir.

İç geçerlilik, vakalar arası karşılaştırmalı analiz ile sağlanmıştır. Benzer üretim ortamlarında ortaya çıkan örüntülerin tekrar etmesi ve farklı bağlamlarda benzer sonuçların gözlemlenmesi, elde edilen bulguların nedensel ilişkilerini desteklemektedir (Yin, 2009).

Dış geçerlilik açısından, çalışma farklı sektörleri ve üretim tiplerini kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu çeşitlilik, elde edilen bulguların yalnızca tek bir bağlama özgü olmadığını ve farklı üretim ortamlarına uyarlanabilir olduğunu göstermektedir.

Güvenilirlik ise araştırma sürecinin sistematik bir şekilde yürütülmesi ile sağlanmıştır. Tüm vakalar aynı analiz çerçevesi kullanılarak değerlendirilmiş ve analiz adımları tutarlı bir metodolojik yapı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, çalışmanın tekrar edilebilirliğini artırmaktadır.

Ayrıca, elde edilen bulguların farklı vakalarda benzer sonuçlar üretmesi, çalışmanın **analitik genellenebilirliğini (analytical generalization)** desteklemektedir.

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle, araştırma nitel yöntem ile gerçekleştirildiği için bulguların genellenebilirliği belirli ölçüde sınırlıdır. Ayrıca veriler, belirli sektörlerde edinilen saha deneyimlerine dayanmaktadır.

Bununla birlikte, farklı üretim tiplerini kapsayan çoklu vaka analizi yaklaşımı, elde edilen sonuçların farklı bağlamlara uyarlanabilirliğini artırmaktadır. Şekil 2 de araştırma süreç akış şeması ile gösterilmiştir.

Şekil 2:Araştırma Süreci Akış Şeması



Bulgular

Planlama Problemlerinin Temel Kaynağı

Bu çalışma kapsamında incelenen çoklu vakalar, üretim planlama problemlerinin çoğunlukla operasyonel hatalar olarak

algılandığını; ancak kökeninde daha derin yapısal uyumsuzlukların yer aldığını ortaya koymaktadır. Farklı sektör ve üretim tiplerinde gözlemlenen aksaklıkların ortak noktası, üretim stratejisi, veri mimarisi ve sistem altyapısı arasındaki kopukluktur.

Elde edilen bulgular, planlama performansının tekil sistem bileşenlerinden ziyade bu üç yapının birlikte ve uyumlu çalışmasına bağlı olduğunu göstermektedir. Bu durum, üretim stratejileri ERP sistemleri ve veri yapılarının literatürde ayrı ayrı ele alınmasına rağmen, pratikte birbirine bağımlı ve bütünleşik bir yapı oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 3'te yer alan Değer Piramidi de bütünleşik yapının piramidin oluşumunu desteklediğini göstermektedir.

Şekil 3:Değer Piramidi



Bulgular, üretim planlama performansının tekil bileşenlerin doğruluğundan ziyade, bu bileşenlerin birlikte çalışabilirliğine bağlı olduğunu göstermektedir. Özellikle strateji, veri yapısı ve sistem altyapısı arasındaki kopukluklar, planlama çıktılarında sistematik sapmalara neden olmaktadır.

Üretim Stratejisine Göre Planlama Davranışları

Çalışma kapsamında incelenen vakalar, üretim stratejisinin üretim planlama yaklaşımını doğrudan belirlediğini açık bir biçimde ortaya koymaktadır. Farklı sektörlerde elde edilen bulgular, planlama davranışlarının üretim sisteminin varyasyon seviyesi, ürün yapısı ve müşteri taleplerine bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir (Olhager, 2003). Üretim stratejilerini talep yapısı ve ürün çeşitliliği üzerinden sınıflandırırken, bu çalışma söz konusu stratejilerin üretim planlama davranışları üzerindeki etkisini saha bulguları üzerinden genişletmektedir.

Yüksek varyasyon içeren proje bazlı ve ETO üretim sistemlerinde planlama süreçleri, esneklik, izlenebilirlik ve veri bütünlüğü üzerine kurulmaktadır. Savunma ve çelik yapı üretim vakalarında gözlemlendiği üzere, her siparişin kendine özgü olması, planlama süreçlerinde standartlaşmayı sınırlamakta ve veri yönetimini kritik hale getirmektedir. Bu tür sistemlerde çok seviyeli BOM yapıları ve dinamik reçete kurguları kaçınılmaz olmakta, ancak bu durum planlama süreçlerinin karmaşıklığını artırmaktadır. Ayrıca klasik ERP sistemlerinin bu değişkenliğe uyum sağlamak zorlandığı ve çoğu zaman ek çözümler ile desteklenmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Özellikle proje bazlı üretimlerde yarı mamul standardizasyonunun sağlanması, proje sürelerinin kısaltılmasında önemli bir kaldıraç etkisi yaratmaktadır. Bu bulgular, yüksek esneklik gerektiren üretim ortamlarında veri mimarisinin planlamanın merkezinde yer aldığını göstermektedir.

Buna karşılık seri üretim sistemlerinde planlama yaklaşımı belirgin şekilde farklılaşmaktadır. Otomotiv sektöründe elde edilen bulgular, planlamanın süreklilik ve verimlilik odaklı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu tür sistemlerde üretim akışının kesintisiz devam etmesi kritik olup, küçük bir darboğazın dahi tüm hattı etkileyebildiği görülmektedir. Bu durum, kısıtlar teorisinin (Theory of Constraints) temel varsayımları ile örtüşmektedir (Goldratt,

1984). Seri üretim ortamlarında veri yapılarının basit ve stabil olması, planlama süreçlerinin hızını artırmakta; 6S, hat dengeleme, OEE takibi ve sürekli iyileştirme uygulamaları ise operasyonel performansın ana belirleyicileri olarak öne çıkmaktadır.

Hibrit üretim sistemleri ise hem esneklik hem de hız gereksinimini aynı anda barındırması nedeniyle planlama açısından en hassas yapılardan birini oluşturmaktadır. Mobilya sektöründe gözlemlenen bu yapı, müşteri taleplerine göre çeşitlenebilen ancak belirli ölçüde standardizasyon içeren bir üretim yaklaşımını temsil etmektedir. Bu tür sistemlerde kapasite planlama, hat dengeleme ve ERP sistemlerinin etkin kullanımı birlikte ele alınmak zorundadır. Aksi durumda sistemler arası uyumsuzluklar hızla ortaya çıkmakta ve planlama doğruluğu düşmektedir. Bu nedenle hibrit sistemler, planlamada denge yönetiminin en kritik olduğu üretim tipi olarak değerlendirilmektedir.

Yalın/Seri üretim yaklaşımının uygulandığı ortamlarda ise planlama davranışı maliyet ve verimlilik ekseninde şekillenmektedir. Bu sistemlerde amaç, israfın minimize edilmesi ve süreçlerin sürekli iyileştirilmesidir (Womack & Jones, 1996). Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, özellikle reçete optimizasyonu ve hammadde kullanımındaki küçük iyileştirmelerin dahi önemli maliyet avantajları sağladığını göstermektedir. Bu durum, yalın üretim sistemlerinde veri yapısının sade ancak sürekli geliştirilen bir yapıda olması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Düşük varyasyonlu ancak yüksek rekabet içeren maliyet odaklı üretim sistemlerinde ise planlama yaklaşımı, büyük ölçüde maliyet optimizasyonu ve kaynak verimliliği üzerine kuruludur. Plastik üretim vakasında gözlemlendiği üzere, bu tür sistemlerde karmaşık dijital altyapılardan ziyade doğru reçete yönetimi ve malzeme optimizasyonu daha kritik hale gelmektedir. Bununla birlikte, kesikli üretim ortamlarında ERP sistemlerinin etkin

kullanımı ve dijital planlama yaklaşımları, üretim hatlarının daha verimli çalışmasına katkı sağlamaktadır.

Bu farklı üretim tiplerine ait planlama davranışları, Tablo 1’de özetlenmektedir.

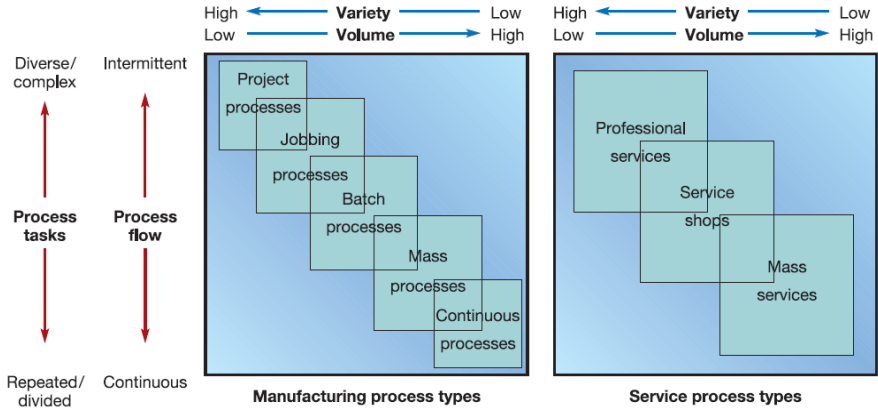
Tablo 1:Farklı Üretim Tiplerine Ait Planlama Davranışları

Üretim Tipi	Planlama Odak	Kritik Araç	Risk
Lean	Maliyet	Reçete	Kalite
ETO	Esneklik	BOM	Kaos
Seri	Süreklilik	Hat dengeleme	Duruş
Proje	İzlenebilirlik	Standardizasyon	Gecikme
Hibrit	Hız ve denge	Kapasite planlama	Uyumsuzluk

Tablo 1 incelendiğinde, her üretim tipinin farklı bir planlama önceliği ve buna bağlı olarak farklı bir risk profili oluşturduğu görülmektedir. Bu durum, üretim planlamanın tek tip bir yaklaşım ile yönetilemeyeceğini ve stratejiye bağlı olarak farklı araç ve yöntemlerin kullanılmasını gerektirdiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Bu bulgular, üretim planlamanın bağlama duyarlı bir disiplin olduğunu ve stratejiye bağlı olarak farklı planlama paradigmalarının uygulanması gerektiğini göstermektedir. Şekil 4’te ise farklı değerler ile kullanılan araçların farklılaştığını gösteren bir örnek yer almaktadır.

Şekil 4:Farklı Değerler ile Farklı araçların Kullanımı



Veri Mimarisi (BOM ve Reçete) Bulguları

Çalışma kapsamında elde edilen en önemli bulgulardan biri, üretim planlama süreçlerinde veri mimarisinin belirleyici rolüdür. Veri mimarisi, yalnızca teknik bir yapı değil; planlama doğruluğunu, hızını ve izlenebilirliğini doğrudan etkileyen stratejik bir bileşen olarak ortaya çıkmaktadır.

Literatürde veri yapıları çoğunlukla ürün ağacı (Bill of Materials – BOM) ve üretim rotaları (routing / reçete) üzerinden ele alınmaktadır. Ancak saha bulguları, bu yapıların üretim stratejisi ile uyumlu olmadığı durumlarda planlama süreçlerinin ciddi şekilde aksadığını göstermektedir.

BOM Yapılarının Türleri ve Planlama Üzerindeki Etkileri

BOM (Bill of Materials) yapıları, bir ürünün bileşenlerini ve bu bileşenler arasındaki ilişkileri tanımlayan hiyerarşik veri yapıları olup, üretim planlamanın temel girdisini oluşturmaktadır. Ancak literatürde çoğu zaman tekil bir yapı olarak ele alınan BOM kavramı, pratikte farklı amaçlara hizmet eden ve üretim sürecinin farklı aşamalarında kullanılan çok katmanlı bir veri mimarisine sahiptir (Stadtler, 2015). Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, BOM

yapısının türünün ve kurgulanma biçiminin planlama doğruluğu ve sistem performansı üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.

BOM yapıları fonksiyonel kullanım amacına göre farklılaşmakta olup, en temel ayrım mühendislik ve üretim perspektifleri arasında ortaya çıkmaktadır. Mühendislik ürün ağacı (Engineering BOM – EBOM), ürünün tasarım ve fonksiyonel yapısını temsil eden ve genellikle CAD sistemleri ile ilişkili olarak oluşturulan bir yapıdır. EBOM, ürünün nasıl çalıştığını ve hangi bileşenlerden oluştuğunu tanımlarken, üretim sürecine doğrudan referans vermez. Bu nedenle EBOM’un doğrudan üretim planlama süreçlerinde kullanılması mümkün olmamakta; ancak ürün konfigürasyonu ve mühendislik değişiklik yönetimi açısından kritik bir referans noktası oluşturmaktadır. Özellikle ETO üretim sistemlerinde, EBOM’dan üretim ürün ağacına (Manufacturing BOM – MBOM) dönüşüm süreci planlamanın en kritik aşamalarından biri olarak öne çıkmaktadır.

MBOM ise üretim süreçlerine uygun olarak yapılandırılmış ve operasyonel akışı dikkate alan BOM yapısıdır. Bu yapı, montaj sıraları, iş istasyonları ve üretim kısıtları göz önünde bulundurularak oluşturulmakta ve doğrudan iş emirleri ile malzeme ihtiyaç planlamasının temel girdisini oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, MBOM’un yanlış yapılandırılması durumunda sistematik planlama hatalarının ortaya çıktığını ve bu hataların doğrudan üretim performansını etkilediğini göstermektedir. Bu durum, MRP sistemlerinin veri doğruluğuna olan bağımlılığına ilişkin klasik yaklaşımlar ile de örtüşmektedir (Orlicky, 1975).

BOM yapılarının bir diğer önemli türü, satış süreçlerinde kullanılan Sales BOM (SBOM) yapılarıdır. SBOM, ürünün müşteri perspektifinden sadeleştirilmiş bir temsilini sunmakta ve teklif, sipariş yönetimi ve müşteri iletişimi süreçlerinde kullanılmaktadır. Her ne kadar doğrudan üretim planlama için kullanılmasa da müşteri

taleplerinin doğru şekilde üretim sistemine aktarılması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda SBOM ile MBOM arasındaki uyum, sipariş doğruluğu ve üretim planlama entegrasyonu açısından önemli bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Buna karşılık çok seviyeli BOM yapıları, bileşenlerin hiyerarşik olarak tanımlandığı ve alt montaj ilişkilerinin detaylı şekilde izlendiği yapılardır. Bu yapı, özellikle proje bazlı ve ETO üretim sistemlerinde yüksek kontrol ve izlenebilirlik sağlamakta; maliyet analizi ve değişiklik yönetimi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak artan detay seviyesi, planlama süreçlerinin karmaşıklığını ve sistem üzerindeki yükü artırmaktadır.

Bu iki yapı arasındaki denge, üretim stratejisine bağlı olarak değişmekte olup, çalışma kapsamında hibrit üretim sistemlerinde modüler veya konfigüre edilebilir BOM yapılarının öne çıktığı gözlemlenmiştir. Modüler BOM yapıları, ortak bileşenlerin standartlaştırılması ile ürün varyasyonlarının yönetilmesine olanak tanımakta ve esneklik ile kontrol arasında bir denge kurmaktadır. Bu yaklaşım, özellikle ürün çeşitliliğinin yüksek olduğu ancak belirli standartların korunması gereken üretim ortamlarında önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Elde edilen bulgular, BOM yapısının üretim planlamada pasif bir veri kaynağı değil, planlama doğruluğunu doğrudan şekillendiren aktif bir tasarım unsuru olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda farklı BOM yapılarının planlama üzerindeki etkileri Tablo 2’de özetlenmektedir.

Tablo 2:Farklı bom yapılarının planlama üzerine etkisi

BOM Türü	Kullanım Amacı	Planlama Üzerindeki Etki	Uygun Üretim Tipi
EBOM	Tasarım ve mühendislik	Dolaylı etki (referans veri)	ETO
MBOM	Üretim planlama	Doğrudan belirleyici	Tüm üretim tipleri
SBOM	Satış ve sipariş	Talep doğruluğu	Tüm üretim tipleri
Tek Seviyeli	Basit yapı	Hızlı ancak sınırlı kontrol	Seri
Çok Seviyeli	Detaylı yapı	Yüksek kontrol, düşük hız	ETO / Proje
Modüler	Esnek yapı	Denge (esneklik + kontrol)	Hibrit

Bu bulgular, veri mimarisinin yalnızca teknik bir altyapı değil, üretim stratejisinin operasyonel bir uzantısı olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir (Stadtler, 2015). Farklı üretim ortamlarında aynı BOM yapısının kullanılması, planlama süreçlerinde ciddi uyumsuzluklara yol açabilmektedir. Bu nedenle BOM tasarımı, üretim stratejisi ile ele alınmalı ve sistem kurgusunun temel bileşeni olarak değerlendirilmelidir.

Reçete (Routing) Yapılarının Türleri ve Planlama Etkisi

Reçete yapıları, üretim sürecinde izlenen operasyon sırasını, iş istasyonlarını ve işlem akışını tanımlayan temel veri yapılarından

biridir. Literatürde bu yapı genellikle “routing” kavramı ile ifade edilmekte olup, özellikle proses üretiminde “reçete” kavramı daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Reçete yapıları, üretim planlamanın uygulanabilirliğini ve doğruluğunu doğrudan etkileyen kritik bir bileşen olarak değerlendirilmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, reçete yapılarının üretim stratejisine bağlı olarak farklılaşması gerektiğini göstermektedir. Bu bağlamda reçete yapıları temel olarak iki ana kategori altında incelenmiştir: standart (sabit) reçeteler ve adaptif (dinamik) reçeteler.

Standart reçeteler, operasyon sırasının sabit olduğu ve süreç varyasyonunun minimum düzeyde tutulduğu üretim ortamlarında kullanılmaktadır. Bu tür yapılar, özellikle seri üretim ve yalın üretim sistemlerinde yaygın olup, yüksek verimlilik ve planlama kolaylığı sağlamaktadır. Sabit operasyon akışı sayesinde sistemler arasında uyum artmakta, iş emirleri daha hızlı oluşturulmakta ve üretim süreçleri daha öngörülebilir hale gelmektedir. Bu durum, düşük varyasyonlu üretim ortamlarında önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Buna karşılık adaptif veya dinamik reçete yapıları, operasyon sırasının değişebildiği ve alternatif üretim yollarının tanımlandığı daha esnek yapılardır. Bu yapı özellikle müşteri taleplerine göre şekillenen ETO ve proje bazlı üretim sistemlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Dinamik reçeteler, üretim sürecinde esneklik ve varyasyon yönetimi sağlamakla birlikte, planlama süreçlerinde karmaşıklığı artırmakta ve sistem uyumu açısından ek zorluklar yaratabilmektedir. Bu nedenle bu tür yapıların etkin yönetimi, güçlü veri mimarisi ve sistem entegrasyonu gerektirmektedir.

Reçete yapılarının yalnızca sabit veya dinamik olarak sınıflandırılması yeterli olmamakta, aynı zamanda üretim sürecinin ihtiyaçlarına göre farklı yapıların da kullanıldığı görülmektedir. Özellikle alternatif rota yapıları, aynı ürünün farklı üretim yolları ile

üretilebilmesine olanak tanıyarak kapasite sıkışıklığı durumlarında önemli bir esneklik sağlamaktadır. Benzer şekilde paralel operasyon yapıları, birden fazla işlemin aynı anda yürütülmesine imkân vererek üretim süresinin kısaltılmasına ve hat dengelemenin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda reçete yapılarının planlama üzerindeki etkileri Tablo 3’te gösterilmektedir.

Tablo 3:Farklı reçete yapılarının planlama üzerine etkisi

Reçete Türü	Temel Özellik	Avantaj	Dezavantaj	Uygun Üretim Tipi
Standart (Fixed)	Sabit operasyon sırası	Yüksek verimlilik, kolay planlama	Düşük esneklik	Seri, Lean
Dinamik (Flexible)	Değişken rota	Esneklik, müşteri odaklılık	Karmaşıklık	ETO, Proje
Alternatif Rota	Birden fazla üretim yolu	Kapasite esnekliği	Planlama zorluğu	Hibrit
Paralel Operasyon	Eş zamanlı işlemler	Süre kısaltma	Koordinasyon ihtiyacı	Seri, Hibrit

Elde edilen bulgular, reçete yapılarının üretim stratejisine uygun şekilde tasarlanması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Standart reçeteler verimlilik sağlarken, dinamik reçeteler esneklik sunmakta; alternatif ve paralel yapılar ise bu iki yaklaşım arasında denge kurulmasına katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla üretim planlamada başarılı, tek bir reçete yapısının tercih edilmesinden

ziyade, uygun yapıların doğru bağlamda kullanılması ile mümkün olmaktadır.

Veri Mimarisi – Strateji Uyumu

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, veri mimarisinin (BOM ve reçete yapıları) üretim planlama süreçlerinde yalnızca destekleyici bir unsur olmadığını, aksine üretim stratejisi ile doğrudan ilişkili ve belirleyici bir rol oynadığını açıkça ortaya koymaktadır. İncelenen tüm vakalarda, veri yapısının üretim tipine uygun şekilde tasarlanmadığı durumlarda planlama süreçlerinin ya yavaşladığı ya da doğruluğunu kaybettiği gözlemlenmiştir.

Üretim stratejisi, sistemin varyasyon seviyesini, ürün çeşitliliğini ve üretim akışını belirlerken; veri mimarisi bu stratejinin operasyonel olarak uygulanabilir hale gelmesini sağlamaktadır. Bu bağlamda veri yapısı ile üretim stratejisi arasında kurulacak uyum, planlama başarısının temel koşulu olarak ortaya çıkmaktadır. Tablo 4’te farklı üretim tipleri için uygun veri mimarisi yaklaşımları gösterilmektedir.

Tablo 4:Farklı Üretim stratejilerinin veri mimarisi yaklaşımları

Üretim Tipi	BOM	Reçete
ETO	Çok seviyeli	Dinamik
Seri	Tek seviyeli	Standart
Hibrit	Modüler	Yarı esnek
Lean	Sadeleştirilmiş	Sürekli iyileştirilen

Tablo 4 incelendiğinde, üretim stratejisine bağlı olarak veri yapılarının farklı öncelikler doğrultusunda şekillendiği görülmektedir. Örneğin, ETO üretim sistemlerinde ürünler müşteri

taleplerine göre yeniden tasarlandığı için çok seviyeli BOM yapıları kaçınılmazdır. Bu yapı, yüksek izlenebilirlik ve kontrol sağlamakla birlikte, planlama süreçlerinde karmaşıklığı artırmaktadır. Bu nedenle ETO sistemlerde dinamik reçete yapıları ile güçlü veri yönetimi ve sistem entegrasyonu gereklidir.

Seri üretim sistemlerinde ise varyasyon düşük ve üretim akışı standarttır. Bu nedenle tek seviyeli BOM yapıları, planlama süreçlerini hızlandırmakta ve sistem yükünü azaltmaktadır. Standart reçeteler ile kullanıldığında, bu yapı yüksek verimlilik ve operasyonel süreklilik sağlamaktadır. Ancak bu yaklaşım, esneklik gerektiren durumlarda sınırlı kalabilmektedir.

Hibrit üretim sistemleri hem esneklik hem de hız gerektiren yapıları nedeniyle veri mimarisi açısından en hassas üretim tiplerinden biridir. Bu sistemlerde modüler BOM yapıları kullanılarak ortak bileşenler üzerinden esneklik sağlanmakta, reçete yapılarında ise yarı esnek bir yaklaşım benimsenmektedir. Bu sayede hem ürün çeşitliliği yönetilmekte hem de üretim süreçleri belirli bir standart içerisinde tutulabilmektedir. Ancak bu yapı, veri ve sistem uyumsuzluğu durumunda hızlı bir şekilde senkronizasyon problemlerine yol açabilmektedir.

Lean üretim sistemlerinde ise temel hedef, israfın azaltılması ve süreçlerin sadeleştirilmesidir. Bu nedenle veri yapıları mümkün olduğunca basitleştirilmiş ve standartlaştırılmış bir yapıda kurgulanmaktadır. Ancak bu sadeleştirme, statik bir yapı anlamına gelmemekte; aksine sürekli iyileştirme (Kaizen) yaklaşımı doğrultusunda reçete yapıları dinamik olarak optimize edilmektedir. Bu durum, yalın sistemlerde veri mimarisinin “sabit” değil, “gelişen” bir yapı olduğunu göstermektedir.

Bu analizler doğrultusunda, veri mimarisinin üretim stratejisinden bağımsız olarak tasarlanamayacağı açıkça ortaya çıkmaktadır. Her üretim tipi, kendine özgü veri yapısı gereksinimleri

doğurmakta ve bu gereksinimlerin karşılanmaması durumunda planlama süreçleri etkinliğini kaybetmektedir.

Kritik Bulguların Sentezi

Bu bölümde elde edilen bulgular, üretim planlamanın başarısının büyük ölçüde kullanılan sistemlerden ziyade bu sistemleri besleyen veri mimarisinin doğruluğuna bağlı olduğunu göstermektedir. İncelenen vakalarda, farklı ERP ve dijital sistem altyapılarının kullanıldığı görülmesine rağmen, planlama performansındaki farklılıkların temelinde veri yapısının tasarım biçimi yer almaktadır. Bu durum, veri mimarisinin planlama süreçlerinde ikincil bir unsur değil, belirleyici bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Özellikle BOM yapısının üretim stratejisine uygun şekilde kurgulanmadığı durumlarda, malzeme ihtiyaç planlaması ve iş emri oluşturma süreçlerinin sistematik olarak hatalı sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Bu bulgu, literatürde MRP sistemlerinin veri doğruluğuna olan bağımlılığına ilişkin yaklaşımlar ile örtüşmektedir (Orlicky, 1975). Benzer şekilde, reçete yapılarının yalnızca operasyonel bir akış tanımı olmadığı; esneklik ve verimlilik arasında kurulması gereken kritik bir denge mekanizması olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışma kapsamında elde edilen en önemli çıkarımlardan biri, BOM ve reçete yapılarının birbirinden bağımsız değil, bütünleşik bir veri mimarisi olarak ele alınması gerektiğidir. Bu iki yapı arasındaki uyumsuzluk, planlama süreçlerinde gecikme, hatalı üretim ve kaynak israfı gibi sonuçlara yol açabilmektedir. Dolayısıyla etkin bir planlama sistemi, ancak bu veri bileşenlerinin birlikte ve uyumlu şekilde tasarlanması ile mümkün olmaktadır.

Bununla birlikte, veri mimarisinin statik bir yapı olarak ele alınmasının özellikle değişken üretim ortamlarında yetersiz kaldığı görülmüştür. Üretim stratejisindeki değişimlere ve operasyonel

ihtiyaçlara uyum sağlayabilen adaptif veri yapıları, planlama süreçlerinin sürdürülebilirliği açısından kritik önem taşımaktadır. Bu durum, veri mimarisinin yalnızca mevcut sistemi tanımlayan bir yapı değil, aynı zamanda üretim planlama performansını belirleyen dinamik bir tasarım unsuru olduğunu göstermektedir.

Dijitalleşme ve İzlenebilirlik Bulguları

Dijitalleşme, özellikle yüksek varyasyon içeren üretim sistemlerinde planlama süreçlerinin zaman duyarlılığını artırarak karar alma mekanizmalarının daha proaktif hale gelmesini sağlamaktadır. Çalışma kapsamında incelenen vakalarda, üretim süreçlerinin dijital sistemler ile desteklenmesi; veri akışının hızlanmasını, karar alma süreçlerinin iyileşmesini ve operasyonel gecikmelerin azaltılmasını sağlamıştır. Özellikle üretim süreçlerinin anlık izlenebilmesi, planlama doğruluğunu artırarak sapmaların erken tespit edilmesine olanak tanımaktadır.

Bu bulgular, literatürde yer alan dijital entegrasyon ve gerçek zamanlı veri kullanımının üretim performansını artırdığı yönündeki çalışmalar ile örtüşmektedir (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013) (Lee, Bagheri, & Kao, 2015). Dijitalleşme sayesinde üretim, planlama ve tedarik zinciri süreçleri arasında daha güçlü bir senkronizasyon sağlanmakta, bu da özellikle proje ve ETO tipi üretimlerde kritik bir avantaj oluşturmaktadır.

Bununla birlikte, çalışma bulguları dijitalleşmenin her üretim ortamında aynı düzeyde fayda sağlamadığını da ortaya koymaktadır. Düşük varyasyonlu ve maliyet odaklı üretim sistemlerinde, dijital sistem yatırımlarının maliyet–fayda dengesi dikkatle değerlendirilmelidir. Bu tür sistemlerde aşırı dijitalleşme, operasyonel karmaşıklığı artırabilir ve beklenen verimlilik kazanımlarını sınırlandırabilir. Bu durum, Endüstri 4.0 yaklaşımlarının temelinde yer alan siber-fiziksel sistemler ve gerçek zamanlı veri

entegrasyonu kavramları ile doğrudan örtüşmektedir (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013).

İnsan Faktörü ve Organizasyonel Etkiler

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, üretim planlama süreçlerinin başarısında insan faktörünün belirleyici rol oynadığını açıkça ortaya koymaktadır. Teknik altyapı ve sistemlerin yeterli olduğu durumlarda dahi, kullanıcı adaptasyonu ve organizasyonel kabul düzeyi düşük olduğunda planlama süreçlerinin etkinliğinin ciddi şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.

Özellikle ERP ve dijital sistem uygulamalarında karşılaşılan kullanıcı direnci, sistemlerin etkin kullanımını sınırlayan en önemli faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu durum literatürde de vurgulanmakta olup, teknoloji adaptasyonunun yalnızca teknik değil aynı zamanda sosyal ve organizasyonel bir süreç olduğu ifade edilmektedir (Umble, Haft, & Umble, 2003) (Bingi, Sharma, & Godla, 1999)

Buna karşılık, güçlü liderlik ve etkin değişim yönetimi uygulamalarının bulunduğu organizasyonlarda sistem dönüşüm süreçlerinin daha hızlı ve başarılı bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Eğitim faaliyetleri, kullanıcıların sistemlere olan güvenini artırmakta ve veri giriş kalitesini doğrudan iyileştirmektedir. Bu bağlamda üretim planlama, yalnızca teknik bir optimizasyon problemi değil, aynı zamanda insan davranışları ve organizasyonel kültür ile şekillenen çok boyutlu bir süreç olarak değerlendirilmelidir. Bu bulgular, teknoloji kabul modelleri (Technology Acceptance Model – TAM) ve değişim yönetimi literatürü ile de uyum göstermektedir.

Vakalar Arası Karşılaştırmalı Sentez

Çalışma kapsamında incelenen vakalar, üretim planlama süreçlerinde tekrar eden bazı temel örüntüleri ortaya koymaktadır.

Vakalar arası karşılaştırma, planlama problemlerinin çoğunlukla tekil sistem eksikliklerinden değil, sistem bileşenleri arasındaki koordinasyon eksikliğinden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Bulgular, ERP sistemlerinin planlama performansına katkısının, sistemin teknik kapasitesinden ziyade veri yapısı ve organizasyonel kullanım biçimi ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Davenport, 1998).

Ayrıca veri mimarisinin planlama süreçlerinin temel belirleyicisi olduğu ve üretim stratejisi ile uyumsuz veri yapılarının sistem performansını doğrudan olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, üretim stratejisinin planlama yaklaşımını şekillendirdiği ve her üretim ortamı için farklı planlama yöntemlerinin gerekli olduğu ortaya konulmuştur. Son olarak, tüm vakalarda insan faktörünün belirleyici rolü dikkat çekmekte olup, sistem başarısının teknik altyapı kadar organizasyonel adaptasyona da bağlı olduğu görülmektedir.

ISPF Modeli

Bu çalışma kapsamında geliştirilen Entegre Stratejik Planlama Çerçevesi (Integrated Strategic Planning Framework – ISPF), üretim planlama süreçlerinin farklı üretim stratejileri ve operasyonel bağlamlar altında nasıl şekillendiğini açıklamak amacıyla geliştirilmiştir. Model, üretim planlamayı yalnızca teknik bir çizelgeleme problemi olarak değil, çok katmanlı ve etkileşimli bir sistem olarak ele almaktadır.

Tablo 5:ISPF Modeli bazında yer alan veriler matrisi

Sektör	İnşaat	Plastik	Savunma	Otomotiv	Mobilya
Ürün	Çelik Yapı	Profil	Teleskopik Direk	Akü	Yatak
Üretim Tipi	ETO	Lean	Proje	Seri	Kesikli, Hibrit
ERP	SAP	Yok	DİA, Coral	Uyumsoft	SAP
BOM Yapısı	Çok, tek seviye karma	Tek seviye	Tek seviye	Tek seviye	Tek seviye
Reçete Yapısı	Değişken	Sabit, optimize	Değişken	Sabit	Sabit
Problem	Süreç yavaşlığı	Yüksek maliyet	ERP yetersizliği	Hat duruşu	Hat dengesi zliği
Çözüm	SAP entegrasyonu + saha veri	Reçete optimizasyonu	MCDM + MES yaklaşımı	Yamazumi + Excel	MRP + dijitalleşme
Sonuç	İzlenebilirlik	Karlılık	Süre kısalma	Verimlilik	Sipariş artışı

Tablo 5’te yer alan matris, üretim planlama süreçlerinin yalnızca üretim tipine göre değil; aynı zamanda veri yapısı, sistem altyapısı ve uygulanan çözüm yaklaşımlarına göre farklılaştığını açıkça göstermektedir. Özellikle dikkat çeken nokta, benzer ERP sistemlerinin kullanıldığı ortamlarda dahi farklı sonuçların elde edilmesidir. Bu durum, planlama başarısının sistem seçiminden

ziyade sistemin nasıl konumlandırıldığı ve hangi veri yapısı ile desteklendiği ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Saha deneyimleri, planlama problemlerinin tek bir bileşenden değil, bu bileşenler arasındaki uyumsuzluktan kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Başka bir ifadeyle, doğru ERP sistemine sahip olmak, doğru veri yapısını kullanmak veya doğru üretim stratejisini belirlemek tek başına yeterli değildir. Bu bileşenlerin birbirleri ile uyumlu bir şekilde çalışması gerekmektedir.

Dolayısıyla ISPF modeli, üretim planlamaya yeni bir bakış açısı getirerek, planlamayı teknik bir optimizasyon problemi olmaktan çıkarıp çok katmanlı ve bağlamsal bir uyum problemi olarak ele almaktadır. Bu yönüyle model hem teorik literatürdeki boşluğu doldurmakta hem de pratik uygulamalar için uygulanabilir bir çerçeve sunmaktadır.

Modelin Katmanları

Bu çalışma kapsamında geliştirilen Entegre Stratejik Planlama Çerçevesi (Integrated Strategic Planning Framework – ISPF), ISPF modeli dört temel katmandan oluşmaktadır: üretim stratejisi, veri mimarisi, sistem katmanı ve operasyonel performans. Bu katmanlar, üretim planlama sürecinin farklı boyutlarını temsil etmekte ve birbirleri ile doğrudan etkileşim halindedir.

Üretim stratejisi katmanı, sistemin temel yönünü belirleyen üst düzey karar çerçevesini ifade etmektedir. Ürün çeşitliliği, müşteri talepleri ve üretim tipi bu katmanda tanımlanmakta ve planlama yaklaşımının sınırlarını belirlemektedir.

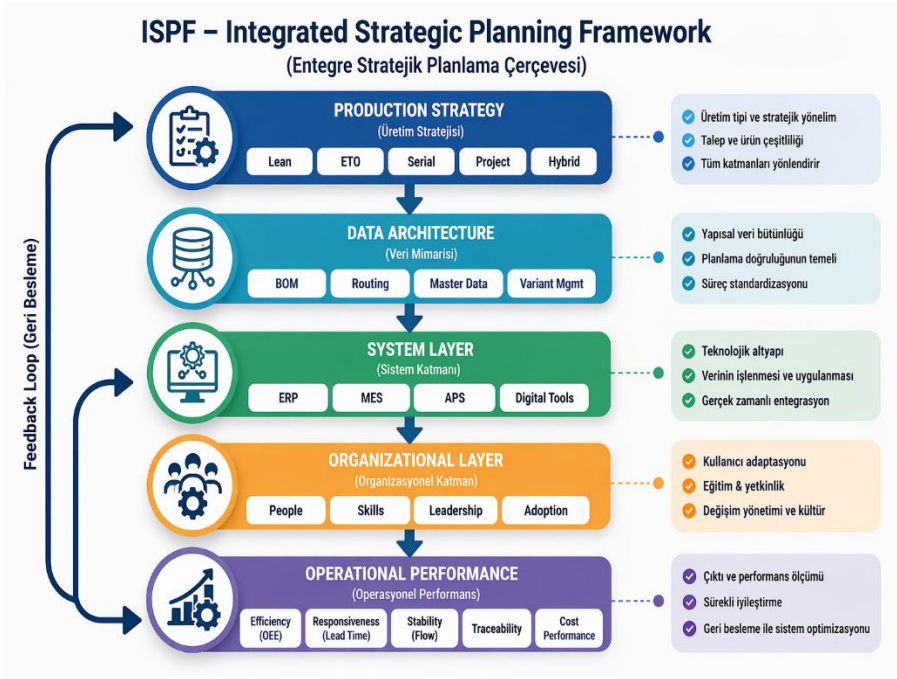
Veri mimarisi katmanı, üretim süreçlerinin yapısal temelini oluşturmaktadır. BOM ve reçete yapıları, üretim akışının nasıl tanımlandığını belirleyerek planlama doğruluğunu doğrudan

etkilemektedir. Bu katman, stratejik kararların operasyonel karşılığını temsil etmektedir.

Sistem katmanı, veri yapısının işlenmesini ve organizasyon içinde kullanılmasını sağlayan ERP, MES ve benzeri dijital çözümleri kapsamaktadır. Bu katman, veri ile operasyonel uygulamalar arasında bir köprü görevi görmektedir.

Operasyonel performans katmanı ise sistemin çıktısını temsil etmekte olup, verimlilik, süreklilik, esneklik ve izlenebilirlik gibi göstergeler üzerinden değerlendirilmektedir. Bu katman, modelin başarısının ölçüldüğü nihai düzeyi ifade etmektedir. Şekil 5 ISPF Modeli yer almaktadır.

Şekil 5: ISPF Modeli



Üretim Stratejisi Katmanı

Bu katman, üretim sisteminin temel davranışını belirleyen üst düzey çerçeveyi ifade etmektedir. Ürün çeşitliliği, müşteri talepleri ve üretim tipi bu katmanda tanımlanır.

Model kapsamında beş temel üretim stratejisi ele alınmaktadır:

- Lean üretim
- Seri üretim
- Engineering-to-Order (ETO)
- Proje bazlı üretim
- Hibrit üretim

Bu katman, aşağıdaki tüm katmanların tasarımını yönlendiren temel belirleyicidir.

Veri Mimarisi Katmanı

ISPF modelinin en kritik bileşenlerinden biri veri mimarisidir. Bu katman, BOM (ürün ağacı) ve reçete (proses rotası) yapılarını kapsamaktadır. Veri mimarisi katmanı, üretim süreçlerinin yapısal temelini oluşturmaktadır ve planlama doğruluğunu doğrudan etkileyen en kritik katmandır.

Bu katman dört ana bileşenden oluşmaktadır:

- BOM (ürün ağacı yapısı)
- Routing / Reçete yapıları
- Master veri yönetimi
- Varyant / konfigürasyon yönetimi

Bu yapı, üretim stratejisinin operasyonel karşılığını temsil eder ve planlama sistemlerinin doğruluğunu belirleyen ana unsurdur.

Sistem Katmanı

Sistem katmanı, veri ve planlama süreçlerinin yürütüldüğü teknolojik altyapıyı temsil etmektedir. Bu katman içerisinde ERP, MES, bütünleşmiş çözümler ve yardımcı yazılımlar yer almaktadır. Bu katman, veri mimarisinin işlenmesini ve organizasyon içinde uygulanmasını sağlayan teknolojik altyapıyı temsil etmektedir. Model kapsamında sistem katmanı aşağıdaki bileşenleri içerir:

- ERP sistemleri
- MES sistemleri
- APS (Advanced Planning Systems)
- Dijital araçlar (Excel, low-code çözümler vb.)

Bu katman, veri ile operasyonel uygulamalar arasında köprü görevi görmektedir.

Operasyonel Performans Katmanı

Modelin en kritik katkılarından biri olan bu katman, üretim planlamanın yalnızca teknik değil aynı zamanda insan odaklı bir süreç olduğunu vurgulamaktadır.

Bu katman aşağıdaki unsurları kapsar:

- Kullanıcı adaptasyonu
- Eğitim ve yetkinlik
- Liderlik ve değişim yönetimi
- Organizasyonel kültür

Bu yapı, sistemlerin etkin kullanımını ve sürdürülebilirliğini doğrudan etkileyen belirleyici bir faktördür.

Operasyonel Performans

Bu katman, modelin çıktısını temsil eder ve sistemin başarısını ölçen performans göstergelerini içerir. Model kapsamında operasyonel performans şu boyutlarda değerlendirilir:

- Verimlilik (OEE)
- Tepki süresi (lead time)
- Süreklilik (flow stability)
- İzlenebilirlik
- Maliyet performansı

Bu katman, modelin başarısının ölçüldüğü nihai düzeyi temsil etmektedir.

Akademik ve Bireysel Yetkinliklerin Modelle İlişkisi

Modelin sol tarafında yer alan akademik ve profesyonel yetkinlikler, ISPF'nin yalnızca teorik bir yapı olmadığını, aynı zamanda saha deneyimi ve çok disiplinli eğitim altyapısı ile şekillendiğini göstermektedir.

- Endüstri mühendisliği → üretim stratejisi perspektifi
- Akıllı sistemler mühendisliği → veri mimarisi yaklaşımı
- Mini MBA ve PMP → sistem ve proje yönetimi bakışı
- Tedarik zinciri ve dijital liderlik → operasyonel performans ve dönüşüm yetkinliği

Bu yapı, modelin teknik olduğu kadar yönetsel ve stratejik bir çerçeve sunduğunu ortaya koymaktadır.

Modelin Temel Çıkarımı

ISPF modelinin ortaya koyduğu en temel sonuç, üretim planlamanın yalnızca bir yazılım veya sistem problemi olarak ele alınamayacağı, aksine çok katmanlı bir uyum meselesi olduğudur. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, planlama başarısının tek bir bileşenin doğruluğuna değil; üretim stratejisi, veri yapısı, sistem altyapısı ve organizasyonel faktörler arasındaki bütünsel uyuma bağlı olduğunu göstermektedir.

Bu uyum, üretim stratejisinin veri mimarisine doğru şekilde yansıtılmasıyla başlamakta, veri yapısının sistem altyapısı ile etkin bir şekilde bütünleşmesiyle devam etmekte ve nihayetinde bu sistemlerin organizasyon tarafından benimsenmesi ile tamamlanmaktadır. Söz konusu katmanlar arasındaki etkileşim sağlandığında, planlama süreçleri yalnızca daha doğru değil, aynı zamanda daha sürdürülebilir, izlenebilir ve verimli bir yapıya dönüşmektedir.

Dolayısıyla üretim planlama, tekil çözümlerle optimize edilebilecek bir süreç değil; birbiriyle ilişkili bileşenlerin dengeli ve uyumlu çalışmasını gerektiren dinamik bir sistem olarak değerlendirilmelidir.

Katmanlar Arası İlişki Mekanizması

ISPF modeli, katmanlar arası ilişkiyi doğrusal bir akış olarak değil, karşılıklı etkileşim ve geri besleme mekanizması üzerinden tanımlamaktadır. Üretim stratejisi, veri mimarisinin nasıl yapılandırılacağını belirlerken; veri mimarisi planlama doğruluğunu şekillendirmektedir. Sistem katmanı bu yapının uygulanmasını sağlarken, organizasyonel katman sistemlerin etkin kullanımını belirlemektedir. Operasyonel performans ise tüm bu katmanların birleşik çıktısı olarak ortaya çıkmaktadır.

Modelin en önemli özelliklerinden biri, geri besleme mekanizmasıdır. Operasyonel performans çıktıları, üst katmanlara veri sağlayarak sistemin sürekli olarak yeniden değerlendirilmesine ve iyileştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yönüyle model, statik değil adaptif bir yapı sunmaktadır.

Modelin en üstünde yer alan üretim stratejisi katmanı, sistemin yönünü ve temel karar çerçevesini belirleyen başlangıç noktasıdır. Diyagramda bu katmandan veri mimarisi katmanına yönelen akış, üretim ortamının gereksinimlerinin doğrudan veri yapısına yansıdığını göstermektedir. Başka bir ifadeyle, seçilen üretim stratejisi, BOM yapısının derinliğini ve reçete yapısının esneklik düzeyini belirleyen ana unsurdur.

Veri mimarisi katmanı, diyagramda modelin merkezinde konumlandırılarak planlama doğruluğu üzerindeki kritik rolünü vurgulamaktadır. Bu katmandan sistem altyapısına yönelen akış, veri yapısının yalnızca tanımlayıcı değil, aynı zamanda sistem tarafından işlenebilir bir yapıya dönüştürülmesi gerektiğini ifade etmektedir. Bu bağlamda ERP, MES ve bütünleşmiş çözümler, veri mimarisinin etkinliğini belirleyen taşıyıcı yapılar olarak modelde yer almaktadır.

Sistem katmanından operasyonel performans katmanına doğru ilerleyen akış ise planlama çıktılarının üretim sahasındaki karşılığını temsil etmektedir. Diyagramda bu katmanın en alt seviyede yer alması, tüm sistemin nihai çıktısının operasyonel performans göstergeleri üzerinden değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Optimizasyon, esneklik, dengeleme, izlenebilirlik ve maliyet verimliliği gibi göstergeler, sistemin bütünsel başarısını yansıtan sonuç değişkenleri olarak modelde konumlandırılmaktadır.

Bununla birlikte, diyagramda katmanlar arasında yalnızca tek yönlü bir akış bulunmamakta, aynı zamanda dolaylı bir geri besleme mekanizması da ima edilmektedir. Operasyonel sonuçlar, sistem performansına ilişkin geri bildirim sağlayarak veri yapısı ve

strateji kararlarının yeniden değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu durum, ISPF modelinin statik bir yapıdan ziyade, öğrenen ve adaptif bir sistem olarak tasarlandığını göstermektedir.

Dolayısıyla model diyagramı, üretim planlamayı doğrusal bir süreç olarak değil; strateji, veri, sistem ve performans katmanları arasında sürekli etkileşim ve geri besleme içeren dinamik bir yapı olarak temsil etmektedir. Bu yaklaşım, planlama süreçlerinin yalnızca doğru kurgulanmasını değil, aynı zamanda sürekli iyileştirilmesini mümkün kılmaktadır.

Modelin Yenilikçi Katkısı

ISPF modelinin literatüre en önemli katkısı, üretim planlamayı çok katmanlı ve etkileşim temelli bir sistem olarak yeniden tanımlamasıdır. Model, veri mimarisini merkezde konumlandırarak, sistemleri araç ve organizasyonu belirleyici faktör olarak ele almaktadır.

Bu yaklaşım, üretim planlamanın yalnızca teknik çözümler ile değil, stratejik yönlendirme, veri doğruluğu ve organizasyonel adaptasyon ile ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Modelin Dinamik Yapısı ve Uygulama Metodolojisi

ISPF modeli, üretim planlamayı sabit kurallar üzerinden tanımlayan geleneksel yaklaşımlardan farklı olarak, değişken üretim ortamlarına uyum sağlayabilen dinamik bir yapı sunmaktadır. Model, talep dalgalanmaları, ürün çeşitliliği ve organizasyonel farklılıklar gibi değişkenleri dikkate alarak, farklı üretim sistemlerine uyum sağlayabilen esnek bir çerçeve ortaya koymaktadır. Bu yönüyle ISPF, planlamayı statik bir yapıdan çıkararak, sürekli güncellenen ve öğrenen bir sistem olarak ele almaktadır.

Modelin uygulanması, birbirini takip eden ancak aynı zamanda geri besleme ile sürekli iyileştirilen bir süreç olarak

kurgulanmıştır. Bu süreç, öncelikle üretim stratejisinin net bir şekilde tanımlanması ile başlamaktadır. Ardından bu stratejiye uygun veri mimarisi oluşturulmakta ve BOM ile reçete yapıları bu doğrultuda tasarlanmaktadır. Veri yapısının belirlenmesini takiben, sistem altyapısı seçilmekte ve ilgili ERP/MES çözümleri bu yapıyı destekleyecek şekilde konfigüre edilmektedir. Son aşamada ise operasyonel süreçler optimize edilmekte ve elde edilen performans çıktıları doğrultusunda sistem sürekli olarak yeniden değerlendirilmektedir. Bu döngüsel yapı, modelin yalnızca uygulanabilir değil, aynı zamanda sürdürülebilir olmasını sağlamaktadır.

ISPF modelinin literatüre katkısı, üretim planlamayı oluşturan temel bileşenleri tek bir çerçevede bütünleştirmesinden kaynaklanmaktadır. Model, üretim stratejisi ile veri mimarisi arasındaki doğrudan ilişkiyi açıkça ortaya koyarken, ERP sistemlerini merkezi bir çözüm olarak değil, doğru yapılandırıldığında değer yaratan bir araç olarak konumlandırmaktadır. Ayrıca coğrafi, sektörel ve organizasyonel farklılıkları dikkate alarak bağlamsal bir yaklaşım sunması, modeli klasik planlama yaklaşımlarından ayıran önemli bir özelliktir.

Bu yönüyle ISPF modeli hem teorik hem de pratik açıdan çift yönlü bir katkı sağlamaktadır. Teorik olarak, literatürde parçalı şekilde ele alınan kavramları bütüncül bir yapı altında birleştirerek yeni bir kavramsal çerçeve sunmaktadır. Uygulama açısından ise, planlama problemlerinin kök nedenlerini açıklayan ve organizasyonlara uygulanabilir bir yol haritası sağlayan bir yaklaşım ortaya koymaktadır.

Modelin Vaka Analizleri ile Doğrulanması

ISPF modeli, farklı sektörlerde ve üretim tiplerinde gerçekleştirilen vaka analizleri ile test edilmiş ve doğrulanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen savunma, inşaat, otomotiv, mobilya

ve plastik üretim ortamları, modelin farklı bağlamlarda uygulanabilirliğini ortaya koyan önemli örnekler sunmaktadır.

Savunma sanayi vakalarında, yüksek varyasyon ve sıkı kontrol gereksinimleri altında entegrasyon ve izlenebilirliğin ön plana çıktığı görülmüş; modelin veri mimarisi ve sistem entegrasyonu yaklaşımı bu tür ortamlarda etkin sonuçlar üretmiştir. İnşaat sektöründe ise proje bazlı üretimin getirdiği veri karmaşıklığı, modelin çok seviyeli veri yapıları ve izlenebilirlik yaklaşımı ile yönetilebilir hale gelmiştir.

Otomotiv sektöründe gerçekleştirilen uygulamalar, modelin süreklilik ve verimlilik odaklı üretim sistemlerinde nasıl değer yarattığını göstermektedir. Hat dengeleme, kapasite yönetimi ve operasyonel optimizasyon gibi unsurlar, modelin sistematik yaklaşımı ile daha etkin bir şekilde yönetilmiştir. Benzer şekilde mobilya sektöründe gözlemlenen hibrit üretim yapılarında, esneklik ve hız arasındaki denge ISPF modeli sayesinde daha sürdürülebilir bir şekilde sağlanmıştır. Plastik üretim vakasında ise maliyet odaklı planlama yaklaşımı, modelin veri ve reçete optimizasyonuna verdiği önem ile doğrudan örtüşmektedir.

Bu farklı üretim ortamlarında elde edilen sonuçlar, ISPF modelinin yalnızca belirli bir sektöre özgü değil, farklı üretim stratejileri altında da uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Model, değişken koşullara uyum sağlayabilen yapısı sayesinde, farklı planlama problemlerine ortak bir çözüm yaklaşımı sunmaktadır.

Tartışma

Bu çalışma, üretim planlama süreçlerinin yalnızca teknik sistemler veya yazılımlar üzerinden açıklanamayacağını; aksine üretim stratejisi, veri mimarisi ve sistem altyapısı arasındaki etkileşim ile şekillendiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, literatürde çoğunlukla ayrı başlıklar altında incelenen bu

bileşenlerin, uygulamada birbirine bağımlı bir yapı oluşturduğunu göstermektedir.

Mevcut literatürde üretim stratejileri (Olhager, 2003), ERP sistemleri (Davenport, 1998) ve veri yapıları (Stadtler, 2015) genellikle bağımsız araştırma alanları olarak ele alınmaktadır. Ancak bu çalışma, planlama performansının bu bileşenlerin tekil doğruluğundan ziyade, aralarındaki etkileşimin kalitesi ile belirlendiğini ortaya koymaktadır. Özellikle saha bulguları, planlama problemlerinin çoğunlukla sistem eksikliğinden değil, bileşenler arasındaki koordinasyon ve uyum eksikliğinden kaynaklandığını göstermektedir.

Çalışmada geliştirilen ISPF modeli, bu etkileşimleri sistematik bir çerçeve içerisinde ele alarak literatüre bütünlük bir yaklaşım sunmaktadır. Modelin en önemli katkılarından biri, veri mimarisini üretim planlamanın merkezine konumlandırmasıdır. BOM ve reçete yapılarının yalnızca teknik veri setleri değil, planlama doğruluğunu belirleyen yapısal unsurlar olduğu bulgularla desteklenmiştir. Bu durum, MRP sistemlerinin veri doğruluğuna olan bağımlılığına ilişkin klasik yaklaşımlar ile de örtüşmektedir (Orlicky, 1975).

Bununla birlikte, üretim stratejisinin planlama davranışlarını doğrudan şekillendirdiği açıkça görülmektedir. Yüksek varyasyon içeren üretim ortamlarında esneklik ve veri yönetimi ön plana çıkarken, seri üretim sistemlerinde süreklilik ve operasyonel denge kritik hale gelmektedir. Hibrit üretim yapıları ise bu iki yaklaşım arasında denge kurulmasını gerektiren daha hassas bir planlama ortamı sunmaktadır. Bu farklılıklar, üretim planlamanın standart bir yöntemle değil, bağlama duyarlı bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini göstermektedir.

ERP sistemlerine ilişkin bulgular, bu sistemlerin planlama başarısını doğrudan belirleyen bir çözüm olmadığını ortaya

koymaktadır. Sistemlerin etkinliği, veri yapısı ile uyumu ve organizasyonel kullanım biçimi ile doğrudan ilişkilidir. Bu durum, ERP sistemlerinin evrensel çözümler olarak değerdendirilmemesi gerektiğini ve bağlama özğü şekilde yapılandırılmasının kritik olduğunu göstermektedir (Davenport, 1998). Benzer şekilde, farklı coğrafyalarda ERP sistemlerinin farklı algılanması ve uygulanması, planlama süreçlerinin bağlamsal doğasını desteklemektedir (Adalı, 2018).

Dijitalleşme ve Endüstri 4.0 yaklaşımları da bu çerçevede değerdendirildiğinde, teknolojinin tek başına değerd üretmediği; ancak doğru veri yapısı ve stratejik uyum ile anlam kazandığı görülmektedir (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013). Bu bulgu, dijital dönüşüm projelerinin başarısının teknoloji yatırımından ziyade entegrasyon kalitesine bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Son olarak, insan faktörünün planlama süreçlerindeki belirleyici rolü dikkat çekmektedir. Kullanıcı adaptasyonu, eğitim düzeyi ve organizasyonel kültür, sistemlerin etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Bu durum, üretim planlamanın yalnızca teknik değerd, aynı zamanda sosyo-teknik bir sistem olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Sonuç

Bu çalışma, üretim planlama süreçlerinin doğasına ilişkin bütüncül bir bakış açısı sunarak, planlamanın yalnızca operasyonel bir faaliyet değerd, çok katmanlı ve bağlama duyarlı bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır. Farklı sektörlerde gerçekleştirilen vaka analizleri, planlama performansının üretim stratejisi, veri mimarisi ve sistem altyapısı arasındaki etkileşim ile şekillendiğini açıkça göstermektedir.

Geliştirilen ISPF modeli, bu üç temel bileşeni tek bir çerçevede birleştirerek üretim planlamaya sistematik bir yaklaşım getirmektedir. Modelin en önemli katkılarından biri, veri yapısını

planlamanın merkezine yerleştirmesi ve sistemleri bu yapıyı destekleyen araçlar olarak yeniden konumlandırmasıdır. Bu yaklaşım, planlama problemlerinin yalnızca sistem yatırımları ile çözülemeyeceğini ve yapısal uyumun kritik bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışma bulguları, farklı üretim stratejilerinin farklı planlama gereksinimleri doğurduğunu ve bu nedenle tek tip planlama yaklaşımlarının yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu bağlamda ISPF modeli, farklı üretim ortamlarına uyarlanabilir yapısı ile hem akademik hem de uygulama açısından önemli bir katkı sunmaktadır.

Bununla birlikte, planlama süreçlerinin başarısı yalnızca teknik doğruluğa değil, aynı zamanda organizasyonel adaptasyona da bağlıdır. İnsan faktörü, sistemlerin etkin kullanımı ve sürdürülebilirliği açısından belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu durum, üretim planlamanın disiplinler arası bir yaklaşım gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, üretim planlamaya ilişkin temel bir yaklaşımı yeniden çerçevelemektedir. Üretim planlama, tekil sistem bileşenlerinin optimizasyonu ile değil, bu bileşenler arasındaki etkileşimin yönetilmesi ile başarılı hale gelmektedir. Bu yaklaşım, gelecekte yapılacak çalışmalar için yeni araştırma alanları açmakta ve üretim planlama uygulamalarına daha esnek, uyarlanabilir ve sürdürülebilir bir perspektif sunmaktadır.

Kaynakça

Adalı, B. Y. (2018). Kurumsal Kaynak Planlamasının Farklı Coğrafyalardaki Bakış Açısı. *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 19-27.

Bingi, P., Sharma, M. K., & Godla, J. K. (1999). Critical issues affecting an ERP implementation. *Information Systems Management*, 16(3), 7-14.
doi:<https://doi.org/10.1201/1078/43197.16.3.19990601/31310.2>

Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management* (5 b.). Harlow: Pearson.

Davenport, T. H. (1998). Putting the enterprise into the enterprice system. *Harward Business Review*, 76(4), 121-131.

Goldratt, E. M. (1984). *The goal: A process og ongoing improvement*. Great Barrington, MA: North River Press.

Hayes, R. H., & Wheelwright, S. C. (1979). Link manufacturing process and product life cycles. *Harvard Business Review*, 133–140.

Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *Operations management: Sustainability and supply chain management* (12 b.). Boston: Pearson.

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. MUNIH: ACATECH.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>

Olhager, J. (2003). Strategic positioning of the order penetration point. *International Journal of Production Economics*,

85(3), 319-329. doi:[https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00119-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00119-1)

Orlicky, J. (1975). *Material requirements planning*. New York: McGraw-Hill.

Özgenalp, B. Y. (2019). *Kurumsal kaynak planlaması yazılımlarının seçim sürecinde çok kriterli karar verme teknikleri uygulaması*. SAMSUN: ONDOKUZMAYIS ÜNİVERSİTESİ.

Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2016). *Operations management* (8 b.). Harlow: Pearson.

Stadtler, H. (2015). *Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software and case studies*. Springer: Berlin. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-642-55309-7>

Umble, E. J., Haft, R. R., & Umble, M. M. (2003). Enterprise resource planning: Implementation procedures and critical success factors. *European Journal of Operational Research*, 146(2), 241-257. doi:[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00547-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00547-7)

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Simon & Schuster.

Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods* (4 b.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

