

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YALIN ÜRETİM VE DİJİTALİZASYON (ENDÜSTRİ 4.0 + ENDÜSTRİ 5.0) :
ÇOK BOYUTLU ETKİLEŞİM MATRİSİ VE ÜRETİM FİRMALARI İÇİN
KURULUM, GELİŞTİRME STRATEJİLERİ VE DEĞERLENDİRME MODELİ**

DOKTORA TEZİ

Hasan Oktay GÖKTAŞ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Bilim Dalı

EKİM 2024

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YALIN ÜRETİM VE DİJİTALİZASYON (ENDÜSTRİ 4.0 + ENDÜSTRİ 5.0) :
ÇOK BOYUTLU ETKİLEŞİM MATRİSİ VE ÜRETİM FİRMALARI İÇİN
KURULUM, GELİŞTİRME STRATEJİLERİ VE DEĞERLENDİRME MODELİ**

DOKTORA TEZİ

Hasan Oktay GÖKTAŞ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nejat YUMUŞAK

EKİM 2024

Hasan Oktay Göktaş tarafından hazırlanan “Yalın Üretim ve Dijitalizasyon (Endüstri 4.0 + Endüstri 5.0) : Çok Boyutlu Etkileşim Matrisi ve Üretim Firmaları için Kurulum, Geliştirme Stratejileri ve Değerlendirme Modeli” adlı tez çalışması 25.10.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Bilgisayar Mühendisliği Bilim Dalı’nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Prof. Dr. Nejat YUMUŞAK Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Prof. Dr. İbrahim ÇİL Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Prof. Dr. Resul KARA Düzce Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Prof. Dr. Yaşar BECERİKLİ Kocaeli Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Ünal ÇAVUŞOĞLU Sakarya Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “YALIN ÜRETİM VE DİJİTALİZASYON (ENDÜSTRİ 4.0 + ENDÜSTRİ 5.0) : ÇOK BOYUTLU ETKİLEŞİM MATRİSİ VE ÜRETİM FİRMALARI İÇİN KURULUM, GELİŞTİRME STRATEJİLERİ VE DEĞERLENDİRME MODELİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(25/10/2024)

Hasan Oktay Göktaş





Anneme, Babama ve diğer tüm Öğretmenlerime...



TEŞEKKÜR

Doktora eğitimi için beni teşvik eden ve doktora eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, araştırmanın tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, taviz vermeksizin bilimsel yaklaşımı, faydacılığı ve doğruyu ilke edinen, bilim insanı olarak örnek aldığım değerli danışman hocam Prof. Dr. Nejat Yumuşak’a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmama kritik dokunuşlarda bulunan, teşvik ve desteklerini her zaman hissettiğim kıymetli hocalarım Prof. Dr. İbrahim Çil ve Doç. Dr. Ünal Çavuşoğlu’na teşekkür ederim.

Yalınlığa esin kaynağı olan Toyota Üretim Sistemini üretim dünyasına tanıtan dijital dönüşüm yolunda emin adımlarla ilerleyen tezime esin kaynağı olan ve beni bu çalışmamda destekleyen Toyota’ya ve çalışmama katkı sağlayan gerek Avrupa ve gerekse Japonya ve Kuzey Amerika bölgelerinde çalışan değerli ustalarım ve uzman iş arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Hasan Oktay GÖKTAŞ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
1.1. Dil (Türkçe, Japonca, İngilizce) Kullanımı Hakkında Açıklamalar	4
2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI	7
2.1. Yalın Üretim Modeli (Yalın Üretim Ontolojisi)	10
2.2. Dijitalizasyon (Dx=I4.0+I5.0) Modeli (Dijitalizasyon Ontolojisi)	11
2.3. Yalın Üretim ve Dijitalizasyon İlişkisi	13
2.4. Dijital Dönüşüm Kritik Başarı Faktörleri	14
2.5. Dijital Dönüşümde Yalınlığı Sürdürme Kritik Başarı Faktörleri	17
2.6. Hipotez	18
3. ARAŞTIRMA	23
3.1. Delphi Metodu Nedir	23
3.2. Araştırma Metodu	24
3.3. Anket Ölçütleri	26
3.4. Araştırma Uzmanlarının Belirlenmesi	26
3.5. Anket	28
4. SONUÇLAR	35
4.1. Yalın Üretim Ontolojisi	35
4.1.1. Müşteri odaklılık (customer first) kavramı	37
4.1.2. Paydaş tatmini (stakeholder satisfaction) kavramı	38
4.1.3. İnsanı geliştirme (hitozukuri) kavramı	39
4.1.4. Zamanında durma (jidoka) kavramı	40
4.1.5. Görselleştirme (mieruka) kavramı	41
4.1.6. Üretim sanatı (monozukuri) kavramı	42
4.1.7. Sürekli iyileştirme (kaizen) kavramı	43
4.1.8. İş güvenliği (safety) kavramı	44
4.1.9. Tam zamanında (just in time) kavramı	45
4.2. Dijitalizasyon Ontolojisi	46
4.2.1. İnnovasyon (innovation) kavramı	48
4.2.2. Siber güvenlik (security(cyber)) kavramı	48
4.2.3. Bilgi yönetimi (knowledge management) kavramı	49
4.2.4. Sürdürülebilirlik (sustainability) kavramı	50
4.2.5. Düşey ve yatay entegrasyon (vertical & horizontal integration) kavramı	51

4.2.6. Dijital üretim (digitized manufacturing) ve dijital mühendislik (digital engineering) kavramları	51
4.2.7. Dayanıklılık (resiliency) kavramı.....	52
4.2.8. İnsan odaklılık (human centricity) kavramı	53
4.3. Çok Boyutlu Etkileşim Matrisi ve Dx'in Yalınlığa Etkisi	54
4.4. Dijital Dönüşüm Kritik Başarı Faktörleri Sonuçları	55
4.5. Yalınlığı Sürdürme Kritik Başarı Faktörleri Sonuçları	55
4.6. Psikometrik Özellikler.....	55
4.7. Delphi Metodu Stabilite Testi	59
4.8. Hipotez Testi	60
5. LDx (YALINLIK+Dx) OLGUNLUK DEĞERLENDİRME MODELİ	63
5.1. Giriş	63
5.2. Hipotez	64
5.3. LDx Olgunluk Değerlendirme Modeli Araştırma Metodu.....	65
5.4. Araştırma (Literatür Taraması).....	66
5.4.1. Yalınlık olgunluk modelleri, karşılaştırma ve kapsayıcılık	66
5.4.2. Endüstri 4.0 olgunluk modelleri, karşılaştırma ve kapsayıcılık	70
5.4.3. Yalınlık+Endüstri 4.0 olgunluk modelleri, karşılaştırma ve kapsayıcılık	72
5.4.4. Endüstri 5.0 olgunluk modelleri, karşılaştırma ve kapsayıcılık	73
5.5. Hipotez Testi	73
5.6. LDx Modeli (LDx Ontolojisi) Tanımı.....	74
5.7. LDx Olgunluk Değerlendirme Modeli Boyutları Önerisi	76
6. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER	81
6.1. Kurulum ve Geliştirme Stratejileri	81
6.2. Değerlendirme Modeli.....	86
6.3. Sonuç ve Öneriler	87
KAYNAKLAR.....	89
EKLER	101
ÖZGEÇMİŞ.....	123

KISALTMALAR¹

AGT	: Automated Guideway Transit
AGV	: Automated Guided Vehicle
AI	: Artificial Intelligence (yapay zeka)
AMR	: Autonomous Mobile Robot
ARGE	: Araştırma Geliştirme
ASRS	: Automated Storage and Retrieval System
CSFs	: Critical Success Factors (kritik başarı faktörü)
CSFs-DT	: Critical Success Factors – Digital Transformation
CSFs-LS	: Critical Success Factors – Lean Sustainability
D&I	: Diversity and Inclusion
DNA	: DeoxyriboNucleic Acid
Dx	: Digitalization (dijitalizasyon), I4.0+I5.0
EU	: European Union (Avrupa Birliği)
FIFO	: First In First Out
I4.0	: Industry 4.0 (endüstri 4.0)
I5.0	: Industry 5.0 (endüstri 5.0)
IoT	: Internet of Things (nesnelerin interneti)
IQD	: Interquartile deviation
IQR	: Interquartile Range
IT	: Information Technologies (bilgi sistemleri)
JKK	: Jikotei kanketsu (yerinde kalite)
KOBİ	: Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler (SMEs)
KBF	: Kritik Başarı Faktörü
KBF-DD	: Kritik Başarı Faktörü-Dijital Dönüşüm
KBF-YS	: Kritik Başarı Faktörü- Yalınlığı Sürdürme

¹ Kısaltmalar için ilk karşılık, kısaltma hangi dilde (Türkçe, Japonca veya İngilizce) ise o dilde verilmiştir. Diğer dillerde karşılık verilmesi gereğinde, parantez içinde verilmiştir.

KPI	: Key Performance Indicator
LDx	: Lean + Dx
nc	: non-consensus (hemfikirlik yok)
OJD	: On the Job Development
PDCA	: Plan Do Check Act
PUKÖ	: Planla-Uygula-Kontrol et-Önlem al
QCC	: Quality Control Circle
R&D	: Research and Design (araştırma ve geliştirme)
SDG	: Sustainable Development Goals (sürdürülebilir kalkınma hedefleri)
STEAM	: Science Technology Engineering Arts Mathematics
TBP	: Toyota Business Practises
TPS	: Toyota Production System (Toyota üretim sistemi)
UNGA	: United Nations General Assembly
USA	: United States of America
VR	: Virtual Reality (sanal gerçeklik)

SİMGELER

$C\alpha$: Cronbach's alpha

M : Ortalama değeri





TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Yalınlık Modeli Ana Kavramları [52]	11
Tablo 2.2. I4.0 ve I5.0 bileşenleri (element), karakteristikleri, kavramları ve yalınlık ile ilişkileri üzerine yapılan çalışmalar	12
Tablo 2.3. Dx Modeli Ana Kavramları ve I4.0, I5.0 Paradigmaları Bağlantıları.....	13
Tablo 2.4. Çok Boyutlu Yalınlık-Dx İlişki Matrisi	14
Tablo 2.5. Dijital Dönüşüm ve Dijitalizasyon KBF Çalışmaları	16
Tablo 2.6. KBF-DD: Dijital Dönüşüm Kritik Başarı Faktörleri	16
Tablo 2.7. Yalınlık Olgunluk Modelleri ve Boyutları	17
Tablo 2.8. KBF-YS: Yalınlığı Sürdürme Kritik Başarı Faktörleri	18
Tablo 3.1. Uzmanların Deneyimi ve Multidisipliner Dağılımı	27
Tablo 4.1. Çok Boyutlu Etkileşim Matrisi ve Dx'in Yalınlığa Etkisi	56
Tablo 4.2. KBF-DD Sonuçları	57
Tablo 4.3. KBF-YS Sonuçları	58
Tablo 4.4. Roundların Stabilitate Testi Sonuçları	59
Tablo 4.5. Delphi Roundlarının Özeti	60
Tablo 4.6.. Hipotez-2 (H2) Grubunun 10 adet Hemfikirlik Sağlanamayan Hipotezi için Alternatif Konsensüs Ölçüm Analizi Sonuçları.....	60
Tablo 4.7. Hipotez-3 (H3) Grubunun 4 adet Hemfikirlik Sağlanamayan Hipotezi için Alternatif Konsensüs Ölçüm Analizi Sonuçları.....	61
Tablo 5.1. Yalınlık Olgunluk Modeli Çalışmaları ve Boyut Sayıları	67
Tablo 5.2. Literatür Yalınlık Değerlendirme ve Olgunluk Modelleri Ana Boyutlarının Yalınlık Modeli (Ontoloji) Karşılıkları Tablosu	68
Tablo 5.3. Literatür Yalınlık + Endüstri 4.0 Değerlendirme ve Olgunluk Modelleri Boyutlarının Yalınlık ve Dx Modelleri (Ontoloji) Karşılıkları Tablosu ...	72
Tablo 5.4. Literatür I5.0 Değerlendirme ve Olgunluk Modelleri.....	73
Tablo 5.5. Olgunluk Modelleri Literatür Taraması ve Karşılaştırma Sonuçları	74
Tablo 5.6. Güçlendirme(reinforcement) Terimi LDx Modeli Sınıflandırması	75
Tablo 5.7. Çok Boyutlu Matris Güçlendirme ilişkileri ve Sınıflandırması	75
Tablo 5.8. LDx Olgunluk Modeli Boyutları.....	77
Tablo 6.1. Dijital Dönüşüm Kritik Başarı Faktörleri Sıralaması (KBF-DD).....	81
Tablo 6.2. Yalınlığı Sürdürme Kritik Başarı Faktörleri Sıralaması (KBF-YS)	84



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Toyota Üretim Sistemi [20]	2
Şekil 1.2. Araştırma Hedefleri	4
Şekil 2.1. Endüstri 5.0 [2]	8
Şekil 2.2. Hipotez-1 (H1): Dx ve Yalınlık İlişkisi (çok boyutlu matris)	20
Şekil 2.3. Hipotez-2 (H2): KBF-DD Değerlendirme Matrisi	20
Şekil 2.4. Hipotez-3 (H3): KBF-YS Değerlendirme Matrisi	21
Şekil 3.1. Araştırma Metodu Çerçevesi	25
Şekil 3.2. Kapalı Uçlu Sorular ve Ölçekleri	26
Şekil 3.3. İlişki-1 “Dx/Innovation–Lean/Kaizen” için, etkileşim ve KBF anket verisi toplama sayfası görüntüsü (Delphi metodu 2. raunt cevabı).....	30
Şekil 3.4. İlişki-1 “Dx/Innovation–Lean/Kaizen” için, etkileşim ve KBF anket verisi toplama sayfası görüntüsü (Delphi metodu 3. raunt cevabı).....	31
Şekil 3.5. İlişki-1 “Dx/Innovation–Lean/Kaizen” için, etkileşim ve KBF anket verisi toplama sayfası görüntüsü (Delphi metodu 4. raunt cevabı).....	32
Şekil 3.6. Delphi Metodu Rauntları ve nihai sonuçları.....	33
Şekil 4.1. Kavram ve Prensipleri ile Yalınlık (Lean) Ontolojisi.....	35
Şekil 4.2. Tüm Terimleri ile Yalınlık Ontolojisi	36
Şekil 4.3. Yalınlık “Müşteri Odaklılık (Customer First) Kavramı	37
Şekil 4.4. Yalınlık “Paydaş Memnuniyeti (Stakeholder Satisfaction)” Kavramı	38
Şekil 4.5. Yalınlık “İnsanı(çalışanı) Geliştirme (Hitozukuri)” Kavramı	39
Şekil 4.6. Yalınlık “Zamanında Dur (Jidoka)” Kavramı	40
Şekil 4.7. Yalınlık “Görselleştirme (Mieruka)” Kavramı.....	41
Şekil 4.8. Yalınlık “Üretim Sanatı (Monozukuri)” Kavramı	42
Şekil 4.9. Yalınlık “Sürekli İyileştirme (Kaizen)” Kavramı.....	43
Şekil 4.10. Yalınlık “İş Güvenliği (Safety)” Kavramı	44
Şekil 4.11. Yalınlık “ Tam zamanında (Just in Time)” Kavramı	45
Şekil 4.12. Kavramları ile Dijitalizasyon (Dx) Ontolojisi	46
Şekil 4.13. Tüm Terimleri ile Dijitalizasyon (Dx) Ontolojisi.....	47
Şekil 4.14. Dx “İnnovasyon (Innovation)” Kavramı	48
Şekil 4.15. Dx “Siber Güvenlik (Secuirty (Cyber)) Kavramı	49
Şekil 4.16. Dx “Bilgi Yönetimi (Knowledge Management)” Kavramı	49
Şekil 4.17. Dx “Sürdürülebilirlik (Sustainability)” Kavramı	50
Şekil 4.18. Dx “Düşey ve Yatay Entegrasyon (Vertical and Horizontal Integration) Kavramı.....	51
Şekil 4.19. Dx “Dijital Üretim (Digitized Manufacturing)” ve “Dijital Mühendislik (Digitized Engineering)” Kavramları	52
Şekil 4.20. Dx “Dayanıklılık (Resiliency)” Kavramı	53
Şekil 4.21. Dx “İnsan Odaklılık (Human Centricity)” Kavramı.....	54
Şekil 5.1. LDx Olgunluk Modeli Boyutları Araştırma Metodu.....	66
Şekil 5.2. Operasyonel Mükemmellik için Shingo Modeli [81].....	67
Şekil 5.3. LDx Modeli	76



YALIN ÜRETİM VE DİJİTALİZASYON (ENDÜSTRİ 4.0 + ENDÜSTRİ 5.0) : ÇOK BOYUTLU ETKİLEŞİM MATRİSİ VE ÜRETİM FİRMALARI İÇİN KURULUM, GELİŞTİRME STRATEJİLERİ VE DEĞERLENDİRME MODELİ

ÖZET

Üretim sektörü dijitalizasyon (Dx) (Endüstri 4.0 + Endüstri 5.0) ile beraber büyük bir dönüşüm yaşamaktadır. Bu dönüşümü çevik, verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yapmak zorunluluğu ve güçlükleri yanında üretim sektörü yalınlığı (Lean) da sürdürmek zorundadır. Bu çalışma üretim sektörü için dijitalizasyon dönüşümü ve kurulumu yanında yalınlığı da sürdürmek ve dönüşüm ile beraber güçlendirmek için izlenecek stratejileri belirlemeye yardımcı olacak kritik başarı faktörlerini (KBF) , yalınlığı güçlendirme rotalarını, yalın+Dx çerçevesi için bir değerlendirme modelini, yalın üretim konusunda öncü kabul edilen bir üretim firmasının (Toyota Motor Europe) bu dönüşüm sürecini deneysel olarak inceleyerek belirlemeyi hedefler.

Dönüşüm sürecindeki KBF'leri doğru bir şekilde incelemek ve yalınlığı güçlendirme rotalarını belirlemek için öncelikle hem yalın hem de Dx için bütünsel bir bakış açısı sağlayacak tüm kavramları, ilkeleri, unsurları, yöntemleri, araçları ve türleri içeren bir çerçevenin oluşturulması gerekir. Bunun yanında her iki alan arasındaki etkileşimin tanımlanması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, her iki alan için ontolojiler oluşturulmuş, alanlar arası bağlantılar çok boyutlu etkileşim matrisi olarak belirlenmiştir. KBF'ler “dijital dönüşüm” ve “yalınlığı sürdürme” başlıkları altında gruplandırılarak belirlenmiştir. Çalışmada Delphi metodu kullanılmıştır. Literatür taraması ile oluşturulan ontolojiler, çok boyutlu matris ve belirlenen kritik başarı faktörleri, Delphi metodunun ilk adımı ile uzmanlarla birebir yapılan oturumları takiben son haline getirilmiştir. Takip eden Delphi roundlarında, alanlar arasındaki her bir bağlantı için, “etkileşimin etkisi”, “dijital dönüşüm” ve “yalınlığı sürdürme” kritik başarı faktörleri değerlendirilmiştir.

Bu çalışma sonucu dijitalizasyonun yalınlığı pozitif etkilediği ve yalın düşüncenin (lean thinking) dijitalizasyonu ve dijital dönüşümü desteklediği sonucuna ulaşılmıştır. Değerlendirilen 12 etkileşim bağlantısının 6 tanesi için “yüksek/güçlü pozitif etki” sonucu elde edilirken, 3 bağlantı için “yüksek pozitif etki” ve kalan 3 bağlantı için “orta pozitif” etki sonucuna ulaşılmıştır. 11 adet “dijital dönüşüm” KBF'si arasında ilk sırada “üst yönetim desteği ve dönüşümsel liderlik” yer almıştır. Bunu çalışan ve ekip çalışması ile ilgili 4 adet KBF takip etmiştir. 9 adet “yalınlığı sürdürme” KBF'si arasında ilk sırada “git ve gör prensibini koru (keep Gemba)” yer almıştır. Bunu “zamanında duruştan ödün vermeme (never compromise Jidoka)”, “yerinde kaliteyi koruma (keep and enforce JKK)” ve “insan dokunuşu ile otomasyon (keep automation with human touch)” takip etmiştir.

Endüstri 4.0 dönüşümünü adresleyen kritik başarı faktörleri çalışılmıştır fakat bu dönüşüm sürecinde yalınlığı koruma kritik başarı faktörleri çalışılmamıştır. Endüstri 4.0 yanında Endüstri 5.0 paradigmasını adresleyen kapsayıcı çalışma

bulunmamaktadır. Yalınlık ve dijitalizasyon arasındaki ilişkileri tanımlayan dijitalizasyonun yalın üretime etkisini değerlendiren ve bu süreçte yalınlığı sürdürme faktörlerini ve güçlendirme rotalarını belirleyen holistik çalışma bulunmamaktadır. Çalışmamız listelenen bu alanları adreslemektedir.

Yalınlık ve dijitalizasyon alanlarında ayrı ayrı olgunluk değerlendirme modelleri bulunmaktadır fakat yalın+dijitalizasyon olgunluğunu konu alan, Endüstri 5.0 paradigmalarını da içeren bir değerlendirme modeli bulunmamaktadır. Çalışmamızın son bölümünde deneysel çalışmamızın sonuçları da kullanılarak, Yalın+Dx (Lean+Dx = LDx) organizasyon çerçeve modeli tanımlanmış ve bu model için bir olgunluk değerlendirme modeline temel olacak ana ve alt değerlendirme boyutları önerilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları üretim firmaları, küçük ve orta büyüklükteki işletmeler (KOBİ) için dijital dönüşüm ve bu süreçte yalınlığı sürdürme ve güçlendirme için doğru stratejileri belirlemeye yardımcı olacaktır.

Çalışmamız kapsamında önerilen LDx modeli ve değerlendirme boyutları kullanılarak hem yalınlığı ve hem Endüstri 4.0 ve Endüstri 5.0 paradigmalarını içeren olgunluk değerlendirme modeli geliştirilebilecektir.

Son olarak, ontoloji yaklaşımını kullanarak Dx ve yalınlık organizasyon modellerinin ve bağlantılarının belirlenmesi, yalınlık ve Dx konusundaki teori tartışmasına yeni bakış açıları sunacaktır.

LEAN+DIGITALIZATION (INDUSTRY 4.0 + INDUSTRY 5.0): MULTI-DOMAIN MATRIX AS A REFERENCE IMPLEMENTATION AND IMPROVEMENT STRATEGIES FOR MANUFACTURING COMPANIES AND ASSESSMENT MODEL

SUMMARY

This study describes the critical success factors for digitalization in manufacturing within the framework of Industry 4.0 and Industry 5.0 while sustaining Lean and Lean-reinforcement links during this transformation within the actual transformation journey of an enterprise (Toyota Motor Europe). According to the findings, the main and sub dimensions of a maturity assessment model for the Lean+Dx model are also proposed.

Today, manufacturing faces the biggest challenges in its history. The first, second, and third industrial revolutions have taken place one after another whereas today the fourth and fifth industrial revolutions are almost simultaneous. While embracing Industry 4.0 (I4.0) and Industry 5.0 (I5.0), manufacturing should also preserve its existing gains and philosophy which are formed under the term “Lean”. “Lean” was coined in 1988, derived from the Toyota Production System (TPS). I4.0 was coined in 2011 and shortly thereafter, I5.0 was coined. While I4.0 addresses technologies, I5.0 addresses human, society, environment, circular economy, resiliency, and the boundaries of the planet. These emerging values are not directly addressed by I4.0 paradigm. It is also important to understand the significant shift from a technology-driven I4.0 to the more human-centric driven I5.0.

As manufacturing has been implementing technology-driven I4.0, I5.0 began to be understood as a paradigm that recognizes the power of the industry to achieve societal goals beyond jobs and growth. It aims to become a resilient provider of prosperity, by making production respect the boundaries of our planet and placing the wellbeing of the worker at the centre of the production process. In 2015, the United Nations General Assembly (UNGA) created the “Sustainable Development Goals” SDGs. In 2021, the European Union (EU) formally called for I5.0. Globally, many countries have introduced similar strategic initiatives: National Strategy for Advanced Manufacturing (USA), Society 5.0 (Japan), and Made in China 2025 (China). Regardless of the name, I5.0 paradigm is a reality. Therefore, in digital transformation, manufacturing should also consider the I5.0 paradigm, its concepts, mandates and expectations introduced by policymakers and society alongside the I4.0 technical framework. It can be said that I5.0 is the key enabler and mandate of digitalization (Dx) next to I4.0.

There are numerous challenges introduced by I4.0 and I5.0 that also need to be considered by Lean philosophy and practices.

Manufacturing is being transformed by technologies and is becoming more connected and data-driven. With digitalization, cybersecurity has become a key concept in sustainability. Innovation is key to survival in today’s rapidly changing market. The manufacturing need for new skills (both technical and transversal) introduces

significant challenges to the education system and manufacturing including personalized education. Just in time hiring strategies need to change radically to form closer collaborations between manufacturing and education (joint programs, hybrid education). Privacy and data protection regulations impose strict rules and companies may face significant fines. Human-robot co-working (cobot) is a challenging task for enterprises. Moreover, human augmentation technologies such as wearable devices, robots, and eyeglasses may go beyond ethical dilemmas and be subject to regulations. With the COVID-19 pandemic, companies began to recognize the value of digitalization, knowledge integration in both horizontal and vertical directions for agility, quick reaction to customer expectations, and adaptation to new business models.

Societal megatrends require workforce diversity. In the meantime, the aging workforce needs to be reskilled and upskilled. Companies' efforts to reach new talent, introduce more diversity into the workforce where company culture should be ready for it. Innovation and human centricity have been identified as key concepts of digitalization in many articles and are well received by policymakers. The rapid proliferation of new technologies will continue to transform roles within manufacturing such as data scientists, compliance officers, collaborative robot experts, and virtual operators. Overall, these efforts imply more investment in the workforce and society. The environment and circular economy paradigm are becoming increasingly relevant as companies realize the real value and profitability of this new, sustainable way of doing business. It relies on several strategies to extend the product life cycle through reusing, recycling, remanufacturing, and redesigning circular products and materials. Sustainability, resiliency and the circular economy are key challenges that manufacturing companies should manage and develop strategies for their products and business models.

All of these changes include regulations introduced by policymakers, societal realities, expectations that manufacturing should consider for sustainability and resiliency.

The term “Lean” refers to a state of the art level in manufacturing. Lean principles or TPS philosophy cannot be addressed by the I4.0 paradigm alone. Key terms of TPS, Toyota Way philosophy such as “Waste Reduction”, “Levelled Production”, and “Respect for People” have definitions under the I5.0 paradigm. Toyota aims to undergo Dx transformation while reinforcing Lean and considers Dx as a combination of I4.0 and I5.0 frameworks. Digital transformation is inevitable but Lean philosophy should be sustained.

For TPS or Lean visualization, the two-pillar temple model is a very popular form used in many studies. However, this model often leads people to understand Lean as a toolbox from which to choose the appropriate “tools”. However, Lean is not a toolbox; it is a philosophy for manufacturing. “Lean thinking” is another widely used term in literature to emphasize the management framework of Lean made up of a philosophy, practices and principles. For our research, we need a better representation of Lean that shows all its aspects and allows us to define relations to the digitalization paradigm. “Ontology” allows us to show concepts, principles, elements, methods, and tools with synergistic links and philosophy. Having a holistic conceptualized view will allow us to identify the relations (multi-domain matrix) between Lean and Dx accurately for impact evaluation and to assess Lean reinforcement points and allow experts to evaluate critical success factors (CSFs) more meaningfully with the visual representation.

Considering our research topic, the level of perfect Lean understanding, digital transformation experience and short to long term business, technology and environmental vision are key prerequisites for the panel members. The survey needs to be conducted with experts and opinions need to be aggregated. A survey with these experts was conducted, in which the Delphi method was used as a survey tool for an analysis, which was performed in three steps: an analysis of psychometric properties was conducted, a stability analysis of the Delphi method was performed, and the significance of non-consensus hypotheses of the results were examined.

The following list summarizes the key research objectives:

1. Identification and validation of Lean reinforcement links.
2. Identification and validation of CSFs-DT (digital transformation) to have agile, successful Dx transformation.
3. Identification and validation of CSFs-LS (Lean sustainability) to sustain Lean while transforming to Dx.
4. Propose managerial implications for agile and sustainable Dx transformation while reinforcing Lean.
5. Proposal of main and sub dimensions for Lean+Dx (LDx) assessment model based on our results.

In this regard, 12 reinforcement links (between Lean and digitalization), 11 critical success factors for “digital transformation”, 9 critical success factors for “Lean sustainability” were identified from the published literature and 56 one-on-one discussions with Toyota Production System experts. Both Lean and digitalization frameworks were developed using the ontology method.

The results show that “top management commitment” is the most critical factor for digital transformations, whereas for Lean sustainability, it is “keep Genchi Genbutsu (go and see)”. It was found that digitalization impacts Lean very positively (high/strong or high) for a majority of the links and lean on the positive side for the remaining links.

Studies have examined critical success factors for implementing Industry 4.0 technologies from organizational and transformational aspects, or for specific areas such as project management, or with a focus on a particular technology implementation. Some studies have also looked at CSFs for I4.0 technology implementation while considering some Lean principles. Additionally, some studies have included CSFs from Industry 5.0. However, none of these studies have examined a comprehensive list of CSFs for all concepts of I4.0 and I5.0. No study has explored the CSFs for a company to sustain a Lean framework while transitioning to Dx. Our study aims to identify CSFs for both Dx transformation and Lean sustainability, as well as to validate relations between Lean and Dx within the context of I4.0 and I5.0 paradigms to identify Lean reinforcement links.

There are assessment models for Lean and Industry 4.0. However, there is not an assessment model for both Lean and digitalization including Industry 5.0 paradigms. In the last part of our thesis, using the empirical study results, an organizational framework has been proposed that covers both Lean and Dx (I4.0 + I5.0) named as LDx, and main and sub-dimensions of a maturity model have been listed which would be a base for an assessment model for LDx framework.

This contribution shall serve as an essential basis for manufacturing companies and Small to Medium Enterprises (SMEs) for their Dx transformation while sustaining and reinforcing Lean with minimum cost, lead time, and having the right strategy.

By using the proposed LDx framework and maturity model dimensions, an assessment model for both Lean and I4.0 plus I5.0 can be developed.

Lastly, the formalization and development of Dx and Lean organization frameworks using the ontology approach and the identification of reinforcement links would offer new insights and perspectives on the theory discussion of Lean and Dx.



1. GİRİŞ VE AMAÇ

Üretim sektörü tarihindeki en büyük dönüşümlerden birini yaşamaktadır. Birinci, ikinci ve üçüncü endüstri devrimleri birbirini izleyerek gerçekleşmiş iken, dördüncü (Endüstri 4.0 (I4.0)) ve beşinci (Endüstri 5.0 (I5.0)) endüstri devrimleri aynı anda yaşanmaktadır [1]. Üretim sektörü dördüncü ve beşinci endüstri devrimlerini gerçekleştirmek ve gereklerini yerine getirmek zorunda iken [2,3] yalınlık kavramı ile ifade edebileceğimiz kazanımlarını ve üretim felsefesi anlayışını da sürdürmek zorundadır.

Yalınlık ve Endüstri 4.0 arasındaki ilişki ve etkileşim bir çok açıdan incelenmiştir. Ortak düşünce bu iki kavramın birbiriyle çok ilişkili ve ayrılmaz olduğu yönündedir [4–15]. Değer odaklı bir terim olan Endüstri 5.0, insanı ve toplumu merkeze almakta, dayanıklılık ve sürdürülebilirliği hedeflemektedir. Bu değer odaklı kavramlar Endüstri 4.0 tarafından direkt olarak ifade edilmemekte, kapsanmamaktadır. Endüstri 4.0 teknolojik kavram ve oluşları ifade eder. Üretim sektörü I4.0 dönüşümünü gerçekleştirmeye çalışırken, Endüstri 5.0 üretimin gücünü istihdam ve büyümenin ötesinde toplumsal hedefleri gerçekleştirmeyi amaçlayan, refahın korunmasını hedefleyen ve bu süreçte dünyamızın imkan ve sınırlarına saygılı ve koruyucu , çalışanın iyilik ve refahını merkeze yerleştiren paradigma olarak karşımıza çıkmaktadır [1].

Bu çalışma I4.0 ve I5.0 paradigmalarının bütününe dijitalizasyon (Dx) veya dijital dönüşüm olarak ele alır. Dijital dönüşümün (Dx) başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için ve bu süreçte yalınlığı sürdürmek ve güçlendirmek için de gerekli kritik başarı faktörlerini (KBF), yalınlık konusunda referans olan ve dijital dönüşüm sürecindeki bir firmanın (Toyota Motor Europe) deneyimi ile deneysel olarak belirlemeyi amaçlar.

Endüstri 4.0 kurulumu ve dönüşümü için kritik başarı faktörlerini inceleyen ve belirleyen bir çok çalışma bulunmaktadır. Bununla beraber I4.0 ve I5.0 kavramlarını ve değerlerini tam olarak göz önünde bulundurarak KBF'leri inceleyen çalışma bulunmamaktadır. Ek olarak, dijital dönüşüm ile beraber yalınlığı sürdürmenin kritik başarı faktörlerini inceleyen bir çalışma yapılmamıştır. Yalınlık (Lean) kavramı ilk

olarak 1988 yılında Krafcik [16] tarafından kullanıldı. Bu kavram etrafında Toyota üretim sistemini referans alan kapsamlı çalışma Womack ve ark. [17] tarafından 1990 yılında yayınlandı. Bu alana ilham kaynağı olan Toyota üretim sistemi Ohno [18] tarafından 1988 yılında üretim dünyasına tanıtıldı. Liker 2004 yılında “Toyota Yolu (Toyota Way)” ifadesi ile başlayan ve Toyota üretim sistemini, Toyota üretim temelleri üzerinde açıklayan çok bilinen kitabını [19] yayınladı.

Yalınlığı sürdürme ve dijital dönüşüm kritik başarı faktörlerini incelemek için öncelikle her iki alan, bir model olarak tüm kavram, prensip, bileşen (element), metot, araç ve çeşitleri (tip) ile belirlenmeli ve tanımlanmalıdır. Toyota üretim sistemini (TPS) görselleştirmek için çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan ev (house, temple) gösterimine (Şekil 1.1) baktığımızda yalınlığın veya Toyota üretim sisteminin tek başına I4.0 kavramları ile eşleştirilemeyeceğini farkederiz. Temel TPS kavramlarından “insana saygı (respect for people)”, “israfı azaltma (waste reduction)”, “esnek üretim (levelled production)” gibi kavramların I5.0 paradigmaları ile eşleştirilebileceğini görürüz.



Şekil 1.1. Toyota Üretim Sistemi [20]

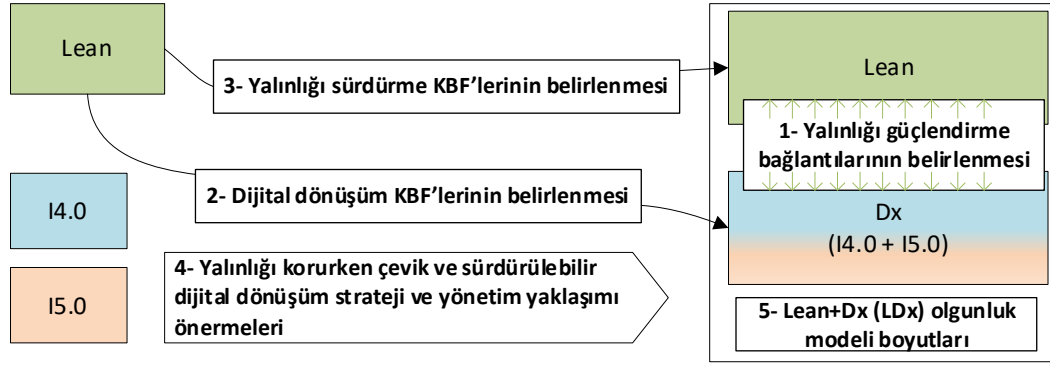
Öte yandan, iki sütunlu ikonik Toyota üretim sistemi (TPS) gösterimi (Şekil 1.1) yalınlık için araçlardan oluşan bir yapı ve ihtiyaca göre belirlenen araçlarla yalınlığı sağlama gibi bir yanlış anlamaya da neden olmaktadır [20]. Yalınlık, ilgili araç ve bileşenlerin seçilmesi ile elde edilebilecek bir kazanım değildir. Yalınlık bir düşüncüyü

ve tam bir çerçeveyi tanımlar [16-19]. Çalışmamız için yalınlık açısından bu yanlış anlamalara neden olmayacak ve hem de Dx (I4.0+I5.0) paradigmasını daha iyi temsil edebileceğimiz bir gösterime ihtiyacımız bulunmaktadır. Her iki alan içinde bütünsel bir gösterime imkan veren ontoloji ile temsil yöntemi seçilmiştir. “Ontoloji” felsefe bilim alanından alınmış bir terim olarak, kavramsallaştırma yaklaşımı ile, kavramlar, prensipler, bileşenler (element), metotlar ve araçları sinerjik bağlantılarla bir bütün olarak tüm boyutları ve felsefesi ile gösterme imkanı verir [21]. Ek olarak bu yaklaşım, yalın ve Dx arasındaki ilişkiyi ve dönüşüm bağlantılarını görsel olarak tanımlayabileceğimiz çok boyutlu matris oluşturma imkanı sağlayacak ve kritik başarı faktörlerini en iyi şekilde belirleme ve değerlendirme açılarından görsel bir avantaj sunacaktır.

Araştırma konumuzu ve araştırma sahamızı değerlendirerek, “Delphi” metodu araştırma, anket metodu olarak seçilmiştir. Çünkü, bu metot yapısal olarak gruplandırılmış uzmanların vereceği kararlar, yapılandırılmamış dağınık bir gruptan daha doğru sonuç verir prensibine dayanmaktadır. Araştırma alanımız yalınlık alanında uzman olan bir firmadır. Araştırmamız için üretim sürecinin değişik ve tüm alanlarında deneyim ve uzmanlığı olan 14 adet TPS uzmanı seçilmiştir.

Bu çalışma üretim sektörünün yalın kazanımlarını korurken dijital dönüşümü en hızlı ve kısa sürede doğru stratejilerle, minimum maliyet ve tekrarlardan (israf) kaçınarak gerçekleştirmesine destek olacak sonuçlar sunacaktır. Yapılan araştırmalar, dijitalizasyonun yalınlığı olumlu etkilediği görüş ve sonuçlarını paylaşmaktadır. Bu açıdan bir felsefe olarak da ifade edilen yalın düşüncenin dijitalizasyon ile beraber daha güçleneceği hipotez başlıklarımızdan biridir. Öte yandan yalınlık sadece üretim alanında değil, diğer bir çok sektörde de (sağlık, hizmet, inşaat) başarı ile uygulanmaktadır. Dijital dönüşüm küresel bir olgudur. Bu açıdan, çalışmamızın sonuçlarının sadece üretim sektörüne değil, tüm sektörlerle de katkı sağlayacağını umuyoruz.

Bu araştırmanın hedefleri Şekil 1.2’de görselleştirilmiş ve aşağıda listelenmiştir:



Şekil 1.2. Araştırma Hedefleri

1. Yalın üretim ve Dx modelleri arasında çok boyutlu etkileşim matrisi oluşturulması ve Dx'in yalınlığa etkisinin değerlendirilmesi ve “yalınlığı güçlendirme” bağlantılarının belirlenmesi
2. Çevik ve başarılı “dijital dönüşüm” kritik başarı faktörlerinin (KBF-DD) tanımlanması ve değerlendirilmesi.
3. Dijital dönüşüm sürecinde “yalınlığı sürdürme” kritik başarı faktörlerinin (KBF-YS) tanımlanması ve değerlendirilmesi.
4. Yalınlığı korurken çevik ve sürdürülebilir dijital dönüşüm strateji ve yönetim yaklaşımı önermeleri.
5. Yalınlık + Dx (LDx) bütünleşik modeli için araştırma sonuçlarımızdan yararlanarak ana ve alt değerlendirme modeli boyutları önermeleri.

1.1. Dil (Türkçe, Japonca, İngilizce) Kullanımı Hakkında Açıklamalar

Tezimiz Türkçe hazırlanmıştır. Araştırma çalışmamız uzmanlarla İngilizce dilinde gerçekleştirilmiştir. TPS ve araştırma çalışmasının yapıldığı iş yerinde ve yalınlık literatüründe Japonca terimler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu üç dilin kullanıldığı çalışmamızda, tezimizi Türkçe dilinde takip edilebilir ve anlaşılır kılmak ana amacımızdır. Öte yandan uzmanlarla yaptığımız çalışmanın orijinal halini de paylaşmanın yararlı olacağı sonucuna ulaştık. TPS ve yalınlıkta yaygın olarak kullanılan ve bilinen Japonca terimleri de literatür ve medya bağlantılarının kolay kurulabilmesi için metin, şekil ve tablolarda kullandık. Bazı yerlerde diğer dil ya da dillerden karşılıkları da verdik.

Bu şekilde çalışmamızın daha anlaşılır ve takip edilebilir olacağını, yalın düşünce ve felsefesinin ve dijital dönüşümde kritik başarı faktörlerinin “Yalınlık + Dx” bütünlüğü içinde daha iyi aktarılabilceğini düşündük. Bu düşüncelerle tezimizde diller açısından izlenen metot ve destekleyici yapı aşağıda açıklanmıştır.

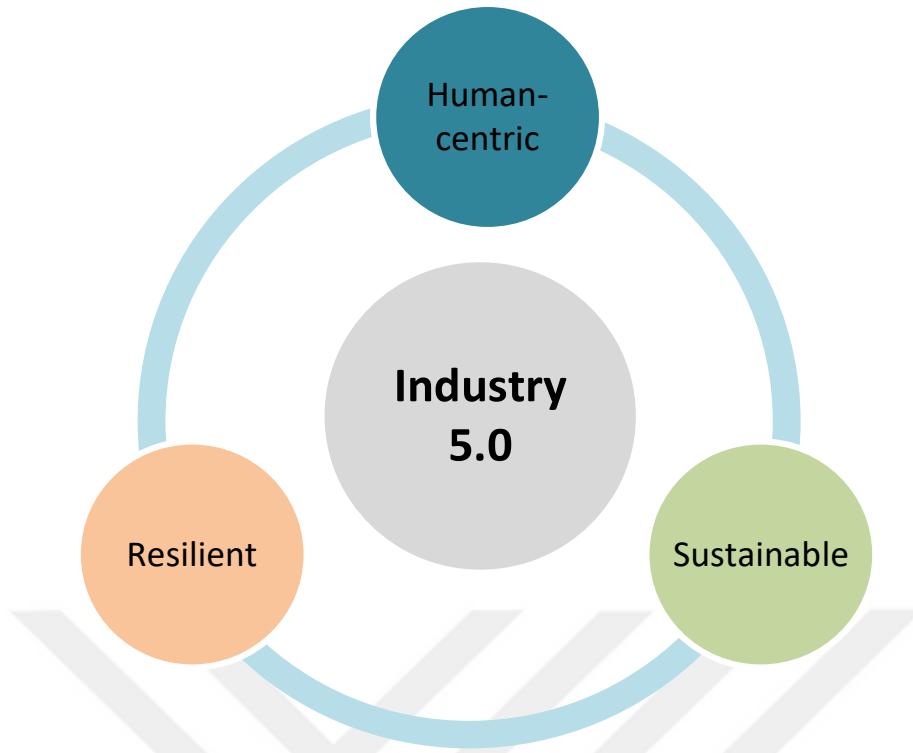
- 1- Uzmanlarla yapılan çalışmalarla geliştirilen ve üretilen ontoloji şekilleri orijinal halinde (İngilizce) verilmiştir. Türkçe özet ve açıklamalar şekillerin öncesinde veya sonrasında verilmiştir.
- 2- Delphi metodu rauntlarında ilişkileri ve KBF’leri değerlendirme anket doküman örnekleri tez metni içinde ilk orijinal halinde (İngilizce) ve takiben Türkçe karşılıkları verilmiştir.
- 3- Delphi metodu rauntlarında ilişkileri ve KBF’leri değerlendirme anket dökümanları EK B’de orijinal halinde (İngilizce) verilmiş, önerme açıklamalarının her bir dökümanda Türkçe karşılıkları da verilmiştir.
- 4- Ontoloji şekillerinde Japonca terimler kullanmıştır. Bu terimlerin bazılarının Türkçe karşılıkları metin içinde metin akışını ve anlam bütünlüğünü sağlamak için verilmiştir. Tüm Japonca terimlerin Türkçe ve İngilizce anlam ve açıklamaları EK A’ da verilmiştir.
- 5- “Dijital dönüşüm” ve “yalınlığı sürdürme” KBF’leri metin içinde ilk kullanımlarında İngilizce orijinalleri yanında Türkçe anlamları ile verilmiştir. Takip eden kullanımlarda anket çalışmasındaki orijinal metinler kullanılmıştır.
- 6- Diğer çalışmalardan alınan şekiller orijinal hali ile verilmiştir.



2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

“Lean” (yalın) terimi, Toyota üretim sistemini tanımlamak için, ilk olarak 1988 yılında Krafcik [17] tarafından kullanıldı. Endüstri 4.0 terimi ilk olarak dördüncü endüstri devrimini ifade etmek için 2011 yılında kullanıldı ve takiben Endüstri 5.0 terimi ortaya atıldı ve kullanılmaya başlandı. I4.0 terimi teknolojik oluşlar ve kavramları ifade ederken, değer odaklı bir terim olan I5.0, insanı ve toplumu merkeze almakta, dayanıklılık ve sürdürülebilirliği hedeflemektedir [1-3].

Üretim sektörü I4.0 dönüşümünü deneyimlerken ve gerçekleştirirken, I5.0 üretimin gücünü istihdam ve büyümenin ötesinde toplumsal hedefleri gerçekleştirmeyi amaçlayan, refahın korunmasını hedefleyen ve tüm bu süreçte dünyamızın imkan ve sınırlarına saygılı ve koruyucu , çalışanın iyilik ve refahını merkeze yerleştiren bir paradigma olarak karşımıza çıkmaktadır [1, 22]. 2015 yılında Birleşmiş Milletler Genel Kurulu (UNGA) “Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri”ni (Sustainable Development Goals (SDG)) ilan etti [23]. 2021 yılında Avrupa Birliği resmi olarak Endüstri 5.0 tanımını yaptı [2]. Küresel olarak bir çok ülke benzer stratejik tanımlamalar yaptılar ve hedefler belirlediler: “National Strategy for Advanced Manufacturing (ABD)” [24], “Society 5.0 (Japonya)” [25] ve “Made in China (Çin)” [26]. Isımlendirmeden bağımsız olarak beşinci endüstri devrimi bir gerçeklik ve paradigma olarak tanınmıştır. “Beşinci endüstri devrimi (I5.0)” tanımları arasında , Avrupa Birliği (EU) ana kavram tanımları bu paradigmanın tüm terimlerini (bileşen, metot, tip) bir ontoloji olarak tanımlamamıza imkan verecek en iyi çerçeveyi sunmaktadır. Çalışmamızda Avrupa Birliğinin tanımladığı bu çerçeveyi I5.0 paradigması referansı olarak kullanacağız (Şekil 2.1). EU, I5.0 paradigmasını “insan odaklı (human centric)”, “dayanıklı (resilient)” ve “sürdürülebilir (sustainable)” kavramlarını temel alarak tanımlamıştır. I5.0, bir mecburiyet ve ana gereklilik olarak dijitalizasyonun (Dx), I4.0 yanında diğer bir referansı olarak karşımızdadır. 2017 yılından bu yana akademik dünya beşinci endüstri devrimini tanıtmaya ve tanımlama çabasını göstermektedir.



Şekil 2.1. Endüstri 5.0 [2]

Üretim sektörü teknoloji ile dönüşüme uğrayarak daha fazla paydaşları ile bağlantılı ve veri üzerinden ilişkisel hale gelmektedir. Küresel sosyal eğilimler iş gücü çeşitliliğini zorunlu kılmaktadır. Dijitalizasyon ile beraber siber güvenlik sürdürülebilirliğin temel kavramı haline gelmiştir [27]. Innovasyon günümüzün çok hızlı ve dinamik değişen piyasa koşullarında rekabetçi kalabilmenin temel kavramıdır. Üretim sektörünün yeni rol ve yetenek gerekleri (teknik roller ve çok boyutlu çapraz iş ve yaşamsal yetenekler (transversal skills)) eğitim sisteminde köklü değişiklikler gerektirmektedir [28, 29]. İhtiyaç anında işe alma yöntemi radikal olarak değişmekte, üretim ve eğitim sistemi arasında daha yakın iş birliği ve metotlar (ortak programlar, hibrit eğitim, uzun staj dönemleri) gerektirmektedir. Buna paralel olarak mevcut iş gücüne yeni kabiliyetler ekleme ve seviyesini yükseltme ihtiyacı sözkonusudur. Şirketlerin ihtiyacı olan donanımlı yeni iş gücü kaynaklarına ulaşma ihtiyacı, iş gücünde çeşitliliği artırmayı gerektirmektedir. Bu ihtiyacı karşılama ve dönüşüm şirket kültürlerinin buna hazır olması ile mümkün olabilecektir. “Innovasyon” ve “insan odaklılık” bir çok akademik çalışmada temel kavramlar olarak belirlenmiş ve politika oluşturan kuruluş, kurum ve siyasi organizasyonlar (birlik, devlet) tarafından da kabul edilmiştir [2, 24-26]. Bu iki kavram dijitalizasyonun temel kavramları haline gelmiştir. Yeni teknolojilerin hızla gelişmesi ve çoğalması yeni rol ve beceri

ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Üretim sektöründe “veri mühendisi (data scientist)”, “siber güvenlik uzmanı (cybersecurity officer)”, “standartlara uyum sorumlusu (compliance officer)”, “insan ile çalışan robot uzmanı (collaborative robot expert)”, “akıllı operatörler (smart operators)”, “sanal operatörler (virtual operators)” bu rol ve becerilerden bazılarıdır. Sonuç olarak, tüm bu ihtiyaçlar iş gücü ve toplum için daha fazla yatırım ihtiyacı anlamına gelmektedir [2, 30]. Kişisel verilerin korunması ve veri güvenliği yasa ve düzenlemeleri katı kurallar koymakta ve şirketlere ağır yaptırımlar (parasal cezalar) uygulamaktadır [31]. Bunların ötesinde, insan bedeni ile kolayca bütünleşebilen (human augmentation) teknolojik ekipmanlar (giyilebilir ekipmanlar, akıllı gözlükler, cobot) daha ileri boyutlara geçerek etik açmazlara ve düzenlemelere neden olabilecektir [32, 33]. Döngüsel ekonomi (circular economy) paradigmasının değeri, karlılığı ve avantajları hızla şirketler tarafından farkedilmekte ve sürdürülebilir iş yapışın önemli bir parçası olarak benimsenmektedir. Döngüsel ekonomi, ürünün kullanım ömrünü artırma açısından bir çok teknik geliştirmekte ve kullanmaktadır. Bunlardan bazıları; “yeniden kullanma (reusing)”, “geri dönüştürme (recycling)”, “yeniden üretme (remanufacturing)”, “yeniden tasarlama (redesigning)” olarak listelenebilir [34]. “Döngüsel ekonomi (circular economy)”, “dayanıklılık (resiliency)” ve “sürdürülebilirlik (sustainability)” üretim sektörünün karşı karşıya olduğu, ürün ve iş modelleri için dönüşüm ve strateji geliştirmeyi gerektiren paradigma ve kavramlardır. Korona (COVID-19) salgını ile beraber şirketler tedarik zincirinde dijitalizasyonun gereği ve önemini farketmişler ve “yatay entegrasyon (horizontal integration)” yönünde önemli adımlar atmışlardır [35, 36]. Çeviklik, müşteri beklentilerine hızlı cevap verme ve yeni iş modelleri geliştirme ve uygulama ihtiyaçları hem teknik olarak hem de organizasyonel (breaking silos) olarak şirket yapılarında “düşey entegrasyonu (vertical integration)” gerekli kılmaktadır [36-38]. Ağırlıklı olarak her iki yöndeki entegrasyon beraber incelenmiştir [39, 40, 41].

Yalınlığın veya Toyota üretim sisteminin (TPS) tek başına I4.0 kavramları ile eşleştirilemeyeceği ve temel TPS kavramlarından “insana saygı (respect for people)”, “israfi azaltma (waste reduction)”, “esnek üretim (levelled production)” gibi kavramların I5.0 paradigmaları ile eşleştirilebileceği bir önceki bölümde açıklanmıştı. I4.0 teknolojilerinin kurulumu kritik başarı faktörlerini inceleyen çalışmalar yapılmıştır [42-44]. Bhatia ve Kumar [45], I4.0 dönüşümü KBF’lerini (bazı I5.0 KBF’leri de dahil olmak üzere) inceleyen bir çalışmayı üretim sektörü için

yapmışlardır. Nurbossynova ve ark. [46] tarafından yapılan çalışma üretim alanında dijital dönüşümün (I5.0) organizasyon ve iş gücü KBF'lerini değerlendirmektedir. Bununla beraber hem I4.0 ve hem de I5.0 kavramlarının tamamını konu alan bir dönüşüm KBF'ler çalışması bulunmamaktadır. Ek olarak, dijital dönüşüm KBF'leri konusunda yapılmış çalışmalar içinde yalınlığı sürdürme KBF'lerini konu alan holistik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yalınlık ve dijitalizasyon, dönüşüm ve ilişki alanlarında tekil boyutlara odaklanmış ilişki ve etki çalışmaları bulunmaktadır [47-51]. Üretim sektörü, I5.0 paradigmaları ile karşı karşıya gelmekte ve etkilerini yaşamakta ve bazı alanlarda uygulamaya konan regülasyonlarla yaptırımlarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle yalınlık ve Dx ilişkileri, etkileşimi ve dönüşümü konusundaki bir çalışma hem I4.0 ve hem de I5.0 kavramlarını kapsamalıdır. Çalışmamızda dijitalizasyon (Dx) tanımı I4.0 + I5.0 olarak yapılmıştır.

Masai [52] doktora çalışmasında ontoloji metodunu kullanarak yalınlığın kapsamlı bir modelini vermektedir. Bu model kavramlar, bileşenler, metotlar, araçlar ve tipleri bütüncül bir açıdan sinerjik bağlantılarla sunmaktadır. Önceki bölümde diğer avantajları ile beraber ontoloji metodunun hem yalınlık ve hem de Dx alanında kullanılacağı ifade edimişti.

Deneyisel çalışmamız için öncelikle her iki alan arasında (yalınlık ve Dx) ilişkiler tanımlanmalıdır. Bir çok akademik çalışma yalınlık ve I4.0 arasındaki ilişkileri incelemiştir [4, 5, 12, 53-59]. Bununla beraber her iki alan arasında kapsamlı bir model çalışması sonrası yapılan bir çalışma bulunmamaktadır. Bazı çalışmalarda I5.0 paradigmaları da kapsamdadır [59]. Dijitalizasyon dönüşümünde yalınlığı sürdürme, güçlendirme KBF'lerini holistik olarak inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.1. Yalın Üretim Modeli (Yalın Üretim Ontolojisi)

Literatür taramasında, yalınlık alanında yapılmış sınırlı sayıda ontoloji tabanlı çalışma görülmüştür. Khanna [60], tedarik zincirinin belirli alanlarının tanımlanması ve modellenmesinde ontoloji yaklaşımını kullanmıştır. Masai [61], yalınlığın kültürel tanımı için ontoloji yaklaşımı ile modelleme yapmıştır. Masai [52] doktora çalışmasında yalınlık için kapsamlı ve detaylı bir ontoloji modeli önermektedir. Bu ontoloji çalışmasını bizim çalışmamız için anlamlı ve önemli kılan özellik, Masai'nin bu çalışması esnasında Toyota Motor Europe şirketinde çalışıyor olması ve yalınlık tanımına ilham olan TPS alanındaki deneyimi ve gerek direkt kaynağından (Japonya)

ve gerekse Avrupa bölgesinden bir çok TPS uzmanı ile çalışarak bu modeli oluşturmuş olmasıdır. Bu nedenlerle, yalınlık ontolojisi için bu model başlangıç noktası olarak kullanılmıştır. Uschold ve King'in [62] ontoloji geliştirme metodolojisi yalın üretim ontolojisinin geliştirilmesi için metot olarak belirlenmiştir. Geliştirme aşamasında bu model referans alınmış ve uzmanlarla birebir değerlendirilmiştir. Yalınlık ontolojisi için 9 ana kavram Tablo 2.1'de sunulmuştur. Geliştirilen nihai yalınlık ontolojisi 4. bölümde verilmiştir.

Tablo 2.1. Yalınlık Modeli Ana Kavramları [52]

No	Kavram
1	Kaizen (sürekli iyileştirme)
2	Customer First (müşteri odaklılık)
3	Stakeholder Satisfaction (paydaş tatmini)
4	Hitozukuri (making people) (insanı geliştirmek)
5	Safety (iş güvenliği)
6	Monozukuri (making things) (üretim sanatı)
7	Just in Time (tam zamanında)
8	Mieruka (visualization) (görselleştirme)
9	Jidoka (stop in time) (zamanında durma)

2.2. Dijitalizasyon (Dx=I4.0+I5.0) Modeli (Dijitalizasyon Ontolojisi)

“Ontoloji” yaklaşımı Endüstri 4.0 alanında daha yaygın kullanılmıştır. Bu çalışmalar özel bir endüstri alanına yönelik ya da proses ve servis süreçleri ya da üretim kavramları üzerine yoğunlaşmıştır. Kumar ve ark. [63] ontoloji yaklaşımı ile yapılmış bu çalışmaları incelemişler ve sınıflandırmışlardır. Genel ve yaygın olarak kabul görmüş bir ontoloji geliştirme metodu bulunmamaktadır. I5.0 paradigmasını I4.0 ile beraber göstermek için TPS felsefe ve yaklaşımını da göz önünde bulundurarak, Mizen ve ark. [64] tarafından önerilen ontoloji geliştirme yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yaklaşım Delphi metodu ile de uyumludur. Bu metot aşağıdaki adımlardan oluşur:

Adım 1: Bilgi toplama (literatür taraması)

Adım 2: Terimler sözlüğü oluşturulması (kök kavramlar, taksonomi)

Adım 3: Terimler arasındaki ilişkilerin kök kavramlar etrafında belirlenip sunulması

Dx, I4.0+I5.0 olarak tanımlandığından literatür taraması her iki alanı kapsayacak şekilde yapılmıştır. Taramada ulaşılan çalışmaların büyük kısmı I4.0 odaklı olup teknolojiler ve araçlar üzerine yoğunlaşmış çalışmalardır. Bu çalışmalarda bulunan bazı karakteristik sınıflandırmalar ve kavramların I5.0 kavramları ile örtüştüğü

görlür. Bu I4.0'ın ileriye dönük yansımalarının doğal sonucudur. Literatür taramasında bulunan çalışmalar alanlar arasındaki ilişkileri ve bağlantıları da incelemiştir. Literatür taraması sonuçları Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. I4.0 ve I5.0 bileşenleri (element), karakteristikleri, kavramları ve yalınlık ile ilişkileri üzerine yapılan çalışmalar

Çalışmalar	Bileşenler (element)	Karakteristikler, Kavramlar		İlişkiler, Bağlantılar	
	I4.0	I4.0	I5.0	(Yalın- I4.0)	(Yalın- I5.0)
Breque ve ark. [2]			✓		
Dillinger ve ark. [4]	✓				
Dombrowski ve ark. [7]	✓	✓		✓	
Mayr ve ark. [8]	✓		✓		
Pongboonchai ve ark. [15]	✓			✓	
Moller ve ark. [17]			✓		
Demir ve Cicibas [18]			✓		
Taisch ve ark. [27]			✓		
Taisch ve ark. [30]			✓		
Taisch ve ark. [34]			✓		
Unal ve ark. [38]	✓				
Najwa ve ark. [53]	✓	✓	✓		
Marinelli ve ark. [54]	✓				
Langlotz ve Aurich [55]	✓			✓	
Gallo ve ark. [56]	✓				
Dillinger ve ark. [57]	✓			✓	
Rossini ve ark. [58]	✓			✓	
Alves [59]	✓	✓	✓	✓	✓
Suleiman ve ark. [65]	✓	✓	✓		
Wagner ve ark. [66]	✓		✓		
Pereira ve ark. [67]	✓			✓	
Sanders ve ark. [68]	✓			✓	
Rossini ve ark. [69]	✓			✓	
Rajab ve ark. [70]	✓			✓	
Ozdemir ve Hekim [71]			✓		
Marcucci ve ark. [72]	✓		✓		

Literatür taraması ile bilgi toplama adımı (Adım 1) gerçekleştirilmiştir. Delphi metodunun ("3.1 Delphi Metodu Nedir" bölümünde açıklanmıştır.) değerlendirme adımı olan ve açık uçlu sorular raundunda Dx üzerine yapılan literatür taraması sonrası toplanan bilgiler uzmanlarla paylaşılmış, bildirimler ve öneriler birebir yapılan oturumlarla toplanmıştır. Bu adımın bir parçası olarak oluşturulan Dx ontoloji taslağı yine birebir uzmanlarla paylaşılarak geri bildirim ve güncellemeleri toplanmıştır

(Adım 2). Dx ontolojisi 9 ana kavram ile tanımlanmış ve Tablo 2.3'te verilmiştir. Geliştirilen nihai (Adım 3) yalınlık ontolojisi 4. bölümde verilmiştir.

Tablo 2.3. Dx Modeli Ana Kavramları ve I4.0, I5.0 Paradigmaları Bağlantıları

No	Kavram	Ana Paradigma
1	Innovation (innovasyon)	I4.0 ve I5.0
2	Human Centricity (İnsan odaklılık)	I5.0
3	Resiliency (dayanıklılık)	I5.0
4	Security (cyber) (siber güvenlik)	I4.0
5	Digital Manufacturing (dijital üretim)	I4.0
6	Digital Engineering (dijital mühendislik)	I4.0
7	Knowledge Management (bilgi yönetimi)	I4.0
8	Vertical and Horizontal Integration (düşey ve yatay entegrasyon)	I4.0
9	Sustainability (sürdürülebilirlik)	I5.0

2.3. Yalın Üretim ve Dijitalizasyon İlişkisi

Yalınlık ve I4.0 arasındaki ilişki ve bağlantıları göstermek için bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar Tablo 2.2'de listelenmiştir. Bu çalışmalarda yaygın yaklaşım yalınlık araçları ile I4.0 teknolojilerinin ilişki ve bağlantıları çerçevesindedir.

“1. Giriş ve Amaç” bölümünde belirtildiği üzere TPS ya da yalınlık, araçlar ve bileşenlerin bir araya getirilmesi ile elde edilebilecek bir kazanım değildir. TPS ve yalınlık bir düşünceyi, çerçeveyi, üretim felsefesini tanımlar. Dx ontolojisi oluşturulması üzerinde çalışırken ve temel kavramlar oluşturulurken, uzmanlarla beraber, bakış açımız TPS'te olduğu gibi tanımlanacak çerçevenin Dx felsefesini de kapsamı olmuştur. TPS deneyimi açısından, Dx'i I4.0+I5.0 olarak öngörmemiz bunu mümkün kılmıştır.

Tablo 2.2'de verilen literatür taramasından da yararlanarak, yalınlık ve Dx arasında ilk adım olarak 29 ilişki tanımlanmış ve uzmanlara sunulmuştur. Delphi metodunun açık uçlu sorular adımı sonrası uzmanların geri bildirim ve görüşleri toplanmıştır. Bu bildirimlerin yansıtılması ile İlişki sayısı 12 adet olarak belirlenmiş ve Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Çok Boyutlu Yalınlık-Dx İlişki Matrisi

			Dx Kavramları (Concepts)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			Innovation	Human Centricity	Resiliency	Security (Cyber)	Digital Manufacturing	Digital Engineering	Knowledge Management	Vertical & Horizontal Integ	Sustainability
Yalınlık Kavramları (Concepts)	İlişki Numarası (Link No) ↓										
	1	Kaizen	1	3					9		
	2	Customer First	2	4			7	7			
	3	Stakeholder Satisfaction	2	4		6	7	7			12
	4	Hitozukuri (making people)	2	4			7	7		11	
	5	Safety		4		6	7	7			
	6	Monozukuri (making things)		3	5		8	8			
	7	Just in Time			5				10	11	12
	8	Mieruka (visualization)							9		
	9	Jidoka (stop in time)		3			8	8	10		

2.4. Dijital Dönüşüm Kritik Başarı Faktörleri

“Başarı faktörleri” kavramı Daniel [73] tarafından tanıtılmıştır. Kritik başarı faktörleri yaklaşımı MIT Sloan School’da bir grup araştırmacı tarafından geliştirilmiş ve Rockart [74] tarafından yayınlanmıştır. Bir yönetim terimi olarak kritik başarı faktörleri obje için tatmin edici sonuçlara ulaşmak için “yeterli sayıda ve alanda” (ne az ne de fazla) tanımlanmalıdır [75]. Faktör sayısının fazla seçilmesi durumunda süreç kompleks hale gelecek, karar vermek, esas faktörlere odaklanmak zorlaşacak ve hedeflere ulaşmak güçleşecek veya mümkün olmayacaktır. KBF konusundaki bu önemli kriter ve öneri TPS kültürü ve kaizen düşünce yapısı ile örtüşmektedir: “Hoshin Kanri” kapsamında; uzun vadeli hedefler koy, vizyon oluştur. “Problem solving” metodu ile problemleri çöz [52]. Problem çözme sürecinde, temel adım doğru hedefi belirlemektir. Bu yaygın olarak “Tüm problemi çözemezsin. Problemi değişik açılardan kırarak, bileşenlerine ayır. Senin alanına giren en büyük bir ya da birkaç bileşeni seç ve çözmeyi hedefle.” şeklinde açıklanabilir. Yine yalınlığın kaizen kavramının bir metodu olan PUKÖ döngüsü hedeflere ulaşmak için gerekli

düzenlemelerle beraber en verimli yöntemi tanımlar. Larsen ve ark. [76] bir KOBİ çalışmasında yalın düşüncenin ve “Hoshin Kanri” uygulamasının önemi ve etkinliğini göstermişlerdir. Bu kısımda özetlediğimiz kritik başarı faktörleri ve TPS ve kaizen kavramı geri planı ile KBF’leri nasıl belirlediğimizi açıklayabiliriz.

I4.0+I5.0 olarak tanımladığımız Dx paradigmasının sadece üretim için teknolojileri kullanmak değil, çalışanların iyiliğini, paydaşlarla daha yakın ve bütünsel entegrasyonu ve dünyanın kapasite ve sınırlarına saygıyı içerdiğini açıklamıştık. Üretimin dönüşüm süreci (dördüncü endüstri devrimi) üzerine yapılan ilk çalışmalar I4.0 teknolojileri etrafındaki KBF’lere odaklanmış iken, son dönemlerde yapılan çalışmalarda teknolojinin ötesinde, dönüşüm yönetimi, çalışanı odağına alan sosyal faktörler, çevreye duyarlılık ve gezegenimizin sınırları ve kapasitesi etrafında sürdürülebilirlik, dayanıklılık ve döngüsel üretim kavramları KBF objeleri olarak incelenmektedir [59, 77]. Yine bu çalışmalar hem I4.0 ve hem de I5.0 paradigmasını “dijitalizasyon” olarak da adlandırılan bu dönüşüm sürecinin kritik başarı faktörlerini belirlemede kullanmaktadır.

Bhatai ve Kumar [45] otomobil üretimini konu alan çalışmalarında KBF’leri (9 alanda 26 KBF) tanımlarken I4.0 teknolojileri yanında I5.0 paradigmasının kavramlarını da kritik başarı faktörlerini tanımlamada kullanmışlardır. Nurbossynava ve ark. [46] üretim alanındaki dijital dönüşüm için 3 alanda 22 KBF tanımlamıştır. Leyh ve ark. [77] dijitalizasyon projeleri için 6 alanda 25 KBF tanımlamışlardır. Bu çalışmalarında KBF’leri tanımlamak için bu alandaki literatürü konu alan kapsamlı bir tarama yapmışlardır. Taisch ve ark. [27, 30, 34] bir çok akademisyenin katkı sağladığı kapsamlı raporlarında küresel bakış açısı ile bir çok başarı faktörünü akademisyenlerin durum değerlendirme raporları ve küresel istatistiklerle sunmuşlardır. Kumar ve ark. [78] çalışmalarında döngüsel ve sürdürülebilir tedarik zinciri için KBF’ler tanımlamışlardır. Çalışmamız için uzmanlarla Delphi metodunun açık uçlu sorular adımıyla paylaşılan K belirlememize yardımcı olan çalışmalar Tablo 2.5’te verilmiştir.

Tablo 2.5. Dijital Dönüşüm ve Dijitalizasyon KBF Çalışmaları

Çalışma	Alan Sayısı	KBF Sayısı
Breque ve ark. [2]	3	
Kumar ve ark. [3]		14
Taisch ve ark. [27]	10	
Taisch ve ark. [30]	10	
Taisch ve ark. [34]	10	
Bhatai ve Kumar [45]	9	26
Nurbossynava ve ark. [46]	3	22
Suleiman ve ark. [65]	24	
Koppel et al [77]	6	25

Çalışmamızda bizi destekleyen uzmanlar, “Mobiliti sağlayıcısı” olmayı hedefleyen kurumun Dx dönüşümünü yaşayan ve gerçekleştiren ekibin üyeleridir. Tablo 2.5’te listelenen literatür taraması çıktıları Delphi metodunun açık uçlu sorular adımıyla fikir geliştirmek ve “dijital dönüşüm” KBF’lerini belirlemek için kullanılmıştır. Bu adım sonrası 11 adet KBF-DD tanımlanmış ve Tablo 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.6. KBF-DD: Dijital Dönüşüm Kritik Başarı Faktörleri

No	Kritik Başarı Faktörü
1	Commitment of top management and transformational leadership style (Üst yönetimin desteği ve dönüşümsel liderlik yaklaşımı)
2	Teamwork to achieve common objectives (Ortak hedeflere odaklı takım çalışması)
3	Organizational transformation (breaking silos, talent management, integrations) (Organizasyonel dönüşüm – siloları kaldırmak, yetenek yönetimi, entegrasyon)
4	Human Centricity (diversity and wellbeing of employee with all aspects) (İnsan odaklılık – çeşitlilik ve farklılıkları benimseme, çalışanın iyilik ve refahını tüm açılardan gözetme)
5	Availability of financial resources and investment strategies (Finansal kaynaklara ve yatırım stratejisine sahip olma)
6	Public education transformation, collaboration with university/education (e.g. STEAM, internship) (Eğitimin dönüşümü, üniversiteler ve eğitim kurumları ile yakın iş birliği – STEAM, staj programları)
7	IT transformation, roadmap (Cybersecurity, IoT, cloud, legacy migration, Data Science, AI, etc.) (IT dönüşümü ve yol haritası – siber güvenlik, IoT, bulut, yenileme, veri bilimi, yapay zeka vb.)
8	People (resource) transformation (skilling, upskilling, reskilling), empowerment, citizen development (İş gücünün dönüşümü – eğitime, yetenekleri geliştirme, yeni yetenekler kazandırma, yetki verme, çalışanların dijital ve IT yeteneklerini geliştirme)
9	External Support (incentives, regulations) (Dış destekler – teşvikler, yasal düzenlemeler)
10	External Support (consultation) (Yetkin dış kaynak ve danışmanlık kullanımı)
11	Manufacturing/R&D transformation (circular manufacturing/ design, virtualization, vertical & horizontal integration) (Üretim ve ARGE’nin dönüşümü – döngüsel üretim ve tasarım, sanallaştırma, dikey ve yatay entegrasyon)

2.5. Dijital Dönüşümde Yalınlığı Sürdürme Kritik Başarı Faktörleri

“1. Giriş ve Amaç” bölümünde ifade edildiği gibi yalınlık ve Dx için ortak düşünce bu iki kavramın birbiriyle çok ilişkili ve ayrılmaz olduğu yönündedir [4–15]. Yalınlık ve Dx entegrasyonu ve etkileşimini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Frank ve ark. [47] ve Powell ve ark. [48] yalınlık ve dijital teknolojilerin entegrasyonunu insan faktörü açısından tartışmışlardır. Margherita ve ark. [49] ve Johansson ve ark. [50] çalışmalarında bu entegrasyon sürecinin dikkat edilmesi gereken gerilim noktalarını (diyalektik açı ve paradokslar) irdelemişlerdir. Chavez ve ark. [51] dijitalizasyonun yalınlığın sosyal performansı üzerindeki etkilerini irdelemişlerdir. Dijital dönüşümde yalınlığı sürdürmeyi holistik bakış açısı ile inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır.

Yalınlığı sürdürme kritik başarı faktörlerini (KBF-YS) uygun şekilde tanımlamak için öncelikle yalınlık modelimizin, yalınlığın iyi bir temsili olup olmadığını kontrol ettik. Bu amaçla yalınlık değerlendirme modellerini referans aldık. Araştırmamıza konu olan kurumun yalınlık konusundaki yetkinliğini gözönüne alarak bu konuda literatür taraması için tabakalı örnekleme (stratified sampling) yöntemi kullanıldı ve aşağıdaki adımlar izlendi.

1- Tabakalı örnekleme için (a) kurumsal, kabul görmüş olgunluk modelleri; (b) yalınlık olgunluk modeli alanında son zamanlarda yapılmış kapsamlı literatür taraması içeren bir çalışma; ve (c) ‘a’ ve ‘b’den sonra yapılmış akademik bir olgunluk modeli tez çalışması belirlenmesi

2- Bu çalışmalardaki olgunluk modeli boyutlarının modelimiz ile eşleştirilmesi

3- Yalınlık modelinin değerlendirilmesi

Seçilen çalışmalar ve olgunluk model boyutları Tablo 2.7’de listelenmiştir.

Tablo 2.7. Yalınlık Olgunluk Modelleri ve Boyutları

Model	Kurum/ Yazar	Yıl	Ana Boyut Sayısı	Alt Boyut Sayısı
LESAT-1	MIT [79]	2001	14	54
LESAT-2	MIT [80]	2012	15	68
Shingo Model	Miller [81]	2012	4	30
LAT	Pakdil [82]	2012	8	62
LMM	Maasouman [83]	2014	7	35

Tablo 2.7 kapsamında incelenen 26 olgunluk modelinden elde edilen 115 boyutun 112’si için yalınlık modelimizde en az bir ve daha fazla eşleşme bulunmuştur. Literatür

taraması ve sonuçları “LDx (yalınlık + Dx) olgunluk değerlendirme modeli” boyutlarının önerildiği 5. Bölümde paylaşılmıştır. Bu sonuca göre yalınlık modelimizin yalınlığı çok iyi temsil ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Eşleştirmeler uzmanlarla birebir oturumlarda değerlendirilmiş dijital dönüşüm açısından önceliklendirilmiştir. Belirlenen 9 adet kritik başarı faktörü Tablo 2.8’te sunulmuştur.

Tablo 2.8. KBF-YS: Yalınlığı Sürdürme Kritik Başarı Faktörleri

No	Kritik Başarı Faktörü
1	Keep Gemba (go and see), do not lose (Gemba’yı koru, kaybetme)
2	Never compromise jidoka (stop in time) to keep the problems on the surface (Jidoka’dan ödün verme, problemler görünür kalsın)
3	Keep and enforce JKK (build in quality w/ ownership) which will be more critical with digitalization (Yerinde kaliteyi, sahiplenme anlayışı (JKK) ile koru ve güçlendir. Dx ile beraber daha önemli bir bileşen olacaktır)
4	Keep/watch autonomation (automation w/human touch), people and ownership is core element of Lean (İnsan dokunuşu ile otomasyon yaklaşımını koru ve gözet, insan ve sahiplenme yalınlığın temel bileşenidir)
5	Transformation in nature is a challenge, visual control will be more important than ever for JKK and Jidoka (Dönüşüm doğasında güç ve zordur, görsel kontrol bu süreçte JKK ve Jidoka için çok daha önemli olacaktır)
6	Keep standardization and strictly watch which is base for kaizen and employee empowerment (Kaizen anlayışı ve çalışanın etkinliği için standardizasyonu koru ve çok yakından izle)
7	Keep additional focus on supplier development, pace, resiliency and sustainability. They need to transform as well and need help (Tedarikçilerin dayanıklı ve sürdürülebilir benzer dönüşümlerine özel önem ver, onlar da Dx dönüşümünü yapmalı ve desteklenmelidir)
8	Trust data but do not lose Nemawashi (consensus building), utilize it meaningfully to be agile (Dx ile beraber farklı şekillerde ve yöntemlerle üretilebilecek veri ve bilgiye güven ama Nemawashi’den ödün verme, çeviklik için anlamlı bir şekilde kullan)
9	Trust data but keep problem solving and PDCA culture as Dx need a learning organization with innovation (Dx ile beraber farklı şekillerde ve yöntemlerle üretilebilecek veri ve bilgiye güven ama Dx’in inovasyon yaklaşımı ile öğrenen organizasyon kültürü için problem çözme ve PUKÖ yöntemlerini koru)

2.6. Hipotez

Literatür çalışmaları kritik başarı faktörlerinin bir iş sürecinin stratejik hedeflerine ulaşmak için odaklanması gereken özel konular ve aksiyon alanları olduğunu

söylemektedir. “Dijital dönüşümü gerçekleştirirken yalınlığı sürdürmek” üretim sektörü için stratejik bir hedeftir. Endüstri 5.0 paradigmaları ile beraber Dx, insan ve çevre odaklılık kavramlarının da içerilmesiyle tam bir evrensel değer modeli olarak karşımıza çıkmakta ve bu kapsamı ile yalınlık ile bir model, felsefe olarak karşılaştırılabilir, birleştirilebilir hale gelmektedir. Öte yandan bu genişletilmiş kapsamlı model var olan bir gerçeklik olarak, dijital dönüşümü daha güç ve zorlayıcı bir süreç olarak üretim sektörünün önüne koymaktadır. Dijital dönüşüm ve bu süreçte yalınlığı sürdürmek kritik başarı faktörlerinin gerektiği gibi belirlenebilmesi ve doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için her iki alanın holistik bakış açısı ile tüm terimleri ve ilişkileri ile çok iyi modellenmesi, görselleştirilmesi ve ilişkilerin ve bağlantı noktalarının çok iyi tanımlanması gerekmektedir.

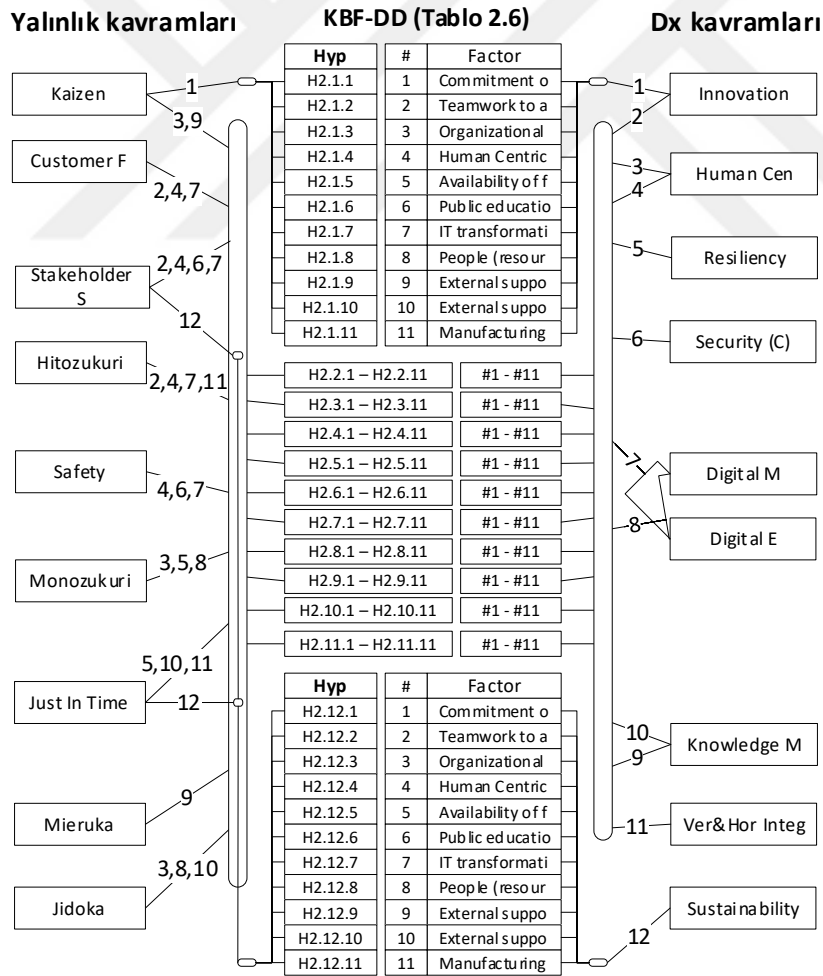
Çalışmamızın hedeflerinden biri yalın düşünceye ilham kaynağı olan Toyota üretim sistemini (TPS) tanımlayan ve uygulayan küresel bir otomobil üretim firmasının dijital dönüşüm süreci deneyimini bu süreçteki “dijital dönüşümü gerçekleştirirken yalınlığı sürdürmek” kritik başarı faktörleri olarak sunmak ve yalınlığı güçlendirme rotalarını belirlemektir. Bu kritik başarı faktörleri ve yalınlığı güçlendirme bağlantıları öncelikle küçük ve orta büyüklükteki işletmelere (KOBİ) ve üretim firmaları yönetimlerine deneyimledikleri benzer kurulum ve geliştirme sürecini çevik (agile) , verimli ve sürdürülebilir şekilde yapmanın bileşenlerini, önceliklerini ve aksiyon alanlarını sunacaktır. Yalınlık ve Dx arasındaki ilişkileri tanımlamak, “dijital dönüşüm” ve “yalınlığı sürdürmek” kritik başarı faktörlerini belirlemek ve değerlendirmek için önerdiğimiz hipotezler aşağıdaki şekillerde (Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4) gösterilmiştir.

Dx ve yalınlık arasındaki ilişkiyi anlamlandırmak için önerilen çok boyutlu matris, 12 önerme (H1.1 – H1.12) ile Şekil 2.2’te verilmiştir.

Yalınlık kavramları	Bağlantılar (Tablo 2.4)	Dx kavramları
L1: Kaizen	H1.1 : (L1 – D1)	D1: Innovation
L2: Customer F	H1.2 : (L2,L3,L4 – D1)	D2: Human Cen
L3: Stakeholder S	H1.3 : (L1,L6,L9 - D2)	D3: Resiliency
L4: Hitozukuri	H1.4 : (L2,L3,L4,L5 - D2)	D4: Security (Cyber)
L5: Safety	H1.5 : (L6,L7 - D3)	D5: Digital M
L6: Monozukuri	H1.6 : (L3,L5 – D4)	D6: Digital E
L7: Just In Time	H1.7 : (L2,L3,L4,L5 – D5,D6)	D7: Knowledge M
L8: Mieruka	H1.8 : (L6,L9 – D5,D6)	D8: Ver & Hor Integ
L9: Jidoka	H1.9 : (L1,L8 – D7)	D9: Sustainability
	H1.10: (L7,L9 – D7)	
	H1.11: (L4,L7 – D8)	
	H1.12: (L3,L7 – D9)	

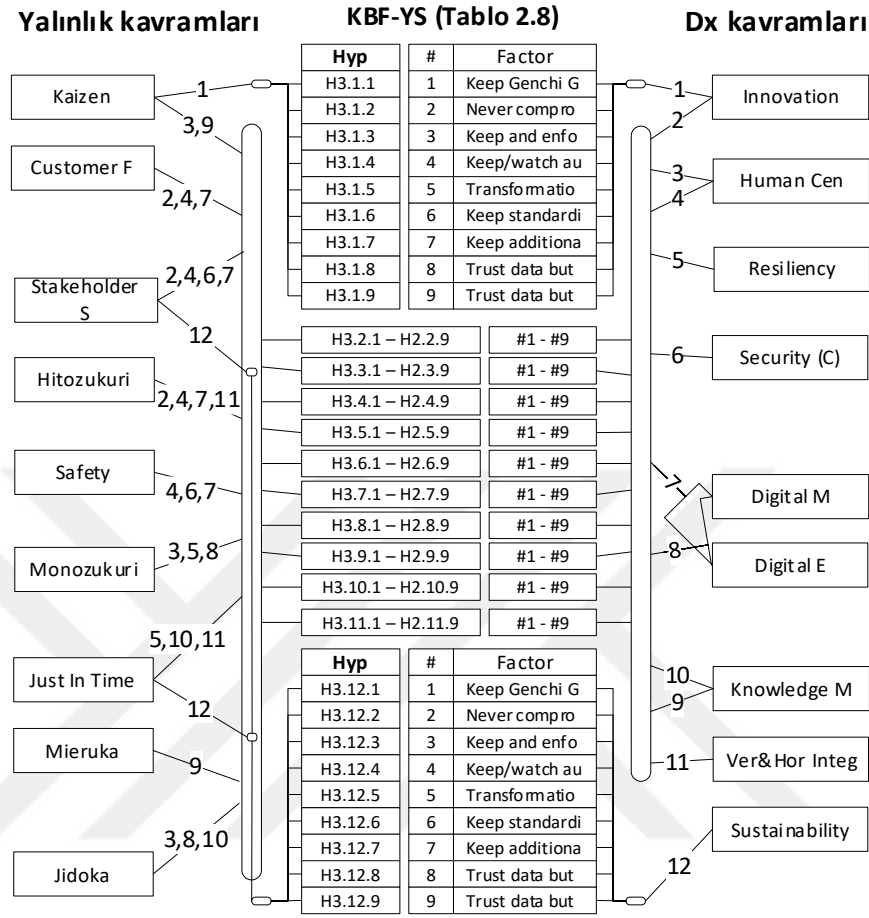
Şekil 2.2. Hipotez-1 (H1): Dx ve Yalınlık İlişkisi (çok boyutlu matris)

“Dijital dönüşüm” kritik başarı faktörlerini (KBF-DD) belirlemek ve değerlendirmek için hazırlanan 132 önerme (H2.1 – H2.132) Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.3. Hipotez-2 (H2): KBF-DD Değerlendirme Matrisi

“Yalınlığı sürdürmek” kritik başarı faktörlerini (KBF-YS) belirlemek ve değerlendirmek için hazırlanan 108 önerme (H3.1 – H3.108) Şekil 2.4’te verilmiştir.



Şekil 2.4. Hipotez-3 (H3): KBF-YS Değerlendirme Matrisi

Yalınlığın temel kavramlarından “kaizen” çok bilinen, görünen “sürekli iyileştirme” tanımının altında kullandığı “problem çözme” ve PUKÖ döngüleri ile problem arayan ve sürekli “kontrol” ve “önle” yaklaşımı ile kendini sürekli izleyen, problem çözen, denetleyen ve hedefler koyan bir felsefeyi ifade eder. Bu felsefe yalınlığın “öğrenen organizasyon (learning organization)”, “uzun dönemli stratejiler (long term philosophy)”, “standartlaştırma (standardization)” prensipleri ile ifade edilebilir.

Çalışmamızın diğer bir hedefi bu prensipler çerçevesinde kendi kendini sürekli izleyen, geliştiren ve bu kapsamda belki PUKÖ terimi ile ifade edilebilecek döngünün tamamlanmasına ve Dx’in temel kavramlarından biri olan “sürdürülebilirlik” kavramına destek olmak için çalışmamızın sonuçlarını kullanarak bir olgunluk değerlendirme modelinin (maturity assessment model) ana ve alt değerlendirme boyutlarını önermektir. Bu boyutlar yalınlık+Dx (LDx) alanı olarak şu ana kadar çalışılmamış

bir değerlendirme modelinin geliştirilmesine destek olacaktır. Bu kapsamda geliştirilecek modeller üretim firmalarının kendilerini süreçte izlemelerine ve gerekli düzeltmeleri, kaizenleri yapmalarına destek olacaktır. Bu alan tezimizin 5. bölümünde bulunmaktadır.



3. ARAŞTIRMA

Tez başlığımızdaki “kurulum ($Dx = I4.0 + I5.0$)”, “geliştirme stratejileri (yalınlık ve dijitalizasyon)” ve “değerlendirme modeli ($LDx = Lean + Dx$)” kapsam ifadeleri altında araştırma hedeflerimizin kısıtlımı “GİRİŞ ve AMAÇ” bölümünde listelenmişti. Bu hedefler doğrultusunda yalınlık (TPS / Lean), dijitalizasyon (Dx), her iki alan arasındaki ilişkiler ve kritik başarı faktörleri konularında kapsamlı literatür taraması yapılmıştır. Delphi metodu araştırma metodu olarak seçilmiştir.

3.1. Delphi Metodu Nedir

Delphi metodu 1950’li yıllarda geliştirilmiş Dalkey ve Helmer [84] tarafından yayınlanmıştır. Bir süreç olarak Delphi metodu yaygın olarak araştırma ve ekonomi alanlarında kullanılan , özel bir araştırma sorusu veya bir konuda fikirleri toplayarak hemfikirliğe ulaşmak olarak tanımlanabilir. Fikirler, fiziksel olarak bir arada bulunmayan ve süreçte birbirleri ile iletişimi olmayan, bir araya gelmeyen bir grup uzmandan sorular aracılığıyla toplanır. Delphi metodu “yapısal olarak gruplandırılmış uzmanların vereceği kararlar, yapılandırılmamış dağınık bir gruptan daha doğru sonuç verir” prensibine dayanmaktadır. Öte yandan Delphi metodu geleceğe yönelik tahminlemeler için de kullanılmaktadır. Bu açıdan tez konumuz içinde yaşanan ve devam eden bir süreçtir ve geleceğe yönelik tahminleme boyutunu da içermektedir. Delphi metodunda uzmanların süreçteki diğer uzmanlardan haberdar olmaması metod açısından önemlidir.

Çalışmamızda Delphi metodu aşağıdaki kriterlere göre uygulanmıştır:

- 1- Uzmanların kimliği gizlidir.
- 2- Uzmanlar süreçte biraraya gelmemiş ve bağımsız olarak süreç yürütülmüştür.
- 3- Bilgi akışının yönetilmesi:
 - a. Açık uçlu sorular adımı (raunt) uzmanlarla birebir literatür taraması ve araştırma hipotezimiz kapsamında önermelerimiz paylaşılmış ve geri

bildirimler toplanmıştır. Geri bildirimler kapalı uçlu adımlar öncesi literatür taramasına ve önermemize yansıtılmıştır.

- b. Kapalı uçlu sorular adımlarında süreç boyunca önerme değişikliği, soru ve kıstas güncellemesi yapılmamıştır.
- c. Hemfikirlik sağlanan kapalı uçlu sorular bir sonraki adımda sorulmamıştır.
- d. Her adım sonrası uzmanlar bilgilendirilmiştir.
- e. Kapalı uçlu sorularda bir önceki adımın ilgili soru cevapları uzmanlarla paylaşılmıştır. Uzmanla kendi cevabını ve diğer uzmanların cevaplarının dağılımını görme imkanı verilmiştir.

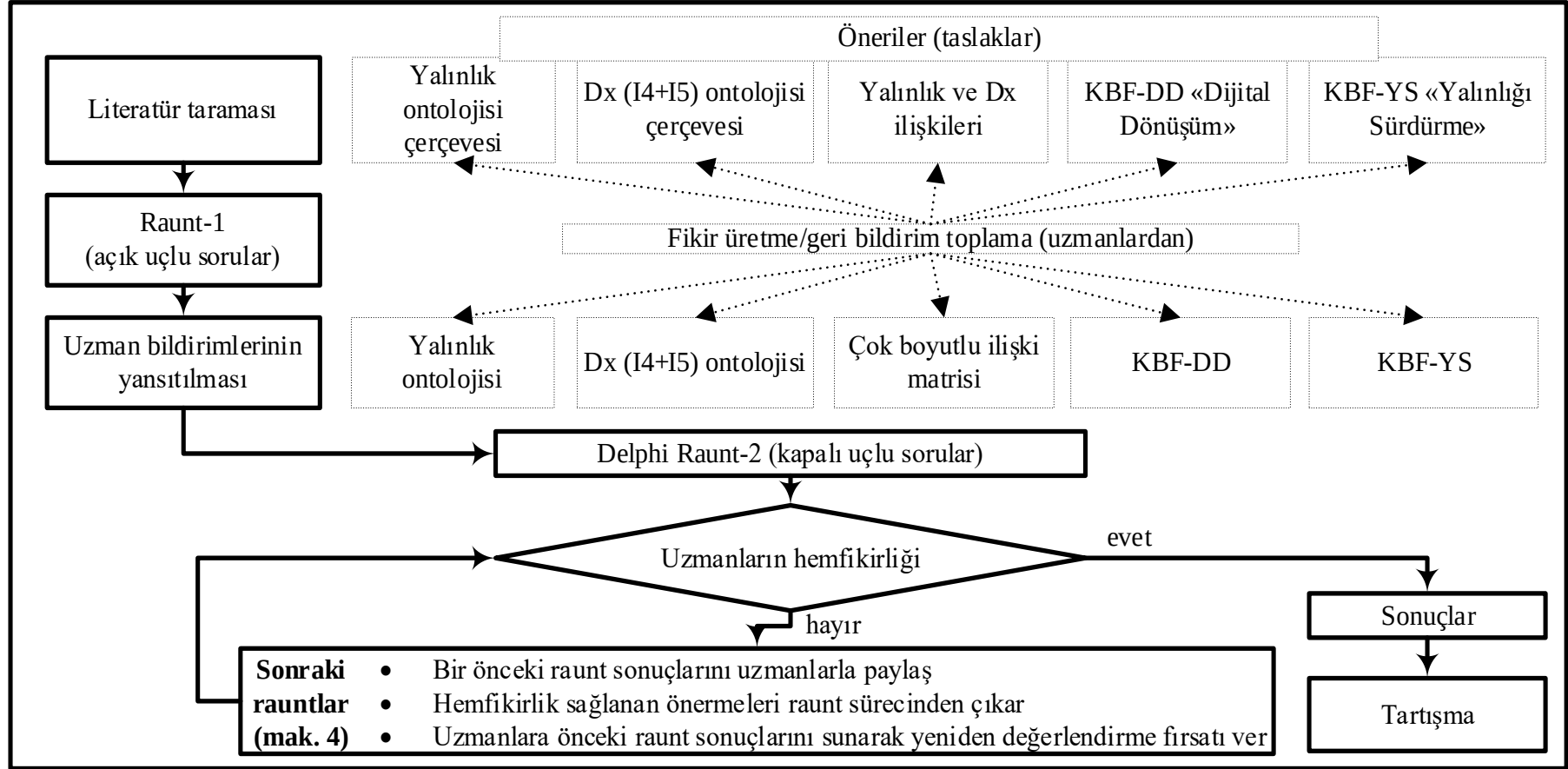
4- Süreç yöneticisi olarak kapalı uçlu adımlarda herhangi bir değişiklik yapılmamış ve sürece müdahale edilmemiştir.

5- Hemfikirlik ölçümünde değişik yaklaşım ve metotlar kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar çalışmanın içeriğine ve tanımlanan ölçüm kriterlerine göre farklılık gösterebilir. Farklı ölçüm yaklaşımları ve hemfikirlik metrikleri Gracht [85] tarafından değerlendirilmiştir. Çalışmamız için hemfikirlik ölçümünde “interquartile range (IQR)” yaklaşımı benimsenmiştir. IQR toplanan verinin dağılımının %75 ve %25 oranlarının arasındaki fark olup, küçük değer daha yüksek hemfikirliği ifade eder. Raskin [86] IQR değeri için 1.00 veya daha küçük bir değeri hemfikirlik göstergesi olarak tanımlar. Çalışmamızda hemfikirlik ölçümü için bu sınır değeri kullanılmıştır.

6- Delphi metodu genelde 4 raunt olarak uygulanır. Gracht’a [85] göre 3 raunt hemfikirlik ölçümü için yeterlidir. Çalışmamız için raunt kriterleri şu şekilde belirlenmiştir: İlk raunt olan açık uçlu sorular raundu dahil 4 raunt yapılacaktır. Bu süreçte hemfikirlik sağlanamayan önermelerden herhangi biri için IQR değerinde 1.00’e doğru bir değişim gözleniyorsa uzmanların kararı ile 5. raunt yapılacaktır.

3.2. Araştırma Metodu

Araştırma metodumuzun çerçevesi Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Literatür taraması sonrası oluşturulan ontoloji taslakları, ilişki önermeleri ve kritik başarı faktörleri uzmanlarla birebir yapılan oturumlarla incelenmiş ve tartışılmıştır. Fikirler ve geri bildirimler toplanmıştır. Bu açık uçlu sorular raundu sonrası üretilen fikirler ve toplanan geri bildirimler ontolojilere, ilişki matrisine yansıtılmış, kritik başarı faktörleri tanımlanmıştır.



Şekil 3.1. Araştırma Metodu Çerçevesi

3.3. Anket Ölçütleri

Tablo 2.4'te verilen matristeki her bir ilişki için 3 soru uzmanlara yöneltilmiştir. Kapalı uçlu sorular ve ölçekleri Şekil 3.2'te verilmiştir.

Tüm İlişkiler (1-12)		
Question-1: How do you evaluate Dx impact on Lean for this link?		
Soru-1: Bu ilişki için Dx'in yalınlığa etkisini nasıl değerlendiriyorsunuz?		
Likert for each Link (Ölçek -her ilişki için) (Tablo 2.4)		
1	Negative impact	Olumsuz etki
2	No impact/correlation	Etki veya bağlantı yok
3	Low positive impact	Düşük pozitif etki
4	Medium/High positive impact	Orta/yüksek pozitif etki
5	High/Strong P. Impact	Yüksek/güçlü pozitif etki
Question-2: (CSF-DT: "Dx Transformation") Can you please evaluate listed CSFs to have agile , successful Dx transformation for this link?		
Soru 2: (KBF-DD: Dijital Dönüşüm) Çevik, başarılı bir Dx dönüşümü için listelenmiş KBF'lerin önemini bu ilişki için değerlendirir misiniz?		
Likert for each factor (Ölçek -her KBF için) (Tablo 2.6)		
1	not important önemli değil	2 3 4 5 extremely important çok çok önemli
Question-3: (CSF-LE: "Lean Enforcement") What would be attention/care points for a company to enforce Lean while transforming to Dx for this link?		
Soru 3: (KBF-YK: Yalınlığı Koruma) Dx dönüşüm sürecinde yalınlığı korumak için dikkat edilmesi ve önem verilmesi gereken listelenmiş KBF'lerin önemini bu ilişki için değerlendirir misiniz?		
Likert for each factor (Ölçek - her KBF için) (Tablo 2.8)		
1	not important önemli değil	2 3 4 5 extremely important çok çok önemli

Şekil 3.2. Kapalı Uçlu Sorular ve Ölçekleri

3.4. Araştırma Uzmanlarının Belirlenmesi

Delphi metodunda uzmanların iyi seçilmesi sonuçların objektif olması ve tarafsızlığı ortadan kaldırmak ya da minimuma indirmek için temel koşuldur. Bu kıstaslarla, çok farklı disiplin ve organizasyonlardan, multidisipliner, minimum 15 yıl deneyimli TPS liderleri seçilmiştir (Tablo 3.1). Uzmanların bazıları iş yerinin Japonya ve Kuzey Amerika bölgelerinde iş deneyimine sahiptirler.

Tablo 3.1. Uzmanların Deneyimi ve Multidisipliner Dağılımı

Uzman	Deneyim								
	Kalite	Mühendislik /ARGE	IT	Üretim	Tedarik Zinciri /Lojistik	İnsan Kaynakları	Dönüşüm / Reform	Satış/ Değer Zinciri	Diğer Bölgeler (Japonya, ABD)
U-1	✓		✓				✓		
U-2			✓					✓	
U-3		✓		✓			✓		✓
U-4			✓	✓	✓	✓			
U-5				✓	✓		✓		
U-6				✓	✓		✓		
U-7				✓	✓		✓		
U-8		✓	✓						✓
U-9		✓	✓	✓	✓				✓
U-10		✓	✓				✓		✓
U-11	✓							✓	
U-12			✓				✓		
U-13						✓			✓
U-14	✓		✓	✓	✓		✓		✓
TOPLAM	3	4	8	7	6	2	8	2	6

3.5. Anket

Delphi süreci aşağıdaki adımlarla yürütülmüştür.

1- Uzmanlarla birebir ön toplantılar yapılarak araştırma konusu paylaşılmış, süreç ve gerekli zaman konusunda bilgilendirme yapılmış ve çalışmaya katılımları teyid edilmiştir.

2- Uzmanlarla birebir uzun oturumlar yapılarak (1. round), yalın üretim, dijitalizasyon, etkileşim matrisi önerileri ve kritik başarı faktör bulguları paylaşılmış ve araştırma konusuna hakimiyetleri sağlanmıştır. Uzmanlardan bu aşamada her bir başlık için bildirim ve önerileri toplanmıştır. Uzmanlara sağlanan dökümanları incelemeleri için iki hafta süre verilmiş ve bu süreçte uzmanların takip eden geri bildirimleri toplanmıştır.

3- Uzmanların bildirimleri sonrası yalınlık ontolojisi, dijitalizasyon ontolojisi, çok boyutlu matris, dijital dönüşüm kritik başarı faktörleri (KBF-DD) ve yalın kalma kritik başarı faktörleri (KBF-YS) nihai hale getirilmiştir (Bu süreçteki geri bildirim metrikleri “GENEL BİLGİLER” bölümünde paylaşılmıştır).

4- Anket aracı olarak Microsoft Excel programı kullanılmıştır. Çok boyutlu matrisin her bir bağlantısı için bir sayfa kullanılmıştır. Sayfanın başında Tablo 2.4’e göre ilişkili kavramların ontolojileri ve bağlantılar gösterilmiş ve bu bağlantıyı açıklayan önermeler eklenmiştir. Bu resmin altında bu bağlantı için üç adet soru listelenmiştir:

- a. Bu bağlantı için Dijitalizasyon (Dx)- Yalınlık ilişkisi sorusu (1 adet kapalı uçlu soru)
- b. Bu bağlantı için dijital dönüşüm kritik başarı faktörlerinin önem değerlendirmesi (11 adet kapalı uçlu soru)
- c. Bu bağlantı için yalınlığı sürdürme kritik başarı faktörlerinin önem değerlendirmesi (9 adet soru)

Tüm bağlantılar için anket ontoloji bağlantı resmi ve bu bağlantıyı açıklayan önermeler EK B’de sunulmuştur.

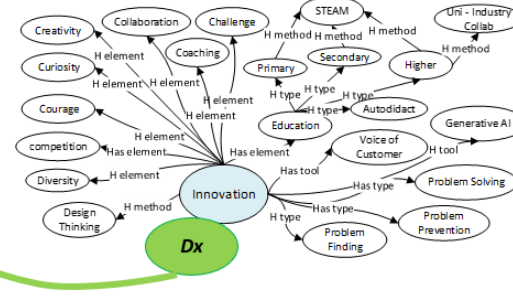
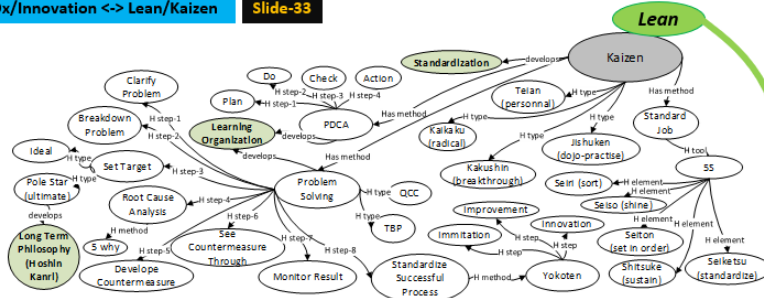
5- Kapalı uçlu sorular için 3 raunt yapılmış ve “3.1 Delphi Metodu Nedir” bölümünde tanımlanan kriterler doğrultusunda anket sonuçlandırılmıştır. Her raunt sonrası hemfikirlik sağlanan sorular ankettan çıkarılmış ve hemfikirlik sağlanmayan sorularla

bir sonraki raunda geçilmiştir. Hemfikirlik sağlanmayan sorular için bir önceki raundun sonuçları paylaşılmış ve uzmana kendi değerlendirmesi de sunularak yeni değerlendirmesi sorulmuştur. Uzman nceki raunttaki değerlendirmesini koruyabilir ya da değerlendirmesini güncelleyebilir. şekil 3.3, 2. rount anket cevap sayfası örneğidir. Aynı bağlantı için 3. rount anket cevap sayfası şekil 3.4'te ve 4. rount anket cevap sayfası şekil 3.5'te aynı uzman için gösterilmiştir.

6- 4. rount sonunda 14 önermede hemfikirlik sağlanamamıştır. Bu nermelerin IQR değerlerinde 1'e doğru değişim de gözlenmemiştir. Uzmanlarla 5. roundun yapılıp yapılmaması değerlendirilmiş ve yapılmaması kararı verilmiştir. Delphi metodu 4 raunt olarak uygulanmıştır. Turların hemfikirlik gelişim zeti şekil 3.6'da gsterilmiştir.

Link-1: Dx/Innovation <-> Lean/Kaizen

Slide-93



- 1- The core methods of Kaizen are 'Problem Solving' and 'PDCA'.
- 2- Innovation not only focus on 'problem solving' but extend it further to 'problem finding' which is not aware or stated by customers yet.
- 3- Like kaizen, innovation also requires teamwork, new methods (eg: design thinking, autodidact) so also develops 'learning organization' principle.
- 4- The extended types of problem handling of innovation will add new dimensions to 'learning organization' culture.

- 5- Existing kaizens types (teian, kaikaku, kakushin, jishuken) and problem solving type such as QCC so culture will support innovation implementation which has elements such as competition, coaching, curiosity, creativity...
- 6- Digitalization requires agility. With 5C elements, and education collaboration and new tools, methods; innovation will speed up this transformation and enhance kaizen concept.

Q-1

Q-2

Based on above Lean <-> Digitalization links and propositions:

Q-3

How do you evaluate Dx impact on Lean for this link?

- ☐ Negative impact
☐ No impact/correlation
☐ Low positive impact
☐ Medium positive impact
☒ High/Strong P. impact

What would be critical success factors(CSF) for a company to have agile, successful transformation for its Dx journey for this link?
(Can you please do evaluation for each of below CSF items)

- 1) Commitment of top management & transformational leadership style/program
- 2) Teamwork to achieve common objectives
- 3) Organizational transformation (breaking silos, talent management, integrations)
- 4) Human Centricity (diversity and wellbeing of employee with all/many aspects)
- 5) Availability of financial resources and investment priorities/strategies
- 6) Public education transformation, collab. w/ university/education (STEAM, internship)
- 7) IT transformation, priorities, roadmap (IoT, cloud, legacy migration, Data&Science, AI,Cybersecurity, etc.)
- 8) People (resource) transformation (skilling, upskilling, reskilling), empowerment, citizen development
- 9) External Support (policy makers support/ incentives/regulations)
- 10) External Support (consultation, academics)
- 11) Manufacturing/R&D transformation (circular manufacturing/design, virtualization, vertical and horizontal integration)

not important	extremely important
N/A	1 2 3 4 5
1	5
2	4
3	3
4	2
5	1

What would be attention/care points for a company to keep/enforce Lean while transforming to Dx for this link?
(Can you please do evaluation for each of below care points)

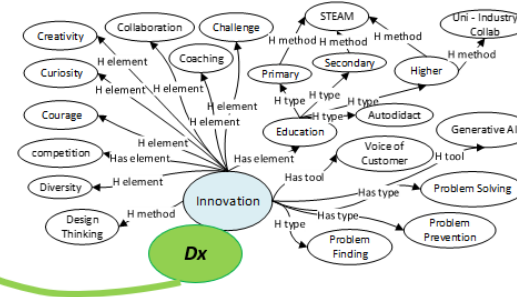
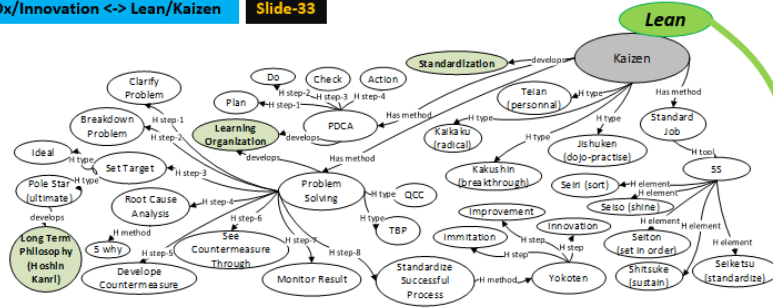
- 1) Keep Gemba (go and see), do not lose
- 2) Never compromise jidoka (stop in time) to keep the problems on the surface
- 3) Keep & enforce JKK (build in quality w/ ownership) which will be more critical with digitalization
- 4) Keep/watch autonomation (automation w/human touch), people and ownership is core element of Lean
- 5) Transformation in nature is a challenge, visual control will be more important then ever for JKK & Jidoka
- 6) Keep standardization and strictly watch which is base for kaizen and employee empowerment
- 7) Keep additional focus on supplier development, pace, resiliency and sustainability. They need to transform as well and need help more than ever.
- 8) Trust data, generative AI, etc. but do not lose Nemawashi and consensus building, utilize them meaningfully to be agile
- 9) Trust data but keep problem solving and PDCA culture as digitalization need a learning organization with innovation and transformation will introduce problems to be solved

not important	extremely important
N/A	1 2 3 4 5
1	5
2	4
3	3
4	2
5	1

Şekil 3.3. İlişki-1 “Dx/Innovation–Lean/Kaizen” için, etkileşim ve KBF anket verisi toplama sayfası görüntüsü (Delphi metodu 2. raunt cevabı)

Link-1: Dx/Innovation <-> Lean/Kaizen

Slide-33



- 1- The core methods of Kaizen are 'Problem Solving' and 'PDCA'.
- 2- Innovation not only focus on 'problem solving' but extend it further to 'problem finding' which is not aware or stated by customers yet.
- 3- Like kaizen, innovation also requires teamwork, new methods (eg: design thinking, autodidact) so also develops 'learning organization' principle.
- 4- The extended types of problem handling of innovation will add new dimensions to 'learning organization' culture.

- 5- Existing kaizens types (teian, kaikaku, kakushin, jishuken) and problem solving type such as QCC so culture will support innovation implementation which has elements such as competition, coaching, curiosity, creativity...
- 6- Digitalization requires agility. With 5C elements, and education collaboration and new tools, methods; innovation will speed up this transformation and enhance kaizen concept.

Based on above Lean <-> Digitalization links and propositions:

Q-1

How do you evaluate Dx impact on Lean for this link?

Q-2

What would be critical success factors(CSF) for a company to have agile, successful transformation for its Dx journey for this link?
(Can you please do evaluation for each of below CSF items)

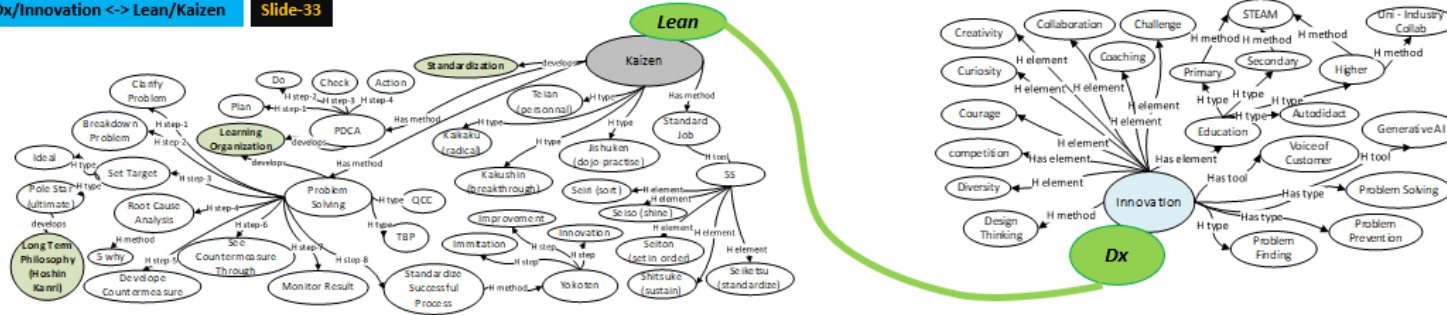
	1	2	3	4	5
10) External Support (consultation, academics)	1	3	5	4	1
11) Manufacturing/R&D transformation (circular manufacturing/design, virtualization, vertical and horizontal integration)	0	1	5	4	4

Q-3

What would be attention/care points for a company to keep/enforce Lean while transforming to Dx for this link?
(Can you please do evaluation for each of below care points)

	not important	extremely important
	N/A	5

Şekil 3.4. İlişki-1 “Dx/Innovation–Lean/Kaizen” için, etkileşim ve KBF anket verisi toplama sayfası görüntüsü (Delphi metodu 3. raunt cevabı)



1- The core methods of Kaizen are 'Problem Solving' and 'PDCA'.

2- Innovation not only focus on 'problem solving' but extend it further to 'problem finding' which is not owned or stated by customers yet.

3- Like kaizen, innovation also requires teamwork, new methods (eg: design thinking, autodidact) so also develops 'learning organization' principle.

4- The extended types of problem handling of innovation will add new dimensions to 'learning organization' culture.

5- Existing kaizens types (teian, kaikaku, kakushin, jishuken) and problem solving type such as QCC so culture will support innovation implementation which has elements such as competition, coaching, curiosity, creativity...

6- Digitalization requires agility. With 5C elements, and education collaboration and new tools, methods; innovation will speed up this transformation and enhance kaizen concept.

Q-1

Q-2

Based on above Lean <-> Digitalization links and propositions:

Q-3

How do you evaluate Dx impact on Lean for this link?

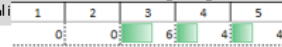
What would be critical success factors(CSF) for a company to have agile, successful transformation for its Dx journey for this link?
(Can you please do evaluation for each of below CSF items)

not important
N/A 1
extremely important
5

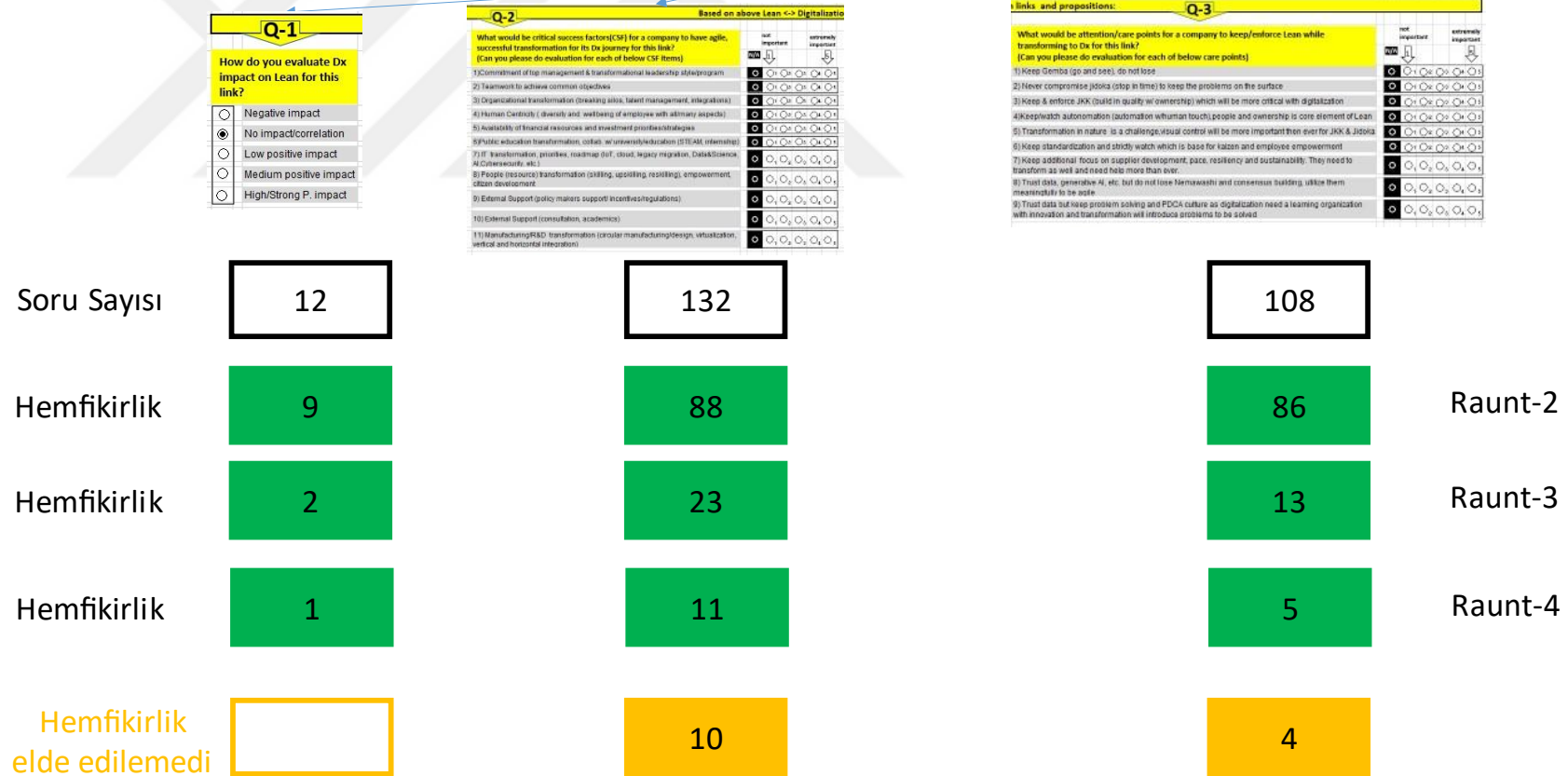
What would be attention/care points for a company to keep/enforce Lean while transforming to Dx for this link?
(Can you please do evaluation for each of below care points)

not important
N/A 1
extremely important
5

11) Manufacturing/R&D transformation (circular manufacturing/design, virtualization, vertical and horizontal)



Şekil 3.5. İlişki-1 “Dx/Innovation–Lean/Kaizen” için, etkileşim ve KBF anket verisi toplama sayfası görüntüsü (Delphi metodu 4. raunt cevabı)



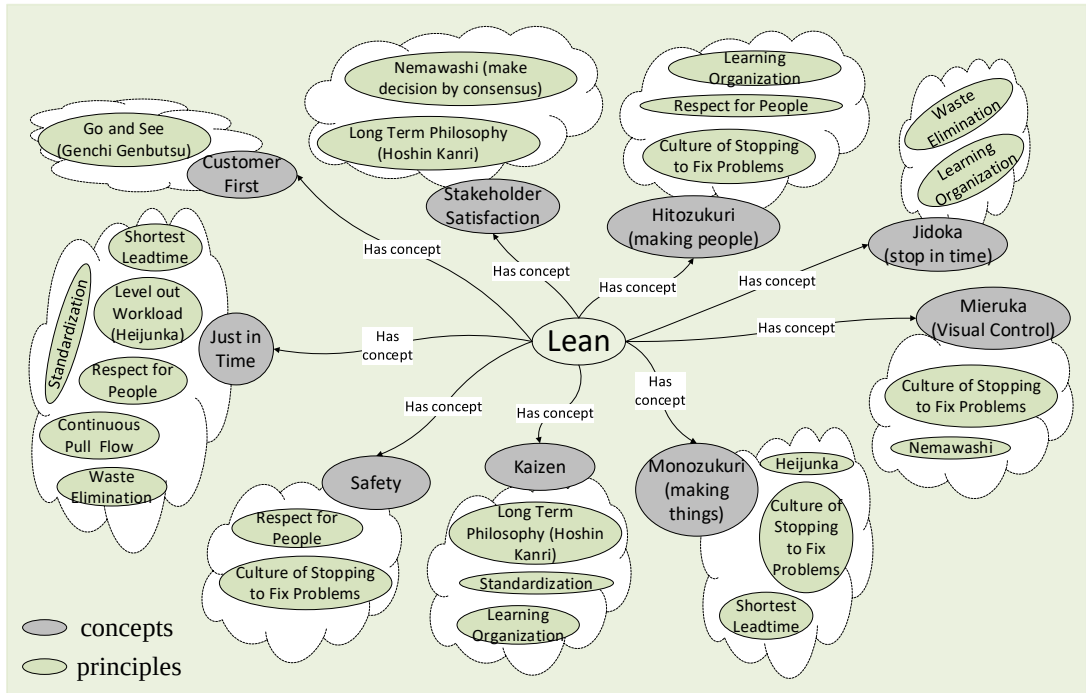
Şekil 3.6. Delphi Metodu Rauntları ve nihai sonuçları



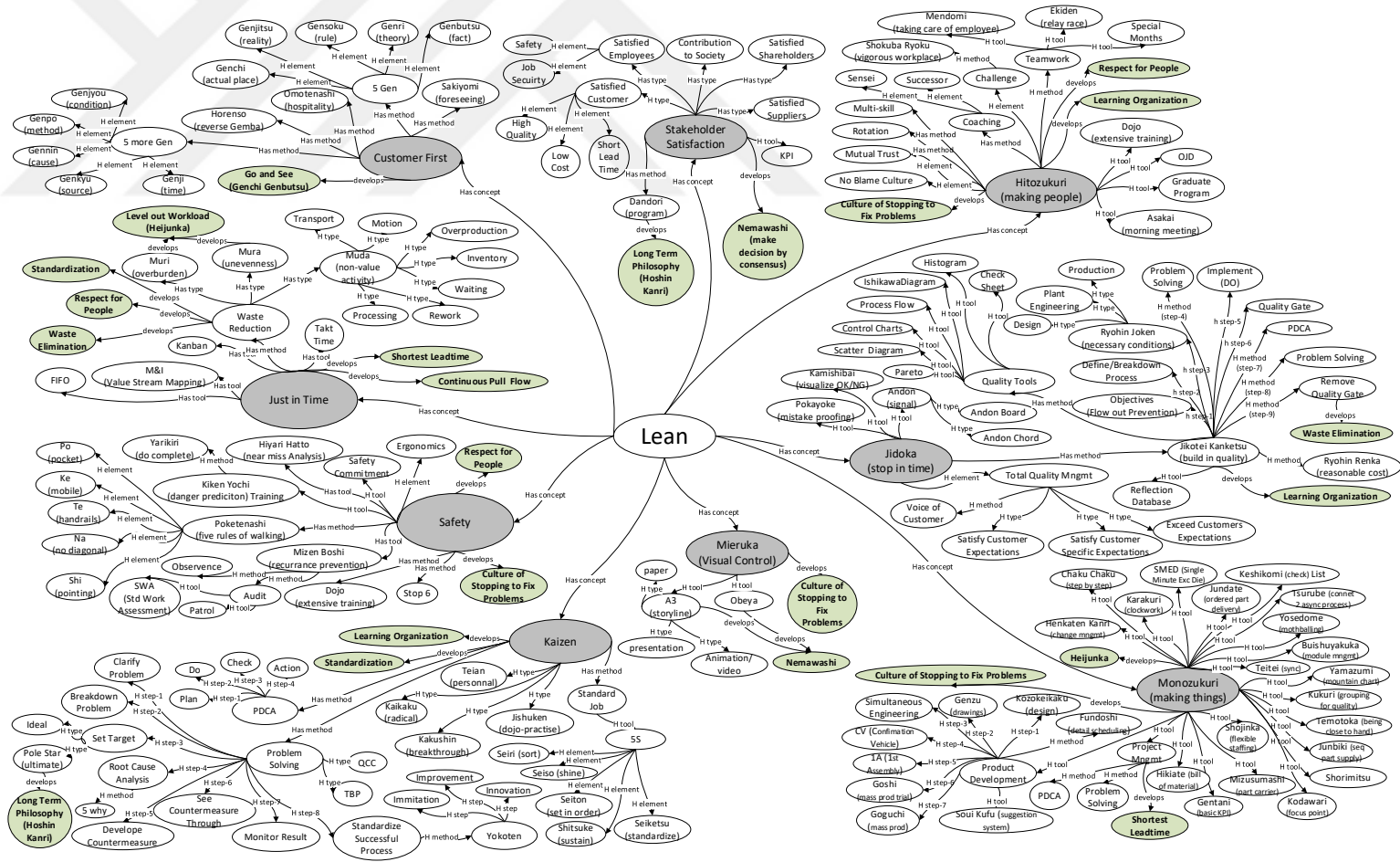
4. SONUÇLAR

4.1. Yalın Üretim Ontolojisi

Delphi metodunun değerlendirme adımı olan ve açık uçlu sorular raundunda, yalınlık modeli üzerinde geri bildirim ve güncellemeler birebir yapılan oturumlarla toplanmış ve yalın ontoloji modeline yansıtılmıştır. Masai'nin modelindeki [52] terim sayısı 135'ten 198'e çıkmıştır. Yalınlık felsefesini daha iyi yansıtmak ve kavramlar arasında geçişi de göstermek amacıyla 9 tane yalınlık kavramı yanında 11 adet prensip ontolojiye eklenmiştir. Bu prensipler kavram seviyesinde gösterildiği gibi kavramların altında herhangi bir o prensip ile en güçlü bağı olan bir terim ile de direkt olarak ilişkilendirilmiştir. "Prensip" için ontolojide "geliştirir (develop)" ilişki terimi kullanılmıştır. "Geliştirir" ilişki terimine bir çok durum için "temin eder, kurar (implement)" ikinci anlamları da da yüklenebilir. Şekil 4.1 yalınlık ontolojisini kavramları ve prensipleri ile gösterir. Şekil 4.2 yalınlık ontolojisini tüm terimleri ile gösterir. Her bir kavram açıklamalarla aşağıda verilmiştir.



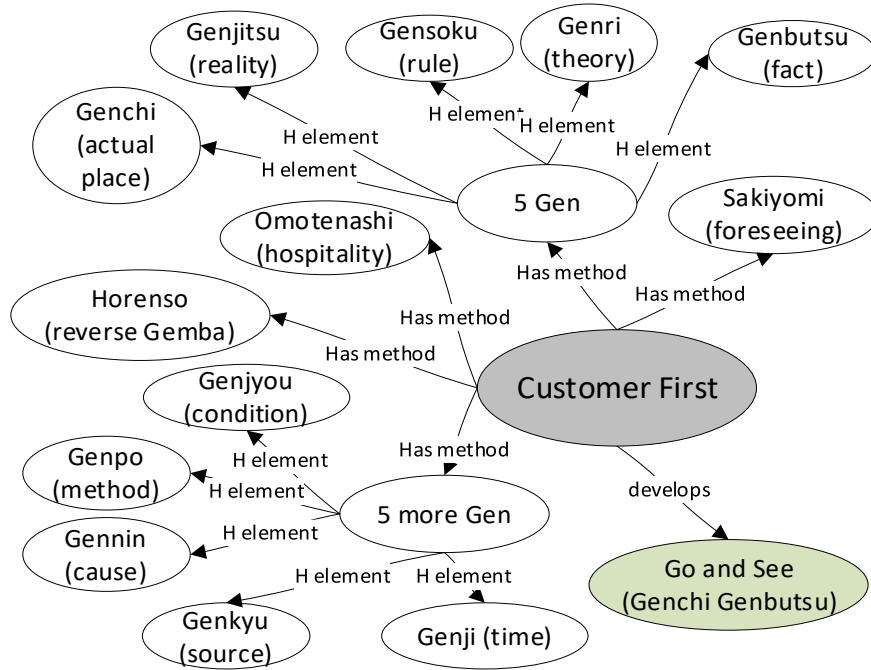
Şekil 4.1. Kavram ve Prensipleri ile Yalınlık (Lean) Ontolojisi



Şekil 4.2. Tüm Terimleri ile Yalınlık Ontolojisi

4.1.1. Müşteri odaklılık (customer first) kavramı

Müşteri odaklılık kavramı Şekil 4.3'te tüm terimleri ile gösterilmiştir. Her çalışma müşterinin talebi ile başlar. Süreçler müşteri talebi ile belirlenir. Değer katmayan çalışmalar yapılmaz ya da iptal edilir. “Uzun dönemli planlama ve vizyon (Hoshin Kanri)” prensibi doğrultusunda, doğru projeler seçilmiş olmasına rağmen müşteri isterleri değişebilir. Müşterinin kalite yönündeki beklentileri “zamanında durma (Jidoka)” kavramı altında bir metot olarak tanınlanmış “toplam kalite yönetimi (total quality management)” elementi ve onun tipleri ile yönetilir. Bu değişiklikleri, beklentileri izleme ve farketmenin en doğru yolu müşterinin olduğu yere gitmek (Gemba) ve problemlerini ve değişen beklentilerini ilk elden anlamaktır. Bu “git ve gör (Genchi Genbutsu)” prensibi ile ifade edilir. Üretim alanında bir sonraki proses önceki prosesin müşterisidir.



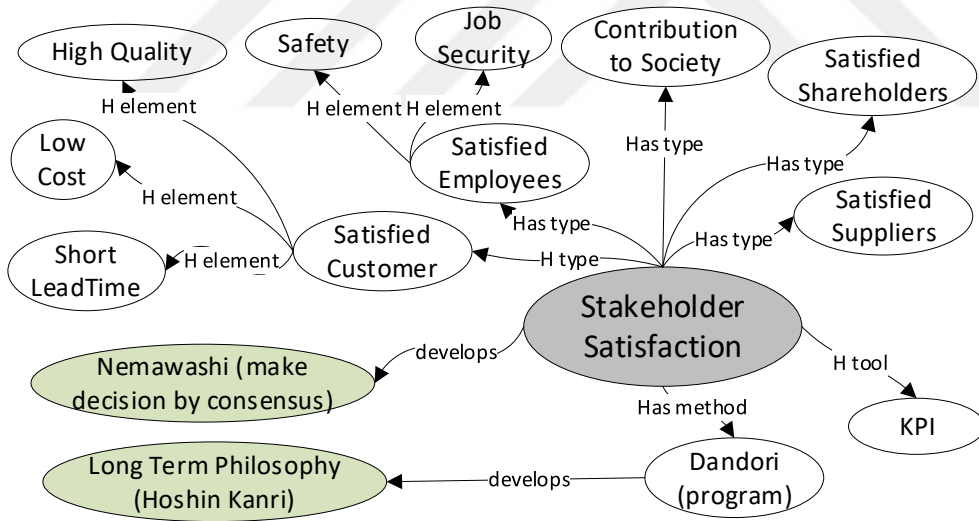
Şekil 4.3. Yalınlık “Müşteri Odaklılık (Customer First) Kavramı

“Gen” terimi gerçekliği, kaynağı ifade eden bir terim olarak ontolijide 10 ayrı element içermektedir. Bu elementler fiziksel olarak yerinde olma yanında gözlemi, gerçekleri bulmayı, problem çözme, zaman ve koşulları gözetmeyi, metot, kurallar ve teori gibi fiziksel ve matematiksel bir çok disiplinleri bir arada ele almayı da ifade eder. “Sakiyomi” öngörme terimi yalınlığın uzun dönemli stratejiler (long term philosophy) prensibi doğrultusunda bu kavram altında yer alan bir metottur. Gembayı üst yönetime

götürme (Horenso) metodu 10 adet “gen” altında gerçekleştirilen tüm çalışmaların görselleştirilerek (mieruka) üst yönetime taşınmasıdır. Bu güç metot Gemba’ya konu olan çalışmanın mükemmel şekilde çalışılmış (problem çözme, hemfikirlik) olmasını gerektirir. Ev sahipliği olarak çevrilebilecek “omotenashi” metodu, gerek bir sonraki proses olsun gerek tamamlanmış ürünün son olarak ulaştığı müşteri olsun her zaman müşterinin saygıyı hak ettiğini ve “müşteri her zaman haklıdır” veya “müşteri Tanrı gibi saygıyı hak eder” deyim veya atasözü ile ifade edilen anlayışı dile getirir.

4.1.2. Paydaş tatmini (stakeholder satisfaction) kavramı

Paydaş tatmini kavramı Şekil 4.4’te tüm terimleri ile gösterilmiştir. Gerçekleştirilen tüm çalışmaların sonuçları paydaşları tatmin etmelidir. Bu müşteridir, hissedardır, iş ortaklarıdır, geniş anlamda toplum, dar anlamda çalışandır. Bu süreçte “fikir birliği ile karar alınması (Nemawashi)” önemli bir prensiptir. İleriye dönük hazırlık ve programların (dandori) bir metot olarak kullanılması ve “uzun dönemli planlama ve vizyon (hoshin kanri)” prensibinin geliştirilmesi ve uygulanması sürdürülebilirlik açısından gerek koşuldur.



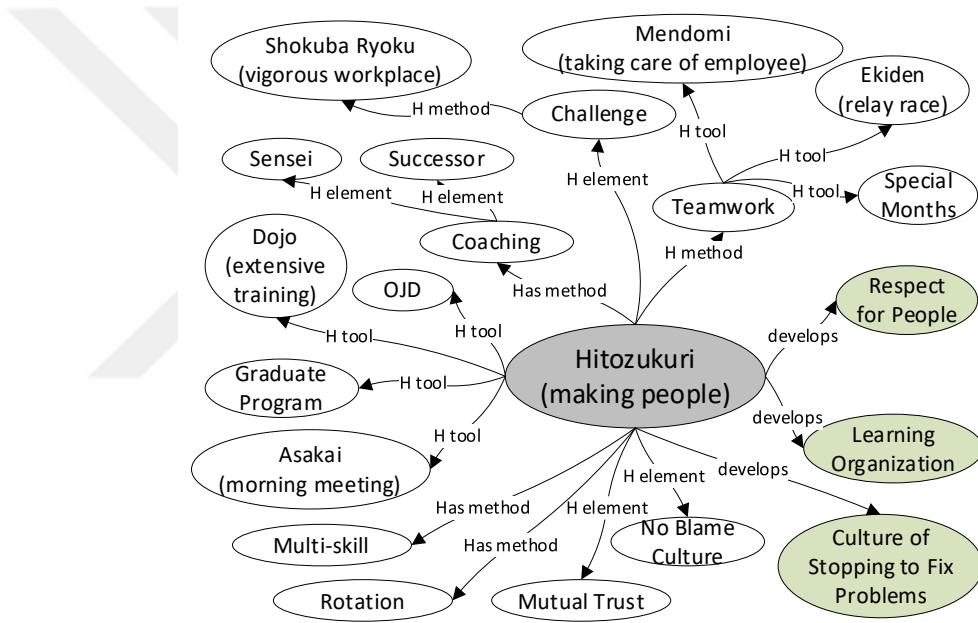
Şekil 4.4. Yalınlık “Paydaş Memnuniyeti (Stakeholder Satisfaction)” Kavramı

Çalışanın hem sağlık ve hem de iş sürekliliği garantisi çalışan tatmini için önemli elementlerdir. Temel performans göstergelerinin (KPI) sürekli izlenmesi bu kavramın gereklerini yerine getirme, problemleri farketme ve çözme ve PUKÖ döngüsünün uygulanması için kullanılan, kullanılması gereken araçtır. Çalışanların tatmini, topluma katkı tipleri insana saygı, insanı geliştirme, atığı ve israfı azaltma prensip ve

kavramları ile bir araya getirildiğinde yalın düşüncenin faydacılık geri planı olarak değerlendirilebilir.

4.1.3. İnsanı geliştirme (hitozukuri) kavramı

İnsanı geliştirme kavramı Şekil 4.5'te tüm terimleri ile gösterilmiştir. Üretim sanatı (Monozukuri) için işi doğru ve gereği gibi yapabilen insan gereklidir. Bu nedenle bir şeyler yapabilmek için insanı geliştirmek ve hazırlamak gerekir. İnsanı eğitmek, rehberlik yapmak ve değer vermek temel gereklerdir. Güven, takım çalışması ve çoklu yetenekler edindirmek insanı geliştirmenin diğer temel öğeleridir. Bu kavram, “öğrenen organizasyon”, “insana saygı” ve “problemleri gidermek için durma (culture of stopping to fix problems)” prensiplerini geliştirir.



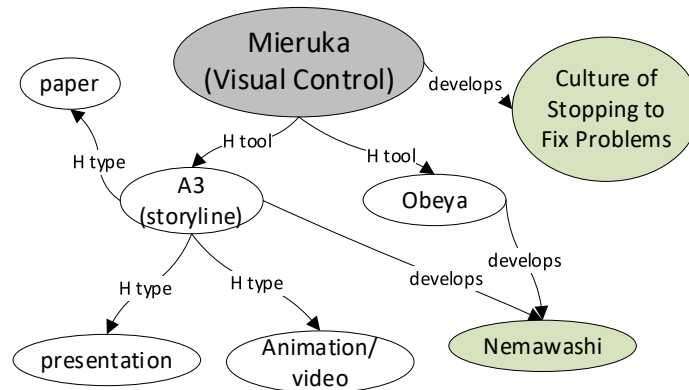
Şekil 4.5. Yalınlık “İnsanı(çalışanı) Geliştirme (Hitozukuri)” Kavramı

İnsanı geliştirmede önemli bir metot olan takım çalışması (teamwork) bir çok araç ile güçlendirilmeli ve iş yaşamının bir parçası olmalıdır. Bu insana saygı ile beraber çalışanın ekibin bir parçası olarak aidiyet duygusunu sürekli zinde tutacaktır. Sabah toplantıları (asakai) iş yerinin tüm seviyedeki çalışanlarını bir araya getiren bir toplantı olarak problemlerin ele alındığı ve çözümlerinin paylaşıldığı, temel performans göstergelerinin izlendiği bir platform olarak öğrenen organizasyonun (learning organization) her gün yapılan konferansı olarak isimlendirilebilir. Suçlamanın olmadığı kültür (no blaming culture) elementi hata olasılığını normal görür ve problemlerin raporlanmasını teşvik eder. Bu anlayışta temel yaklaşım hata yapana

TPS felsefesinin temel taşlarından olan bu kavramda her çalışanın andon aracını kullanarak hattı durdurma yetkisi vardır. Yerinde kalitenin üretim alanındaki bu önemli aracı, hata yakalama (pokayoke) sistemleri ile beraber potansiyel hatanın bir sonraki prosese (müşteriye) geçmeden kontrolünü ve giderilmesini sağlar. “Yerinde kalite (build in quality)” süreci bu kavram altında tanımlanmış en verimli süreçleri geliştirmeyi, sürdürmeyi ve sürekli iyileştirmeyi hedefleyerek sonuç adımı “israfı kaldırma”yı hedefleyen ana süreçlerden biridir.”Öğrenen organizasyon” prensibi gemba’da sürekli uygulanan bu süreç ile devam eder. Kalite araçları (quality tools) ile sürekli görselleştirme yapılarak geçmişe ve ileriye dönük geniş bir tarama ve izleme süreci söz konusudur. Toplam kalite yönetimi (total quality management) elementi altında listelenmiş tüm farklı tipler müşteriye dinleme, beklentilerini karşılama ve beklentileri aşma yönündedir. Kalite araçları ile elde edilen göstergeler ve toplam kalite yönetim sürecinden gelen gösterge ve beklentiler yerinde kalite metodu ile tasarımdan (design), üretime (production) kadar ki yelpazede girdi olarak kullanılarak problemlerin çözümüne, beklentilerin karşılanmasına ve ileriye dönük tasarım, mühendislik ve üretim aşamalarına “yansıtma veritabanı (reflection database)” aracı ve maliyet bilinci (ryohin renka) ile yansıtılır.

4.1.5. Görselleştirme (mieruka) kavramı

Görselleştirme kavramı Şekil 4.7’de tüm terimleri ile gösterilmiştir. Görselleştirilemeyen iyileştirilemez. Görsellik problemlerin görülmesini ve anında düzeltici aksiyon alınmasını sağlar. Görselleştirme problemlerin gecikmeden farkedilmesine yardımcı olur ve yönetim problemlerin çözülmesine destek olur.

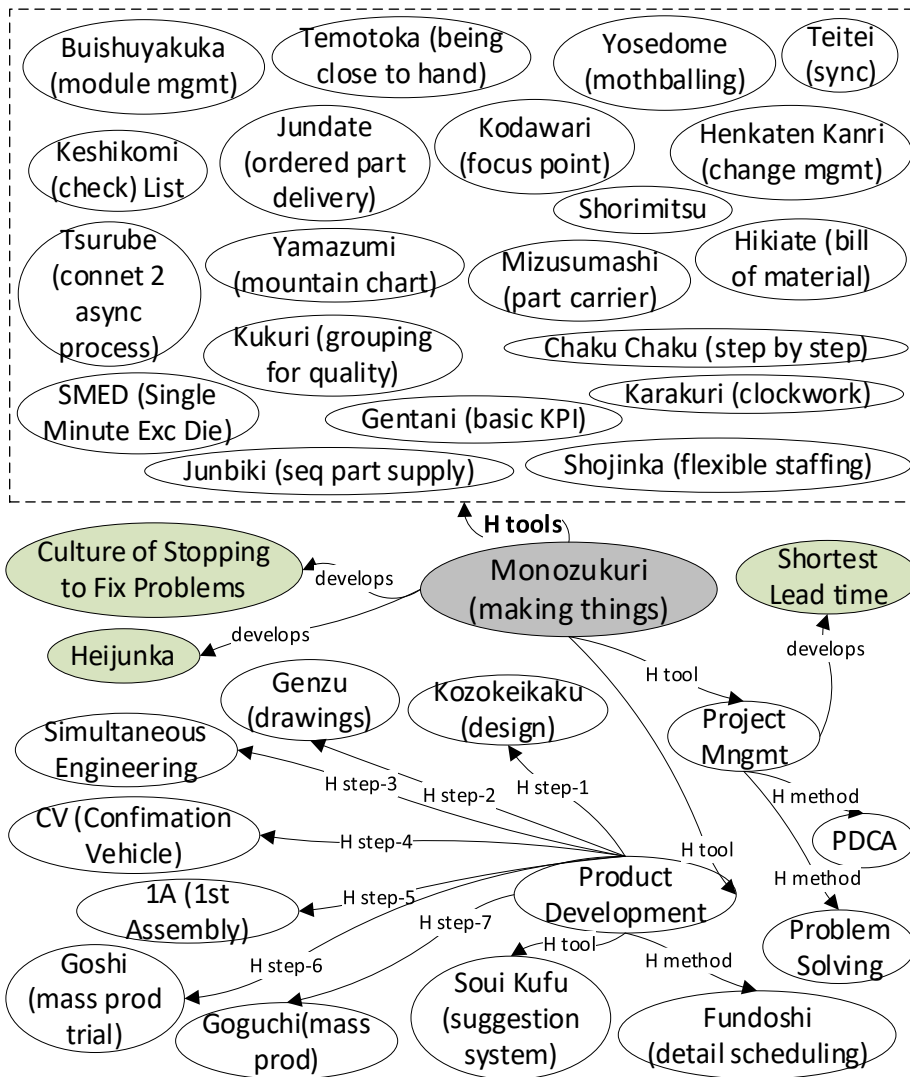


Şekil 4.7. Yalınlık “Görselleştirme (Mieruka)” Kavramı

Görselleştirme, “fikir birliği ile karar alınması (Nemawashi)” ve “problemleri gidermek için durma (culture of stopping to fix problems)” prensiplerini geliştirir. Görselleştirme odaları (Obeya), panoları yaygın olarak kullanılan araçtır ve yukarıdaki prensipleri destekler. Obeya alanları ve diğer tüm nemawashi süreçlerinde temel gereklilik konunun bulunduğu bağlamda çok iyi anlatılmasıdır (storyline).

4.1.6. Üretim sanatı (monozukuri) kavramı

Üretim sanatı kavramı Şekil 4.8’te tüm terimleri ile gösterilmiştir. Bu kavram üretimi gerçekleştirmek için ağırlıklı olarak kullanılan, geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam eden araçları ifade eder. TPS’in temel öğeleri olan bu araçlar çalışanlar tarafından

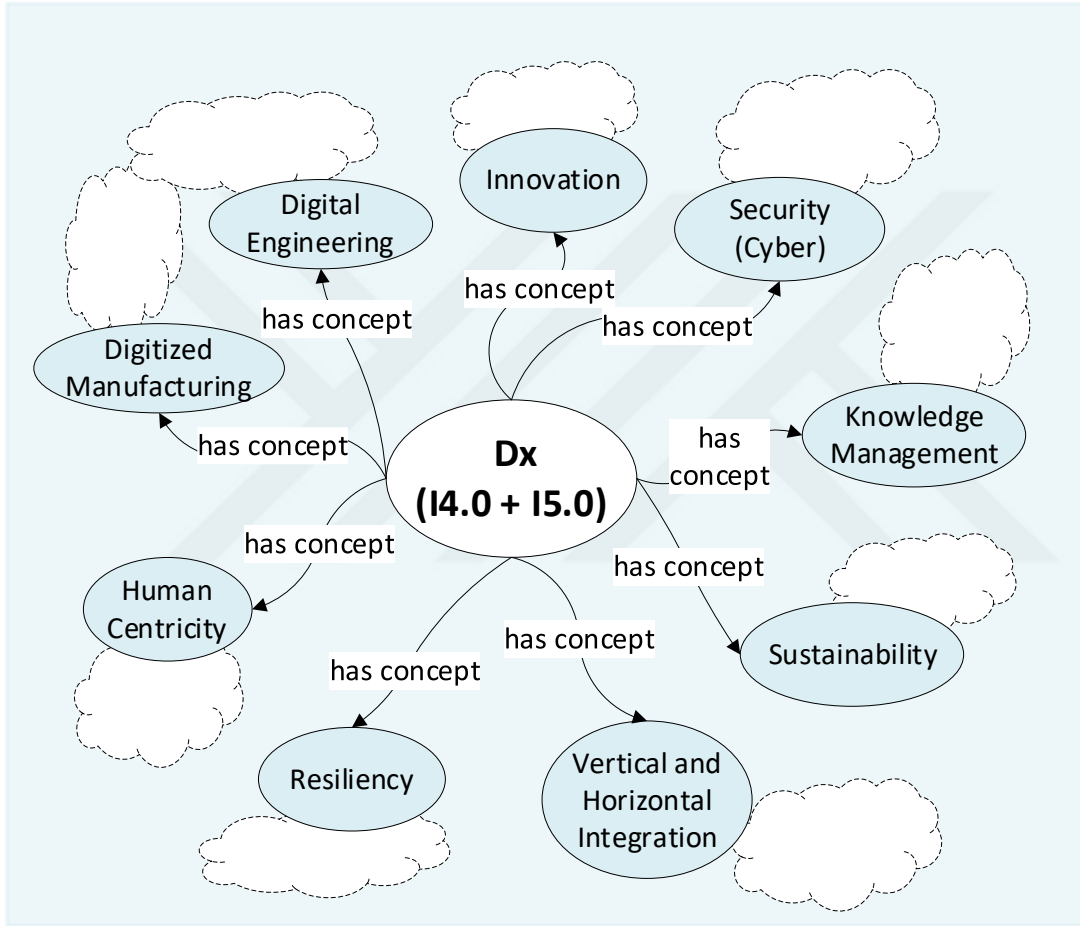


Şekil 4.8. Yalınlık “Üretme Sanatı (Monozukuri)” Kavramı

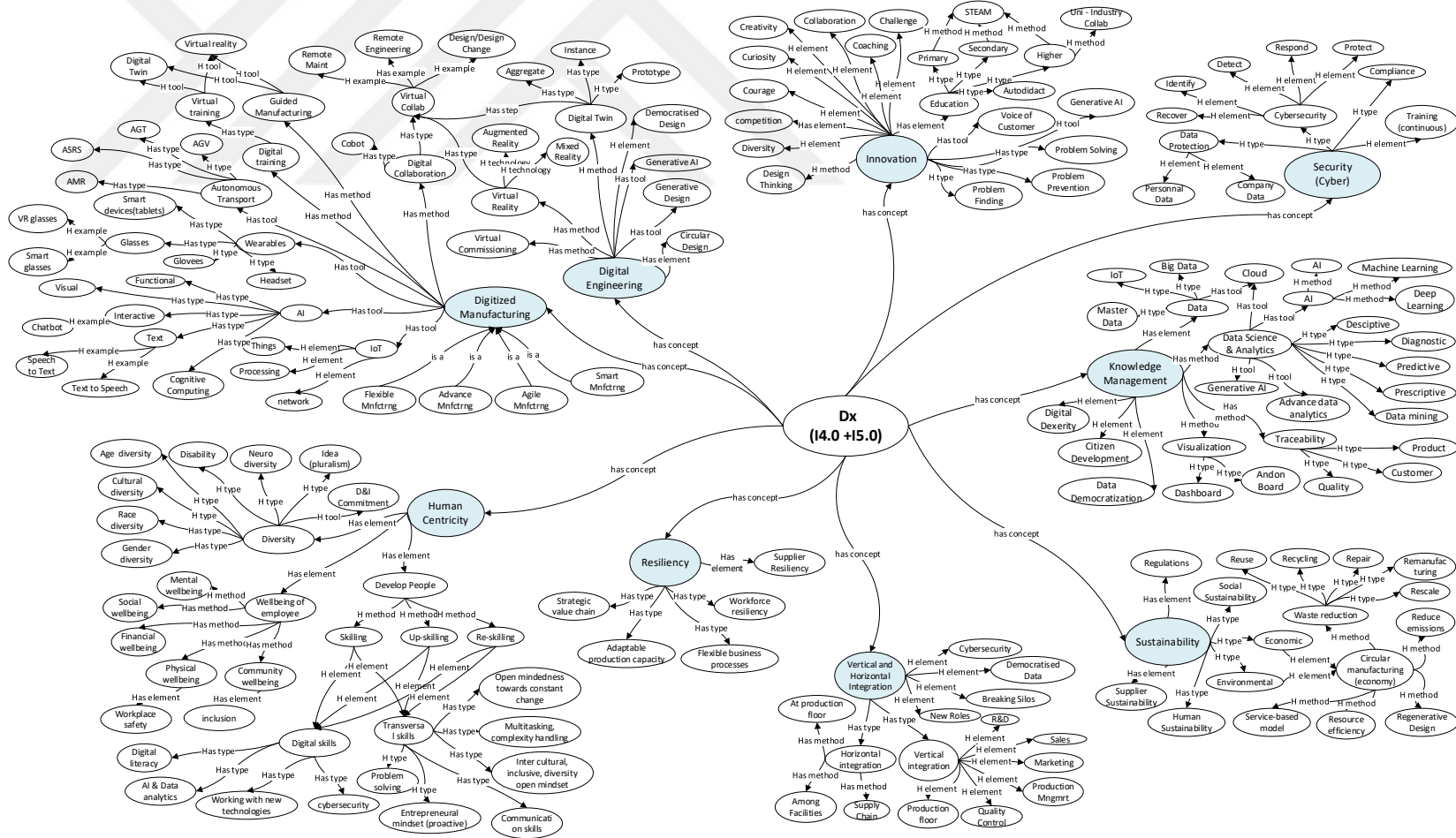
geliştirilmiştir. Ürün geliştirme süreçleri ve bu süreç ile beraber problem çözme kabiliyeti ön planda olan diğer araçlardır. “Dengeleme (heijunka)”, “en kısa sürede

4.2. Dijitalizasyon Ontolojisi

Dijitalizasyon (Dx) ontolojisi üretim için 9 kavram altında 201 terim ile oluşturulmuştur (Şekil 4.12). Tablo 2.2’de gösterilen literatür taraması ana kaynağımızdır. Uzmanlara yapılan açık uçlu sorular raundu sonucu kavramlar ve kavramlar altında bileşenler, metotlar, tipler ve ilişkiler oluşturulmuştur. Şekil 4.12 Dx ontolojisini kavramları ile gösterir. Şekil 4.13 Dx ontolojisini tüm terimleri ile gösterir. Takiben her kavram açıklamalarla verilmiştir.



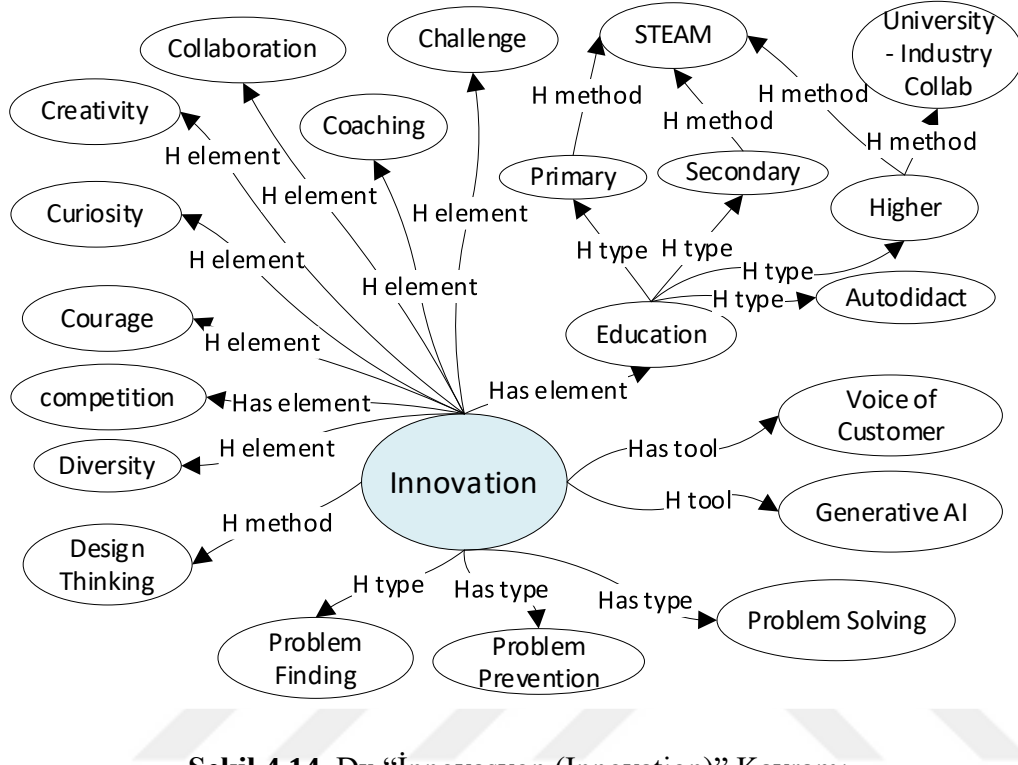
Şekil 4.12. Kavramları ile Dijitalizasyon (Dx) Ontolojisi



Şekil 4.13. Tüm Terimleri ile Dijitalizasyon (Dx) Ontolojisi

4.2.1. İnnovasyon (innovation) kavramı

İnnovasyon kavramı Şekil 4.14'te tüm terimleri ile gösterilmiştir. İnnovasyonu tetikleyen ve geliştiren bireysel ve ekip olarak bir çok bileşen bulunmaktadır. Bunların



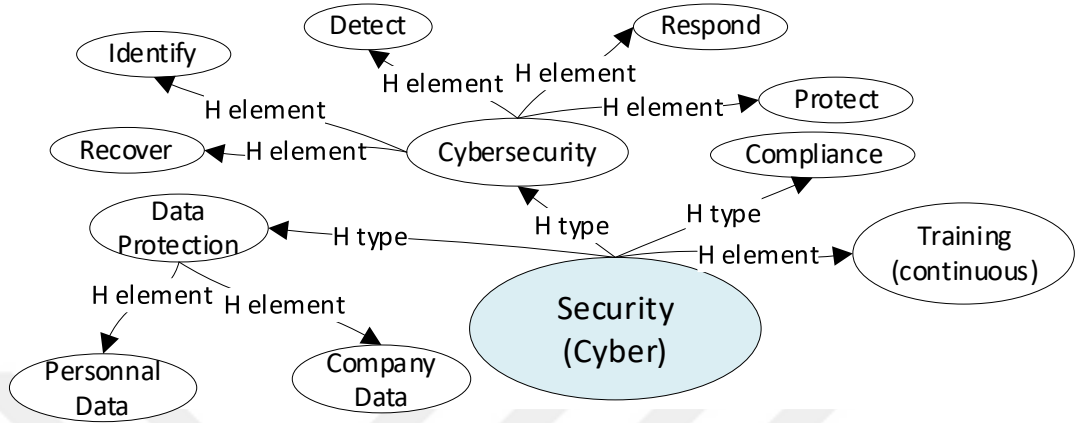
Şekil 4.14. Dx “İnnovasyon (Innovation)” Kavramı

yanında eğitim ile iş birliği hem innovasyon ve hem de insan kaynağı açısından önemli metotlardır. Müşterinin beklentilerini anlamak ve yapay zeka ve sosyal medya vb. izlemeleri innovasyon için fikir toplama ve üretme platformlarıdır. Yalınlığın kaizen ya da Jidoka kavramları altında altında gördüğümüz problem çözme yöntemi innovasyon altında problem bulma ve problem önleme tipleri ile genişletilmiştir. İnnovasyonun elementleri takıma ve takım çalışmasına yeni boyutlar (rekabet, çeşitlilik) eklemektedir. İnnovasyon yeni metotlar (tasarım odaklı düşünme, kendi kendine öğrenme) tanıtır.

4.2.2. Siber güvenlik (security(cyber)) kavramı

Siber güvenlik kavramı Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Bu alanda hukuki olarak zorunlu güvenlik tipleri (veri güvenliği, uyumluluk) yanında koruyucu, algılayıcı, tanımlayan güvenlik bileşenleri iş yerinin sürekliliği açısından gereklidir. Felaket durumlarında iş sürekliliğine hazırlıklı olunmalıdır. Veri güvenliği ve kişisel verilerin korunmasındaki zaafiyetler kurumu çok büyük ceza ve yaptırımlarla karşı karşıya bırakabilir. Kurumun

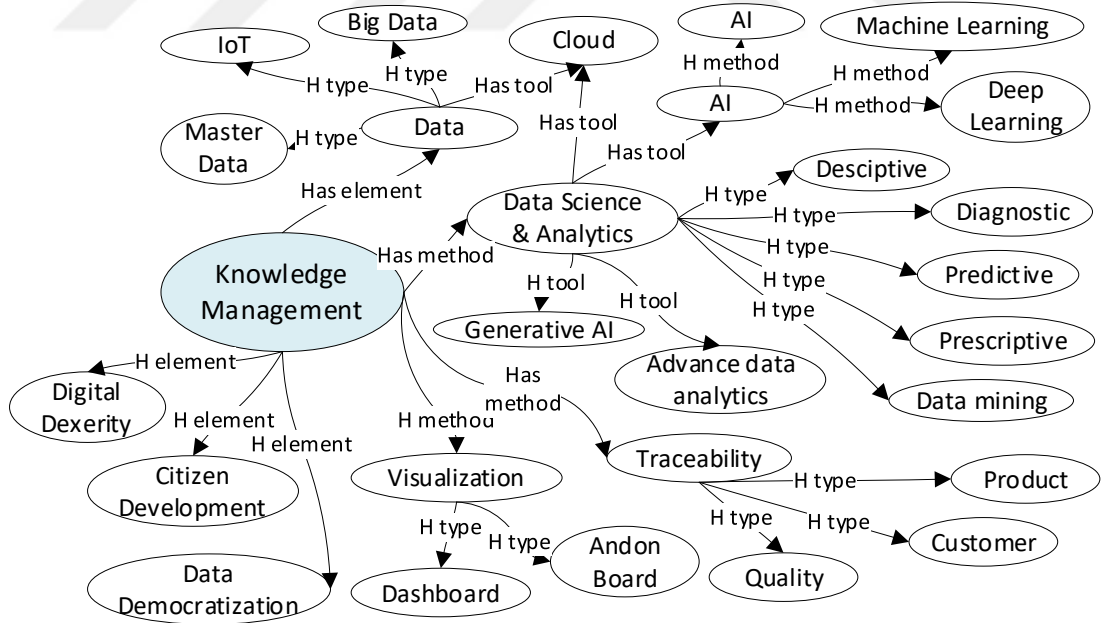
dijital altyapısındaki güvenlik açıkları ve bunun sonucu karşılaştığı saldırılar çok büyük kayıplara yol açabilir. Siber güvenlik zaafiyetleri kurum için telafisi mümkün olmayan sonuçlar doğurabilir. Teknik altyapı ve kurallar yanında çalışanların bu alanda sürekli zorunlu eğitimi etkin önleyici bir elementtir.



Şekil 4.15. Dx ‘Siber Güvenlik (Secuirty (Cyber)) Kavramı

4.2.3. Bilgi yönetimi (knowledge management) kavramı

Bilgi yönetimi kavramı Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Veri ana bileşen olup veri bilimi ve analitiği altındaki tipler, araçlar ve metotlar ana terimlerdir. Görselleştirme ve



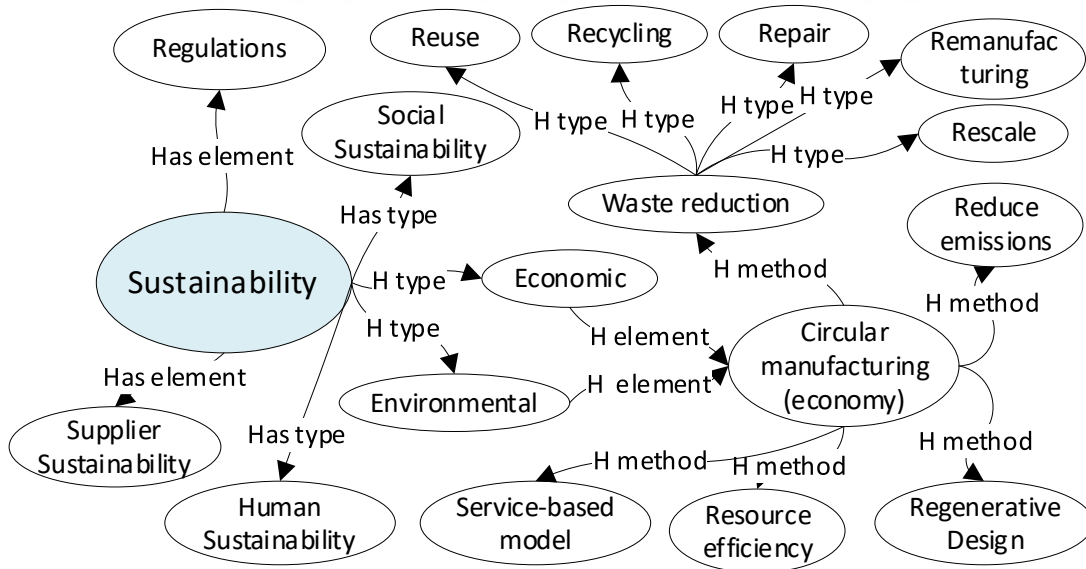
Şekil 4.16. Dx ‘Bilgi Yönetimi (Knowledge Management)’ Kavramı

üretim açısından izlenebilirlik diğer ana metot olarak modellenmiştir. Bulut (cloud), büyük veri (big data) ve veri toplama (IoT) tipleri ve kurumun master verilerinin oluşturulması verilerin toplanması ve saklanması konusunda ana teknolojilerdir.

Yapay zeka kullanımı ve tipleri verilerin anlamlandırılması ve yorumlanması için kullanılabilecek ana teknoloji metotları olarak gösterilmiştir. Veri bilimi ve analitiğinin bir çok tipi bulunmaktadır. Veri odaklı bir organizasyon haline gelmek üretim alanının hedefi olmalıdır. Bu vizyon ile veri yönetiminde gerekli gerekli teknolojik altyapılar kurulurken analitik alanda gösterilen tipler için imkanlar sunulurken bu tiplerin kullanımı teorik olarak tüm çalışanlar tarafından mümkün olmalıdır. Veri toplanabilmeli ve tüm kullanıcılarla paylaşılmalıdır (data democratization). Bu açıdan çalışan gelişimi (citizen development) ve dijital okuryazarlık (digital dexterity) öncelikli elementler olarak görülmelidir.

4.2.4. Sürdürülebilirlik (sustainability) kavramı

Sürdürülebilirlik kavramı Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Sürdürülebilirlik regülasyonlarla yönlendirilir ve zorlanırken kurumlar bu zorunlulukları yönetmek için çevresel, sosyal, ekonomik ve insan kaynağı tiplerine odaklanmalıdır. Çevresel ve ekonomik tipler döngüsel üretim başlığı altında atığı azaltma (waste reduction) metodu altında bir çok tipe odaklanırken, döngüsel tasarım, kaynakların verimli kullanımı, emisyonu azaltma ve servis bazlı model gibi radikal iş yapış değişikliği metotları hedeflere ulaşmak için odaklanılacak diğer alanlardır.



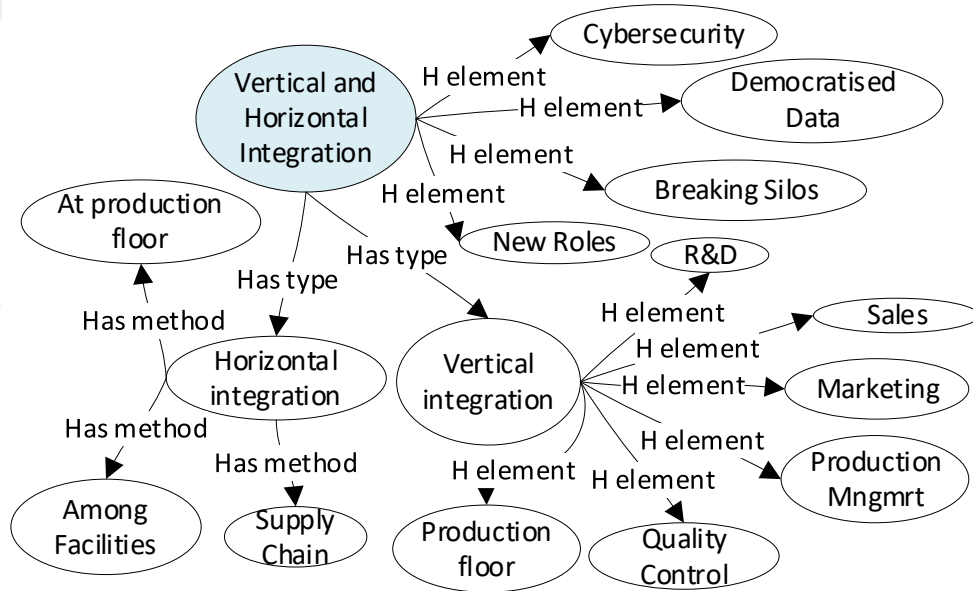
Şekil 4.17. Dx “Sürdürülebilirlik (Sustainability)” Kavramı

Regülasyonların son ürün üzerindeki zorlayıcılığı kurumları ürün ağaçlarındaki paydaşlarını da izleme ve geliştirme mecburiyeti doğuracaktır. Sürdürülebilirlik

açısından “paydaş sürdürülebilirliği (supplier sustainability)” bir element olarak ontolojide gösterilmiştir.

4.2.5. Düşey ve yatay entegrasyon (vertical & horizontal integration) kavramı

Düşey ve yatay entegrasyon kavramı Şekil 4.18’te gösterilmiştir. Silolar kaldırılırken ve veri kullanımı yaygınlaştırılırken, kurum içinde düşey entegrasyon ve paydaşlar ve üretim alanı içinde ve üretim birimleri arasında yatay entegrasyon sağlanmalıdır. Siber güvenlik hem kurum içinde ve hem de kurumlar arası önemli bir element olarak görülmektedir. Siloların ortadan kaldırılması ve dijitalizasyon ile beraber yeni iş tanımı ve rollerin kuruma ve kurumlar arası yapıya entegrasyonu önemli organizasyonel adımlardır. Bu kavram, dijital dönüşüm sürecinde çevikliğin hem kurum içinde ve hem de paydaşlar arasında temel gereklerinden biridir.

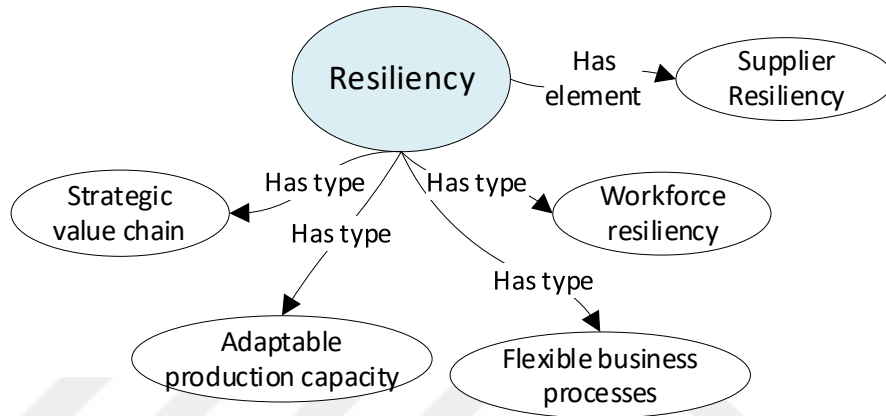


Şekil 4.18. Dx “Düşey ve Yatay Entegrasyon (Vertical and Horizontal Integration) Kavramı

4.2.6. Dijital üretim (digitized manufacturing) ve dijital mühendislik (digital engineering) kavramları

Her iki kavram yakınlıkları ve iç içe geçkinlikleri nedeniyle bir arada Şekil 4.19’ta gösterilmiştir. Gemba olarak adlandırabileceğimiz üretim alanı, teknolojilerin insan ve fiziksel sistem ve süreçlerle bir araya geldiği bir çok detay ve güçlükleri içermektedir. Müşteri beklentilerinin daha hızlı karşılanması, ürünlerdeki yoğun kişiselleştirme beklentilerinin yönetildiği arena burasıdır. Yalınlığın temel kavram ve prensipleri (Jidoka, Jikotei kanketsu, just in time, standardization) dikkatli şekilde gözetilirken,

ayarlama beceri ve kabiliyeti ve değer zincirinin stratejik olarak kurgulanmış ve yönetilebiliyor olması ana tiplerdir. Bu tipleri gerçekleştirmeyi sağlayacak ve destekleyecek kavram ve prensipler hem yalınlık ve hem de dijitalizasyon ontolojilerinde detaylı olarak gösterilmiştir. Tüm bu kavramlar altındaki terimlerin hem dayanıklılığa ve hem de sürdürülebilirliğe temel olduğunu söylemek mümkündür. Dayanıklılık kavramı kurumun yalınlık ve dijitalizasyon alanında olgunluğunun test edilebileceği ve değişik senaryo ve durumlar için planların oluşturulabileceği bir alandır.



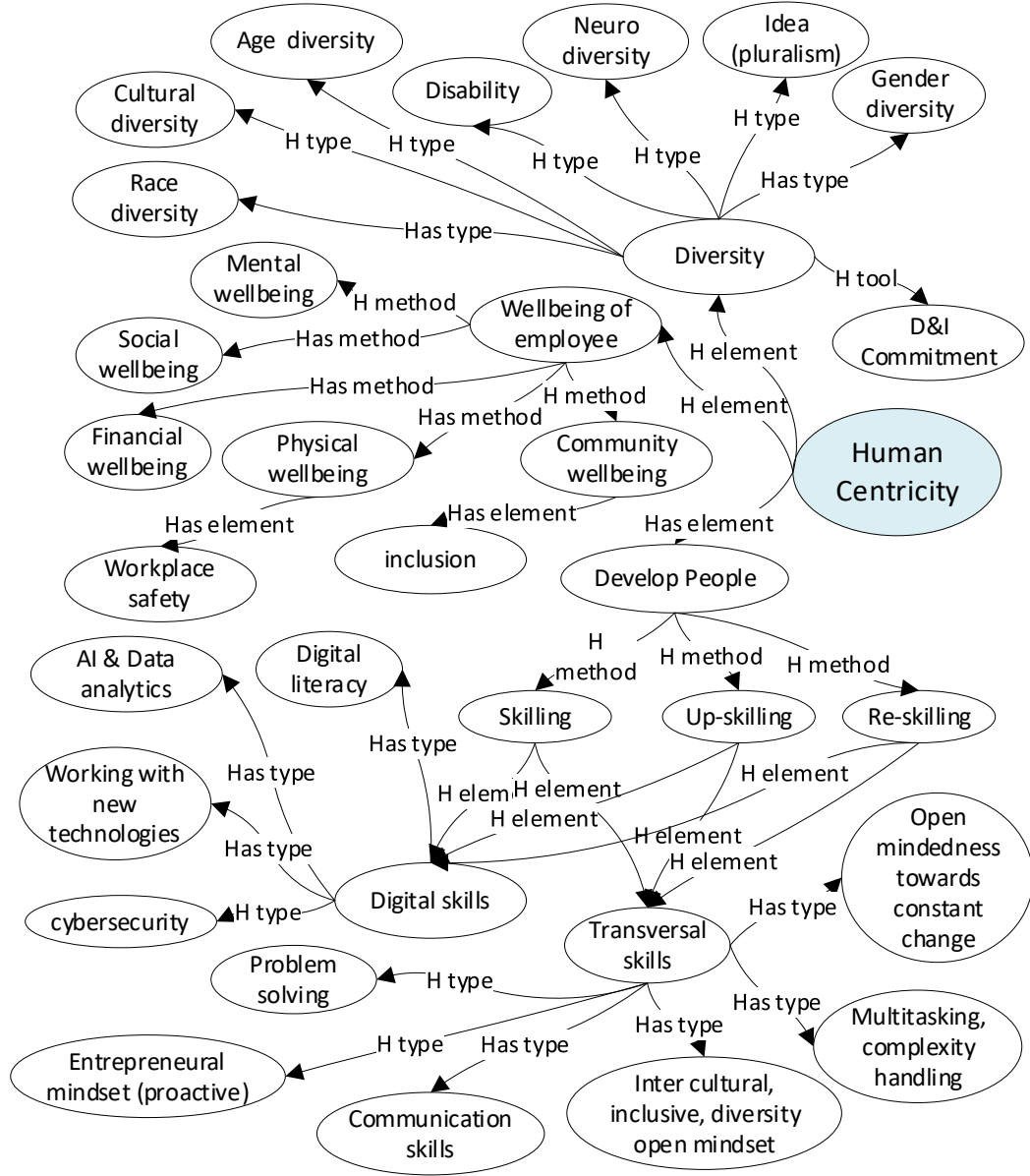
Şekil 4.20. Dx “Dayanıklılık (Resiliency)” Kavramı

Dayanıklılık kurumun paydaşları ile beraber gerçekleştirebileceği bir kavramdır. Bu açıdan “paydaş dayanıklılığı (supplier resiliency)” bir element olarak ontolojide gösterilmiştir.

4.2.8. İnsan odaklılık (human centricity) kavramı

İnsan odaklılık kavramı Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Dijitalizasyon modelinde insan odaklılığın en yoğun terim içeren kavramlardan biri olması şaşırtıcı gelmemelidir. İnsan dijitalizasyonu gerçekleştirecek ve mümkün kılacak ve aynı zamanda öznesi olan temel ögedir ve insanı geliştirmek ana bileşen, ön koşuldur. Bu alan çok yönlü olarak ele alınırken, paralelde çeşitlilik ve insanın refahı bir çok boyutlarıyla yönetilmeli ve sürecin ayrılmaz bir parçası kılınmalıdır. İnsan odaklılık, “çalışanın iyiliği (wellbeing of employee)” elementi ile yalınlığın iş güvenliği kavramını oldukça genişletmektedir. “İnsanı geliştirme (develop people)” elementi dijitalizasyonun en önemli ve aynı zamanda zorlu dönüşüm alanlarından biridir. Mevcut işgücü hem teknik alanlarda ve hem de çapraz beceriler (transversal skills) alanında geliştirilmelidir. “Farklılık, çeşitlilik (diversity)” elementi kurumların çok daha geniş

iş gücü ve yeteneklere ulaşmak için geliştirmesi ve kurum kültürünün bir parçası haline getirmesi gereken diğer bir bileşendir. Farklılık gelişimi kurumun toplum ile iletişim ve entegrasyonu destekleyecektir.



Şekil 4.21. Dx “İnsan Odaklılık (Human Centricity)” Kavramı

4.3. Çok Boyutlu Etkileşim Matrisi ve Dx’in Yalınlığa Etkisi

Anket sonuçları Table 4.1’de etki ağırlığı renklendirmesi ile sunulmuştur. Tüm bağlantı önermeleri için hemfikirlik sağlanmıştır (%100). 6 adet önerme için uzmanların değerlendirmesi “yüksek/güçlü pozitif etki”dir. 3 adet bağlantı için değerlendirme sonucu “yüksek pozitif etki”dir. Geriye kalan 3 adet bağlantı için

uzmanların değerlendirmesi “orta pozitif etki” şeklinde olmuştur. Tüm önermeleri kapsayan değerlendirme “yüksek pozitif etki” olarak bulunmuştur.

4.4. Dijital Dönüşüm Kritik Başarı Faktörleri Sonuçları

KBF-DD için Delphi metodu sonuçları Tablo 4.2’de etki ağırlığı renklendirmesi ile sunulmuştur. 132 önermeden 122’sinde hemfikirlik sağlanmıştır (%92.4). 10 önerme için hemfikirlik sağlanamamıştır. Hemfikirlik sağlanmayan (non-consensus (nc)) 10 önerme için uzmanların eğilimi alt (Q1) ve üst (Q3) çeyrek değerleriyle IQR değeri yanında gösterilmiştir.

4.5. Yalınlığı Sürdürme Kritik Başarı Faktörleri Sonuçları

KBF-YS için Delphi metodu sonuçları Tablo 4.3’te etki ağırlığı renklendirmesi ile sunulmuştur. 108 önermeden 104’ünde hemfikirlik sağlanmıştır (%96.3). 4 önerme için hemfikirlik sağlanamamıştır. Hemfikirlik sağlanmayan (non-consensus (nc)) 4 önerme için uzmanların eğilimi alt (Q1) ve üst (Q3) çeyrek değerleriyle IQR değeri yanında gösterilmiştir.

4.6. Psikometrik Özellikler

Önerilen yapının güvenilirliği Cronbach’s alpha ($C\alpha$) değeri ile test edilmiştir. Cronbach’s alpha değeri 0.7’den büyük ise yapı güvenilir kabul edilir [89]. “Dx’in yalınlığa etkisi” $C\alpha$ değeri 0.9 olarak bulunmuştur ve “mükemmel” olarak kabul edilebilir (Tablo 4.1). KBF-DD $C\alpha$ değerleri 0.84 ve 0.93 aralığında bulunmuştur ve “mükemmel yakın” olarak değerlendirilebilir (Tablo 4.2). KBF-YS $C\alpha$ değerleri 0.84 ve 0.91 aralığında bulunmuştur ve “mükemmel yakın” olarak değerlendirilebilir (Tablo 4.3). Bu sonuçlar önerilen yapının güvenilirliğini teyid etmektedir.

Tablo 4.1. Çok Boyutlu Etkileşim Matrisi ve Dx'in Yalınlığa Etkisi

No	Dx	Lean (yalınlık)	Sonuçlar					
			Q1	Q3	IQR	Likert	Mean/Ça	Likert Ölçeği
L-1	Innovation	Kaizen	4	5	1	4.5		Yüksek/güçlü pozitif etki
L-2	Innovation	Stakeholder S/Hitozukuri/Customer First	4	5	1	4.5		Yüksek/Güçlü pozitif etki
L-3	Human Centricity	Kaizen/Jidoka/Monozukuri	4	4.75	0.75	4.4		Yüksek pozitif etki
L-4	Human Centricity	Customer F/Stakeholder S/Hitozukuri/Safety	4	4.75	0.75	4.4		Yüksek pozitif etki
L-5	Resiliency	Just in Time/Monozukuri	4	4.75	0.75	4.4		Yüksek pozitif etki
L-6	(Cyber)Security	Stakeholder Satisfaction/Safety	4	5	1	4.5	4.3	Yüksek/güçlü pozitif etki
L-7	Dig.Man/Dig.Eng	Customer F/Stakeholder S/Hitozukuri/Safety	4	4	0	4	/	Orta pozitif etki
L-8	Dig.Man/Dig.Eng	Monozukuri/Jidoka	4	5	1	4.5	0.90	Yüksek/güçlü pozitif etki
L-9	Knowledge Mgmt	Kaizen/Mieruka	4	5	1	4.5		Yüksek/güçlü pozitif etki
L-10	Knowledge Mgmt	Jidoka/Just in Time	4	5	1	4.5		Yüksek/güçlü pozitif etki
L-11	Vert and Hori Integ.	Hitozukuri/Just in Time	3	4	1	3.5		Orta pozitif etki
L-12	Sustainability	Stakeholder Satisfaction/Just in Time	4	4	0	4		Orta pozitif etki

Tablo 4.2. KBF-DD Sonuçları

Likert Değeri Q1/Q3/IQR													M _m /M _c /M _M Ca
No	Link 1	Link 2	Link 3	Link 4	Link 5	Link 6	Link 7	Link 8	Link 9	Link 10	Link 11	Link 12	
1	4.6 4.25/5/0.75	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	nc 3.5/5/1.5	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	nc 3.25/5/1.75	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.2/4.4/4.5 0.93
2	4.5 4/5/1	4.0 4/4/0	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	4.5 4/5/1	4.0 4/4/0	4.0 4/4/0	4.0 4/4/0	4.5 4/5/1	4.0 4/4/0	4.2 0.86
3	4.0 4/4/0	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.4 4/4.75/0.75	4.5 4/5/1	nc 3/5/2	4.2/4.4/4.4 0.91
4	4.4 4/4.75/0.75	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	3.4 3/3.75/0.75	4.5 4/5/1	4.4 4/4.75/0.75	3.5 3/4/1	3.6 3.25/4/0.75	4.4 4/4.75/0.75	4.0 4/4/0	4.2 0.89
5	3.5 3/4/1	4.5 4/5/1	3.0 3/3/0	3.0 3/3/0	3.0 3/3/0	nc 3.25/4.75/1.5	4.6 4.25/5/0.75	nc 3/5/2	3.5 3/4/1	2.6 2.25/3/0.75	2.5 2/3/1	nc 3.25/5/1.75	3.3/3.4/3.8 0.90
6	3.5 3/4/1	nc 2/4/2	3.5 3/4/1	3.0 3/3/0	2.6 2.25/3/0.75	3.5 3/4/1	3.6 3.25/4/0.75	3.5 3/4/1	3.4 3/3.75/0.75	3.0 3/3/0	2.5 2/3/1	3.5 3/4/1	3.0/3.2/3.0 0.91
7	4.4 4/4.75/0.75	3.5 3/4/1	2.5 2/3/1	3.4 3/3.75/0.75	3.4 3/3.75/0.75	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	3.5 3/4/11	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.7 0.85
8	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	4.4 4/4.75/0.75	3.6 3.35/4/0.75	4.0 4/4/0	4.4 4/4.75/0.75	4.5 4/5/1	3.6 3.25/4/0.75	4.1 0.84
9	2.5 2/3/1	2.5 2/3/1	3.5 3/4/1	3.0 3/3/0	3.0 3/3/0	3.5 3/4/1	nc 2/4/2	2.5 2/3/1	2.5 2/3/1	2.5 2/3/1	2.5 2/3/1	3.5 3/4/1	2.8/2.9/3.0 0.90
10	2.6 2.25/3/0.75	2.5 2/3/1	3.0 3/3/0	2.5 2/3/1	2.5 2/3/1	3.6 3.25/4/0.75	3.5 3/4/1	3.4 3/3.75/0.75	3.6 3.25/4/0.75	2.5 2/3/1	2.5 2/3/1	3.5 3/4/1	3.0 0.89
11	3.5 3/4/1	3.4 3/3.75/0.75	2.6 2.25/3/0.75	2.6 2.25/3/0.75	3.5 3/4/1	3.4 3/3.75/0.75	nc 3/5/2	nc 3/5/2	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.5 1	3.3/3.3/3.6 0.90

Tablo 4.3. KBF-YS Sonuçları

No	Likert Değeri Q1/Q3/IQR												M _m /M _c /M _M C _α
	Link 1	Link 2	Link 3	Link 4	Link 5	Link 6	Link 7	Link 8	Link 9	Link 10	Link 11	Link 12	
1	5.0 5/5/0	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 0.85
2	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	3.6 3.25/4/0.75	4.5 4/5/1	4.4 4/4.75/0.75	4.5 4/5/1	4.4 0.88
3	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	3.6 3.25/4/0.75	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.3 0.91
4	4.5 4/5/1	nc 3.25/5/1.75	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	4.4 4/4.75/0.75	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	4.1/4.2/4.3 0.90
5	3.6 3.25/4/0.75	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	4.4 4/4.75/0.75	4.0 4/4/0	3.6 3.25/4/0.75	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	3.6 3.25/4/0.75	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	3.8 0.90
6	4.4 4/4.75/0.75	3.5 3/4/1	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	3.6 3.25/4/0.75	4.0 4/4/0	4.4 4/4.75/0.75	4.4 4/4.75/0.75	3.5 3/4/1	4.5 4/5/1	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	4.0 0.91
7	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	nc 3.25/5/1.75	3.5 3/4/1	nc 3/5/2	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.6 3.25/4/0.75	3.4/3.5/3.8 0.93
8	4.0 4/4/0	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.6 3.25/4/0.75	nc 3/5/2	3.5 3/4/1	4.5 4/5/1	4.0 4/4/0	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.6/3.7/3.8 0.84
9	4.5 4/5/1	3.5 3/4/1	4.5 4/5/1	4.4 4/4.75/0.75	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	4.4 4/4.75/0.75	4.5 4/5/1	3.6 3.25/4/1	3.5 3/4/1	3.5 3/4/1	3.9 0.89

4.7. Delphi Metodu Stabilité Testi

Gracht'a göre [85] Delphi metodu ile yapılan çalışmalarda "konsensüs ve stabilite kavramlarını ayırtırmak önemlidir.". Geleneksel olarak Delphi metodu ile yapılan çalışmalarda anket belli bir önceden tanımlanmış öngörüye ulaşıldığında durdurulur (örnek: hemfikirliğin sağlanması). Dajani ve ark.'a göre [87] grubun stabilitesi sağlanmamışsa hemfikirlik anlamsızdır. Grubun stabilitesi "birbirini izleyen roundlar arasındaki tutarlılık" ile ölçülür. Varyasyon katsayısı (coefficient of variation -CV) metodu stabilite ölçümü için kullanılabilir. Stabilite birbirini izleyen roundlar arasındaki CV'lerin farkının mutlak değerinin önceden belirlenmiş küçük bir değerden daha küçük olması olarak tanımlanmıştır [87]. CV metodu Delphi çalışmalarında hemfikirlik ölçümü için de kullanılan bir yöntemdir. CV değerinin 0.5'ten az olması hemfikirlik ölçümü için yeterli olarak kabul edilebilir [85]. Shah ve Kalain [88] çalışmalarında 0.2 ve daha küçük CV değerini (birbirini takip eden roundlar arasında) Dajani ve ark.'ın [87] çalışmasını referans alarak stabilite değeri olarak kullanmışlardır. Yapımızın stabilite testinde biz de aynı değeri kullandık.

Delphi metodu roundlar ve hipotezlerden oluşur. Bu süreçte uzmanların ilgisini ve katılımını kaybetmek olasıdır. Hipotez sayımızın çokluğunu gözönüne alarak bu riski önlemek için hemfikirlik sağlanan önermeleri bir sonraki rounda almadık. Bu nedenle ilk Delphi roundunda hemfikirlik sağlanan 183 önerme için stabilite testi yapmamızı sağlayacak verimiz bulunmamaktadır. Bununla beraber bu hipotezler için minimum ve maksimum CV değerleri stabilite hakkında fikir vermesi için diğer hipotezlerin stabilite testi paralelinde paylaşılmıştır (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Roundların Stabilite Testi Sonuçları

	$ CV(R2) $ (Hs sayısı = 183)	$ CV(R3)-CV(R2) $ (Hs sayısı = 69)	$ CV(R4)-CV(R3) $ (Hs sayısı = 31)
Minimum	0.11	0.08	0
Maksimum	0.41	0.14	0.08

Hs: Hemfikirlik sağlanan toplam hipotez sayısı

Tablo 4.4'teki veriler ve yüksek α değerlerine göre, Delphi roundlarında stabilitenin olduğu sonucuna ulaşırız.

4.8. Hipotez Testi

Delphi roundlarının özeti her bir hipotez grubu için Tablo 4.5’te verilmiştir. Konsensüs sağlanamayan hipotezler ((10 adet H2 ve 4 adet H3), için IQR değeri değişmemiş ve Round-2’den Round-4’e kadar aynı kalmıştır. Bu nedenle 5. Round yapılmamıştır.

Tablo 4.5. Delphi Roundlarının Özeti

Hs sayısı		Roundlar						c (%)
		Round 2		Round 3		Round 4		
		c	nc	c	nc	c	Nc _{son}	
H1	12	9	3	2	1	1	0	100
H2	132	88	44	23	21	11	10	92.4
H3	108	86	22	13	9	5	4	96.3

c: consensus; nc: non-consensus; nc_{son} : Konsensüs sağlanamayan nihai hipotez sayısı

Tablo 4.1’in sonuçlarına göre, Dx’in yalınlığı 7,11 ve 12 nolu bağlantılar dışında çok pozitif (yüksek veya yüksek/güçlü) etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. 7, 11 ve 12 nolu bağlantılar içinde pozitif yönde eğilim görülmektedir. Konsensüs oranı %100’dür. Tüm bağlantıları kapsayan ortalama değer 4.3 olup yüksek/güçlü pozitif değerine yakındır. Bu sonuçlar hem yalınlık ve hem de Dx’in iyi modellendiğinin ve çok boyutlu matrisin yalınlığı güçlendirme bağlantılarını iyi yansıttığının bir ölçüsüdür. Hipotez 1 (H1) pozitif olarak test edilmiştir.

Hipotez-2 (H2) grubu için 10 hipotezde IQR ölçümüne göre hemfikirlik sağlanamamıştır. Anket sonuçları başka bir konsensüs ölçüm metodu ile test edilip yapının ve H2 hipotez grubunun sonuçları sınanabilir. Varyasyon katsayısı (CV) konsensüs ölçüm yaklaşımına göre anket sonuçları Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6.. Hipotez-2 (H2) Grubunun 10 adet Hemfikirlik Sağlanamayan Hipotezi için Alternatif Konsensüs Ölçüm Analizi Sonuçları

H2 nc Hypo.	Likert Değeri Dağılımı					Mean	CV
	1	2	3	4	5		
H2.4.1	0	5	1	7	1	3.3	0.31
H2.10.1	0	0	4	0	10	4.4	0.20
H2.12.3	0	3	1	6	4	3.8	0.29
H2.6.5	2	3	2	7	0	3.0	0.38
H2.8.5	0	1	7	0	6	3.8	0.29
H2.12.5	0	0	6	1	7	4.1	0.24
H2.2.6	0	0	6	0	8	4.1	0.24
H2.7.9	0	0	4	1	9	4.4	0.21
H2.7.11	0	0	5	0	9	4.3	0.22
H2.8.11	0	0	4	4	6	4.1	0.20

Bu sonuçlar H2 hipotez grubunun hemfikirlik sağlanamayan 10 adet hipotezi için Dajani [87] ve Gracht [85] tarafından CV yaklaşımı ile hemfikirlik ölçüm değeri olarak

önerilen 0.5 üst sınırının oldukça altında değerlerle hemfikirlik gösterir. Bu sonuç aynı zamanda IQR hemfikirlik ölçüm yaklaşımının daha katı ve hassas olduğunu da gösterir. Bu alternatif test metodu ve Tablo 4.4'teki stabilite sonuçlarına ve %92.4'lük hemfikirlik sonucuna göre hipotez-2'nin (H2) pozitif olarak test edildiği sonucuna ulaşılır. Bununla beraber, hemfikirlik sağlanamayan 10 adet hipotez için Q1 ve Q3 değerlerine göre analiz yapılmalıdır. Delphi metodu devam ettirilseydi, hemfikirlik Q1 veya Q3 değerlerinde ya da ikisinin ortasında bulunabilirdi. Bu kabule göre M_m ve M_M değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir. Tüm olası senaryolarda KBF-DD sıralaması en üst 5 ve en alt 5 KBF'de değişmemektedir. Bu sonuç KBF-DD sıralamasının 6 ve 7 nolu KBF sıralamasında değişiklik olasılığı dışında tutarlı ve sabit olduğunu gösterir.

Hipotez-3 (H3) grubu için 4 hipotezde IQR ölçümüne göre hemfikirlik sağlanamamıştır. Hipotez-2 (H2) grubu için yapıldığı gibi, anket sonuçları başka bir konsensüs ölçüm metodu ile test edilip yapının ve H3 hipotez grubunun sonuçları sınanabilir. Varyasyon katsayısı (coefficient of variation -CV) konsensüs ölçüm yaklaşımına göre anket sonuçları Tablo 4.7'da verilmiştir.

Tablo 4.7. Hipotez-3 (H3) Grubunun 4 adet Hemfikirlik Sağlanamayan Hipotezi için Alternatif Konsensüs Ölçüm Analizi Sonuçları

H3 nc Hypo	Likert Değeri Dağılımı					Mean	CV
	1	2	3	4	5		
H3.2.4	0	0	4	1	9	4.4	0.21
H3.5.7	1	1	2	2	8	3.9	0.33
H3.7.7	0	0	6	1	7	3.9	0.24
H3.7.8	0	0	5	1	8	4.1	0.24

Bu sonuçlar H3 hipotez grubunun hemfikirlik sağlanamayan 4 adet hipotezi için Dajani [87] ve Gracht [85] tarafından CV yaklaşımı ile hemfikirlik ölçüm değeri olarak önerilen 0.5 üst sınırının oldukça altında değerlerle hemfikirlik gösterir. Bu alternatif test metodu ve Tablo 4.4'teki stabilite sonuçlarına ve %96.3'lük hemfikirlik sonucuna göre hipotez-3'nin (H3) pozitif olarak test edildiği sonucuna ulaşılır. Bununla beraber, hemfikirlik sağlanamayan 4 adet hipotez için Q1 ve Q3 değerlerine göre analiz yapılmalıdır. Delphi metodu devam ettirilseydi, hemfikirlik Q1 veya Q3 değerlerinde ya da ikisinin ortasında bulunabilirdi. Bu kabule göre M_m ve M_M değerleri Tablo 4.3'de verilmiştir. Tüm olası senaryolarda KBF-YS sıralaması en üst 5 ve en alt 2 KBF'de değişmemektedir. Bu sonuç KBF-YS sıralamasının 6 ve 7 nolu KBF sıralamasında değişiklik olasılığı dışında tutarlı ve sabit olduğunu gösterir.



5. LDX (YALINLIK+DX) OLGUNLUK DEĞERLENDİRME MODELİ

5.1. Giriş

“Olgunluk” terimi nitelediği oluş ya da kavramın herhangi bir özelliğinde ya da tüm özelliklerinde yapı ve işlev açısından daha ileri ve iyi duruma, seviyeye ulaşma olarak tanımlanabilir. Yalınlık (Lean) alanında organizasyonların ve projelerin, proseslerin değerlendirilmesi ve olgunluğunun ölçülmesi yaygın olarak çalışılmıştır. Özellikle projelerinde yalınlığı uygulamak isteyen veya organizasyon olarak yalınlık dönüşümü gerçekleştirmek isteyen veya yalınlık durumunu değerlendirmek isteyen değişik büyüklükte (büyük ölçekli işletmeler ve KOBİ’ler) organizasyonlar için bu tür değerlendirme modelleri bulunmaktadır ve uygulanmaktadır. Dördüncü sanayi devrimi (Endüstri 4.0) ile benzer ölçümler ve değerlendirmeler için I4.0 alanında da birçok akademik ve endüstriyel çalışma yapılmıştır. Yalınlık+I4.0 alanında değerlendirme ve olgunluk modeli konusunda çok az çalışma bulunmaktadır. Endüstri 5.0 (I5.0) paradigmasını konu alan olgunluk ve değerlendirme modeli çalışmaları literatürde yer almaya henüz başlamıştır. Hem yalınlık ve hem de I5.0 (veya $Dx = I4.0+I5.0$) paradigmasını konu alan bütünsel olgunluk ve değerlendirme modeli çalışmasına rastlanmamıştır.

Tezimiz kapsamında yaptığımız literatür taraması ve hipotezimiz doğrultusunda yaptığımız araştırma çalışması sonuçları aşağıdaki değerlendirmelerimizi desteklemektedir:

- 1- Dijitalizasyon ($Dx=I4.0+I5.0$), dijital dönüşüm, teknolojik olarak kaçınılmazdır ve Endüstri 5.0 (I5.0) paradigmaları ile beraber düşünülmelidir.
- 2- Dijitalizasyon ve yalınlık çok yakından ilişkilidir. Dx , yalınlığı pozitif yönde etkilemektedir. Yalınlık, dijital dönüşümün başarısını ve hedeflerine ulaşmayı desteklemektedir.
- 3- Çok boyutlu matris ve Dx -Yalınlık ilişkisi sonuçları , dijital dönüşüm kritik başarı faktörleri (KBD-DD) ve yalınlığı sürdürme kritik başarı faktörleri (KBF-YS)

sonuçlarını değerlendirdiğimizde yalınlık ve Dx'in birbirini tamamlayıcı ve ayrılmaz olduğunu sonucuna ulaşırız.

Tezimizin ana amacı üretim firmalarına yalınlığı korurken çevik ve sürdürülebilir dijital dönüşüm strateji ve yönetim yaklaşımı önermeleri sunmaktır. Dönüşüm sürecinin izlenmesi bulunulan ya da ulaşılan seviyelerin değerlendirilmesi ve gerekli alanlarda düzeltici aksiyonların alınması gerekecektir. Bu da çok yaygın olarak kullanılan olgunluk değerlendirme modeli yaklaşımlarının yalınlık ve Dx (I4.0+I5.0)'i kapsayan yapıya uygulanması ile mümkün olacaktır.

Hem yalınlığı ve hem de dijitalizasyonu kapsayan ve dijital dönüşüm ve yalınlığı sürdürme kritik başarı faktörlerini ve yalınlığı güçlendirme bağlantılarını içeren bir olgunluk değerlendirme modeli bu amaca destek olacaktır. Bu model sonuçlarına göre işletmeler geliştirme noktalarını görecektir, önceliklerini belirleyebilecek ve stratejilerini oluşturacaklardır. Bu modeli belirledikleri sıklıkta uygulayarak PUKÖ döngüsü ile gerekli aksiyonları zamanında alabilecekler ve tespit ettikleri alanlarda problem çözme (problem solving) metodu veya inovasyon kavramının ek türleri (Şekil 4.14) ile hedeflerine ulaşmada gerekli aksiyonları alabileceklerdir.

5.2. Hipotez

Tezimiz kapsamında yalınlığı ve dijitalizasyonu (I4.0 ve I5.0 paradigmaları ile) holistik ve kapsayıcı şekilde ontoloji yaklaşımı ile modelledik. Bu süreçte dönüşüm ve yalınlığı sürdürme kritik başarı faktörlerini belirledik. Dijital dönüşümde yalınlığı güçlendirme bağlantılarını gösterdik. Elde ettiğimiz sonuçları ve değerlendirme ve olgunluk modelleri alanındaki daha önce yapılmış çalışmaları referans alarak;

- 1- Yalınlık ve Dx'i bütün olarak adresleyen bir paradigma (LDx) önerebilir ve modelleyebiliriz.
- 2- Önerdiğimiz LDx paradigmasını referans alarak LDx için olgunluk ve değerlendirme modeli boyutlarını tanımlayabiliriz.
- 3- Dijitalizasyon bir dönüşüm sürecini tanımlamaktadır ve yalınlığı koruma yanında güçlendirmek için de fırsat olarak görülmelidir. Yalınlığı koruma yanında güçlendirme boyutları da değerlendirme modelinde yer almalıdır.

5.3. LDx Olgunluk Değerlendirme Modeli Araştırma Metodu

Olgunluk değerlendirme modellerinde yaygın yaklaşım ana boyutlar altında alt boyutların (pratikler, göstergeler, teknikler, araçlar) gruplandırılması ve bu boyutların nitel (anket) ve nicel olarak çeşitli matematiksel yaklaşımlarla (AHP, fuzzy) [38], [82] değerlendirilmesidir. Bu yaklaşım ile ortaya konan değerlendirme konuları nicel (direkt olarak ölçülebilir, objektif) ve ya nitel (bireylerin algısı) olabilir.

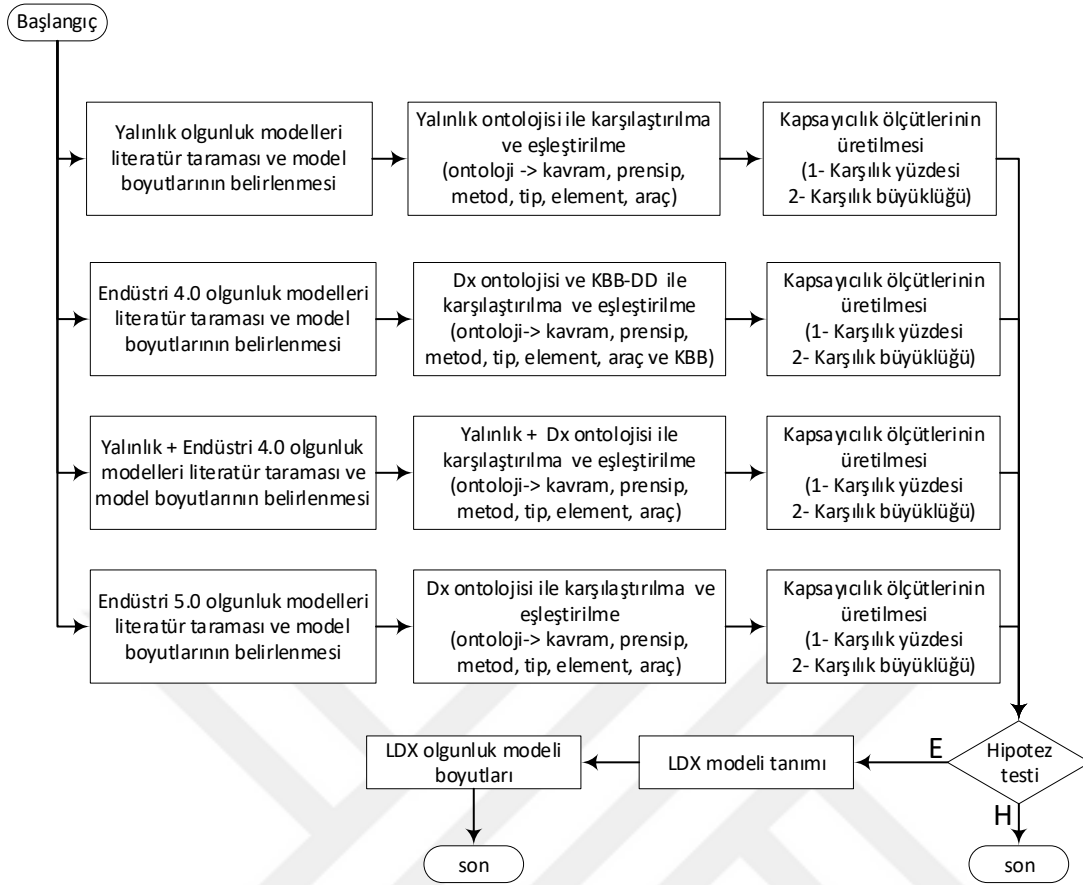
LDx olgunluk modeli boyutları için öncelikle bu alanı tam olarak tanımlayan ve kapsayan holistik bir çerçeve model oluşturulmalıdır. Olgunluk modeli çalışmalarında holistik bakış açısının önemi ve gereği bir çok çalışmada ifade edilmiştir [90], [91]. Öte yandan Dx bir dönüşümü ifade etmektedir. LDx olgunluk modeli boyutlarında hem dijital dönüşüm ve hem de yalınlığı sürdürme kritik başarı faktörleri gözönünde bulundurulmalıdır. Bu bakış açısı yalınlığı ölçen ve yalınlık dönüşümünü değerlendiren LESAT-1 [79] ve LESAT-2 [80] modellerinin de benimsediği bir yaklaşımdır.

LDx için holistik ve tam bir çerçeve modeli tanımlayabilirsek, olgunluk modeli için boyutları ve alt boyut başlıklarını doğru ve tam kapsayıcı bir şekilde tanımlayabiliriz. LDx modeli için aşağıdaki soruların cevaplarını tezimizin önceki bölüm sonuçları ve literatür taraması ile ölçebilir ve verebilirsek LDx çerçeve modeli için ilk gereği gerçekleştireceğiz.

1- Bu çalışmamızda önerdiğimiz yalın üretim modelini (yalın üretim ontolojisi) (Şekil 4.1) LDx çerçeve modelinin tanımlanmasında kullanabilir miyiz? Yalın üretim modelimiz olgunluk değerlendirme modeli açısından yalınlığı ne kadar temsil etmektedir ve ne kadar kapsayıcı holistik bir bakış açısı sunmaktadır?

2- Bu çalışmamızda önerdiğimiz Dx modelini (Dx ontolojisi) (Şekil 4.12) ve dijital dönüşüm kritik başarı faktörlerini (KBF-DD) (Tablo 2.6) LDx çerçeve modelinin tanımlanmasında kullanabilir miyiz? Dx modelimiz ve KBF-DD olgunluk değerlendirme modeli açısından dijitalizasyonu ne kadar temsil etmektedir ve kritik başarı faktörlerimiz ne kadar kapsayıcıdır ve holistik bir bakış açısı sunmaktadır?

Araştırma metodumuz Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. LDx Olgunluk Modeli Boyutları Araştırma Metodu

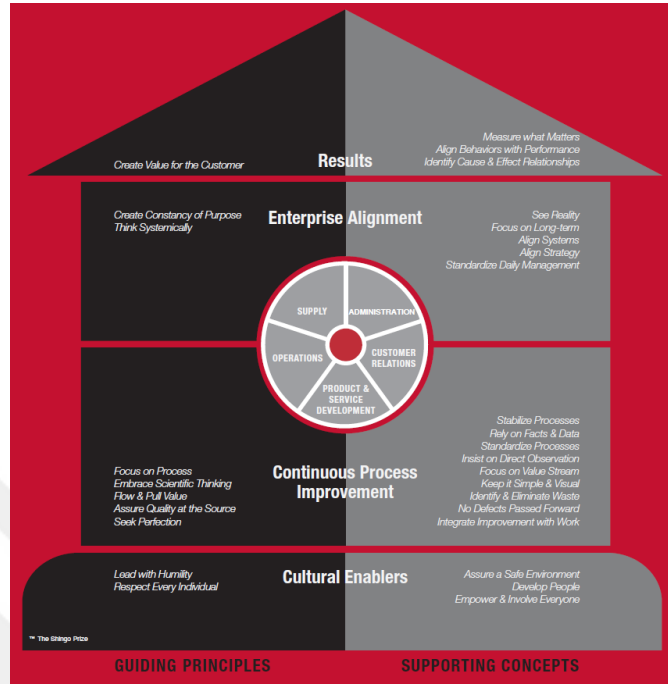
5.4. Araştırma (Literatür Taraması)

Literatür taramamız araştırma metodumuz kapsamında 4 ana başlıkta gerçekleştirilmiştir.

5.4.1. Yalınlik olgunluk modelleri, karşılaştırma ve kapsayıcılık

Yalınlik olgunluk modeli ve değerlendirme araçları çok yaygın olarak çalışılmıştır. Pakdil [82] 2012 yılında yalınlik değerlendirme aracı konusunda yaptığı çalışmada daha önce yapılmış 19 çalışmayı inceleyerek yeni bir değerlendirme aracı önermiştir. Bu konuda yapılan erken çalışmalardan biri olan LESAT-1 [79] olgunluk değerlendirme ve dönüşüm aracının 2. sürümü LESAT-2 [80] 2012 yılında önerilmiştir. Operasyonel mükemmellik için Shingo modeli [81] Toyota üretim sistemine benzer bir ev (house, temple) modeli tanımlarken, prensiplere ve felsefeye vurgu yapar bunu Shingo “Organizasyonlar çalışanlarının kapasite ve becerilerini araç tabanlı model ve kültür ile maksimize edemezler.(Organizations can never sufficiently release the full potential of their people by creating a tool-oriented culture.)” şeklinde ifade eder. Shingo modeli olgunluk değerlendirmesini ev modelini referans alarak 4

ana boyutta inceler (Şekil 5.2). Maasouman [83] master tezi çalışmasında yalınlık değerlendirme modelini operasyonel seviye planlamasına odaklanarak 7 boyutta önermiştir. Bu çalışmaların özeti Tablo 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Operasyonel Mükemmellik için Shingo Modeli [81]

Tablo 5.1. Yalınlık Olgunluk Modeli Çalışmaları ve Boyut Sayıları

Model İsmi	Kurum/ Yazar	Yıl	Ana Boyut Sayısı	Alt Boyut Sayısı
LESAT-1	MIT [79]	2001	14	54
LESAT-2	MIT [80]	2012	15	68
Shingo Model	Miller [81]	2012	4	30
LAT	Pakdil [82]	2012	8	62
LMM	Maasouman [83]	2014	7	35

Literatür yalınlık olgunluk modellerinde kullanılan ana boyutlar gruplandırılmış ve yalınlık modelindeki (ontoloji) karşılıkları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Literatür Yalınlık Değerlendirme ve Olgunluk Modelleri Ana Boyutlarının Yalınlık Modeli (Ontoloji) Karşılıkları Tablosu

Literatür Boyut	Yalınlık Modeli Karşılıkları		
	A(R)	A(K)	R*K
Quality [83, 90, 97-104]	10	7	70
Cost [90, 97, 99, 100, 105-108, 106]	8	2	16
Time [97, 102, 106, 108, 109], Time effectiveness [82], JIT delivery [96, 97, 101-104, 109, 110], JIT [83], Delivery [82]	16	7	112
Inventory [90, 94, 95, 100, 103, 107, 109]	7	1	7
Cellular manufacturing [98, 104, 108-110]	5	2	10
Employee involvement [94, 96, 98, 103, 108, 109], Adapt Lean paradigm [79], Create and Refine Transformation Plan [79]	8	6	48
Setup time [96, 98, 102, 104, 108, 109, 110]	7	1	7
Product value [106]	1	1	1
Safety [99, 101, 103], Lean Organizational Enablers[79], Organizational Enablers(Safety) [80], Cultural Enablers (safety) [81]	6	1	6
Productivity [99, 100]	2	2	4
Market share [107], Develop Product and Process[79]	2	2	4
Capacity [100]	1	4	4
Elimination of waste [93, 102, 109], Continuous Process Improvement (eliminate waste) [81], Various waste [92]	5	3	15
Continuous improvement [101, 102, 104, 109], Focus on Continuous Improvement [79], Continuous Process Improvement(Seek Perfection, Integrate Improvement with Work, Embrace Scientific Thinking) [81]	6	1	6
Pull system [96, 102, 104, 109, 110]	6	1	6
Multifunctional teams [102-104, 108, 109]	5	1	5
Decentralized responsibilities [102]			0
Integrated functions [102]			0
Vertical information systems [102]			0
Visual Management [94, 101, 103, 108-110], Implement Lean Initiatives [79], Implement and Coordinate Transformation Plan [80], Develop Enterprise Structure and Behavior [80], Nurture Transformation and Embed, Enterprise Thinking [80], Provide Capability to Monitor and Manage Risk and Performance [80], Organizational Enablers (Enterprise Performance Measurement) [80], Continuous Process Improvement(Keep it Simple and Visual, Rely on Facts and Data) [81]	13	3	39
Lean change strategy and sustainability [101], Enterprise Strategic planning [79], Adapt Lean paradigm [79], Business Acquisition and Program Management[79], Requirements Definition[79], Leadership [83], Engage enterprise leadership in transformation [80], Understand Current Enterprise State [80], Develop Enterprise Structure and Behavior[80], Organizational Enablers (environmental protection) [80]	10	7	70
Envision and Design Future Enterprise [80], Create Transformation Plan [80], Enterprise Alignment [81], Results (Align Behaviors with Performance, Identify Cause & Effect Relationships) [81], Envision and Design Future Enterprise [80]	5	4	20

Kısaltmalar: A(R): Referans adeti, A(K): Karşılık adeti; R*K = A(R) * A(K)

Tablo 5.2. (Devamı) Literatür Yalınlık Değerlendirme ve Olgunluk Modelleri Ana Boyutlarının Yalınlık Modeli (Ontoloji) Karşılıkları Tablosu

Literatür	Yalınlık Modeli Karşılıkları			
Boyut	A(R)	A(K)	R*K	Karşılık
Culture [101], Develop Lean structure and behaviour[79]	2	8	16	Kaizen -> <i>Standardization</i> , Kaizen -> <i>Learning Organization</i> , Stakeholder Satisfaction -> <i>Nemawashi</i> , Hitozukuri -> <i>Respect for People</i> , Customer First -> <i>Go and See</i> , Just in Time -> <i>Shortest Leadtime</i> Jidoka, Monozukuri -> <i>Culture of Stopping to Fix Problems</i>
Supplier issues [92, 94, 96, 108-110]	6	1	6	Stakeholder satisfaction/KPI
Investment priorities [92]	1	1	1	Stakeholder satisfaction -> <i>Nemawashi</i>
Lean practices [101, 92], Lean Organizational Enablers[79], Nurture Transformation and Embed Enterprise Thinking [80]	4	5	20	Hitozukuri -> <i>Learning Organization</i> , Kaizen -> <i>Learning Organization</i> , Kaizen/ (Problem Solving, PDCA), Hitozukuri -> <i>Respect for People</i> , Kaizen/Problem Solving/Standardize Successful Process/Yokoten
Customer [82], Distribute and Service Product[79] , Customer issues [92, 96, 103, 108, 110], Result (Create Value for the Customer) [81], Continuous Process Imp. (Insist on Direct Observation) [81]	9	3	27	Customer First, Customer First -> <i>Go and See</i> , Stakeholder Satisfaction
Environmental cleanliness, and order [94, 103, 110]	3	2	6	Kaizen/Standard Job/5S, Just in Time/Waste Reduction/Mura(unevenness) -> <i>Level Out Workload (Heijunka)</i>
Scheduling system [101, 103, 108, 109]	4	2	8	Just In Time/Waste Reduction/Mura (unevenness) -> <i>Level Out Workload (Heijunka)</i> , Monozukuri -> <i>Level Out Workload (Heijunka)</i>
Movement of materials [94, 103]	2	4	8	Monozukuri/Jundate (ordered part delivery), Monozukuri/Junbiki(sequential part supply), JIT/Kanban, JIT -> <i>Continuous Pull Flow</i>
Condition and maintenance of equipment, tool [94, 96, 104, 108, 110]	5	3	15	Kaizen/Standard Job/5S, Safety/Ergonomics, Monozukuri/Yosedomo(mothballing)
Management of complexity and variability [92]	1	3	3	Kaizen/Standardization, Mieruka -> <i>Nemawashi</i> , Mieruka -> <i>Culture of Stopping to Fix Problems</i>
Enterprise Strategic planning [79], Product design [108], Develop Product and Process[79], Align, Develop, and Leverage Enterprise Capabilities [80], Optimize Extended Enterprise Performance [80], Incorporate Downstream, Customer Value into the Enterprise Value Chain [80], Actively Engage Upstream Stakeholders to Maximize Value Creation [80]	7	4	28	Customer First/(5 Gen, 5 more Gen) -> <i>Go and See (Genchi Genbutsu)</i> , Monozukuri/Product Development, Stakeholder Satisfaction/Satisfied Customer/High Quality, Low Cost, Short Leadtime), Stakeholder Satisfaction/Satisfied Suppliers
Human Resources [82], People [83], Working Conditions [83], Workforce management [93, 110, 109], Develop Lean structure and behaviour[79], Organizational Enablers (Promulgate the Learning and Sharing Organization) [80], Cultural Enabler [81], Develop Enterprise Structure and Behavior [80]	10	4	40	Hitozukuri (making people) -> <i>Learning Organization</i> , Hitozukuri -> <i>Respect for People</i> , Safety -> <i>Respect for People</i> , Kaizen -> <i>Learning Organization</i>
Flow [104, 96], Focus on value stream [79], Continuous Process Improvement(flow and pull value) [81]	4	3	12	Just In Time -> <i>Continuous Pull Flow</i> , Just in Time -> <i>Standardization</i> , Monozukuri/(Jundate, Junbiki)
Controlled processes [93, 96]	2	1	2	Jidoka/Pokayoke(mistake proofing)
Flexibility [93]	1	3	3	Monozukuri (making things)/Heijunka, JIT, JIT -> <i>Standardization</i>
Process [82] , Develop Product and Process[79], Produce product[79] , Facilities [83], Production Processes [83] , Processes [93, 110, 108, 96, 101, 94], Continuous Process Improvement(Focus on Process, Stabilize Processes, Focus on Value stream) [81]	12	4	48	Monozukuri (making things), Kaizen, Hitozukuri, JIT
Production Processes [83] , Standardization [109], Lean Process Enablers[79], Process Enablers [80], Continuous Process Imp.(Standardize Processes) [81]	5	2	10	Kaizen/Standard Job, Kaizen -> <i>Standardization</i>
Use of space [103]	1	1	1	Just In Time/Waste Reduction
Manage Supply Chain[79], Distribute and Service Product[79]	2	3	6	Just In Time -> <i>Shortest Leadtime</i> , JIT -> <i>Continuous Pull Flow</i> , Stakeholder Satisfaction/Satisfied Customer/Short Leadtime
Determine strategic imperative (focus on stakeholder value) [80]	1	2	2	Stakeholder Satisfaction -> <i>Nemawashi</i> , Stakeholder satisfaction -> <i>Long Term Philosophy (Hoshin Kanri)</i>
Continuous Process Improvement(assure quality at the source, no defects passed forward) [81]	1	2	2	Jidoka, Monozukuri -> <i>Culture of Stopping to Fix Problems</i>
Focus on value stream [79], Results (Measure What Matters) [81]	2	2	4	Stakeholder Satisfaction/KPI, Mieruka/Obeya
TOPLAM	208	119	718	

Taranan 26 adet literatürden belirlenen ve belli alanlarda gruplandırılan 115 ana boyuttan 112'si için yalınlik modelinde kavram, prensip ve alt terimler kapsamında en az bir adet direkt karşılık bulunmaktadır. Tek bir çalışmada [102] kullanılan üç adet boyut için 'Decentralized responsibilities', 'Integrated functions' ve 'Vertical information systems', yalınlik modelinde direkt karşılık bulunamamıştır. 26 çalışmadaki tüm boyutların toplamı olan 208 boyuta, yalınlik modelimizde 718 terim karşılık olarak gösterilebilmiştir.

5.4.2. Endüstri 4.0 olgunluk modelleri, karşılaştırma ve kapsayıcılık

Endüstri 4.0 olgunluk değerlendirme modelleri de yaygın olarak çalışılmıştır. Literatür taramamız kapsamında Unal ve ark. [38] ve Pensel ve ark. [111] yaptığı çalışmaları referans alarak 39 adet çalışma taranmıştır. Çalışmalar aynı zamanda I4.0 ya da sınırlı ölçüde I5.0 dönüşümlerini konu alan boyutlarda içermektedir. Kapsayıcılık karşılaştırmasında çalışmalardaki boyutları KBF-DD ve Dx modelimiz ile eşleştirdik. Literatür I4.0 olgunluk modellerinde kullanılan ana boyutlar gruplandırılmış ve Dx ve KBF-DD'deki karşılıkları Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Literatür Endüstri 4.0 Değerlendirme ve Olgunluk Modelleri Ana Boyutlarının KBF-DD ve Dx Modeli (Ontoloji) Karşılıkları Tablosu

Literatür	KBF ve Dx Modeli Karşılıkları				
Boyut	A(R)	A(K)	R*K	KBF No	Karşılık
Strategy [116, 120, 122, 127, 129], Strategy and Organization [117, 130], Management strategy and organization [118], Organizational structure [121], Structure [122], Organizational alignment [123], Strategic level [124], Corporate strategy [126], Organization and democratization [126], Leadership [127], governance [127], Strategy and Management [36, 38, 113-115, 123, 130, 131, 133-147]	39	2	78	1,5	
factory of the future[116], smart factory [117, 130], cross-technology criteria [125], manufacturing [129]	5	4	20	7,11	Digitized Manufacturing,, Digital Engineering
people and culture [116], culture[121,122, 127], professional competence [126], flexible working models [126], Employees and corporate culture [38], Employee(s) [117, 130], corporate culture [36, 112, 113, 115, 131-133, 135-140, 140, 144-147]	26	3	78	2,8	Human Centricity
Employees [36, 112-114, 131-133, 130, 135-140, 142, 143-145, 146, 147]	20	2	40	8	Human Centricity
vertical and horizontal integration [117], vertical integration [125], horizontal integration [125], Organization and democratization [126], integration [128], supply chain [129], Customer and Suppliers [38], Organization & Processes [36, 112, 113, 115, 123, 130-136, 138-147]	29	2	58	3	Vertical and Horizontal Integration
distribution control [117]			0		

Kısaltmalar: A(R): Referans adeti, A(K): Karşılık adeti; $R*K = A(R) * A(K)$

Tablo 5.3. (Devamı) Literatür Endüstri 4.0 Değerlendirme ve Olgunluk Modelleri Ana Boyutlarının KBF-DD ve Dx Modeli (Ontoloji) Karşılıkları Tablosu

Literatür Boyut	KBF ve Dx Modeli Karşılıkları				
	A(R)	A(K)	R*K	KBF No	Karşılık
smart product(s) [117, 130], technology based smart products [118], cross-technology criteria [125], products [127], products and services [129], production and services [36, 113, 115, 130, 131, 134, 136, 139-143, 147]	19	6	114	7,11	Digital Engineering, Innovation, Knowledge Management, Sustainability
data governance [123], knowledge management [126], information [128], data driven services [117, 130], data and digitalization [36, 113-115, 123, 130, 132-137, 139, 140, 144-147]	23	4	92	7,11	Knowledge Management, Security (cyber)
resources [121], employee relationships [122], HR development strategy [126], health and safety [126], people [127]	5	2	10	8	Human Centricity
collaboration [118]	1	5	5	2,3,6	Human Centricity, Innovation
sustainable development [118], products and services [129], business based smart operations [118], business [128], business model [129]	2	3	6	11	Sustainability, Resiliency
value creation [119]	1	3	3		Digital Engineering, Innovation, Knowledge Management
values offer [119]	1	1	1		Innovation
value capture [119]	1	1	1		Sustainability
maturity [120]			0		
performance [120]	1	1	1		Knowledge Management
information systems[121], cross-technology criteria [125], Information and communication [126], communication [128]	4	4	16	7	Cybersecurity, Knowledge Management, Vertical and Horizontal Integration
design [122]	1	2	2	11	Digital Engineering, Digitized Manufacturing
management [122]	1	3	3	1,3,11	
process [122, 123], operation and process level [124], process orientation [126], operations [127], functional [128], smart operations [130], Organization & Processes [131]	8	3	24	11	Digital Engineering, Digitized Manufacturing
asset management [123], asset [128]	2		0		
application management [123]			0		
transformation [123]	1	2	2	1,11	
learning and growth perspective [124], learning competence [126]	2	5	10	2,3,8	Innovation, Human Centricity
competitiveness perspective [124]	1	1	1	11	
innovation perspective [124]	1	1	1		Innovation
financial level [124]	1	3	3	5,9,10	
socio-environmental level [124]	1	3	3		Innovation, Sustainability, Human Centricity
digital product development [125]	1	3	3	11	Digital Engineering, Digitized Manufacturing
employer branding [126]	1	5	5	3,4,6,8	Innovation
change management [126]	1	2	2	7,11	
customer(s) [127, 131, 134, 139, 143, 36, 147, 113]	8	3	24	11	Innovation, Vertical and Horizontal Integration
corporate environment [131, 133, 134, 143, 113]	5	3	15	2,11	Vertical and Horizontal Integration
acceptance and application of new technology and media [126], technology [36, 38, 112-115, 123, 127, 130-147]	27	5	135	7	Digitized Manufacturing, Digital Engineering, Knowledge Management, Cybersecurity
interoperability [129]	1	2	2		Vertical and Horizontal Integration, Knowledge Management
data and security [38]	1	2	2		Cybersecurity, Knowledge Management
supports and incentives [38]	1	2	2	9,10	
TOPLAM	242	93	762		

Taranan 39 adet literatürden belirlenen ve belli alanlarda gruplandırılan 99 ana boyuttan 94'ü için Dx modeli ve KBF-DD'de en az bir adet direkt karşılık bulunmaktadır. 39 çalışmadaki tüm boyutların toplamı olan 242 boyuta yalınlık modelimizde 762 terim karşılık olarak gösterilebilmiştir.

5.4.3. Yalınlık+Endüstri 4.0 olgunluk modelleri, karşılaştırma ve kapsayıcılık

Literatür taramamızda hem yalınlığı ve hem de I4.0'ı konu alan iki adet çalışma bulunmuştur. Kolla ve ark. [148] KOBİ'lere odaklanan çalışmalarında yalınlık alanında 10, I4.0 alanından 12 terimi değerlendirme modeli alt boyutları olarak 9 ana boyut altında listelemişlerdir. Bauer ve ark. [149] iki adımlı modellerinde 5 ana boyut tanımlamışlardır. Literatür yalınlık + I4.0 olgunluk modellerinde kullanılan ana boyutlar gruplandırılmış ve yalınlık + Dx karşılıkları Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Literatür Yalınlık + Endüstri 4.0 Değerlendirme ve Olgunluk Modelleri Boyutlarının Yalınlık ve Dx Modelleri (Ontoloji) Karşılıkları Tablosu

Literatür Boyut	Yalınlık ve Dx Modeli Karşılıkları			Karşılık
	A(R)	A(K)	R*K	
Strategy[149], Strategic planning and implementation of Lean tools [148]	2	1	2	Stakeholder Satisfaction
Processes/Value Stream [149]	1	3	3	Just In Time -> Continuous Pull Flow, Just in Time -> Standardization, Monozukuri/(Jundate, Junbiki)
Organization [149]	1	7	7	Stakeholder Satisfaction/Dandori -> Long Term Philosophy (Hoshin Kanri), Stakeholder Satisfaction -> Nemawashi (make decision by consensus), Kaizen -> Standardization, Kaizen -> Learning Organization, Kaizen/ (Kaikaku, Kakushin, Jishuken), Hitozukuri -> Respect for People, Customer First -> Go and See
personnal [149]	1	6	6	Hitozukuri, Hitozukuri/Teamwork/Mendomi, Stakeholder Satisfaction/Satisfied Employees, Hitozukuri -> Respect for People, Just in Time/Waste Reduction -> Respect for People, Safety -> Respect for People
method/tools[149], SMED[148], Heijunka[148]	3	1	3	Monozukuri
Continous improvement (kaizen) [148]	1	1	1	Kaizen
smart facilities [148]	1	2	2	Digitized manufacturing, Digital engineering
simulation models [10]	1	2	2	Digitized manufacturing, Digital engineering
vertical integration [148], horizontal integration [148]	2	1	2	Vertical and Horizontal Integration
machine to machine communication[148], human to machine interface [148]	2	3	6	Monozukuri, Digitized Manufacturing, Digital Engineering
value stream mapping [148]	1	3	3	Just In Time -> Continuous Pull Flow, Just in Time -> Standardization, Monozukuri/(Jundate, Junbiki)
material replenishment, VSM, standardization [148]	1	1	1	Kaizen-> Standardization
KPI [148]	1	1	1	Stakeholder satisfaction/KPI
Big data analytics of decision making [148]	1	2	2	Knowledge Management, Mieruka (visualization)
Multiple suppliers [148]	1	2	2	Resiliency, Sustainability
Training on Lean tools [148]	1	5	5	Hitozukuri -> Learning Organization, Kaizen -> Learning Organization, Kaizen/ (Problem Solving, PDCA), Hitozukuri -> Respect for People, Kaizen/Problem Solving/Standardize Successfull Process/Yokoten
Training on technology [148]	1	2	2	Human Centricity, Innovation
TOPLAM	22	17	50	

Kısaltmalar: A(R): Referans adeti, A(K): Karşılık adeti; $R*K = A(R) * A(K)$

Taranan 2 adet literatürden belirlenen ve belli alanlarda gruplandırılan 22 boyutun tamamı için yalınlık + Dx modelinde kavram, prensip ve alt terimler kapsamında en az bir adet direkt karşılık bulunmaktadır. 2 çalışmadaki tüm boyutların toplamı olan 22 boyuta, yalınlık ve Dx modellerimizde 50 terim karşılık olarak gösterilebilmiştir.

5.4.4. Endüstri 5.0 olgunluk modelleri, karşılaştırma ve kapsayıcılık

Literatür taramamızda I5.0'a odaklanan bir adet çalışma bulunmuştur [150]. Pensel ve ark. [111] yaptıkları çalışmada I5.0 kavramlarının bazılarını veya tamamını adresleyen I4.0 odaklı 12 adet çalışma belirlemişlerdir. Bu çalışmaların listesi I5.0 kavramları kapsayıcılıklarıyla beraber Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.4. Literatür I5.0 Değerlendirme ve Olgunluk Modelleri

Çalışma	Human Centricity	Resiliency	Sustainability
Sjodin ve ark. [112]		x	
Szedlak ve ark. [115]		x	
Gokalp ve Sener [123]		x	
Bettoni ve ark [132]	x	x	
Bozic Yams ve ark [133]	x	x	x
Chen ve ark. [134]		x	x
Comuzzi ve Patel [135]		x	
Mittal ve ark. [140]		x	
Munnich ve ark. [142]		x	
Scuh ve ark. [144]		x	x
Schuster ve ark. [146]	x		
Simetinger ve Basl [147]		x	
Bajic ve ark. [150]	x	x	x

Taranan literatür I5.0 paradigmasını seçili boyutlarda sınırlı kapsamda adreslemektedir. Dx modelimiz literatür taramasında da referans olarak alınan I5.0'ın 3 ana kavramını içermektedir.

5.5. Hipotez Testi

Önceki dört bölümde detaylı olarak gösterilen literatür taraması sonuçları Tablo 5.5'te özetlenmiştir.

Tablo 5.5. Olgunluk Modelleri Literatür Taraması ve Karşılaştırma Sonuçları

Literatür			Tez Modelleri ve KBF				
Alan	Literatür Sayısı	Boyut Sayısı	Kapsanan Boyut Sayısı	%	Karşılık Terim Sayısı	Karşılık Oranı	Model/ KBF
Yalınlık	26	211	208	99%	718	3.40	Yalınlık
Endüstri 4.0	39	245	240	98%	762	3.11	KBF-DD + Dx
Yalınlık+ Endüstri 4.0	2	22	22	100%	50	2.27	Yalınlık + Dx
Endüstri 5.0	12	3	3	100%	3	1.00	Dx

Bu tabloya göre mevcut olgunluk modellerindeki boyut kapsanma oranı minimum %98 olarak görülmektedir. Karşılık terim oranı olgunluk modeli çalışmalarının yaygın olarak çalışıldığı Yalınlık ve I4.0 için 3'ün üstünde, sınırlı çalışmanın bulunduğu yalınlık+ I4.0 için ise 2'nin üstünde gerçekleşmiştir. Endüstri 5.0 için tam kapsama sonucuna görülmektedir. Bu sonuçlar ile hipotezimiz test edildiği sonucuna ulaşırız. Yalınlığı güçlendirme bağlantılarının önermesinde Table 2.2'deki çalışma sonuçlarını kullanmış ve tezimiz kapsamında uzmanlarla 12 adet bağlantı için etki sonuçları elde etmiştik. Bu sonuçları LDx modeli önermesinde, LESAT-1 [79] ve LESAT-2 [80] modellerinde görülen yalınlığa geçiş boyutları bakışı gibi dijital dönüşüm paradigması noktasında LDx modeli önermesinde ve olgunluk modeli önerisi model boyutlarının bu dönüşümü de adreslemesi için kullanacağız.

5.6. LDx Modeli (LDx Ontolojisi) Tanımı

Hipotez testi sonuçları yalınlık ve Dx modellerini LDx modeli önerimizde kullanabileceğimizi söyler. Şekil 5.1'deki araştırma metodumuzun "LDx modeli tanımı" adımı kapsamında ana kavramları belirleyeceğiz. Bu adım için araştırmamızın çok boyutlu etkileşim matrisi ve Dx'in yalınlığa etkisi (Tablo 4.1) sonuçlarından yararlanacağız. Bu sonuçlar ana olarak dijital dönüşümde yalınlığı güçlendirme (reinforcement) bağlantılarını ifade eder. Bu sonuçları LDx modeli tanımında kullanmak için iki ayrı terim ile ifade edeceğiz ve eşleştireceğiz. Bu eşleştirmede ana kavramların ontolojilerini kullanacağız. Kavramların ontolojilerine ve EK B'deki önerme açıklamalarına baktığımızda güçlendirme terimini iki ayrı terim ile ifade edebiliriz. Bu terimler genişletme (extend) ve destekleme (stimulate) olarak Tablo 5.6'da yüklediğimiz anlam ve açıklamalarla verilmiştir.

Tablo 5.6. Güçlendirme(reinforcement) Terimi LDx Modeli Sınıflandırması

Terim	Açıklama
Genişletme (extend)	İlişkili yalınlık ve Dx kavramlarının ontolojik içeriklerine bakıldığında Dx kavramı Yalınlık kavramını kapsamakta ve yeni terimlerle genişletmektedir.
Destekleme (stimulate)	İlişkili yalınlık ve Dx kavramlarının ontolojik içeriklerine bakıldığında, Dx kavramı Yalınlık kavramını desteklemektedir.

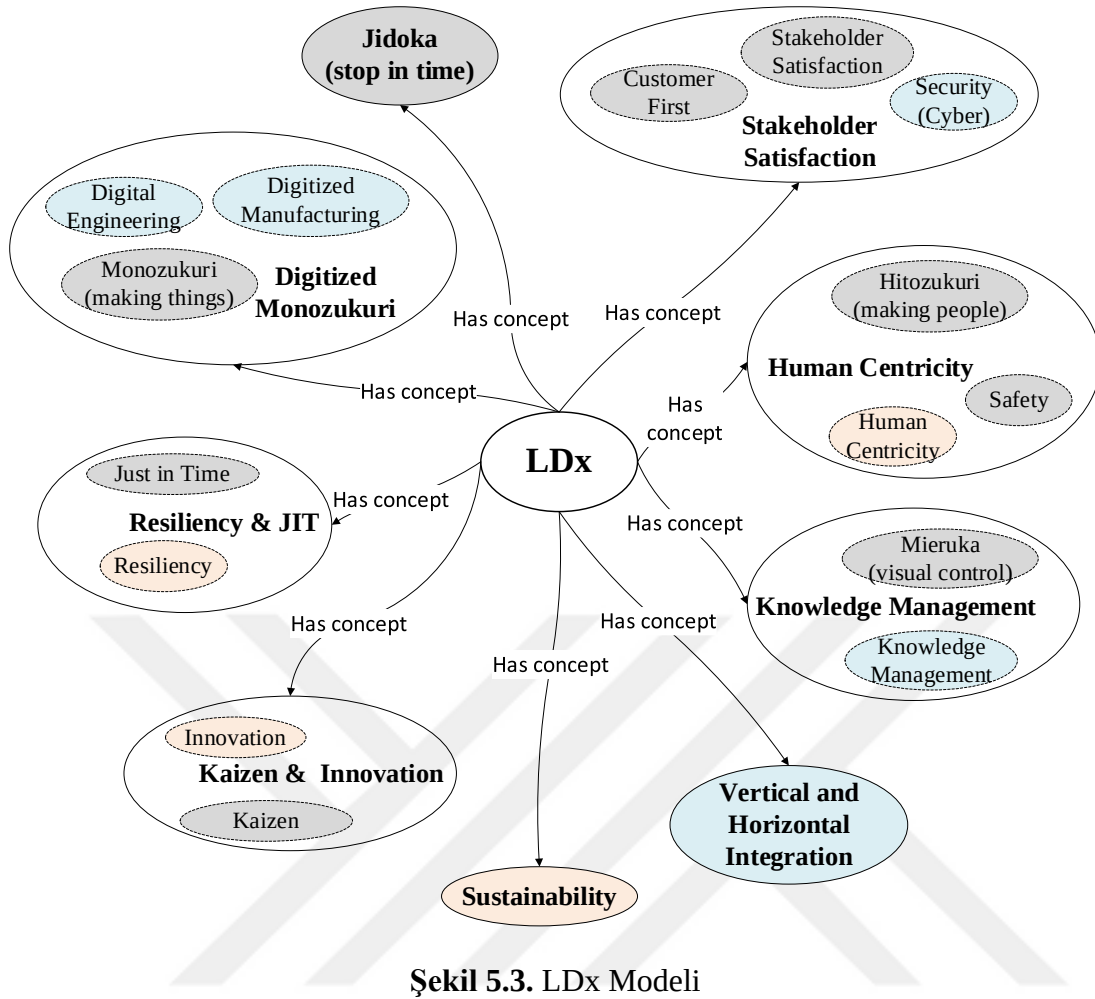
Tablo 2.4’te verilen çok boyutlu Yalınlık-Dx ilişki matrisi üzerine araştırma sonuçlarımız ve “güçlendirme” sınıflandırması Tablo 5.6’da verilen tanıma göre belirlenerek Tablo 5.7’de gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Çok Boyutlu Matris Güçlendirme ilişkileri ve Sınıflandırması

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Innovation	Human Centricity	Resiliency	Security (Cyber)	Digital Manufacturing	Digital Engineering	Knowledge Management	Vertical & Horizontal Integ	Sustainability
1	Kaizen	(L1) 4.5 genişletme	(L3) 4.4 destek					(L9) 4.5 stimulate		
2	Customer First	(L2) 4.5 destek	(L4) 4.4 destek			(L7) 4 destek	(L7) 4 destek			
3	Stakeholder Satisfaction	(L2) 4.5 destek	(L4) 4.4 destek		(L6) 4.5 genişletme	(L7) 4 destek	(L7) 4 destek			(L12) 4 destek
4	Hitozukuri (making people)	(L2) 4.5 destek	(L4) 4.4 genişletme			(L7) 4 destek	(L7) 4 destek		(L11) 3.5 destek	
5	Safety		(L4) 4.4 genişletme		(L6) 4.5 destek	(L7) 4 destek	(L7) 4 destek			
6	Monozukuri (making things)		(L3) 4.4 destek	(L5) 4.4 destek		(L8) 4.5 genişletme	(L8) 4.5 genişletme			
7	Just in Time			(L5) 4.4 genişletme				(L10) 4.5 destek	(L11) 3.5 destek	(L12) 4 destek
8	Mieruka (visual control)							(L9) 4.5 genişletme		
9	Jidoka (stop in time)		(L3) 4.4 destek			(L8) 4.5 destek	(L8) 4.5 destek	(L10) 4.5 destek		

LDx modeli önermemizde ilişki matrisine göre genişletme olarak tanımlanan kavramları birleştirerek LDx modeli ana kavramı olarak ifade edeceğiz. Yeni modelimizde “customer first” kavramının “stakeholder satisfaction” kavramı tarafından kapsanmasını göz önüne alarak beraber göstereceğiz.

Yalınlık güçlendirme ilişkileri değerlendirmesi sonrası genişletilmiş kavramların gruplandırılması ile önerilen LDx modeli gruplandırılmış ve isimlendirilmiş kavramlarla Şekil 5.8’de önerilmiştir.



Şekil 5.3. LDx Modeli

5.7. LDx Olgunluk Değerlendirme Modeli Boyutları Önerisi

Literatür taramamız, LDx modeli önerisi, yalınlık ve Dx ontolojileri, KBF-DD, KBF-YS kritik başarı faktörlerini de değerlendirerek LDx modeli için olgunluk değerlendirme ana ve alt boyutları Tablo 5.8’de listelenmiştir. Ana boyutlar Şekil 5.3’teki kavramlar olarak belirlenmiştir. Alt boyutlar kritik başarı faktörleri esas alınarak tanım olarak ifade edilmiştir. Bu tanımlamalar önerilecek modellerde kısaltılarak ve ontoloji ve ilişki bağlantıları gözönüne alınarak detaylandırılabilir.

Tablo 5.8. LDx Olgunluk Modeli Boyutları

Ana Boyut	Alt Boyutlar
	Üretim ve ARGE'nin dönüşümü – döngüsel üretim ve tasarım, sanallaştırma, düşey ve yatay entegrasyon (Manufacturing/R&D transformation (circular manufacturing/ design, virtualization, vertical & horizontal integration))
Sürekli İyileştirme ve İnnovasyon (Kaizen & Innovation)	Kaizen anlayışı ve çalışanın etkinliği için standardizasyonu koru ve çok yakından izle (Keep standardization and strictly watch which is base for kaizen and employee empowerment) Dx ile beraber farklı şekillerde ve yöntemlerle üretilebilecek veri ve bilgiye güven ama Dx'in innovasyon yaklaşımı ile öğrenen organizasyon kültürü için problem çözme ve PUKÖ yöntemlerini koru (Trust data but keep problem solving and PDCA culture as Dx need a learning organization with innovation)
	Üst yönetimin desteği ve dönüşümsel liderlik yaklaşımı (Commitment of top management and transformational leadership style) Organizasyonel dönüşüm – siloları kaldırmak, yetenek yönetimi, entegrasyon (Organizational transformation (breaking silos, talent management, integrations)) IT dönüşüm ve yol haritası – siber güvenlik, IoT, bulut, yenileme, veri bilimi, yapay zeka vb.) (IT transformation, roadmap (Cybersecurity, IoT, cloud, legacy migration, Data Science, AI, etc.))
Paydaş Tatmini (Stakeholder Satisfaction)	Finansal kaynaklara ve yatırım stratejisine sahip olma (Availability of financial resources and investment strategies) Yetkin dış kaynak ve danışmanlık kullanımı (External Support (consultation)) Tedarikçilerin dayanıklı ve sürdürülebilir benzer dönüşümlerine özel önem ver, onlar da Dx dönüşümünü yapmalılar ve desteğe ihtiyaçları var (Keep additional focus on supplier development, pace, resiliency and sustainability. They need to transform as well and need help) Dx ile beraber farklı şekillerde ve yöntemlerle üretilebilecek veri ve bilgiye güven ama Nemawashi'den ödün verme, çeviklik için anlamlı bir şekilde kullan (Trust data but do not lose Nemawashi (consensus building), utilize it meaningfully to be agile) En kısa teslim, kişiselleştirme (shortest leadtime, mass personalization)

Tablo 5.8.(Devamı) LDx Olgunluk Modeli Boyutları

Ana Boyut	Alt Boyutlar
İnsan Odaklılık (Human Centricity)	Ortak hedeflere odaklı takım çalışması (Teamwork to achieve common objectives) İnsan odaklılık – çeşitlilik ve farklılıkları benimseme, çalışanın iyilik ve refahını tüm açılardan gözetme (Human Centricity (diversity and wellbeing of employee with all aspects)) Eğitimin dönüşümü, üniversiteler ve eğitim kurumları ile yakın iş birliği – STEAM, staj programları (Public education transformation, collaboration with university/education (e.g. STEAM, internship)) İş gücünün dönüşümü – eğitime, yetenekleri geliştirme, yeni yetenekler kazandırma, yetki verme, tüm çalışanların dijital ve IT yeteneklerini geliştirme (People (resource) transformation (skilling, upskilling, reskilling), empowerment, citizen development)
Dijital Üretim Sanatı (Digitized Monozukuri)	IT dönüşüm ve yol haritası – siber güvenlik, IoT, bulut, yenileme, veri bilimi, yapay zeka vb.) (IT transformation, roadmap (Cybersecurity, IoT, cloud, legacy migration, Data Science, AI, etc.)) Üretim ve ARGE'nin dönüşümü – döngüsel üretim ve tasarım, sanallaştırma, düşey ve yatay entegrasyon (Manufacturing/R&D transformation (circular manufacturing/ design, virtualization, vertical & horizontal integration)) Gemba'yı koru, kaybetme (Keep Gemba (go and see), do not lose) İnsan dokunuşu ile otomasyon yaklaşımını koru ve gözet, insan ve sahiplenme yalınlığının temel bileşenidir (Keep/watch automation (automation w/human touch), people and ownership is core element of Lean)
Dayanıklılık ve Tam Zamanında (Resiliency & Just in Time)	IT dönüşüm ve yol haritası – siber güvenlik, IoT, bulut, yenileme, veri bilimi, yapay zeka vb.) (IT transformation, roadmap (Cybersecurity, IoT, cloud, legacy migration, Data Science, AI, etc.)) Öğrenen organizasyon (Learning organization)
Bilgi Yönetimi (Knowledge Management)	IT dönüşüm ve yol haritası – siber güvenlik, IoT, bulut, yenileme, veri bilimi, yapay zeka vb.) (IT transformation, roadmap (Cybersecurity, IoT, cloud, legacy migration, Data Science, AI, etc.)) Dönüşüm doğasında güç ve zordur, görsel kontrol bu süreçte JKK ve Jidoka için çok daha önemli olacaktır (Transformation in nature is a challenge, visual control will be more important than ever for JKK and Jidoka) Dx ile beraber farklı şekillerde ve yöntemlerle üretilebilecek veri ve bilgiye güven ama Nemawashi'den ödün verme, çeviklik için anlamlı bir şekilde kullan (Trust data but do not lose Nemawashi (consensus building), utilize it meaningfully to be agile)

Tablo 5.8.(Devamı) LDx Olgunluk Modeli Boyutları

Ana Boyut	Alt Boyutlar
Zamanında Durma (Jidoka)	Jidoka'dan ödün verme, problemler görünür kalsın (Never compromise jidoka (stop in time) to keep the problems on the surface) Keep and enforce JKK (build in quality w/ ownership) which will be more critical with digitalization (Yerinde kaliteyi, sahiplenme anlayışı (JKK) ile koru ve güçlendir. Dx ile beraber daha önemli bir bileşen olacaktır)
Düşey ve Yatay Entegrasyon (Vertical & Horizontal Integration)	IT dönüşüm ve yol haritası – siber güvenlik, IoT, bulut, yenileme, veri bilimi, yapay zeka vb.) (IT transformation, roadmap (Cybersecurity, IoT, cloud, legacy migration, Data Science, AI, etc.)) Üretim ve ARGE'nin dönüşümü – döngüsel üretim ve tasarım, sanallaştırma, düşey ve yatay entegrasyon (Manufacturing/R&D transformation (circular manufacturing/ design, virtualization, vertical & horizontal integration)) Tedarikçilerin dayanıklı ve sürdürülebilir benzer dönüşümlerine özel önem ver, onlar da Dx dönüşümünü yapmalılar ve desteğe ihtiyaçları var (Keep additional focus on supplier development, pace, resiliency and sustainability. They need to transform as well and need help)
Sürdürülebilirlik (Sustainability)	İnsan odaklılık – çeşitlilik ve farklılıkları benimseme, çalışanın iyilik ve refahını tüm açılardan gözetme (Human Centricity (diversity and wellbeing of employee with all aspects)) Eğitimin dönüşümü, üniversiteler ve eğitim kurumları ile yakın iş birliği – STEAM, staj programları (Public education transformation, collaboration with university/education (e.g. STEAM, internship)) İş gücünün dönüşümü – eğitime, yetenekleri geliştirme, yeni yetenekler kazandırma, yetki verme, tüm çalışanların dijital ve IT yeteneklerini geliştirme (People (resource) transformation (skilling, upskilling, reskilling), empowerment, citizen development) Dış destekler – teşvikler, yasal düzenlemeler (External Support (incentives, regulations)) Üretim ve ARGE'nin dönüşümü – döngüsel üretim ve tasarım, sanallaştırma, düşey ve yatay entegrasyon (Manufacturing/R&D transformation (circular manufacturing/ design, virtualization, vertical & horizontal integration)) Tedarikçilerin dayanıklı ve sürdürülebilir benzer dönüşümlerine özel önem ver, onlar da Dx dönüşümünü yapmalılar ve desteğe ihtiyaçları var (Keep additional focus on supplier development, pace, resiliency and sustainability. They need to transform as well and need help) Öğrenen organizasyon (Learning organization)



6. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde ilk olarak araştırma sonucu ulaştığımız sonuçlar, takip eden kısımda değerlendirme modeli sonuçları tartışılacaktır. Sonuç ve öneriler kısmı ile tezimiz sonlandırılacaktır.

6.1. Kurulum ve Geliştirme Stratejileri

“Çevik, başarılı bir dijital dönüşüm (Dx) gerçekleştirmek” için dijital dönüşüm kritik başarı faktörleri Tablo 6.1’de sıralanarak sunulmuştur. Dijital dönüşüm için en önemli iki faktör, “üst yönetim desteği ve dönüşümsel liderlik yaklaşımı” ile “organizasyonel dönüşüm” olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, yöneticilerin, dijital dönüşümün herkesin öncelikli sorumluluğu olduğu konusunda şirket genelinde bir farkındalık oluşturması, üstten aşağıya bir yaklaşım benimsemesi ve insanların farkındalığını ve tam katılımını sağlamaları gerekmektedir [151]. Organizasyonel dönüşüm, bölümler arası engelleri kaldırmalı [152] , yetenekleri yönetmeli ve paydaşlarla entegrasyonu sağlamalıdır [153].

Tablo 6.1. Dijital Dönüşüm Kritik Başarı Faktörleri Sıralaması (KBF-DD)

Sıra	Faktör	Değ.	Önem
1	Üst yönetimin desteği ve dönüşümsel liderlik yaklaşımı	4.4	Çok önemli
2	Organizasyonel dönüşüm – siloları kaldırmak, yetenek yönetimi, entegrasyon	4.4	Çok önemli
3	Ortak hedeflere odaklı takım çalışması	4.2	Çok önemli
4	İnsan odaklılık – çeşitlilik ve farklılıkları benimseme, çalışanın iyilik ve refahını tüm açılardan gözetme	4.2	Çok önemli
5	İş gücünün dönüşümü – eğitime, yetenekleri geliştirme, yeni yetenekler kazandırma, yetki verme, tüm çalışanların dijital ve IT yeteneklerini geliştirme	4.1	Çok önemli
6	IT dönüşümü ve yol haritası – siber güvenlik, IoT, bulut, yenileme, veri bilimi, yapay zeka vb	3.7	Önemli/çok önemli
7	Finansal kaynaklara ve yatırım stratejisine sahip olma	3.3	Önemli
8	Üretim ve ARGE’nin dönüşümü – döngüsel üretim ve tasarım, sanallaştırma, dikey ve yatay entegrasyon	3.3	Önemli
9	Eğitimin dönüşümü, üniversiteler ve eğitim kurumları ile yakın iş birliği – STEAM, staj programları	3.2	Önemli
10	Yetkin dış kaynak ve danışmanlık kullanımı	3.0	Önemli
11	Dış destekler – teşvikler, yasal düzenlemeler	2.9	Önemli

“Takım Çalışması”, “insan odaklılık” ve “İş gücünün dönüşümü” grubu, ilk iki kritik başarı faktörünü takip etmekte, dijital dönüşüm sürecinin ana destekleyici unsurunun, insanı merkeze alan, gerilimi azaltan, takım olarak çalışan iş gücü olduğunu göstermektedir. Bu konu Margherita ve ark. [49] tarafından detaylı olarak incelenmiştir. Dönüşümsel liderlik tarzı, “geri bildirim arama” davranışını teşvik etmeli ve “başkaları için hareket etme, ekip olarak çalışma” ilkelerini (Toyota Yöntemi 2020) önceliklendirmeli, böylece çeviklik için takım çalışmasını güçlendirmelidir. Öte yandan, dönüşümsel liderlik tarzı ve dijital teknolojileri mevcut yalın üretim sistemleri ile entegre etme, Johansson ve ark. [50] tarafından detaylandırıldığı gibi paradokslar yaratmaktadır. İkinci KBF grubu da yalınlık düşüncesi açısından hem paradoksları hem de diyalektik bakış açılarını adreslemektedir. Yöneticilerin, bu üç KBF’yi de temel dönüşüm destekleyicileri olarak görmeleri önemlidir. Dx, kültürel bir değişim getirir ve “İnsan odaklılık”, karmaşıklıkları dengelemek için anahtar bir kavramdır. Bu sonuç, yalınlık felsefesi ve onun anahtar kavramı ve prensibi (Hitozukuri - insan yetiştirme ve öğrenen organizasyon) ile uyumludur. Bu sonuçlar ayrıca, dijital yetenek ve becerilerin ve yalınlık kavram ve prensipleri ile entegrasyonun insana, insan becerilerinin güçlendirilmesine dayandığını, toplam beceri ve kabiliyet artışını teşvik ettiğini gösterir. Öğrenen organizasyon ve problem çözme becerilerinin bu şekilde geliştirilmesi açısı Galeazzo ve ark. [154] ve Powell ve ark. [48] tarafından incelenmiştir. Bu bakış açılarıyla uyumlu olarak, L-1, L-2, L-3 ve L-4 bağlantıları, yöneticiler için bu KBF’lerle ilgili yalınlığı güçlendirme yollarını göstermektedir.

“IT dönüşümü ve yol haritası” kritik başarı faktörü orta sıralarda yer alır, ancak yaygın anlayışın aksine üst sıralarda değildir. KBF-DD sıralaması, teknolojinin beklenen faydayı sağlamasının, yönetim ve insanların bunu bir ihtiyaç olarak iyi anlaması, kavraması ve neredeyse tüm çalışanlar tarafından (citizen development) kullanılması ve geliştirilmesi ile mümkün olacağını söyler. Teknoloji alanında , dijitalleşme için anahtar kavram, bir şirketin sürdürülebilirliği ve dayanıklılığı için güvenlidir (cyber security). Yöneticilerin siber güvenlik kavramını önceliklendirmeleri ve L-6 bağlantısını yalınlık için temel bir güçlendirme noktası olarak görmeleri gerekmektedir.

“Finansal kaynaklar” kritik başarı faktörünün sıralamadaki yeri, şirketin bir dijital dönüşüm vizyonu varsa ve bu doğrultuda iş gücü ile ilgili kritik başarı faktörleri

üzerinde çalışıyorsa beklenen faydayı sağlayacağını söylemektedir. Yöneticiler finansal kaynak başlığına ilk 6 KBF önceliği ve aksiyonları sonrası odaklanmalıdırlar.

“Üretim ve ARGE’nin dönüşümü”, paydaşlarla (tedarikçiler ve müşteriler) entegrasyona ve yasa koyucular tarafından desteklenen/sıkılaştırılan sürdürülebilirlik ve dayanıklılık kavramlarına odaklanmayı ifade etmektedir. “İnsan odaklılık” ile birlikte, bu kritik başarı faktörü, yalınlığın sosyo-teknik bir yansıması olarak yorumlanabilir. Bu açı, yalınlık modelinde “paydaş memnuniyeti” kavramı ve “insana saygı” ile “israfın ortadan kaldırılması” prensipleriyle uzmanlar tarafından modellenmiş ve doğrulanmıştır. Aynı açı, Dx modelinde, “insan odaklılık”, “sürdürülebilirlik” ve “dayanıklılık” kavramlarıyla modellenmiştir. Dijital dönüşümün yalınlığın sosyal yapı üzerindeki olumlu etkisi Chavez ve ark. [51] tarafından detaylandırılmıştır. Yöneticiler sadece şirket içine değil, tedarikçilere ve aynı zamanda yoğun ve yaygın kişiselleştirme yoluyla müşteri beklentilerini de karşılamaya odaklanmalıdırlar. Dijitalleşme kişiye özel ürün ve hizmetlerin ötesinde yoğun ve yaygın özelleştirmeye imkan vermektedir. Ahelerof ve ark. [155] tarafından irdelenen bu konu, yalınlığın bu ihtiyacı karşılama için nasıl bir temel oluşturduğunu açıklamaktadır.

“Eğitimin dönüşümü ve üniversiteler ve eğitim kurumlarıyla iş birliği” kritik başarı faktörü 9. sırada yer almaktadır. Yöneticilerin mevcut kaynaklarına yeni yetenekler ve beceriler kazandırmaları gerekmektedir. Üniversitelerle yapılan iş birliği, bu alanda üretimi taktiksel olarak desteklemektedir. İhtiyaç anında işe alım stratejisi artık sürdürülebilir değildir. Üretim, hem teknik hem de iş alanı ve hayatı kapsayan yaygın ve yatay becerilere sahip bir iş gücüne ihtiyaç duymaktadır. Yöneticilerin, kamu eğitimini daha fazla desteklemeleri ve iş birliği içinde olmaları gerekmektedir. Bu, ortak programlar (örneğin, STEAM) ve daha uzun staj programları (lise eğitimi dahil), ve benzeri yaklaşımlar aracılığıyla gerçekleştirilebilir.

“Yetkin dış kaynak ve danışmanlık kullanımı” ve “dış destekler”, dijital dönüşüm sürecine yardımcı olacak ve hızlandıracak kritik başarı faktörleri olarak değerlendirilmektedir. Ancak, listede en altta yer almaktadırlar. Bu, iş yerinin ilk 9 KBF ile iyi bir anlayış ve katılım düzeyine sahip olmaması durumunda, dış desteklerin Dx dönüşümü üzerinde anlamlı bir etkisi olmayacağı şeklinde yorumlanabilir. Bu çalışmada, iki dış destek KBF’nin ağırlıkları diğerlerine kıyasla göreceli olarak düşüktür. Bu, anketin yapıldığı şirketin, KOBİ’lere kıyasla yeterli finansal ve insan

kaynaklarına sahip bir işletme olmasından kaynaklanıyor olabilir. Eğer benzer bir anket, KOBİ'lerle tekrarlanırsa, bu değerlerin daha yüksek olacağı söylenebilir. Benzer bir bakış açısıyla, ‘üniversitelerle iş birliği’ daha fazla önceliklendirilebilir. Bu durum, bu çalışmanın bir sınırlaması olarak değerlendirilebilir.

“Dijital dönüşümde yalınlığı sürdürme” kritik başarı faktörleri sıralanarak Tablo 6.2’de sunulmuştur. Yalınlığı sürdürmek için uzmanlar, “Gemba’yı koru, kaybetme” prensibini, “Jidoka (zamanda durdurma)” , “JKK (sahiplik ile kalite oluşturma)”, “insan dokunuşu ile otomasyon” ve “standartlaştırma” gibi yalınlığın anahtar kavram ve prensipleri ile beraber önceliklendirmişlerdir. Büyük veri oluşturma ve raporlama, IoT ve yapay zeka gibi dijital teknolojilerin uygulanması, bu temel TPS terimlerinin ihmal edilmesine neden olabilir. “Problem çözme kültürü ve PUKÖ yaklaşımı” korunması bu KBF’leri takip etmektedir. Dx dönüşümü doğası gereği süreklilik gösteren önemli bir değişimdir (henkaten). Problem çözme kültürü ve PUKÖ döngüsü, bu yolculukta değişimleri yönetmek için temel araçlardır.

Tablo 6.2. Yalınlığı Sürdürme Kritik Başarı Faktörleri Sıralaması (KBF-YS)

Sıra	Faktör	Değ.	Önem
1	Gemba’yı koru, kaybetme	4.5	Çok çok önemli
2	Jidoka’dan ödün verme, problemler görünür kalsın	4.4	Çok önemli
3	Yerinde kaliteyi, sahiplenme anlayışı (JKK) ile koru ve güçlendir. Dx ile beraber daha önemli bir bileşen olacaktır	4.3	Çok önemli
4	İnsan dokunuşu ile otomasyon yaklaşımını koru ve gözet, insan ve sahiplenme yalınlığın temel bileşenidir	4.2	Çok önemli
5	Kaizen anlayışı ve çalışanın etkinliği için standardizasyonu koru ve çok yakından izle	4.0	Çok önemli
6	Dx ile beraber farklı şekillerde ve yöntemlerle üretilebilecek veri ve bilgiye güven ama Dx’in inovasyon yaklaşımı ile öğrenen organizasyon kültürü için problem çözme ve PUKÖ yöntemlerini koru	3.9	Çok önemli
7	Dönüşüm doğasında güç ve zordur, görsel kontrol bu süreçte JKK ve Jidoka için çok daha önemli olacaktır	3.8	Çok önemli
8	Dx ile beraber farklı şekillerde ve yöntemlerle üretilebilecek veri ve bilgiye güven ama Nemawashi’den ödün verme, çeviklik için anlamlı bir şekilde kullan	3.7	Önemli
9	Tedarikçilerin dayanıklı ve sürdürülebilir benzer dönüşümlerine özel önem ver, onlar da Dx dönüşümünü yapmalılar ve desteğe ihtiyaçları var	3.5	Önemli

“Görsel kontrol”, TPS’nin (Toyota Üretim Sistemi) bir diğer anahtar kavramıdır. “Görsel kontrol”, doğru karar verme (nemawashi), takım çalışması ve sorunları zamanında görüp, durup, çözme prensiplerini uygulamayı sağlar. Veri bilimi ve yapay zeka, verilerle çalışarak anlamlı ve amaca yönelik çıktılar, sonuçlar üretir ancak bu

çıktılar her zaman karar verme için yeterli olmayabilir. Nemawashi, yalnızca bir uzlaşma sağlama aracı değil, aynı zamanda bilgi paylaşımı ve çalışan katılımı aracıdır. Bu yöntem, bilgi doğruluğunu teyid ve kontrol eder ve doğru karara ulaşılmasını sağlar. Bu prensip için insan faktörünün önemi Lindner ve Reiner [156] tarafından detaylandırılmıştır. “Tedarikçi geliştirme” de diğer bir önemli KBF’dir. Araştırmalar, bilgi yayılımının Toyota’nın üretim ağı içinde, rakip otomobil üreticisi ağlarından daha hızlı gerçekleştiğini söylemektedir [157, 158]. Toyota, tedarikçilerini eğitim, kriz yönetimi ve mentörlük yoluyla yalın düşüncenin gelişmesi için sürekli desteklemektedir. Bu KBF’nin düşük olması, onun daha az önemli olduğu anlamına gelmez; aksine, tedarikçi gelişiminin TPS’nin doğal bir DNA’sı oluşu olarak yorumlanabilir. Yöneticilerin, yalınlık uygulamalarını ve yöntemlerini göz önünde bulundurmaları ve bunları dönüşüm programlarına ve hoshinlerine (örneğin, problem çözme, PUKÖ eğitimi ve uygulamaları) entegre etmeleri gerekmektedir. L-5 ve L-7 ile L-12 bağlantıları, güçlendirme yollarını tanımlar ve daha fazla pratik eylem belirlemeye yardımcı olur (örneğin, yalınlık uygulamalarını tüm iş yerinde ve paydaşlarda dijitalizasyon araçları ile uygulama ve hatırlatma).

Konsensüs sağlanamayan maddeler ile bunların sonuçlar ve KBF’lerin sıraları üzerindeki etkileri hipotez testi bölümünde analiz edilmiş ve tartışılmıştır. Konsensüs sağlanamayan maddelerin yarattığı belirsizlik, Tablo 6.1 ve 6.2’de 6. ve 7. sıralarda potansiyel bir değişimi ifade etmektedir. Bu potansiyel sıra değişimi, tartışmamız ve sonucumuz üzerinde sınırlı bir etki yaratacaktır. Genel nicel sonuçlar, I4.0 ve I5.0 paradigmaları ile oluşturulan Dx modelinin, Dx hedefi ve vizyonunu çok iyi bir seviyede yansıttığını ve seçilen bağlantılarla yalınlık modeli ile karşılaştırılabilir hale geldiğini göstermektedir. Ontolojiler ve seçilen bağlantılar, kavramlar ve temel unsurlar, türler, araçlar, yöntemler ve ilkeler arasındaki dönüşüm ve etki yollarını ve ilişkileri göstermektedir.

Dx modelinin odak noktası üretim olsa da, anahtar kavramlar geneldir. Herhangi bir iş yeri veya iş alanı, bunu bir şablon olarak kullanabilir ve özel bir model oluşturabilir. Aynı yaklaşım yalınlık için de geçerlidir. Yalınlık modelinin bir çok alanda uygulanabilir olduğu kanıtlanmıştır.

Dijitalleşme, tek seferlik bir taktiksel adım değil, stratejik ve sürekli bir süreçtir. Karmaşıklıkların dikkatli bir şekilde planlanması ve dengelenmesi, maliyetlerin ve kültürel değişimlerin yönetilmesi için bir yol haritası tanımlanmalı ve PUKÖ döngüsü

ile yönetilmelidir. KBF'lerin sıralaması, önceliklerin ve adımların belirlenmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, yalınlık ve Dx olgunluk seviyelerinin değerlendirilmesi de yol haritasında önceliklerin belirlenmesine önemli bir katkı sağlayacaktır.

Masai'nin çalışmasından [52] türetilen yalın organizasyon modelinin (Şekil 4.2) yalın düşünceyi daha iyi yansıttığını düşünüyoruz. Tapınak görünümü bazı anahtar terimleri doğrudan gösterirken, diğerlerini dolaylı olarak ima etmektedir (örneğin, Toyota Yöntemi altında). Ancak, Monozukuri (üretim sanatı) kavramı şimdiye kadar doğrudan belirtilmemiştir. Bazı durumlarda, TPS ile eşanlamlı olduğu düşünülse de, Monozukuri aslında TPS'nin uygulamaya geçirildiği gerçek Gemba ve arenadır. Monozukuri, hem ürün geliştirmeyi (mühendislik) hem de üretimi (imalat) içermektedir. Yalın düşüncenin bu perspektifi Dombrowski ve ark. [159] tarafından açıklanmıştır. Yalınlık ve Dx modeli bağlantılarla beraber, LDx (Lean + Dx (I4.0 + I5.0)) modeli için eksiksiz bir bütünsel bakış açısı sunar. Yalınlık olgunluk seviyesinin dijital dönüşüme etkisi bu çalışmanın kapsamında değildir. Tortorella ve ark. [160] göre, "teknolojinin tek başına uyarlanması ayırt edici sonuçlar doğurmayacaktır. Yalın düşünceyi temel alan organizasyonel uygulamalar, düşünce yapısı dördüncü sanayi devrimi yolundaki üretim firmalarında fark yaratacaktır."

6.2. Değerlendirme Modeli

Yalınlığı ve dijitalizasyonu bir paradigma olarak ifade eden, LDx organizasyon modeli (Şekil 5.3), çalışmamızın sonuçları kullanılarak ve literatür taraması ile sınanarak önerilmiştir. Bu model, yalın düşüncenin ve dijitalizasyonun temel kavramlarını gösterirken dijitalizasyon ile yalın düşünce kavramlarının genişletme bağlarını da gösterir. Bu model ve çalışmamızın kritik başarı faktörleri ve bağlantı sonuçları referans alınarak değerlendirme modellerine referans olabilecek ana ve alt boyutlar önerilmiştir (Tablo 5.8). LDx modelimiz ve araştırmamız ile ulaştığımız sonuçlar ve yalınlık, Endüstri 4.0 ve Endüstri 5.0 ilişki (çok boyutlu matris) ve geçişleri (genişletme, destek) (Tablo 5.7), Alves [59] tarafından da " Yalın düşünce toplumsal dönüşümü olumlu yönde etkiler ve hızlandırır ve toplumu Endüstri 4.0 teknolojilerini benimseme yönünde destekler. Bu teknolojiler hızla gelişmeye devam etmekte ve Toplum 5.0 (Society 5.0) ve Endüstri 5.0'a evrilmektedir." ifadesi ile desteklenmektedir.

6.3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, dijital dönüşümün (I4.0 + I5.0) kritik başarı faktörlerini, (yalınlığı sürdürürken ve güçlendirirken) deneysel olarak incelemiştir. Bu bağlamda, yayınlanmış literatür ve TPS uzmanlarıyla yapılan birebir görüşmelerden “dijital dönüşüm” için 11 KBF, “yalınlığı sürdürmek” için 9 KBF ve yalınlık ile Dx arasındaki 12 güçlendirme bağlantısı tanımlanmış ve değerlendirilmiştir. Çalışmamızı yürütmek için, hem yalınlık hem de Dx modelleri ontoloji yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir. Ardından, yalınlığın öncüsü olarak bilinen ve bir Dx dönüşümü yaşayan iş yerinde uzmanlarla anket yapılmıştır. Anket aracı olarak Delphi yöntemi kullanılmıştır. Analiz üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, psikometrik özellikler değerlendirilmiştir. İkinci olarak, Delphi yönteminin stabilite analizi yapılmıştır. Son olarak, konsensüs sağlanamayan hipotezlerin sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmanın bazı kısıtları bulunmaktadır. KBF’ler tek bir katman olarak tanımlanmıştır. Potansiyel çalışmalar, alt faktörler ekleyebilir ve Dx teknolojileri, insan odaklılık, inovasyon, sürdürülebilirlik ve dayanıklılık gibi belirli alanlara odaklanabilirler. Bu çalışmanın odağı üretimdir. Potansiye çalışmalar, tedarik zinciri ve ürün lojistiği gibi diğer sektörler ve alanlara da odaklanabilirler. Benzer bir çalışma KOBİ’lerle gerçekleştirilmelidir.

Bu çalışma, literatüre ve üretim sektörüne birkaç önemli katkı sağlamaktadır.

- 1- Endüstri 4.0 dönüşümünü adresleyen kritik başarı faktörleri çalışılmıştır fakat bu dönüşüm sürecinde yalınlığı koruma kritik başarı faktörleri çalışılmamıştır. Endüstri 4.0 yanında Endüstri 5.0 paradigmasını adresleyen kapsayıcı çalışma bulunmamaktadır. Yalınlık ve dijitalizasyon arasındaki ilişkileri tanımlayan dijitalizasyonun yalın üretime etkisini değerlendiren ve bu süreçte yalınlığı sürdürme faktörlerini ve güçlendirme rotalarını belirleyen holistik çalışma bulunmamaktadır. Çalışmamız listelenen bu alanları adreslemektedir.
- 2- Yalınlık ve dijitalizasyon alanlarında ayrı ayrı olgunluk değerlendirme modelleri bulunmaktadır fakat yalın+dijitalizasyon olgunluğunu konu alan, Endüstri 5.0 paradigmasını da içeren bir değerlendirme modeli bulunmamaktadır. Çalışmamızın son bölümünde deneysel çalışmamızın sonuçları da kullanılarak, Yalın+Dx (Lean+Dx = LDx) organizasyon çerçeve

modeli tanımlanmış ve bu model için bir olgunluk değerlendirme modeline temel olacak ana ve alt değerlendirme boyutları önerilmiştir.

- 3- Bu çalışmanın sonuçları üretim firmaları, küçük ve orta büyüklükteki işletmeler (KOBİ) için dijital dönüşüm ve bu süreçte yalınlığı sürdürme ve güçlendirme için doğru stratejileri belirlemeye yardımcı olacaktır.
- 4- Çalışmamız kapsamında önerilen LDx modeli ve değerlendirme boyutları kullanılarak hem yalınlığı ve hem Endüstri 4.0 ve Endüstri 5.0 paradigmasını içeren olgunluk değerlendirme modeli geliştirilebilecektir.
- 5- Ontoloji yaklaşımını kullanarak Dx ve yalınlık organizasyon modellerinin ve bağlantılarının belirlenmesi, yalınlık ve Dx konusundaki teori tartışmasına yeni bakış açıları sunacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Yao, X., Ma, N., Zhang, J., Wang, K., Yang, E., & Faccio, M. (2024). Enhancing wisdom manufacturing as industrial metaverse for industry and society 5.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 35(1), 235-255. doi: 10.1007/s10845-022-02027-7.
- [2] Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. *Luxembourg, LU: European Commission, Directorate-General for Research and Innovation*, 46.
- [3] Gladysz, B., Tran, T. A., Romero, D., van Erp, T., Abonyi, J., & Ruppert, T. (2023). Current development on the Operator 4.0 and transition towards the Operator 5.0: A systematic literature review in light of Industry 5.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 70, 160-185.
- [4] Dillinger, F., Kagerer, M., & Reinhart, G. (2021). Concept for the development of a Lean 4.0 reference implementation strategy for manufacturing companies. *Procedia CIRP*, 104, 330-335.
- [5] Schumacher, S., Schmid, F. A., Bildstein, A., & Bauernhansl, T. (2021). Lean production systems 4.0: the impact of the digital transformation on production system levels. *Procedia cirp*, 104, 259-264.
- [6] Bittencourt, V., Saldanha, F., Alves, A. C., & Leão, C. P. (2019). Contributions of lean thinking principles to foster Industry 4.0 and sustainable development goals. *Lean engineering for global development*, 129-159.
- [7] Dombrowski, U., Richter, T., & Krenkel, P. (2017). Interdependencies of Industrie 4.0 & lean production systems: A use cases analysis. *Procedia Manufacturing*, 11, 1061-1068.
- [8] Mayr, A., Weigelt, M., Kühl, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., & Franke, J. J. P. C. (2018). Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia Cirp*, 72, 622-628.
- [9] Hoellthaler, G., Braunreuther, S., & Reinhart, G. (2019). Requirements for a methodology for the assessment and selection of technologies of digitalization for lean production systems. *Procedia CIRP*, 79, 198-203.
- [10] Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2018). Identifying target oriented Industrie 4.0 potentials in lean automotive electronics value streams. *Procedia cirp*, 72, 1003-1008.
- [11] Prinz, C., Kreggenfeld, N., & Kühlenkötter, B. (2018). Lean meets Industrie 4.0—a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. *Procedia Manufacturing*, 23, 21-26.
- [12] Langlotz, P., Siedler, C., & Aurich, J. C. (2021). Unification of lean production and Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 99, 15-20.

- [13] Mrugalska, B., & Wyrwicka, M. K. (2017). Towards lean production in industry 4.0. *Procedia engineering*, 182, 466-473.
- [14] Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International journal of production research*, 56(8), 2975-2987.
- [15] Pongboonchai-Empl, T., Antony, J., Garza-Reyes, J. A., Komkowski, T., & Tortorella, G. L. (2024). Integration of Industry 4.0 technologies into Lean Six Sigma DMAIC: A systematic review. *Production Planning & Control*, 35(12), 1403-1428. doi: 10.1080/09537287.2023.2188496.
- [16] Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the lean production system. *Sloan management review*, 30(1), 41-52.
- [17] Womack, J. P. The Machine That Changed the World by James P. Womack, Daniel T. Jones and Daniel Roos New York: Rawson Associates, Macmillan Publishing Company, 1990 Reviewed by Bernard M. Wolf York University.
- [18] Ohno, T. "Toyota Production System", Boca Raton, FL, Taylor and Francis, 1988.
- [19] Liker, J. K. (2004). The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer McGraw-Hill Education.
- [20] Rüttimann, B. G., & Stöckli, M. T. (2016). Going beyond triviality: The Toyota production system—lean manufacturing beyond Muda and Kaizen. *Journal of Service Science and Management*, 9(2), 140-149. Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the lean production system. *Sloan management review*, 30(1), 41-52.
- [21] Gruber, T. R. (1993). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *Stanford Knowledge Systems Lab*.
- [22] Muller, J. (2020). Enabling technologies for Industry 5.0. *European Commission*, Brussels, Belgium.
- [23] United Nations (UN). (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development* (A/RES/70/1). UN, New York, NY, USA.
- [24] National Technology and Science Council (NTSC). (2022). *National strategy for advanced manufacturing*. Washington, DC.
- [25] Keidanren. (2018). *Society 5.0: Co-creating the future*. [Online] Available: <http://www.keidanren.or.jp/policy/2018/095.html>.
- [26] Ma, H., Wu, X., Yan, L., Huang, H., Wub, H., Xiongb, J., & Zhang, J. (2018). Strategic plan of Made in China 2025 and its implementation. In *Analysing the impacts of Industry 4.0 in modern business environments* (pp. 1-23). IGI Global.
- [27] Taisch, M. (2018). *2018 World manufacturing forum report: Recommendations for the future of manufacturing*. Milano, Italy: WMF.
- [28] Ghassoul, A., & Messaadia, M. (2023). Analyzing the required skills and competencies in industrial revolution 4.0 and 5.0: A literature review. In *Proceedings of the IEEE Cyber Manufacturing and Engineering Conference (CyMaEn)*.

- [29] Akturk, C., Talan, T., & Cerasi, C. C. (2022). Education 4.0 and university 4.0 from Society 5.0 perspective. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Applied Computer and Information Technology (ACIT)*.
- [30] Taisch, M. (2019). *2019 World manufacturing forum report: Skills for the future of manufacturing*. Milano, Italy: WMF.
- [31] Bhatia, K., Pandey, S. K., Singh, V. K., & Gupta, D. N. (2023). Enterprises in the era of Industry 5.0. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 1065-1069.
- [32] Taisch, M. (2020). *2020 World manufacturing report: Manufacturing in the age of artificial intelligence*. Milano, Italy: WMF.
- [33] Wang, L. (2022). A futuristic perspective on human-centric assembly. *Journal of Manufacturing Systems*, 62, 199-201. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.11.002>
- [34] Taisch, M. (2021). *2021 World manufacturing report: Digitally enabled circular manufacturing*. Milano, Italy: WMF.
- [35] Taisch, M. (2022). *2022 World manufacturing report: Redesigning supply chains in the new era of manufacturing*. Milano, Italy: WMF.
- [36] Schumacher, A., Erol, S., & Sihna, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161-166.
- [37] Kagermann, H. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. acatech, Frankfurt, Germany.
- [38] Unal, C., Sungur, C., & Yildirim, H. (2022). Application of the maturity model in industrial corporations. *Sustainability*, 14(21), Article 9478. <https://doi.org/10.3390/su14219478>
- [39] Pérez-Lara, M., Saucedo-Martínez, J. A., Marmolejo-Saucedo, J. A., Salais-Fierro, T. E., & Vasant, P. (2020). Vertical and horizontal integration systems in Industry 4.0. *Wireless Networks*, 26(7), 4767-4775. <https://doi.org/10.1007/s11276-020-02425-2>
- [40] Sanchez, M., Exposito, E., & Aguilar, J. (2020). Industry 4.0: Survey from a system integration perspective. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(10-11), 1017-1041. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2020.1755144>
- [41] Csalódi, R., Süle, Z., Jaskó, S., Holczinger, T., & Abonyi, J. (2021). Industry 4.0-driven development of optimization algorithms: A systematic overview. *Complexity*, 2021, Article 6621235. <https://doi.org/10.1155/2021/6621235>
- [42] Brodeur, J., Pellerin, R., & Deschamps, I. (2022). Operationalization of critical success factors to manage the Industry 4.0 transformation of manufacturing SMEs. *Sustainability*, 14(22), Article 14855. <https://doi.org/10.3390/su142214855>
- [43] Moeuf, A., Lamouri, S., Pellerin, R., Tamayo-Giraldo, S., Tobon-Valencia, E., & Eburdy, R. (2020). Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1384-1400. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1651836>

- [44] Sony, M., & Naik, S. (2019). Critical factors for the successful implementation of Industry 4.0: A review and future research direction. *Production Planning & Control*, 31(10), 799–815. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1646423>
- [45] Bhatia, M. S., & Kumar, S. (2020). Critical success factors of Industry 4.0 in the automotive manufacturing industry. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 69(5), 2439–2453. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.2980620>
- [46] Nurbossynova, S., Sautbekov, A., Zholdaskhan, B., Abdallah, Y., & Shehab, E. (2021). Critical success factors of digitalization of Kazakhstan manufacturing industry. In *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics and Applications (SIST)*, Nur-Sultan, Kazakhstan.
- [47] Frank, A. G., Thürer, M., Godinho Filho, M., & Marodin, G. A. (2024). Beyond Industry 4.0—integrating lean, digital technologies and people. *International Journal of Operations & Production Management*, 44(4), 1109–1126. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2022-0972>
- [48] Powell, D. J., Laubengaier, D. A., Tortorella, G. L., Saabye, H., Antony, J., & Cagliano, R. (2024). Digitalization in lean manufacturing firms: A cumulative capability development perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, 44(4), 1249–1278. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-02-2023-0615>
- [49] Margherita, E. G., & Braccini, A. M. (2024). Exploring tensions of Industry 4.0 adoption in lean production systems from a dialectical perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, 44(4), 1127–1157. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-05-2023-0821>
- [50] Johansson, P. E., Bruch, J., Chirumalla, K., Osterman, C., & Stålberg, L. (2024). Integrating advanced digital technologies in existing lean-based production systems: Analysis of paradoxes, imbalances and management strategies. *International Journal of Operations & Production Management*, 44(4), 1158–1191. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2023-0789>
- [51] Chavez, R., Yu, W., Jacobs, M., & Wong, C. Y. (2024). Does digitalization enhance the effects of lean production on social performance? *International Journal of Operations & Production Management*, 44, 1192–1216.
- [52] Masai, P. (2017). *Modelling the Lean Organization as a Complex System* (Doctoral dissertation, University of Strasbourg, Strasbourg, France).
- [53] Najwa, E., Bertrand, R., Yassine, M., Fernandes, G., Abdeen, M., & Souad, S. (2022). Lean 4.0 tools and technologies to improve companies' maturity level: The COVID-19 context. *Procedia Computer Science*, 196, 207–216.
- [54] Marinelli, M., Deshmukh, A. A., Janardhanan, M., & Nielsen, I. (2021). Lean manufacturing and Industry 4.0 combinative application: Practices and perceived benefits. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 288–293.
- [55] Langlotz, P., & Aurich, J. C. (2021). Causal and temporal relationships within the combination of Lean Production Systems and Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 96, 236–241.
- [56] Gallo, T., Cagnetti, C., Silvestri, C., & Ruggieri, A. (2021). Industry 4.0 tools in lean production: A systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 180, 394–403.

- [57] Dillinger, F., Bergermeier, J., & Reinhart, G. (2022). Implications of Lean 4.0 methods on relevant target dimensions: Time, cost, quality, employee involvement, and flexibility. *Procedia CIRP*, 107, 202–208.
- [58] Rossini, M., Costa, F., Tortorella, G. L., Valvo, A., & Portioli-Staudacher, A. (2021). Lean production and Industry 4.0 integration: How lean automation is emerging in manufacturing industry. *International Journal of Production Research*, 60(21), 6430–6450.
- [59] Alves, A. C. (2022). Lean thinking: An essential mindset. *IEEE Engineering Management Review*, 50(4), 127–133.
- [60] Khanna, N. (2007). *An ontology for a lean supply chain* (Master's thesis, Department of Industrial Engineering, Wichita State University, KS).
- [61] Masai, P., & Zanni-Merka, C. (2016). Formalization of a framework for cultural translation in global collaboration: The case of the lean organization. *Procedia Computer Science*, 96, 375–384.
- [62] Uschold, M., & King, M. (1995). Towards a methodology for building ontologies. In *Proceedings of IJCAI-95*.
- [63] Kumar, V., Khamis, A., Fiorini, S., Carbonera, J. L., Alarcos, A. O., Habib, M., Goncalves, P., Li, H., & Olszewska, J. I. (2019). Ontologies for Industry 4.0. *Knowledge Engineering Review*, 34, 1–14.
- [64] Mizen, H., Dolbear, C., & Hart, G. (2005). Ontology ontogeny: Understanding how an ontology is created and developed. *GeoS*, Mexico City, Mexico. https://doi.org/10.1007/11586180_2
- [65] Suleiman, Z., Shaikholla, S., Dikhanbayeva, D., Shehab, E., & Turkiyilmaz, A. (2022). Industry 4.0: Clustering of concepts and characteristics. *Cogent Engineering*. <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2034264>
- [66] Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 impacts on lean production systems. *Procedia CIRP*, 63, 125–131.
- [67] Pereira, A. C., Dinis-Carvalho, J., Alves, A. C., & Arezes, P. (2019). How Industry 4.0 can enhance lean practices. *FME Transactions*. <https://doi.org/10.5937/fmet1904810P>
- [68] Sanders, A., Subramanian, K. R. K., Redlich, T., & Wulfsberg, J. P. (2017). Industry 4.0 and lean management – synergy or contradiction? In *AICT 2017* (pp. 513–522). https://doi.org/10.1007/978-3-319-66926-7_39
- [69] Rossini, M., Costa, F., Staudacher, A. P., & Tortorella, G. (2019). Industry 4.0 and lean production: An empirical study. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 42–47.
- [70] Rajab, S., Afy-Shararah, M., & Salonitis, K. (2022). Using Industry 4.0 capabilities for identifying and eliminating lean wastes. *Procedia CIRP*, 107, 21–27.
- [71] Ozdemir, V., & Hekim, N. (2018). Birth of Industry 5.0: Making sense of big data with artificial intelligence, ‘the Internet of Things,’ and next-generation technology policy. *OMICS Journal of Integrative Biology*, 22(1). <https://doi.org/10.1089/omi.2017.0194>

- [72] Marcucci, G., Antomarioni, S., Ciarapica, F. E., & Bevilacqua, M. (2021). The impact of operations and IT-related Industry 4.0 key technologies on organizational resilience. *Production Planning & Control*, 33(15), 1417–1431.
- [73] Daniel, R. (1961). Management information crisis. *Harvard Business Review*, 39(5), 111–121.
- [74] Rockart, J. F. (1979). Chief executives define their own data needs. *Harvard Business Review*, 57(2), 81–93.
- [75] Bullen, C. V., & Rockart, J. F. (1981). A primer on critical success factors. *Center for Information Systems Research Working Paper*, (69).
- [76] Larsen, S. B., Sorth-Olsen, R., & Knudby, T. (2021). How effective vertical organizational communication impacts the success of Hoshin Kanri strategy implementation in medium-sized manufacturers. In *Proceedings of IEEE IEEM* (pp. 1676–1680).
- [77] Leyh, C., Koppel, K., Neuschl, S., & Pentrack, M. (2021). Critical success factors for digitalization projects. *Proceedings of FEDCSIS*, 25, 427–436. <https://doi.org/10.15439/2021F122>
- [78] Kumar, A., Choudhary, S., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Khan, S. A. R., & Mishra, N. (2023). Analysis of critical success factors for implementing Industry 4.0 integrated circular supply chain – Moving towards sustainable operations. *Production Planning & Control*, 34(10), 984–998. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1980905>
- [79] Lean Aerospace Initiative - Massachusetts Institute of Technology. (2001). *LEAN Enterprise Self-Assessment Tool (LESAT) Version 1.0*.
- [80] Lean Aerospace Initiative - Massachusetts Institute of Technology. (2012). *LAI Enterprise Self-Assessment Tool (LESAT) Version 2.0*.
- [81] Miller, R. (2012). *The Shingo Model for Operational Excellence*. Jon M. Huntsman School of Business - Utah State University.
- [82] Pakdil, F., & Leonard, K. M. (2012). Criteria for a lean organization: Development of a lean assessment tool. *International Journal of Production Research*, 52(15), 4587–4607.
- [83] Maasouman, M. A. (2014). *Development of Lean Maturity Model for Operational Level Planning* (Master's thesis, Concordia University).
- [84] Dalkey, N., & Helmer, O. (1962). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *The Rand Corporation*, Santa Monica, CA.
- [85] von der Gracht, H. A. (2012). Consensus measurement in Delphi studies: Review and implications for future quality assurance. *Technological Forecasting and Social Change*, 79, 1525–1536.
- [86] Raskin, M. S. (1994). The Delphi study in field instruction revisited: Expert consensus on issues and research priorities. *Journal of Social Work Education*, 30, 75–89.
- [87] Dajani, J. S., Sincoff, M. Z., & Talley, W. K. (1979). Stability and agreement criteria for the termination of Delphi studies. *Technological Forecasting and Social Change*, 13, 83–90.

- [88] Shah, H. A., & Kalaian, S. A. (2009). Which is the best parametric statistical method for analyzing Delphi data? *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 8, 226–232.
- [89] Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric Theory*. McGraw-Hill.
- [90] Uriarte, A. G., Ng, A. H. C., Morris, M. U., & Jagstam, M. (2017). Lean, simulation and optimization: A maturity model. In *Proceedings of IEEE IEEM*.
- [91] Pensel, F. H., Winkler, H., Bruckner, A., Wolke, M., Jabs, I., Mayan, I. J., Kirschenbaum, A., Friedrich, J., & Wehlmann, C. Z. (2023). Maturity assessment for Industry 5.0: A review of existing maturity models. *Journal of Manufacturing Systems*, 66, 200–210.
- [92] Singh, B., Garg, S. K., & Sharma, S. K. (2010). Development of index for measuring leanness: Study of an Indian auto component industry. *Measuring Business Excellence*, 14, 46–53.
- [93] James-Moore, S. M., & Gibbons, A. (1997). Is lean manufacture universally relevant? An investigative methodology. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(9), 899–911.
- [94] Taj, S. (2005). Applying lean assessment tools in Chinese hi-tech industries. *Management Decision*, 43, 628–643.
- [95] Shields, H. (2006). Attacking lean wastes. *Quality Progress*, 39(8), 78–79.
- [96] Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25, 785–805.
- [97] Behrouzi, F., & Wong, K. Y. (2011). Lean performance evaluation of manufacturing systems: A dynamic and innovative approach. *Procedia Computer Science*, 3, 388–395.
- [98] Fullerton, R. R., & Wempe, W. F. (2009). Lean manufacturing, non-financial performance measures, and financial performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 29(3), 214–240.
- [99] Allen, J., Robinson, C., & Stewart, D. (2001). *Lean manufacturing: A plant floor guide*. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers.
- [100] Searcy, D. (2009). Developing a lean performance score. *Strategic Finance*, 91(3), 34–39.
- [101] Bhasin, S. (2011). Measuring the leanness of an organisation. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2(1), 55–74.
- [102] Karlsson, C., & Åhlström, P. (1996). Assessing changes towards lean production. *International Journal of Operations and Production Management*, 16(2), 24–41.
- [103] Goodson, R. E. (2002). Read a plant fast. *Harvard Business Review*, 3–11.
- [104] Shah, R., & Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21, 129–149.
- [105] Maskell, B. H. (2000). Lean accounting for lean manufacturers. *Manufacturing Engineering*, 125, 46–53.

- [106] Wan, H. D., & Chen, F. F. (2008). A leanness measure of manufacturing systems for quantifying impacts of lean initiatives. *International Journal of Production Research*, 46(23), 6567–6584.
- [107] Bayou, M. E., & De Korvin, A. (2008). Measuring the leanness of manufacturing systems: A case study of Ford Motor Company and General Motors. *Journal of Engineering Technology Management*, 25, 285–304.
- [108] Doolen, T. L., & Hacker, M. E. (2005). A review of lean assessment in organizations: An exploratory study of lean practices by electronics manufacturers. *Journal of Manufacturing Systems*, 24(1), 55–67.
- [109] Pettersen, J. (2009). Defining lean production: Some conceptual and practical issues. *The TQM Journal*, 21(2), 127–142.
- [110] Panizzolo, R. (1998). Applying the lessons learned from 27 lean manufacturers: The relevance of relationships management. *International Journal Production Economics*, 55, 223–240.
- [111] Pensel, F. H., Winkler, H., Bruckner, A., Wolke, M., Jabs, I., Mayan, I. J., Kirschenbaum, A., Friedrich, J., & Wehlmann, C. Z. (2023). Maturity assessment for Industry 5.0: A review of existing maturity models. *Journal of Manufacturing Systems*, 66, 200–210.
- [112] Sjödin, D. R., Parida, V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). Smart factory implementation and process innovation. *Research-Technology Management*, 61(5), 22–31. <https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1471277>
- [113] Spaltini, M., Acerbi, F., Pinzone, M., Gusmeroli, S., & Taisch, M. (2022). Defining the roadmap towards Industry 4.0: The 6Ps maturity model for manufacturing SMEs. *Procedia CIRP*, 105, 631–636. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.105>
- [114] Stoffers, P., Karla, J., & Kaufmann, J. (2021). Digitalisierung von Management-Reporting-Prozessen – Ein technologieorientiertes Reifegradmodell zum Einsatz in KMU. *HMD Prax. Wirtschaftsinformatik*, 1–21. <https://doi.org/10.1365/s40702-021-00787-z>
- [115] Szedlak, C., Leyendecker, B., Reinemann, H., & Pötters, P. (2020). Methodology for assessing digitalization readiness and maturity of small and medium-sized enterprises. In Z. Anisic, B. Lalic, & D. Gracanin (Eds.), *Proceedings on 25th International Joint Conference on Industrial Engineering and Operations Management – IJCIEOM* (pp. 101–111). Springer International Publishing.
- [116] Hamidi, S. R., Aziz, A. A., Shuhidan, S. M., Aziz, A. A., & Mokhsin, M. (2018). SMEs maturity model assessment of IR4.0 digital transformation. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 739, 721–732. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8612-0_75
- [117] Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2018). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for Industry 4.0 requirements. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 925–953. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030>

- [118] Bibby, L., & Dehe, B. (2018). Defining and assessing Industry 4.0 maturity levels: Case of the defence sector. *Production Planning & Control*, 29, 1030–1043. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1503355>
- [119] Muller, H. (2018). *The CEO of technology*. Wiley: New York, NY.
- [120] Lin, D., Lee, C. K. M., Lau, H., & Yang, Y. (2018). Strategic response to Industry 4.0: An empirical investigation on the Chinese automotive industry. *Industrial Management & Data Systems*, 118, 589–605. <https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2017-0403>
- [121] Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Hompel, M., & Wahlster, W. (Eds.). (2018). *Industry 4.0 Maturity Index: Managing the digital transformation of companies*. Herbert Utz Verlag.
- [122] Baicu, A. V. (2017). Methods of assessment and training of a company towards the enterprise 4.0. *Proceedings of the 28th Daaam International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, Ann. DAAAM Proc*, 28, 1065–1073. <https://doi.org/10.2507/28th.daaam.proceedings.148>
- [123] Gökalp, E., Şener, U., & Eren, P. E. (2017). Development of an assessment model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. In *Proceedings of the International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination* (Vol. 1, pp. 30–42). Palma de Mallorca, Spain.
- [124] Gerlitz, L. (2016). Design management as a domain of smart and sustainable enterprise: Business modelling for innovation and smart growth in Industry 4.0. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 3, 244–268. [https://doi.org/10.9770/jesi.2016.3.3\(3\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2016.3.3(3))
- [125] Leyh, C., Bley, K., Schaffer, T., & Forstenhausler, S. (2016). SIMMI 4.0—a maturity model for classifying the enterprise-wide IT and software landscape focusing on Industry 4.0. *Proceedings of the 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, Gdańsk, Poland, 11–14 September 2016.
- [126] Pessl, E. (2017). Roadmap Industry 4.0—Implementation guideline for enterprises. *International Journal of Science, Technology, and Society*, 5(6), 193. <https://doi.org/10.11648/j.ijsts.20170506.14>
- [127] Akdil, K. Y., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy. In *Industry 4.0: Managing the digital transformation* (pp. 61–94). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5>
- [128] Kannan, S. M., Suri, K., Cadavid, J., Barosan, I., Brand, M., Van Den, A. M., & Gerard, S. (2017). Towards Industry 4.0: Gap analysis between current automotive MES and industry standards using model-based requirement engineering. In *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Software Architecture Workshops (ICSAW)* (pp. 29–35). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSAW.2017.53>
- [129] Azevedo, A., & Santiago, S. B. (2019). Design of an assessment Industry 4.0 maturity model: An application to a manufacturing company. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Toronto, ON, Canada, 23–25 October 2019.

- [130] Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., Schmitt, K., Schmitz, E., & Schröter, M. (2015). *IMPULS - Industrie 4.0-Readiness*. Impuls-Stiftung des VDMA.
- [131] Antony, J., Sony, M., & McDermott, O. (2021). Conceptualizing Industry 4.0 readiness model dimensions: An exploratory sequential mixed-method study. *The TQM Journal*, ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/TQM-06-2021-0180>
- [132] Bettoni, A., Matteri, D., Montini, E., Gładysz, B., & Carpanzano, E. (2021). An AI adoption model for SMEs: A conceptual framework. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 7028–7033. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.082>
- [133] Bozic Yams, N., Richardson, V., Shubina, G. E., Albrecht, S., & Gillblad, D. (2020). Integrated AI and innovation management: The beginning of a beautiful friendship. *Technology Innovation Management Review*, 10(11), 5–18. <https://doi.org/10.22215/timreview/1399>
- [134] Chen, W., Liu, C., Xing, F., Peng, G., & Yang, X. (2021). Establishment of a maturity model to assess the development of industrial AI in smart manufacturing. *Journal of Enterprise Information Management*, 35(3), 701–728. <https://doi.org/10.1108/JEIM-10-2020-0397>
- [135] Comuzzi, M., & Patel, A. (2016). How organisations leverage Big Data: A maturity model. *Industrial Management & Data Systems*, 116(8), 1468–1492. <https://doi.org/10.1108/IMDS-12-2015-0495>
- [136] Fukas, P., Rebstadt, J., Remark, F., & Thomas, O. (2021). Developing an artificial intelligence maturity model for auditing (Vol. 133). *ECIS 2021 Research Papers*. https://www.researchgate.net/publication/352192517_Developing_an_Artificial_Intelligence_Maturity_Model_for_Auditing
- [137] Große-Schwiep, B., Bensberg, F., & Schinnenburg, H. (2020). Entwicklung eines Reifegradmodells zur Bewertung des Digitalisierungsgrades von Geschäftsprozessen. *Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik*, (11). <https://ojshslu.ch/ojs3211/index.php/akwi/article/view/4>
- [138] Häckel, B., Huber, R., Stahl, B., & Stöter, M. (2021). Becoming a product-service system provider: A maturity model for manufacturers. In F. Ahlemann, R. Schütte, & S. Stieglitz (Eds.), *Innovation through information systems* (pp. 169–184). Springer.
- [139] Hellge, V., Schröder, D., & Bosse, C. (2019). Der Readiness-Check Digitalisierung: Ein Instrument zur Bestimmung der digitalen Reife von KMU. <https://kompetenzzentrum-kaiserslautern.digital/readiness-check/>
- [140] Mittal, S., Romero, D., & Wuest, T. (2018). Towards a smart manufacturing maturity model for SMEs (SM3e). In I. Moon, G. M. Lee, J. Park, D. Kiritsis, & G. von Cieminski (Eds.), *Advances in production management systems: Smart manufacturing for industry 4.0* (pp. 155–163). Springer.
- [141] Modrák, V., & Šoltysová, Z. (2020). Development of an organizational maturity model in terms of mass customization. In D. T. Matt, V. Modrák, & H. Zsifkovits (Eds.), *Industry 4.0 for SMEs* (pp. 215–250). Springer.

- [142] Münnich, M., Süße, M., Bolev, D., & Langer, T. (2019). Einsatz einer Industrie 4.0-Potenzialanalyse zur methodischen und strukturierten Identifikation von Digitalisierungsmöglichkeiten. In C. K. Bosse & K. J. Zink (Eds.), *Arbeit 4.0 im Mittelstand* (pp. 153–175). Springer.
- [143] Paschou, T., Rapaccini, M., Peters, C., Adrodegari, F., & Saccani, N. (2020). Developing a maturity model for digital servitization in manufacturing firms. In Z. Anisic, B. Lalic, & D. Gracanin (Eds.), *Proceedings of the 25th International Joint Conference on Industrial Engineering and Operations Management – IJCIEOM* (pp. 413–425). Springer.
- [144] Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A., & ten Hompel, M. (2020). Industrie 4.0 maturity index: Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten—UPDATE 2020. <https://www.acatech.de/publikation/industrie-4-0-maturityindex-update-2020/download-pdf?lang=de>
- [145] Zeller, V., Hocken, C., & Stich, V. (2018). Acatech Industrie 4.0 maturity index: A multidimensional maturity model. In I. Moon, G. M. Lee, J. Park, D. Kiritsis, & G. von Cieminski (Eds.), *Advances in production management systems: Smart manufacturing for industry 4.0* (pp. 105–113). Springer.
- [146] Schuster, T., Waidelich, L., & Volz, R. (2021). Maturity models for the assessment of artificial intelligence in small and medium-sized enterprises. In S. Wrycza & J. Maślankowski (Eds.), *Digital transformation* (Vol. 429, pp. 22–36). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85893-3_2
- [147] Simetinger, F., & Basl, J. (2022). A pilot study: An assessment of manufacturing SMEs using a new Industry 4.0 Maturity Model for Manufacturing Small- and Medium-sized Enterprises (I4MMSME). *Procedia Computer Science*, 200, 1068–1077. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.306>
- [148] Kolla, S., Minufekr, M., & Plapper, P. (2019). Deriving essential components of lean and industry 4.0 assessment model for manufacturing. *Procedia CIRP*, 81, 753–758.
- [149] Bauer, W., Pokorni, B., & Findeisen, S. (2019). Production assessment 4.0—methods for the development and evaluation of industry 4.0 use cases. In *Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control* (Vol. 9, pp. 501–510). Springer International Publishing.
- [150] Bajic, B., Moraca, S., & Rikalovic, A. (2023, May). Fuzzy maturity model for smart manufacturing readiness: Industry 5.0 perspective. In *2023 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)* (pp. 142–147). IEEE.
- [151] Schiuma, G., Schettini, E., Santarsiero, F., & Carlucci, D. (2022). The transformative leadership compass: Six competencies for digital transformation entrepreneurship. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 28, 1273–1291.
- [152] Liere-Netheler, K., Packmohr, S., & Vogelsang, K. (2018). Drivers of digital transformation in manufacturing. In *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 1982–1991). Hilton Waikoloa Village, HI, USA.

- [153] Lee, K., Song, Y., Park, M., & Yoon, B. (2024). Development of digital transformation maturity assessment model for collaborative factory involving multiple companies. *Sustainability*, 16, 8087. <https://doi.org/10.3390/su16148087>
- [154] Galeazzo, A., Furlan, A., Tosetto, D., & Vinelli, A. (2024). Are lean and digital engaging better problem solvers? An empirical study on Italian manufacturing firms. *International Journal of Operations & Production Management*, 44, 1217–1248.
- [155] Aheleroff, S., Mostashiri, N., Xu, X., & Zhong, R. Y. (2021). Mass personalisation as a service in industry 4.0: A resilient response case study. *Advanced Engineering Informatics*, 50, 101438. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101438>
- [156] Lindner, F., & Reiner, G. (2023). Industry 5.0 and operations management—the importance of human factors. In *Proceedings of the IEEE/IFIP NOM*.
- [157] Dyer, J., & Nobeoka, K. (2000). Creating and managing a high performance knowledge sharing network: The Toyota case. *Strategic Management Journal*, 21(3), 345–367. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(200003\)21:3<345::AID-SMJ96>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(200003)21:3<345::AID-SMJ96>3.0.CO;2-N)
- [158] Marksberry, P. (2012). Investigating “The Way” for Toyota suppliers: A quantitative outlook on Toyota's replicating efforts for supplier development. *Benchmarking: An International Journal*, 19(2), 277–298.
- [159] Dombrowski, U., Schmidtchen, K., & Krenkel, P. (2014). Impact of lean development system implementation on the product development process. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 1462–1466).
- [160] Tortorella, G. L., Giglio, R., & Van Dun, D. H. (2019). Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. *International Journal of Operations & Production Management*, 39, 860–886.

EKLER

EK A. Japonca Terimler Sözlüğü (Japanese Terms Glossary)

EK B. Çok Boyutlu Matris Ontoloji Bağlantı Resimleri ve İlişki Önergeleri



EK A. Japonca Terimler Sözlüğü / Japanese Terms Glossary

A3 : Rapor yazma, hikayeyi konuya göre anlatma, A3 kağıt boyutları alanı içinde özetleme

: *Report writing, telling story, storyline, (A3: size of paper)*

Andon: Kağıt kaplı fener, kağıt kaplı ağaç tabanlı gaz lambası, işaret, sinyal, aksiyon gereken noktayı işaret eden gösteren görsel sesli ikaz da içerebilen uyarı

: *Paper-enclosed standing lantern; paper-covered wooden stand housing an oil lamp; sign or signal; a visual aid which, highlights where action is required*

Buishuyakuka: Modül yönetimi

: *Module management*

Asakai: Sabah toplantısı, günlük ayakta sabahları yapılan toplantı

: *Morning meeting, daily stand up*

Chaku Chaku: İşlemi tamamlanmış parçaların prosten ses çıkararak çıkarılması, adım adım ilerleme (tek parça akışı)

: *Automatic ejection of finished part (from the noise it makes), step by step (one piece flow)*

Dandori : Program, plan, ileriye yönelik hazırlıklar

: *Program, plans, arrangements*

Dojo :Geliştirme büyütme alanı, temeller prensipler (seçilen bir konuda eğitim), iş güvenliğini de içeren yoğun eğitim

: *Breeding ground, fertile ground (for), foundation (for the development of ...), extensive training also includes safety aspects*

Ekiden : Uzun mesafeli bayrak yarışı

: *long-distance relay race*

Fundoshi : Detay planlama takvimlendirme, gruplayarak ön dağılım yapma

: *Detail scheduling, frontloading*

Gemba : Olay yeri, olayın geçtiği yer

: *The actual place*

Gen : Gerçek, orijinal, esas, temel

: *Real, original, primary*

Genbutsu : Gerçek mekan, gerçek şey, alan, yer

: *Actual article or goods*

Genchi Genbutsu : Git ve yerinde gör

: *Go and see*

Genchi : Gerçek yer, gerçek mekan, alan, olayın geçtiği yer

: *Actual place, actual location, the spot, the scene, the field, (on) site*

Genji : Şu an, şimdi, zaman

: *Now, the present time, the present era, time*

Genjitsu : Gerçeklik, güncellik, katı gerçek

: *Reality, actuality, hard fact*

Genjyou : Mevcut içinde bulunulan durum, durum, kaçınılmaz oluş

: *Present condition, existing state, status quo, current state, condition*

Genkyu : kaynak, referans

: *Source, reference*

Gennin : Neden, sebep, şahitlik (olay yerinde), bizzat izleme

: *Cause, witnessing (at the scene), seeing in person*

Genpo : Method, orijinal kopya

: *Method, the original copy*

Genri : Sebep, temel gerçek, teori

: *Principle, fundamental truth, theory*

Gensoku : Kural

: *General rule*

Gentani : Tüketim kullanım oranı, iş için minimum oran, temel performans göstergesi

: *Consumption rate, minimum resource to carry out a process, basic KPI like the cost of an e-mail per person per month*

Genzu : Çizim, proje

: *Drawings*

Goguchi : Seri üretim

: *Mass production*

Goshi : Seri üretim deneme(leri)

: *Mass production trial*

Heijunka : Seviyelendirme, eşit dağılım, yük dengeleme, üretim seviyelendirmesi

: *Leveling, equalization, job levelling, production levelling*

Henkaten Kanri : Değişiklik yönetimi, standart dışı çalışan makina süreç takibi

: *Management of changed conditions, non-standard condition followup*

Hikiate : Ürün ağacı

: *Bill of materials*

Hitozukuri : İnsanı (çalışanı) geliştirmek

: *Making people*

Hiyari Hatto : İş güvenliği iyileştirmesi, ramak kala analizi

: *Safety improvement, analyzing near misses*

Horenso : Ters yönde *gemba*, üst yönetim için *gemba*'nın üst yönetime getirilmesi

: *Reverse gemba, kind of "reverse genchi genbutsu" for the case where busy executives do not have time to go to the gemba, it is brought to them*

Hoshin Kanri : Politika yönetimi, aksiyon planı, stratejik planlama, hedef ve vizyon belirleme süreci

: *Policy management; action plan; strategic perspective going forward; the process of objective setting*

Ishikawa Diagram : Balık kılçığı diyagramı (kök neden analizi yönetim)

: *Fishbone diagram*

Jidoka : Zamanında durma, otonomasyon, insan dokunuşu ile otomasyon

: *Stop in time, autonotation, automation with human touch*

Jikotei kanketsu (JKK) : Hatalı üretim yapmamak, proseste işi hatasız tamamlamak

: *Built in quality with ownership, self process completion*

Jishuken : Takım oluşturarak iş yapma lider geliştirme , en iyi uygulama paylaşımı, takım dojo'su

: *Gathering teams with similar works, best practice sharing, team dojo*

Junbiki : Sıralı parça sevkiyatı

: *Sequential part supply*

Jundate : Sıralı parça toplama

: *Picking part in production order*

Kaikaku : Radikal köklü kaizen, radikal değişiklik

: *Radical kaizen, radical change*

Kakushin : Reform, inovasyon, önemli kaizen

: *Reform, innovation, breakthrough kaizen*

Kamishibai : Üretim alanında farklı koşulları görselleştirme (kalite kontrolünde

çalışana “ne iyi” , “ne kötü” resimlerle anlatma, resimlerle hikaye anlatımı (japon sokak tiyatrosu)

: *Visualization of condition at the production (it visualizes what is ok or not to help workers check the quality themselves), Storytelling with pictures (Japan street theater)*

Kanban : İşaret tahtası, işaret, sinyal

: *Signboard, sign, signal*

Ke : Cep telefonu kısaltması (Toyota'da)

: *Acronym (at Toyota) of mobile phone*

Keshikomi List : Mutabakat listesi, proje yönetimi yapılacak işler takip listesi

: *Reconciliation, systematic checklist of items for project completion*

Kiken Yochi : Tehlike tahmini, tehlike öngörüsü (eğitim)

: *Danger prediction, hazard forecast (training)*

Kodawari : Odak noktası, mükemmeliyetçilik, azim, adanmışlık, detaylara odaklanma

: *Focus point, the pursuit of perfection, persistence, commitment, attention to detail*

Kozokeikaku : Tasarım,

: *Design*

Kukuri : Paketleme, birleştirme, iş adımlarını kalite riski oluşturmamak için

birleştirme, makinaları üretim optimizasyonu için birleştirme

: *Bundle, lumping, grouping tasks that cannot be split without quality risk, grouping of machines to optimize production*

Mendomi : Çalışanın istek, motivasyon ve aidiyetini artırma

: *Taking care of employees*

Mieruka : Görselleştirme, görsel kontrol, görünür kılma (örnek: problem)

: *Visualization, visual control, rendering visible (e.g. a problem)*

Mizen Boshi : Proaktif şekilde durdurma, tekrarlamayı önleme

: *Proactively stop something; recurrence prevention*

Mizusumashi : Su örümceği, saklama alanından parçaları proseslere taşıyan çalışan

: *Water spider, worker who picks and delivers parts from stores to processes*

Monozukuri : Yapma, becerme, üretme, üretim sanatı

: *Making things, the art of making things*

Muda : Atık, işe yaramazlık, amaçsızlık, anlamsızlık

: *Waste, uselessness, futility, pointlessness*

Mura : Eşit olmayan, düzensizlik

: *Unevenness, irregularity*

Muri : Mantıksız, doğal olmayan, adaletsiz, imkansız (yapılması mümkün olmayan iş)

: *Unreasonable; unnatural; unjustifiable; impossible (unreasonable workload)*

Na : Diyagonalin kısaltması (Toyota'da)

: *Acronym (at Toyota) of diagonal*

Nemawashi : Hemfikirlik oluşturma süreci, kararların oy birliği ile alınması

: *Consensus-building process; make decision by consensus*

Obeya : Büyük buluşma odası, görselleştirme odası, konu proje hakkında tüm bilginin görülebildiği oda, dağınık ve karmakarışık görünen oda

: *Big room, visualization room, the room where all information about a project is visualized, messy room*

Omotenashi : Ev sahipliği gösterme, karşılama ve ağırlama

: *Hospitality, reception, treatment, service*

Po : Cebin (pantolon) kısaltması (Toyota'da)

: *Acronym (at Toyota) of pocket*

Pokayoke : Yanlışlığı engelleme, hata yakalama, kusursuzluğu sağlama , güvenli

: *Fool-proofing; mistake-proofing; error-proofing; fail-safe*

Poketenashi : Yürümenin 5 kuralı, iş güvenliği için *po, ke, te, na, shi* kısaltmalarından türetilmiş sözcük

: *Five rules of walking (po+ke+te+na+shi)*

Ryohin Joken : *Jikotei kanketsu* için gerekli koşullar

: *Necessary conditions for jikotei kanketsu*

Ryohin Renka : Kabul edilebilir maliyet

: *Reasonable price*

Sakiyomi : Öngörme, tahmin etme

: *Foreseeing; predict*

Seiketsu : Standartlaştırma, düzenli temiz koruyucu durum

: *Standardize, Clean hygienic sanitary state/condition*

Seiri : Düzenleme, organize etme, engelleri kaldırma

: *Sorting, arrangement, putting in order*

Seiso : Düzenli ve temiz, çalışma alanının düzenli temizlenmesi

: *Neat and clean, clean the workplace regularly*

Seiton : Erişilebilir sıralama, yalın sade anlaşılabilir düzenleme

: *Orderliness, arranging neatly so easy to grasp*

Sensei : Yol gösteren, öğretmen, usta

: *Coach, teacher, expert*

Shi : Parmak (işaret parmağı)

: *Pointing (finger)*

Shitsuke : Sürekli kalıcı sürdürülebilir disiplin

: *Discipline to perform continuously*

Shojinka : Birden fazla kabiliyete iş becerisine sahip esnek iş gücü

: *Flexible staffing (multi skilled employee)*

Shokuba Ryoku : Fırsatlarla dolu iş yeri, sürekli kaizen yapılan çalışma alanı

: *Vigorous workplace, workplace where kaizen in the air*

Soui Kufu : Öneri sistemi, yaratıcı düşünce fikirler

: *Suggestion system, creative thinking, inventive ideas*

Stop 6 : TPS’te riskleri tanımlayan ve sınıflandıran iş güvenliği metodu

: *The method of categorizing and defining risks, which forms the basis of the occupational safety culture in the Toyota Production System*

Takt Time : Talebi karşılamaya yeten gerekli ürün üretme hızı

: *The required product assembly duration that is needed to match the demand*

Te : Trabzan merdiven korkuluğu kısaltması (Toyota’da)

: *Acronym (at Toyota) of handrails*

Teian : Önerme, öneri, kişisel kaizen

: *Proposal, proposition, personal kaizen*

Teitei : Senkronizasyon, uyum

: *Synchronization, harmony*

Temotoka : Ele yakın kolay ulaşılabilir (çalışan anlayışı açısından)

: *Being close to the hand within own understanding*

Tsurube : “Kuyu kovası” – iki asenkron süreci birleştirme

: *“Well bucket” - to connect two asynchronous processes*

Yamazumi : Sıralı düzenlenmiş çubuk grafiği, kaynakların zaman içinde kullanımını gösteren grafik

: *Stacked bar graph, mountain chart to show the usage of resources over Time*

Yarikiri : Kararlı şekilde görev tamamlanana kadar sürdürme, tamamlama yarım bırakmama

: *To complete decisively, to do to completion*

Yokoten : İyi uygulamaları paylaşma yaygınlaştırma

: *Sharing best practice*

Yosedome : Naftalinleme, optimizasyon sonrası üretim ekipmanlarının güvenli

beklemeye korumaya alınması

: *Mothballing, Suppression of machines, production lines, servers, etc.
after optimization*



EK B. Çok Boyutlu Matris Ontoloji Bağlantı Resimleri ve İlişki Önermeleri

Bağlantı-1	Link-1
Dx/Innovation <-> Lean/Kaizen	
Önerme açıklaması	Hypothesis explanation
1- Kaizenin temel metotları “Problem Çözme” ve PUKÖ döngüsüdür. 2- İnnovasyon sadece “problem çözme”ye değil, henüz görülmemiş, bildirilmemiş problemleri de bulmaya odaklanır. 3- Kaizen gibi innovasyonun temel öğelerinden biri takım çalışmasıdır. İnnovasyon yeni metotlar (tasarım odaklı düşünme, kendi kendine öğrenme) tanıtır. Bunlar yalınlığın “öğrenen organizasyon” prensibini geliştirirler. 4- İnnovasyonun, yeni tip tanımlarıyla genişletilmiş problem yönetimi, yalınlığın “öğrenen organizasyon” prensibine yeni boyutlar ekler. 5- Kaizen uygulamasının çok çeşitli ve geniş bir yelpazeye yayılan tipleri (Teihan...) ve problem çözme metodunun tipleri (TPS, QCC), dijitalizasyonun innovasyon kavramının uygulanmasını destekler. 6- Dijitalizasyon çeviklik gerektirir. İnnovasyonun öğeleri ve eğitim ile işbirliği tip ve metotları dijital dönüşüm çevikliğine destek olur.	1- The core methods of Kaizen are “Problem Solving” and “PDCA”. 2- Innovation not only focuses on “problem solving” but extends it further to “problem finding” which is not aware or stated by customers yet. 3- Like Kaizen, innovation also requires teamwork, new methods (e.g. design thinking, autodidact) and also develops the “learning organization” principle. 4- The extended types of problem handling of innovation will add new dimensions to the “learning organization” culture. 5- Existing Kaizen types (teian, kaikaku, kakushin, jishuken) and problem solving types such as QCC will support innovation implementation which has elements such as competition, coaching, curiosity, creativity... 6- Digitalization requires agility. With 5C elements, and education collaboration and new tools, methods; innovation will speed up this transformation and enhance the Kaizen concept.

Bağlantı-2

Dx/Innovation <-> Lean/Stakeholder Satisfaction/Hitozukuri/Customer First

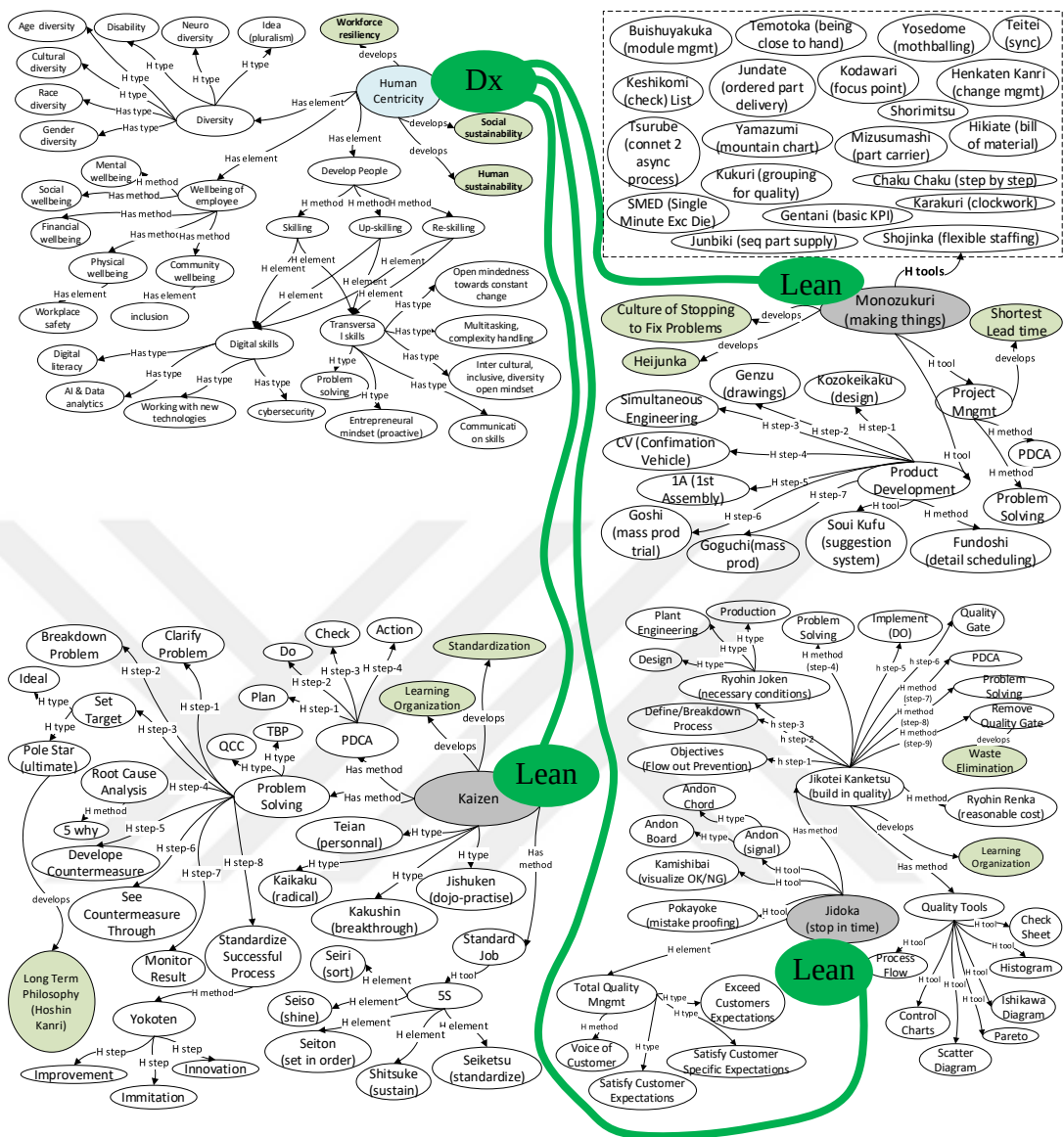
Önerme açıklaması

- 1- Paydaş memnuniyeti tiplerini sıralamamız istenirse, yalın düşünce açısından ilk sırada listeleyeceğimiz “müşteri memnuniyeti” olacaktır.
- 2- İnnovasyon ya da diğer bir deyişle yaratıcılık en öncelikli olarak insanların ihtiyaçlarını karşılayan düşledikleri ürün ve hizmetleri “öngörü” ile sunar.
- 3- “Eğitim” ve “çeşitlilik” öğeleri ile innovasyon toplumu, çalışanı ve müşteriyi kucklamaya yarayacak ek metotlarla insan gelişimine katkı sağlayacak imkanları artıracaktır.
- 4- İnnovasyon emek isteyen bir kavram olarak paydaşlarımıza aşılması gereken hedefler koyacaktır. Bununla beraber onlar açısından baktığımızda “müşteri memnuniyeti”ne katkı sağlayacaktır.
- 5- Eğitim, eğitim-sanayi iş birliği, kendi kendini geliştirme innovasyonun temel öğeleri olarak insanı geliştirmeyi hedefler.

Hypothesis explanation

- 1- If we were asked to order the types of “Stakeholder Satisfaction”, most probably “Satisfied Customer” would be number 1 so the “Customer First” concept of Lean as well.
- 2- Innovation will most probably satisfy our customers firstly by providing products, and services that suit their needs and dreams which means “Sakiyomi-foreseeing” with less cost and short lead time.
- 3- Having “education” and “diversity” elements, society, employees and so customers will be satisfied more, “Hitozukuri-making people” will have new elements and tools.
- 4- Innovation introduces a challenge to suppliers. It will be challenging but also develop them from a reverse “Customer First” point of view.
- 5- Education, collaboration with institutions, and autodidact are key elements of innovation which is making/developing people.

Dx/Human Centricity <-> Lean/Kaizen/Jidoka/Monozukuri



Önerme açıklaması

1-“İnsan gelişimi” ögesi ile “insan odaklılık” kavramı insanların hem dijital ve hem de iş ve özel hayatlarına katkı sağlayan becerilerini artırma hedefi ile insan gelişimine yeni bir boyut getirir. Bu yalınlığın her üç kavramında yer alan “PUKÖ” ve “problem çözme” kabiliyetlerini artıracaktır.

2-“İnsan odaklılık” kavramı içerdiği öğelerle dönüşümün temel yapı taşlarından biri olan “öğrenen organizasyon” prensibini güçlendirecektir.

3- “Çeşitlilik” yaklaşımı “uzun dönemli hedef ve düşünce” olarak küresel ölçekte dayanıklılık kavramına, iş gücü sürdürülebilirliğine katkı sağlayacak, takım çalışmasını mekandan bağımsız kılacak ve küresel kaynak havuzu oluşumuna zemin hazırlayacaktır.

4- Donanımlı iş gücü, açık fikirli ön yargısız kültür anlayışı küresel işbirliğini artıracak ve çeviklik üst seviyelere taşınarak “en kısa zamanda ürün teslimi/üretimi” prensibi güçlenecektir.

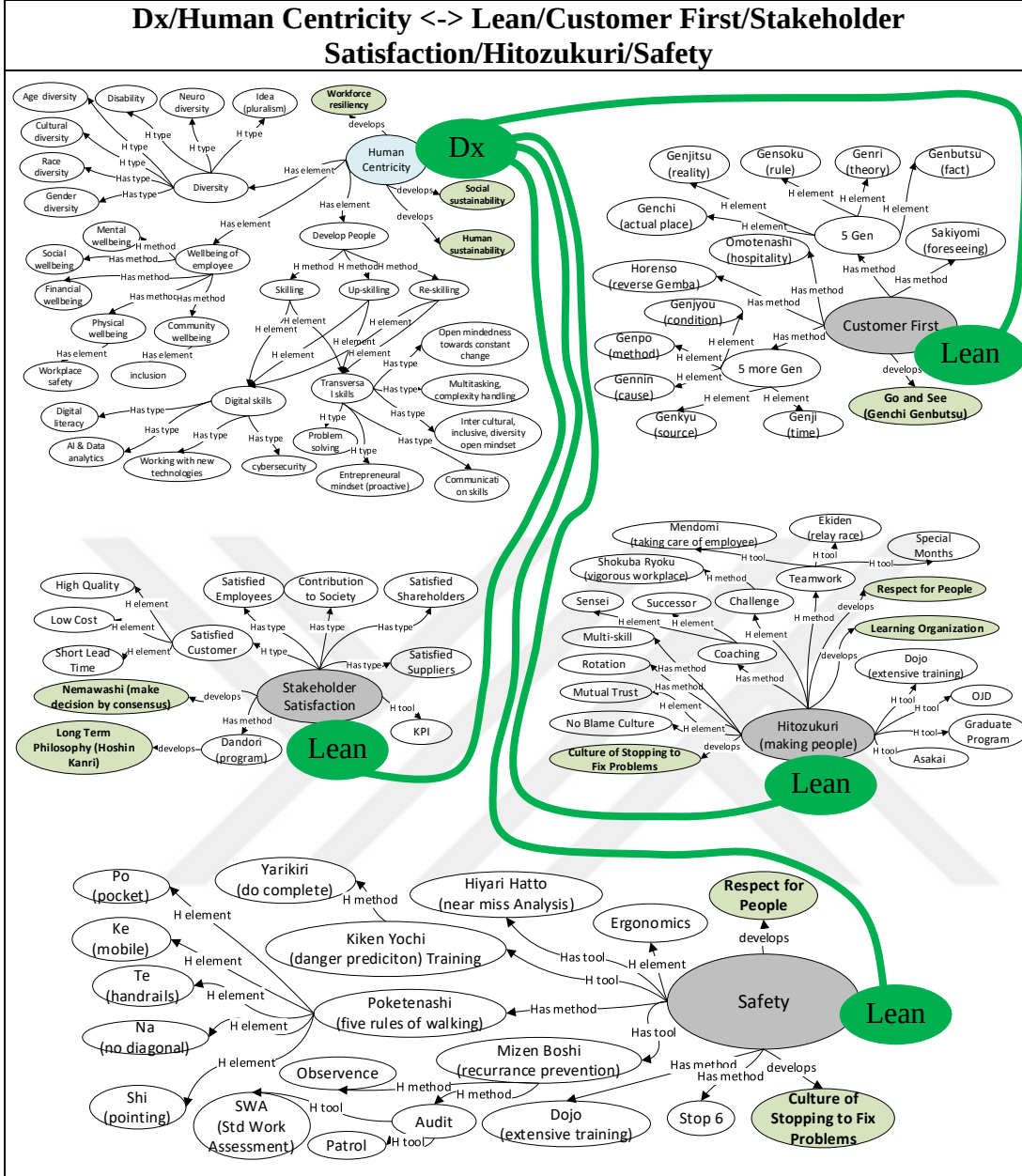
Hypothesis explanation

1- By including the “develop people” element, “human centricity” aims to develop both digital and transversal skills with new dimensions. This will certainly strengthen the “PDCA” and “Problem Solving” skills of these 3 concepts of Lean with agility.

2- Elements of “Human Centricity” will provide energy to the “Learning Organization” culture which is a key principle for transformation.

3- “Diversity” will extend inclusion globally as a “long term philosophy” to achieve workforce resiliency, social and human sustainability and create a talent pool and worldwide teamwork base.

4- Having skilled people and an openminded diverse culture that collaborates globally in an agile way will serve to the “Shortest lead time” principle.

**Önerme açıklaması**

1- “İnsan odaklılık” çalışanın refah ve dingingliğini detaylı ve kapsamlı olarak “çeşitlilik” ögesi ile küresel olarak tanımlayarak yalın düşüncenin “iş güvenliği” kavramını bir üst boyuta taşır.

2- “İnsan odaklılık” tüm bireylere ulaşma hedefi ile insanlığı dijital dönüşüm ile bir bütün olarak görür. Bu “paydaş memnuniyeti” veya “müşteri odaklılık” kavramlarına bu yeni çağda yeni anlamlar yükler.

3- “İnsan odaklılık” insanın refah ve dingingliği hedefleyen öğeleriyle, yalın düşüncenin “insana saygı” ve “öğrenen organizasyon” prensiplerini destekler, güçlendirir.

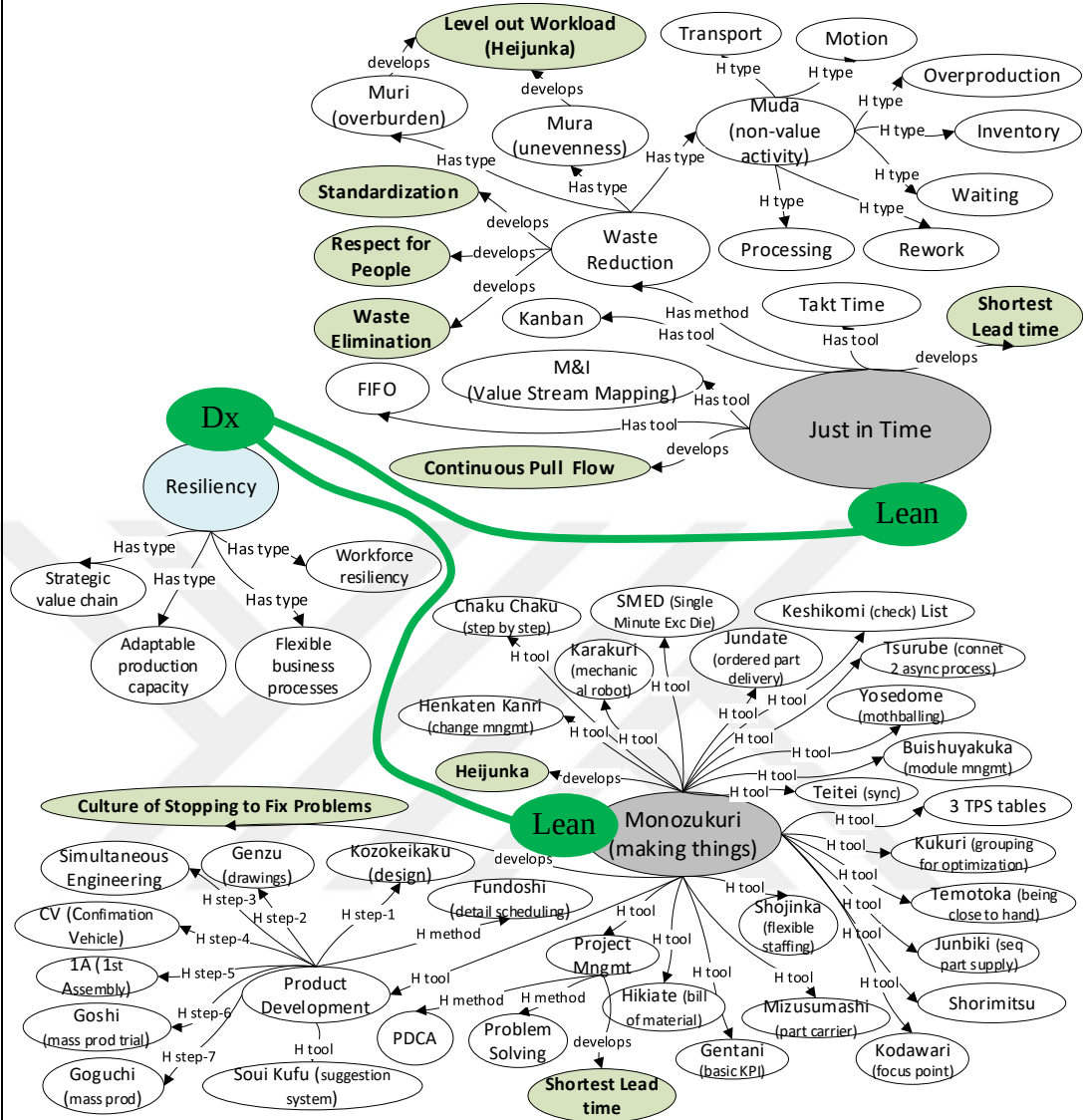
Hypothesis explanation

1- “Human Centricity” defines the wellbeing of employees in more detail including types from the “Diversity” element which extends the “Safety” concepts of Lean for transformation.

2- “Human Centricity” targets to reach every single person as the whole humanity is connected with digitalization. This is another way of defining “Stakeholder Satisfaction” or “Customer First” concepts in the new era.

3- “Human Centricity” with its elements targeting the wellbeing of employees and development, enhances the “respect for people” and “learning organization” principles of Lean.

Dx/Resiliency <-> Lean/Just in Time/Monozukuri



Önerme açıklaması

1- Dayanıklılık, bölgesel ve küresel sıkıntı ve problemlerde ulaşılacak, içinde bulunulmak istenen durumu tanımlayan kavramdır. Kovid-19 salgını ve sonuçları dünyamıza dayanıklılığın küresel boyutta yaşanan sıkıntılarla ne kadar önemli bir kavram olduğunu göstermiştir.

2-Yalınlık, “tam zamanında” kavramı ve “israf etmeme” ve “esnek üretim” prensipleri ile üretim alanında ve tedarik zincirinde, “uyarlanabilir üretim kapasitesi” ve “esnek iş süreçleri” alanlarının temellerini sunmaktadır.

3-“Dayanıklılık”, “sürdürülebilirlik” gibi küresel iş birliğini zorunlu kılmaktadır. Bu açılarından bu kavramların öğelerini, metot ve tiplerini pratik olarak uygulayan yalın düşünce de küresel bir kültür olarak benimsenmelidir.

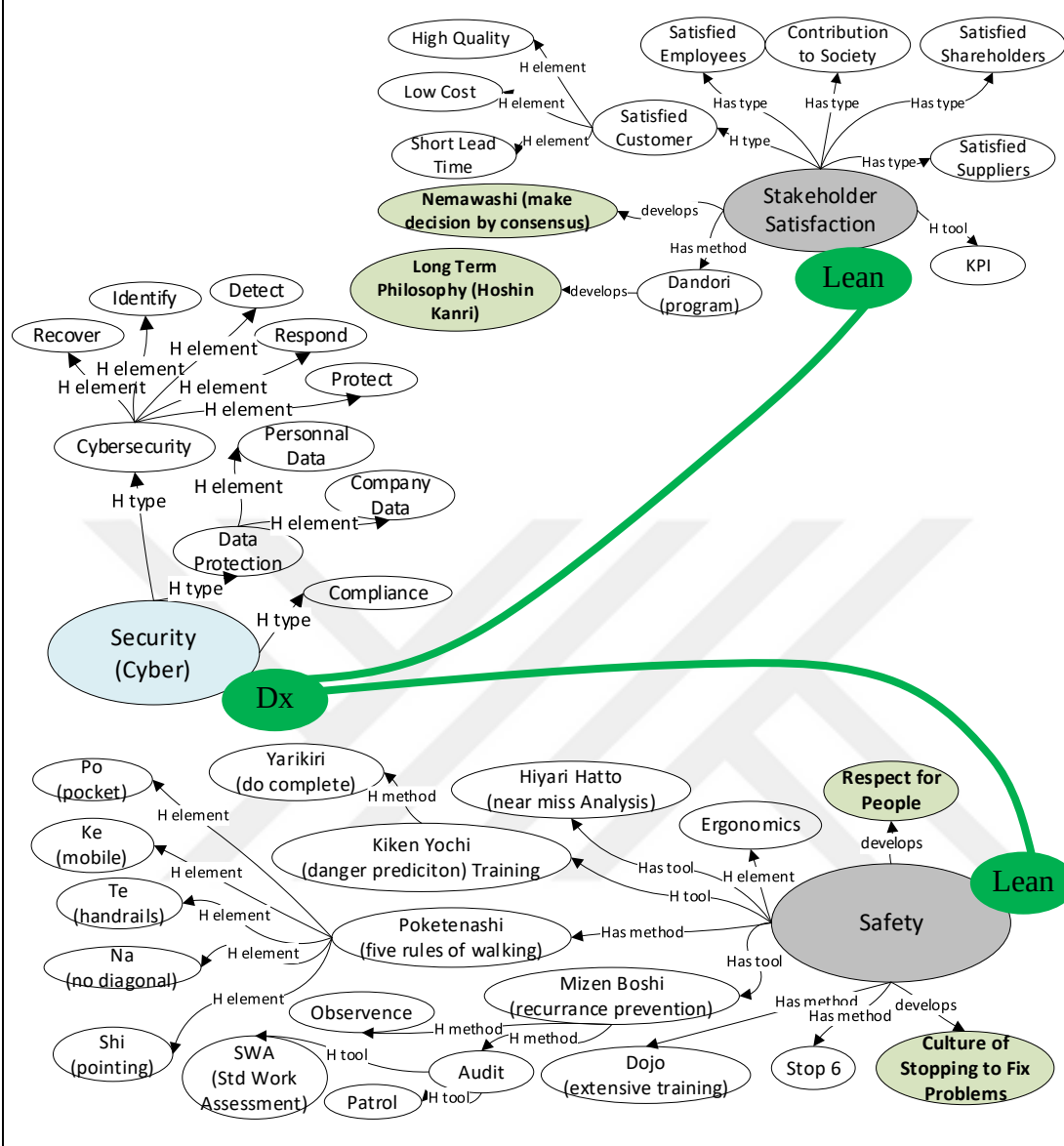
Hypothesis explanation

1- Resilience in the face of serious adversity, problems at the local and global levels is one of the great goals for the future. The world experienced Covid-19 and its consequences which showed how “resiliency” is vital for the world (global shortage of supplies, energy, etc.).

2- Lean with its concept of “just in time” and “waste elimination” and Heijunka principles, is a pioneer on the manufacturing floor and in strategic value chains with “adaptable production capacity” and “flexible business processes”.

3- Resiliency like sustainability requires global collaboration and a high level of achievement. It can be said that for global “resiliency” and “sustainability”, Lean thinking should be a global culture as well.

Dx/Security(Cyber) <-> Lean/Stakeholder Satisfaction/Safety



Önerme açıklaması

1- “Siber güvenlik” tipleri ile beraber dijitalleşmenin temel kavramıdır ve “dayanıklılık” ve “sürdürülebilirlik” kavramları için de önceliklidir.

2-Dijitalizasyon ve küresel entegrasyonla beraber siber güvenlik “paydaş memnuniyeti” için (finansal, düşünsel ve toplumsal) zorunlu hale gelmiştir.

3- Çalışan açısından baktığımızda “siber güvenlik”, “iş güvenliği” kavramını genişletmektedir.

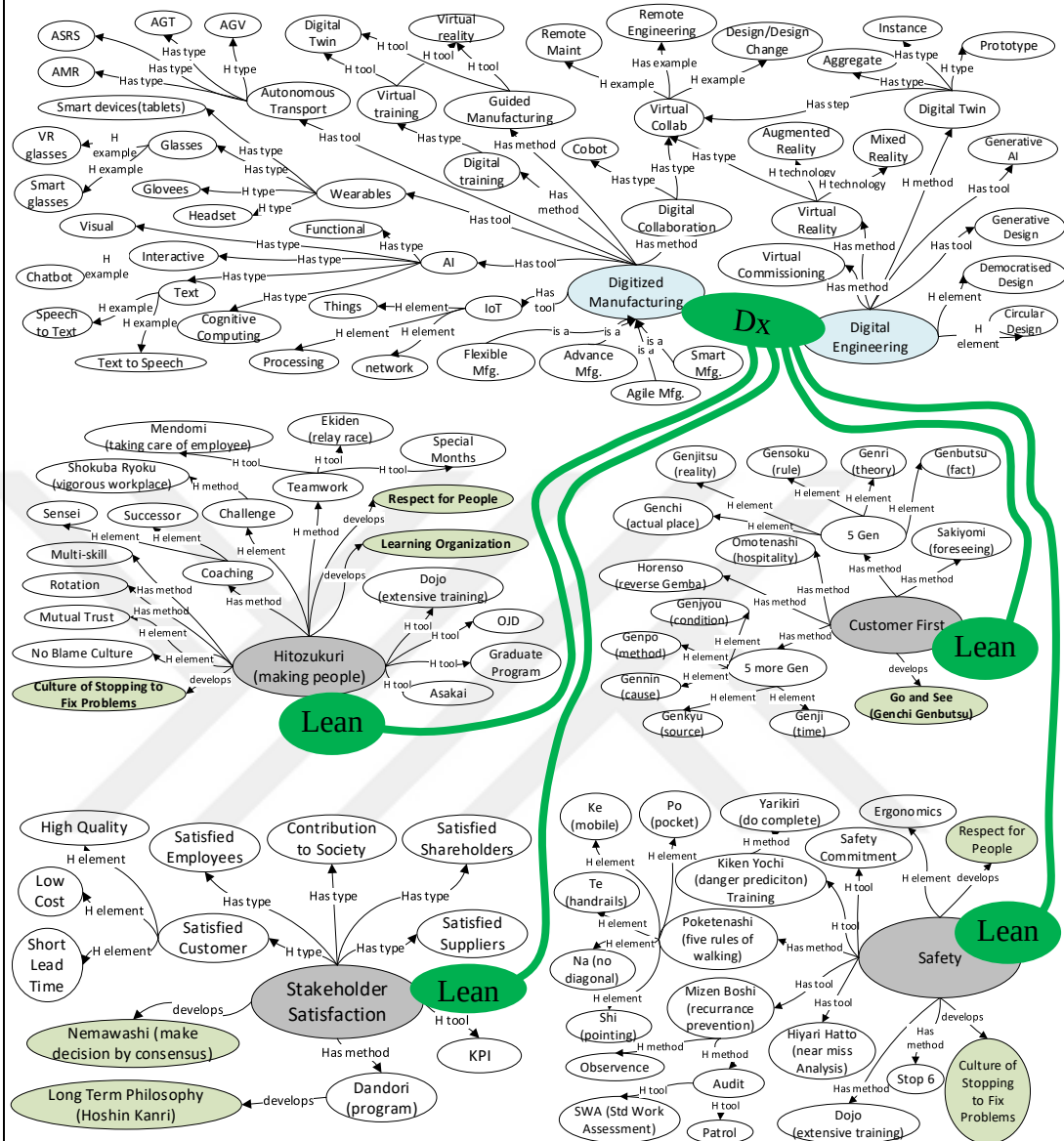
Hypothesis explanation

1- “Security (cyber)” with its various types is the top priority concept in digitalization and should be a priority for the resiliency and sustainability of the enterprise during digital transformation.

2- With digitalization and global integration, security is an essential concept for “Stakeholder Satisfaction” and for the financial, mental, social and community wellbeing.

3- Considering the aspects of human safety, “Security” extends the “Safety” concept of Lean.

**Dx/Digitized Manufacturing/Digital Engineering <-> Lean/Customer
First/Stakeholder Satisfaction/Hitozukuri/Safety**



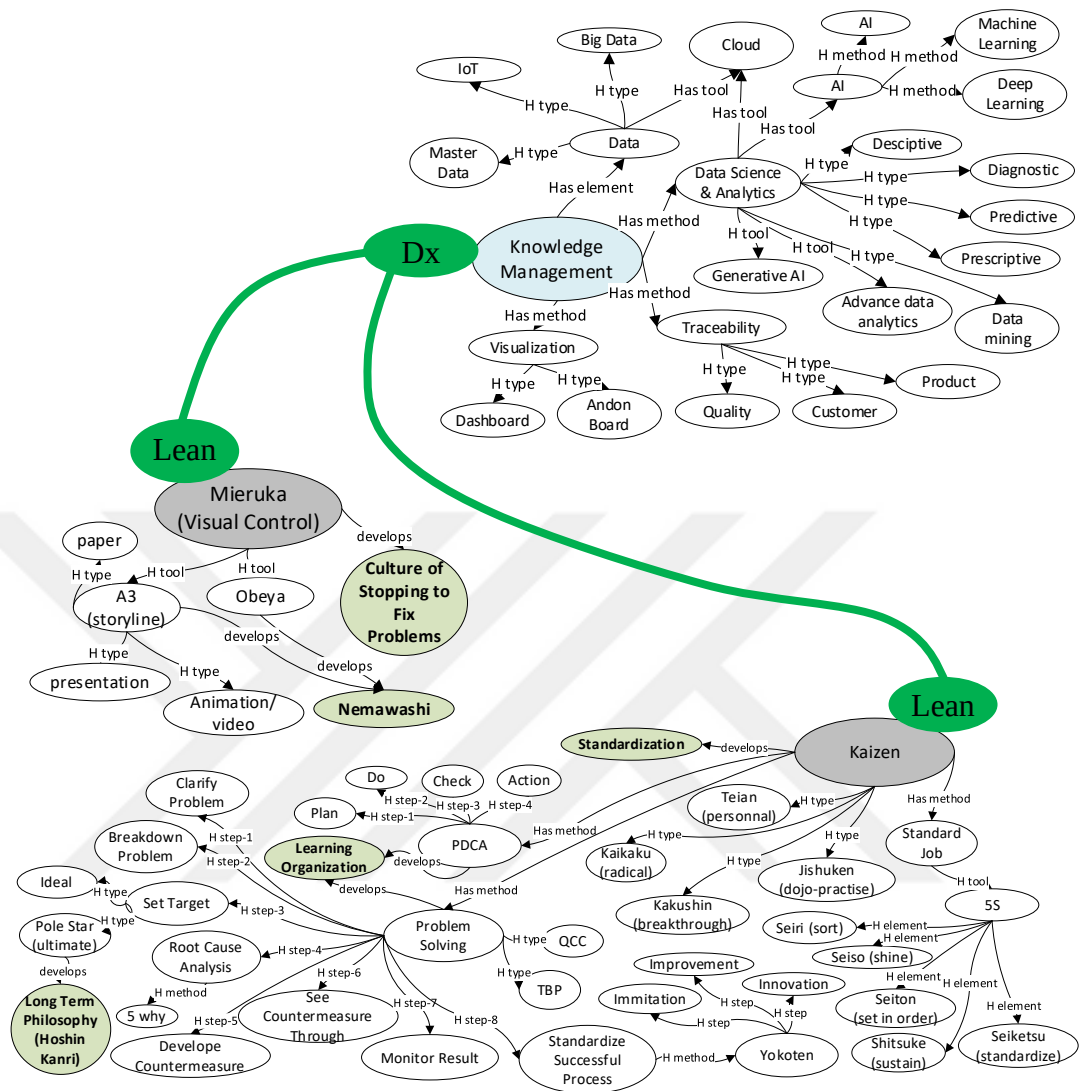
Önerme açıklaması

1- Dijitalizasyon, üretim ve mühendisliği birbirini yakınlılaştırarak ve entegre hale getirecektir.
 2- Dijital alet ve ürünler (tablet, eldiven) çalışanlar tarafından daha da yaygın kullanılacak, çalışanlar robot ve türevleri (cobot) ile daha entegre çalışır hale gelecekler ve bu dönüşümler "iş güvenliği" kavramını sürekli odakta tutacaktır.
 3- Üretim ve mühendisliğin daha da yakınlaşması ile ürün geliştirme ve müşteriye sunma süreçleri hızlanacak, daha düşük maliyet ile kaliteli ürünler müşteri ve paydaş memnuniyetini arttıracaktır.
 4- Üretim ve mühendisliğin dijitalleşmesi eğitilmiş, donanımlı ve kalifiye iş gücü ile mümkün olacaktır. Bu gerçek "öğrenen organizasyon" prensibini daha da önemli kılacaktır.

Hypothesis explanation

1- Digitalization will bring manufacturing and engineering much closer and integrate them.
 2- Employees will be using digital tools/products (tablets, gloves, etc.) more and more and working much closer with them (e.g. cobot) which will put additional focus on "Safety".
 3- Digitalization in manufacturing and engineering will speed up product delivery with higher quality and lower cost, meeting customer expectations.
 4- Manufacturing and engineering digitalization will require skilled and educated people where the "Learning organization" culture in workforce transformation will be a key principle.

Dx/Knowledge Management <-> Lean/Kaizen/Mieruka



Önerme açıklaması

1- Bilgi yönetimi, AI, veri bilimi ve üretken AI benzeri araçlarla çok çeşitli ve boyutlu sonuçları sadece içinde bulunulan an için değil, gelecek için de üretir.

2- Veri bilimi araçları ile “problem çözme” süreci kısalacak ve daha fazla sayıda problemi çözme fırsatı doğacaktır

3-“Standartlaştırma” süreci dramatik olarak kısalacaktır.

4- “Görsel kontrol” kavramının raporlama, Obeya temel araçları bilgi yönetimini yeni araçlarla daha verimli olarak kullanacaklar ve “hemfikirliklik oluşturma” süreci kısalacaktır.

5- “Bilgi yönetimi”, veriyi kullanma araçları ile tahminleme kabiliyet ve kapasitesini artıracak ve “uzun dönemli hedef ve düşünce” prensibini destekleyecektir.

Hypothesis explanation

1- Knowledge management tools such as AI, data science, and generative AI, can generate numerous results and dimensions from data not only for the present but also for the future.

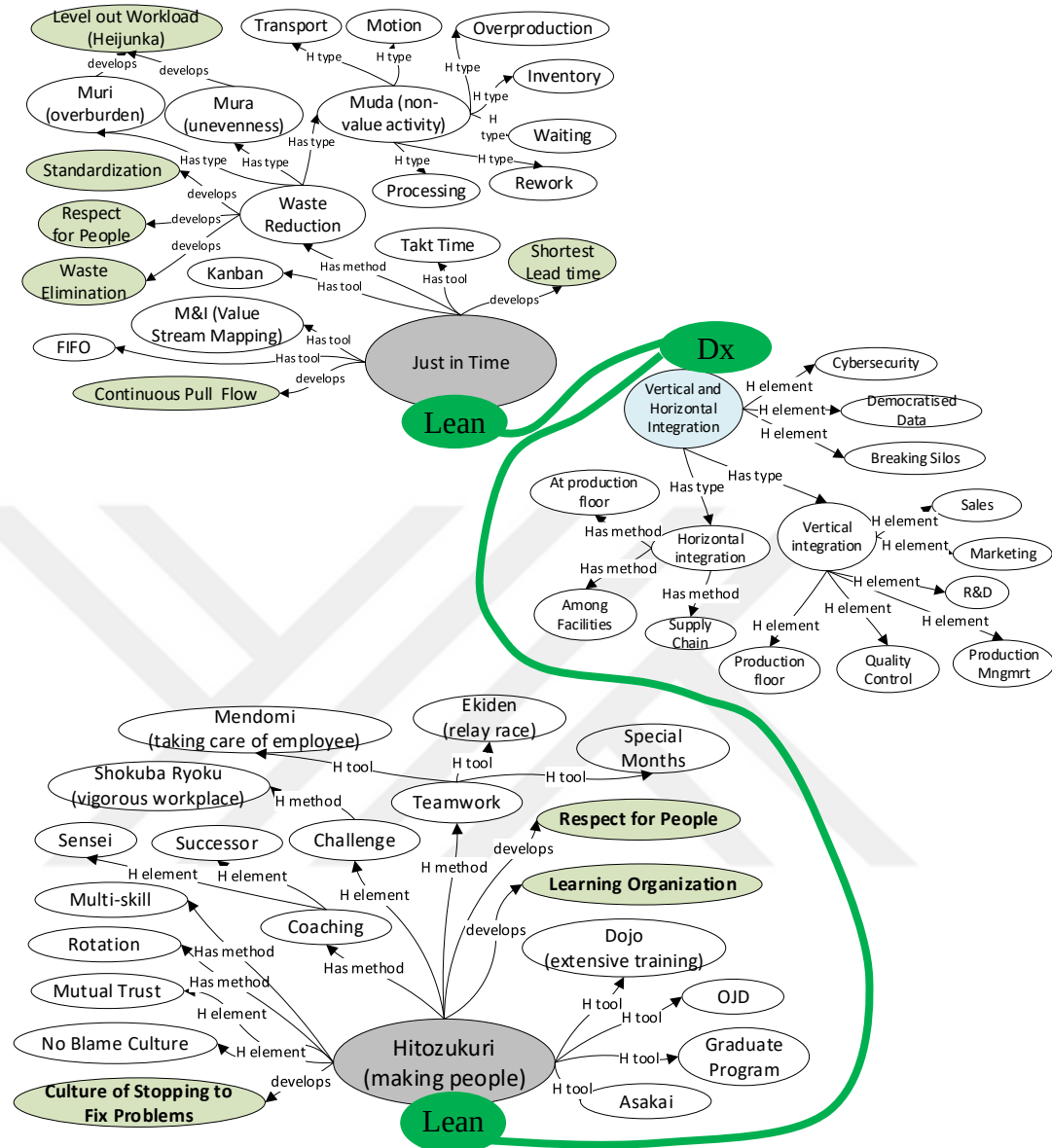
2- With data science tools, the “Problem Solving” cycle will be reduced creating more opportunities to solve more problems.

3- “Standardization” lead time will be reduced dramatically.

4- “Visual Control” core tools such as A3 (storyline), and Obeya will utilize knowledge management opportunities (dashboard, data analytics) to reduce “Nemawashi” lead time.

5- “Knowledge Management” with data, prediction, and visualization will enforce the “Long Term Philosophy” principle.

Dx/Vertical and Horizontal Integration <-> Lean/Hitozukuri/Just in Time



Önerme açıklaması

1- “Düşey entegrasyon”, şirketin ekipleri, bölümleri arasındaki sınırları, engelleri kaldırır. Bu durum takım çalışması ve çalışanın gelişimi ve öğrenen organizasyon için yeni fırsatlar doğurur.

2-Teknolojilerle beraber yatay entegrasyonun artması, paydaşlar arasında görünürlülüğü artırarak karşılıklı güveni güçlendirecektir.

3- Yatay ve düşey entegrasyon “standartlaştırma” için hem şirket hem de paydaşlar arasında yeni imkanlar yaratacaktır.

4- Veri erişiminin kolaylaştırıldığı ve iyi yönetildiği ortam “israf etmeme” prensibinin daha da güçlü uygulanmasına destek olacaktır.

Hypothesis explanation

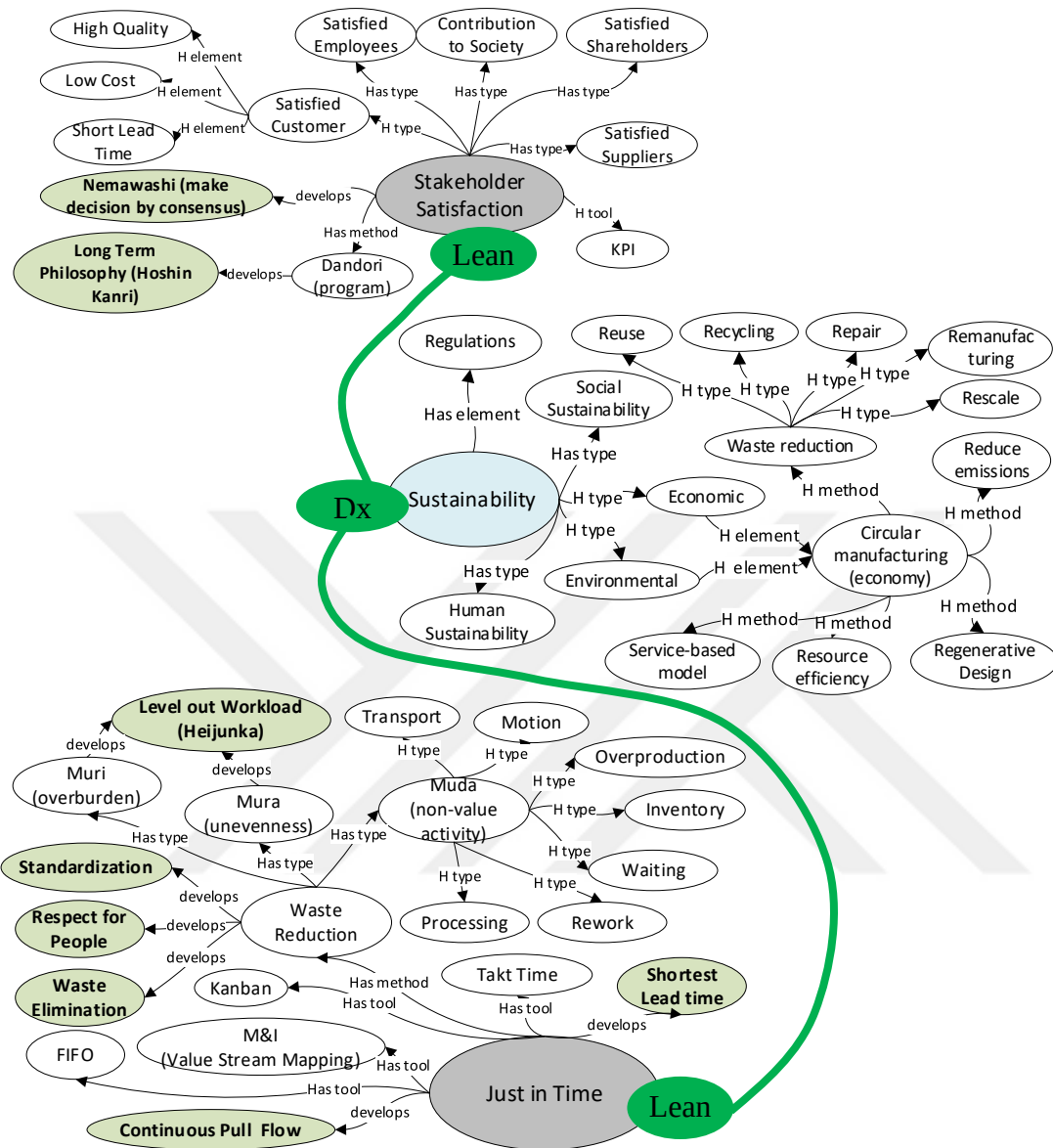
1- Vertical integration breaks down silos among teams in the company providing additional opportunities for teamwork, coaching, and the “learning organization” principle.

2- Horizontal integration with technologies increases mutual trust with suppliers as visibility increases among them.

3- Vertical and horizontal integration would introduce further possibilities for “standardization” within the company and among companies.

4- Democratized data among parties definitely provides further possibilities for the “waste elimination” principle.

Dx/Sustainability <-> Lean/Stakeholder Satisfaction/Just in Time



Önerme açıklaması

1- “Sürdürülebilirlik” hem yasa koyucular ve hem de insanlık için ortak bir gündemdir.
 2-Sürdürülebilirlik için regülasyonlar ve insanların farkındalığı artmaktadır, artacaktır.
 3-İsrafın azaltılması prensip ve metodu yanında “döngüsel üretim” irsaf ve atığın azaltılması için yeni metotlara sahiptir. Sürdürülebilirliğin, regülasyon ve toplumun beklentileri doğrultusunda başarısı tüm bu metotların başarı ile uygulanmasıyla mümkün olacaktır.
 4- “Sürdürülebilirlik”, “paydaş memnuniyeti” ile çok benzer ve yakın tiplere sahiptir. Bu açılardan yalınlığın, “hemfikirlik oluşturma” ve “uzun dönemli hedef ve düşünce” oluşturma prensipleri başarılı başlangıç, ortak hedeflere ulaşma doğrultusunda eşgüdüm ve uzun dönemli planlama ve hazırlık için kritik olacaktır.

Hypothesis explanation

1- “Sustainability” is a common agenda for both policy makers and humans.
 2- There will be more regulations for sustainability as well as increased awareness among people.
 3- Next to “waste elimination”, there will be other methods under “circular manufacturing”. The success of keeping pace with sustainability, regulations, and the expectations for a company with the “waste elimination” principle in place will be high with the necessary transformation.
 4- As “sustainability” has almost the same types as “Stakeholder Satisfaction”, “nemawashi” and “long term philosophy” are key principles for a successful start, alignment and long term planning and readiness.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Hasan Oktay GÖKTAŞ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1988, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Kontrol ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 1991, Ohio State University, Electrical Engineering

MESLEKİ DENEYİM:

- 1991-1997 yılları arasında Ereğli Demir ve Çelik Fabrikalarında bilgisayar mühendisi olarak çalıştı.
- 1992-1993 yılları arasında Türk Silahlı Kuvvetlerinde ordu bilgi işlem subayı olarak çalıştı.
- 1997 yılından bu yana Toyota'da çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Goktas H.O., Yumusak N. (2024). Applying the Delphi Method to Assess Critical Success Factors of Digitalization While Sustaining Lean at a Lean Automaker. *Sustainability*, 16(19), 8424, <https://doi.org/10.3390/su16198424>.

DİĞER ESERLER:

- Krtolica R., Ozguner U., Chan H., Goktas H., Winkelman J., Liubakka M. (1991). Stability of Linear Feedback Systems with Random Communication Delays. *American Control Conferenc*