

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPI PROJELERİNDE KARMAŞIKLIK
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Seçkin KORALAY

Ocak, 2019
İZMİR

YAPI PROJELERİNDE KARMAŞIKLIK ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı**

Seçkin KORALAY

**Ocak, 2019
İZMİR**

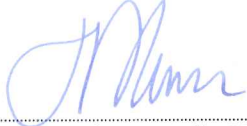
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

SEÇKİN KORALAY, tarafından **DOÇ.DR. FAHİRİYE HİLAL HALICIOĞLU** yönetiminde hazırlanan “**YAPI PROJELERİNDE KARMAŞIKLIK ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



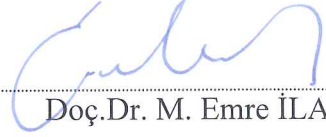
Doç.Dr. Fahriye Hilal HALICIOĞLU

Yönetici



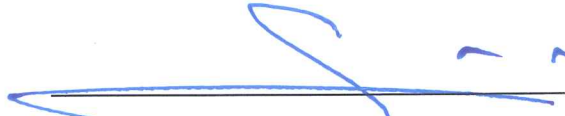
Prof.Dr. Halit YAZICI

Jüri Üyesi



Doç.Dr. M. Emre İLAL

Jüri Üyesi



Prof.Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında

Bilgisini, desteğini ve zamanını esirgemeyerek çalışmalarımı yönlendiren değerli hocam Sn. Doç.Dr. Fahriye Hilal HALICIOĞLU'na,

Eleştiri ve değerli katkılarından dolayı değerli jüri üyeleri Sn. Prof.Dr. Halit YAZICI'ya ve Sn. Doç.Dr. M. Emre İLAL'a,

Her zaman yanımda olup bana destek olan aileme,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Seçkin KORALAY

YAPI PROJELERİNDE KARMAŞIKLIK ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

ÖZ

Yapı endüstrisi, küresel düzeydeki değer üretimi içerisinde ciddi bir paya sahip olan köklü bir üretim alanıdır. Bu önemli endüstri, sıkça benzer büyüklükteki diğer endüstrilere kıyasla sahip olduğu kaynakları üretime etkin bir biçimde dönüştürebilmekte düşük bir beceriye sahip olmak ve üretim teknikleri açısından çağın gerisinde kalmış olmak ile eleştirilmektedir. 1990'lardan bu yana hazırlanan endüstri raporları ile de desteklenen bu eleştirilere yönelik olarak ise yapı endüstrisinin süregelen zaman içerisinde çok fazla ilerleme kaydedemediği görülmektedir. Endüstri hem kendi çözümlerini geliştirebilmek, hem diğer gelişmiş endüstrilerin üretim modellerini uyarlayabilmek, hem de mevcut ileri teknolojileri yaygınlaştırmak konusunda zorluk çekmektedir. Bu duruma yönelik olarak gösterilen temel sebep, endüstri içerisindeki faaliyet ağının doğru bir biçimde anlamlandırılmamış olması gösterilmektedir. Bu faaliyet ağı içerisindeki her bir proje ürün, süreç ve endüstri düzeylerinde kendisine özgü bir karmaşıklık haline sahiptir. Etkili çözümlerin ortaya koyulabilmesinin yolu, öncelikli olarak bu karmaşıklık halinin tüm düzeylerinin bir bütün halinde ele alınıp kavranmasıdır. Bu bağlamda tez kapsamında, bu tür bir bütüncüllük için öne çıkan düşünce biçimi olan "karmaşık sistemler yaklaşımı" üzerinden karmaşıklık ve karmaşık proje kavramları irdelenmekte, yapı projelerinin karmaşıklık halinin etkileri, sebepleri ve nasıl üstesinden gelinebileceği sorgulanmakta ve bu doğrultuda ne tür yönetsel ve tekniksel stratejilerin öne sürüldüğünü tespit edebilmek amacıyla bir sistematik literatür incelemesi yürütülmektedir.

Anahtar kelimeler: Yapı endüstrisi, üretim etkinliği, karmaşık sistemler yaklaşımı, proje karmaşıklığı, karmaşıklık yönetimi

AN INVESTIGATION ON THE COMPLEXITY IN CONSTRUCTION PROJECTS

ABSTRACT

The construction industry is a long-established production field that has a significant share in global value generation. This important industry is often criticized for having a low ability to effectively transform its resources to production compared to other similar-sized industries and for being behind the era in terms of production techniques. In view of these criticisms, which have been supported by industry reports prepared since the 1990s, the construction industry has not made much progress in the course of time. The industry struggles in developing its own solutions, in adapting the production models of other developed industries and also in expanding the existing advanced technologies. The main reason for this situation is the fact that the production network within the industry has not been properly understood. Each project within this network has a unique complexity at product, process and industry levels. The way in which effective solutions can be introduced should be primarily based on dealing with these levels of complexity as a whole. In this context, within the scope of the thesis, complexity and complex project concepts are examined through the lense of complex systems approach which is the foremost paradigm for such a holistic approach. The project complexity relating to the construction industry is questioned in terms of its effects, causes and also how to overcome it. As last, a systematic literature review is carried out in order to investigate what kind of managerial and technical strategies were put forward to cope with the complexity in construction projects.

Keywords: Construction industry, production efficiency, complex systems approach, project complexity, complexity management

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....	1
1.1 Problemin Tanımlanması.....	5
1.2 Çalışmanın Hedefi ve Amaçları.....	6
1.3 Çalışmanın Kapsamı.....	7
1.4 Araştırma Yöntemi.....	7
1.5 Çalışmanın Organizasyonu.....	8
BÖLÜM İKİ - YAPI ENDÜSTRİSİNDE ÜRETİM ETKİNLİĞİ SORUNU...	10
2.1 Üretim Etkinliğine İlişkin Temel Kavramların Tanımlanması.....	10
2.2 Yapı Endüstrisinin Üretim Etkinliğini Yükseltmeye Yönelik Son Yüzyıldaki Gelişmeler.....	15
2.3 Mevcut Yapı Üretim Etkinliği Sorununun Gerekçeleri.....	30
BÖLÜM ÜÇ - KARMAŞIK SİSTEMLER YAKLAŞIMI VE YAPI ÜRETİM SÜRECİNDE KARMAŞIKLIK.....	42
3.1 Karmaşık Sistemler Yaklaşımı.....	46
3.1.1 Karmaşık Sistemler Yaklaşımının Düşünce Altyapısı.....	47
3.1.2 Karmaşık Sistemler Yaklaşımının Kullanım Alanı Bulduğu Disiplinler.	55

3.2 Karmaşık Bir Proje Olarak Yapı Üretimi.....	57
3.2.1 “Proje” Kavramına İlişkin Temel Bilgilerin Tanımlanması.....	58
3.2.1.1 Proje nedir? Proje Yönetimi Nedir? Süreci Nedir? Başarılı Proje Nedir?.....	58
3.2.1.2 Proje Yönetimine İlişkin Mevcut Öncü Kuruluşlar ve Yayınlar.....	61
3.2.1.3 Proje Yönetimine İlişkin Yaklaşımların Tarihsel Gelişimi.....	63
3.2.2 “Karmaşık Proje” Kavramına İlişkin Temel Bilgilerin Tanımlanması... ..	68
3.2.2.1 “Karmaşıklık” Kavramı Üzerine Epistemolojik Bakış (Algılanan ve Tanımlanan Karmaşa).....	69
3.2.2.2 Karmaşık Proje Nedir? Temel Kavramların Tanımlanması ve Karşılaştırılması.....	72
3.2.2.3 Hangi Tür Durumlar Hangi Tür Projelerdir? (Basit, Komplike, Karmaşık, Kaotik).....	75
3.2.3 Yapı Üretimi, Karmaşık Bir Proje Midir?.....	81
3.3 Proje Yönetiminde Karmaşıklık Olgusunun Ele Alınış Biçimi.....	87
3.3.1 Proje Yönetimi Açısından Karmaşıklığın Unsurları.....	90
3.3.1.1 Yapısal Karmaşa.....	99
3.3.1.2 Dinamik Belirsizlik.....	101
3.3.1.3 Süreç Temposu.....	112
3.3.2 Proje Yönetimi Açısından Karmaşıklığın Ölçülmesi.....	116
3.3.3 Proje Karmaşıklığının Yönetilmesi Üzerine Düşünceler.....	120

BÖLÜM DÖRT - YAPI PROJELERİNDE KARMAŞIK SİSTEMLER YAKLAŞIMINA DAYANAN STRATEJİLERİN BELİRLENMESİ.....137

4.1 Araştırma Yöntemi: SistematiK Literatür İncelemesinin Tanımı ve Uygulanış Biçimi.....	137
4.2 Analiz ve Değerlendirme.....	139
4.2.1 SLİ İçin Araştırma Konusunun ve İlişkin Anahtar Kelimelerin Belirlenmesi.....	140
4.2.2 SLİ İçin Veri Toplanması ve Ayıklanması.....	142

4.2.3 SLİ Verilerinin Analiz Edilmesi.....	144
4.2.3.1 Grup 1 - Yapı üretim organizasyonun karmaşıklığının nasıl yönetilmesi gerektiğine ilişkin çalışmalar.....	147
4.2.3.2 Grup 2 - Yapı üretiminin teknolojik açıdan bütüncül bir biçimde nasıl ele alınabileceğine ilişkin modeller (çerçeveler) sunan çalışmalar.....	158
4.2.3.3 Grup 3 - Yapı üretimindeki karmaşıklık sorununun üstesinden gelebilmek için geliştirilen teknolojileri ortaya koyan çalışmalar.	163
4.2.4 SLİ Sonuç Değerlendirmesi.....	180
BÖLÜM BEŞ – SONUÇ.....	186
KAYNAKLAR.....	190

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Avrupa otomotiv ve yapı endüstrilerinin üretkenlik seviyeleri.....	12
Şekil 2.2 ABD tarım dışı sanayi ve yapı endüstrisi üretkenlik seviyeleri.....	13
Şekil 2.3 1995-2014 yılları arası endüstrilere göre küresel üretkenlik artışı	14
Şekil 2.4 Ülkelere göre işgücü üretkenliği ve işgücü üretkenliği artışı.....	14
Şekil 2.5 Fuller tarafından tasarlanan Dymaxion Evi	17
Şekil 2.6 Paket Ev sistemini anlatan bir maket.....	18
Şekil 2.7 Lustron	18
Şekil 2.8 Modüler olarak üretilen iki ikonik yapı; Habitat 67 ve Nakagin Kapsül Kulesi.....	19
Şekil 2.9 Bir yapının dijital modeli ve ilişkin maliyet-zaman hesaplamaları	21
Şekil 2.10 Shimizu tarafından geliştirilen ilk tek görevli yapım robotu: SSR-1.....	23
Şekil 2.11 Sırasıyla; Taisei cephe kaplama ve boyama robotu, RIEGL Ricopter saha gözlem robotu ve beton seviyeleme robotu	24
Şekil 2.12 Obayashi ABCS (Automated Building Construction System) ve NCC Komplett bütünleşik oto-yapım sistemleri.....	25
Şekil 2.13 "Shimizu SMART" ve "Kajima AMURAD" sistemlerinin üretim şemaları.....	26
Şekil 2.14 Khoshevis tarafından patentlenen "Contour Crafting" sistemi.....	27
Şekil 2.15 Eklemeli üretim ve geleneksel üretim biçimlerinin karşılaştırılması.....	28
Şekil 2.16 Contour Crafting sistemi ile hedeflenen bazı üretim biçimleri	28
Şekil 2.17 Minibuilders robotları ile yürütülen bir eklemeli üretim.....	29
Şekil 2.18 Yapı üretiminin kendisine özgü özellikleri	31
Şekil 2.19 İmalat ve yapı üretiminde ürün ve üretim ekibi arasındaki ilişki	32
Şekil 2.20 Gevşekçe bağlı bir sistem olarak yapı endüstrisi	34
Şekil 2.21 Sektörlerine göre dünya genelinde yıllık tahmini yıl sonu endüstriyel robot satış miktarları	37
Şekil 2.22 "MGI 2015 Endüstri Dijitalleşme Endeksi"	38

Şekil 2.23 Bir endüstri içerisindeki yenilikçi teknolojilerin gelişiminin S-eğrisi ile gösterimi	40
Şekil 3.1 “Sindiren Ördek” (Digesting Duck)	48
Şekil 3.2 Bir hidrojen atomunun elektronun yörüngede bulunabileceği yeri gösteren ihtimal bulutu (electron probability cloud).....	50
Şekil 3.3 Lorenz'in ön koşullara olan hassasiyeti açıklamak için verdiği "pinball makinası" örneği	52
Şekil 3.4 Karmaşık bir sistem ağının çözümlenmesi	54
Şekil 3.5 Organizasyon eylemlerinin zaman içerisindeki evrilişi.....	59
Şekil 3.6 Bir organizasyonun durumunun proje sürecindeki değişimi	59
Şekil 3.7 Proje yönetimi sürecine ilişkin beş ana süreç	60
Şekil 3.8 Edinilen proje değerini açıklayan sahiplenici-yüklenici modeli	61
Şekil 3.9 OpenProj yazılımı ile hazırlanan bir Gantt çizelgesi	66
Şekil 3.10 Karmaşık sistemlerin indirgemeci yöntem ile çözümlenmesi.....	66
Şekil 3.11 “Kompleks” ve “komplike” kavramlarının etimolojik kökenleri üzerinden şematik olarak karşılaştırılması	74
Şekil 3.12 Farklı sistem durumlarına ilişkin yapısal farklılıklar	75
Şekil 3.13 Snowden tarafından geliştirilen Cynefin çerçevesi	76
Şekil 3.14 Cynefin çerçevesi içerisindeki alanlar	77
Şekil 3.15 Basit ve karmaşık projelerin karşılaştırılması	80
Şekil 3.16 Yapı projesinde kaos sınırı	84
Şekil 3.17 Yapı üretiminin farklı modellere göre süreci	85
Şekil 3.18 Bertelsen ve Sacks'a göre yapı üretiminin gerçek yaşamdaki süreci.....	86
Şekil 3.19 Botchkarev ve Finnigan'ın proje karmaşıklığına ilişkin SoS modeli	89
Şekil 3.20 Williams tarafından ortaya konan proje karmaşıklığı bileşenleri.....	93
Şekil 3.21 Xia ve Lee'nin karmaşıklık matrisi	94
Şekil 3.22 Remington ve Pollack tarafından tanımlanan karmaşıklık türleri	95
Şekil 3.23 Geraldi ve Adlbrecht'ın tanımladığı karmaşa örüntüsünün “gerçeklik” ve “inanç” boyutları	97

Şekil 3.24 Geraldi ve diğer.'nin sistematik literatür araştırmasına göre karmaşıklığın sebebi olarak öne sürülen unsurların tarihsel gelişimi.....	98
Şekil 3.25 Azim ve diğerlerine göre karmaşıklığa etki eden aktörlerin ağırlıkları.	111
Şekil 3.26 Karmaşıklık modelinin katmanları	118
Şekil 3.27 Shenhar ve Dvir tarafından ortaya koyulan proje taksonomisi.....	122
Şekil 3.28 Bir projenin taksonominin herhangi bir boyutundaki ilerlemesinin etkileri.....	123
Şekil 3.29 Denver Uluslararası Havalimanı projesinin “Elmas Çerçeve” içerisindeki konumu.....	124
Şekil 3.30 Hass tarafından ortaya koyulan karmaşıklık yönetim çerçevesi	125
Şekil 3.31 GDCPP çerçevesi	127
Şekil 3.32 Maylor ve diğer. tarafından sunulan MODeST modeli.....	129
Şekil 4.1 Sistematik literatür incelemesi için izlenecek olan adımlar.....	139
Şekil 4.2 SLİ'nin uygulama aşamaları ve sonucunda elde edilen veriler.....	144
Şekil 4.3 SLİ sonucunda belirlenen 86 yayının tarihsel dağılımları.....	145
Şekil 4.4 Alfares ve Seireg tarafından ortaya koyulan bilgisayarla bütünleşik yapım sistemi çerçevesi.....	160
Şekil 4.5 FIATECH tarafından ortaya koyulan bilgisayarla bütünleşik yapım sistemi çerçevesi.....	161
Şekil 4.6 Bulbul ve diğer. tarafından ortaya koyulan akıllı yapı üretim sistemi.....	162
Şekil 4.7 Bütünleşik üretim süreci modeli.....	168
Şekil 4.8 Değişim yönetiminin aşamaları	170
Şekil 4.9 Song ve Eldin tarafından sunulan ileriye dönük planlama modeli.....	171
Şekil 4.10 İnşa sürecine yönelik işbirliktelik platform.....	172

TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Yapı endüstrisinin bazı ülkeler içerisindeki büyüklüğü.....	1
Tablo 3.1 Bilimsel literatürde karmaşık sistemler yaklaşımı üzerine yapılan ve en fazla atıf alan çalışmalar.....	43
Tablo 3.2 Bilimsel literatürde proje karmaşıklığı üzerine yapılan ve en fazla atıf alan çalışmalar.....	43
Tablo 3.3 Bilimsel literatürde yapı projelerinin karmaşıklığı üzerine yapılan ve en fazla atıf alan çalışmalar.....	45
Tablo 3.4 Shenhar ve Dvir tarafından tanımlanan üç sistem kapsamı türünün projenin yapısı üzerine etkileri	101
Tablo 3.5 Shenhar ve Dvir'in farklı tür teknolojik belirsizliklerin proje yapısı üzerine etkisine ilişkin karşılaştırılması	108
Tablo 3.6 Clift ve Vandenbosch'un farklı karmaşıklık düzeyleri ve farklı süreç uzunlukları arasındaki ilişkiye yönelik raporu.....	116
Tablo 3.7 Literatürde karmaşıklığın ölçülmesine yönelik yapılan çalışmalarda uygulanan yöntemler	120
Tablo 3.8 Shenhar ve Dvir'in (1996) proje taksonomisi için verdiği bazı örnek projeler	122
Tablo 3.9 Hangi tür belirsizliklere karşı hangi tür stratejilerin uygulanabileceğine yönelik sınıflandırma.....	130
Tablo 4.1 Arama dizilerinden çıkan sonuçların gruplara ayrıştırılması.....	145
Tablo 4.2 Belirlenen yayınlar içerisinde en fazla öne çıkan dergiler.....	146
Tablo 4.3 SLİ kapsamında yönetimsel yaklaşımlara yönelik incelenen çalışmalar..	152
Tablo 4.4 Yapım karmaşıklığına yönelik bütüncül tekniksel yaklaşımlar kapsamında incelenen çalışmalar.....	158
Tablo 4.5 SLİ içerisinde veritabanı platformlarına yönelik olarak incelenen çalışmalar.....	165
Tablo 4.6 Yapı üretim faaliyetlerine ilişkin verinin işlenmesine yönelik olarak incelenen çalışmalar.....	174

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Yapı üretimi, insanların birincil ihtiyaçlarından birisi olan barınmayı karşılamak amacıyla ortaya çıkan en eski ve temel uğraşlarından birisidir. Yerel ve basit malzemelerin ilkel olanaklar doğrultusunda kullanılmasıyla başlayan bu uğraş, insanlığın çağlar boyunca sürdürdüğü toplumsal, kültürel ve teknolojik gelişime bağlı olarak dönemin ileri malzemelerinin ve tekniklerinin çeşitli yapısal ihtiyaçları karşılamak için kullanıldığı bir endüstriye dönüşmüştür (Ngowi ve diğer., 2005). Günümüzde barınma, eğitim, kültürel, tıbbi, dini, askeri ve altyapı gibi birçok amaca yönelik olarak üretimin gerçekleştirildiği yapı endüstrisi, küresel üretimin de önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

Endüstrileşmiş ülkelerde gayrisafi yurtiçi hasılanın (GSYİH) %10'u büyüklüğüne ulaşabilen yapı endüstrisi (Balaguer ve Abderrahim, 2008), ülkelerin işgücü miktarında da önemli bir paya sahiptir (Tablo 1.1).

Tablo 1.1 Yapı endüstrisinin bazı ülkeler içerisindeki büyüklüğü (Saidi ve diğer., 2016)

	Ülkeler (veri yılı)			
	ABD (2012)	AB (2009)	Japonya (2011)	Çin (2011)
Yapı endüstrisinin üretilen milli değerdeki oranı (%)	5	7	10	7
Yapı endüstrisi işgücünün sayısı (milyon)	5,6	19,25	6,3	39,2
Yapı endüstrisi işgücünün toplam milli işgücüne oranı (%)	5	11	10	5

Küresel düzeydeki değer üretiminin önemli bir bölümünü oluşturan ve bunun için de malzeme, enerji ve işgücü açısından yüksek miktarda girdi kullanan yapı endüstrisinin öneminin ve büyüklüğünün diğer yüzünde ise, kaynaklarını ne kadar etkin bir biçimde üretime dönüştürebildiği konusundaki kaygılar bulunmaktadır (Janipha ve diğer., 2015). Üretkenlik, kalite ve maliyet gibi yönlerden özellikle imalat endüstrilerinin gerisinde kalan yapı endüstrisinin (Winch ve diğer., 1998; Höök ve Stehn, 2008) başarısını sınırlandıran en temel sebep, yapı üretiminin çeşitli

ve dağınık eylemlerden oluşan, yönetilmesi ve uygulanması zor bir süreç olmasıdır (Wood ve Ashton, 2010). Geçmişten bu yana bilinen ve süregelen bu sorunu örneğin Cox ve Goodman (1956, s.36) şu şekilde tariflemektedir:

Bir yapının fiziksel varlığı, oldukça dağınık kaynaklardan toplanarak bir araya getirilmiş bir malzeme yığınıdır. Bu malzemeler değişik yerlerde, büyük miktarlar halinde, farklı biçimlerde ve düzeylerde işlenmeye alınmakta, uzunlukları değişebilen farklı türdeki süreçlerce ve birçok farklı iş kolundan çok sayıda insanın organizasyonu dahilinde kullanılmaktadırlar.

Benzer bir biçimde Howard ve diğer. (1989) yapı üretim faaliyetinin planlanmasından tasarımına ve inşaatına kadar tüm safhaları parçalı eylemlerden oluşan bir süreç olduğunu belirtmekte ve Winch (1989) de bu süreci paydaşlar üzerinden şu şekilde açıklamaktadır: "Yapı üretimi, birçok sayıda bağımsız firmanın tek bir yapı projesini gerçekleştirebilmek amacıyla bir araya geldiği ve bu proje için sanki tek bir firmaymış gibi çalıştığı bir süreçtir."

Yapı üretimine ilişkin olarak tariflenen bu zorlu ve parçalı süreç, Williams (1999) tarafından da belirtildiği üzere çağın ilerleyişi doğrultusunda giderek daha da karmaşık bir hale evrilmektedir. Çağın yarattığı ihtiyaçlar ile birlikte üretime ilişkin beklentilerin ve taleplerin de sürekli olarak artış gösterdiği bu durumu Gidado (1996, s.214) sebepleri ile birlikte şu şekilde sıralamaktadır:

Yapı üretimine ilişkin sürekli bir hızlilik talebi, maliyete ve kaliteye yönelik kontroller, iş alanlarındaki güvenlik gereksinimleri ve ayrıca teknolojik gelişmeler, ekonomik serbestlik, küreselleşme, çevresel konular ile endüstri içerisindeki parçalılık bir sarmala ve yapı üretim sürecinin karmaşıklığının artışına sebep olmaktadır.

Belirtilen tüm bu problematik unsurlar altında yapı endüstrisinin ne kadar başarılı bir faaliyet ağı sürdürebildiği ise, üretim etkinliğine ilişkin kaygıların asıl odağıdır.

Özellikle modern çağ içerisinde üretkenlik ve verimlilik açısından sıçramalar yaşayan imalat endüstrilerinin bu noktada oldukça gerisinde kalınıyor olmasına bağlı olarak giderek daha da belirginleşen bu durum, çözümlenmesi gereken bir sorun olarak günümüzden onlarca yıl önce dahi dile getirilmiştir. Örneğin 1994 Latham Raporu (Latham, 1994) kaynaklarını savurgan kullanan ve alıcıları için yeterli değeri üretemeyen bir üretim alanı olarak betimlediği yapı endüstrisini "yetersiz, uzlaş bulunmayan, parçalı ve üretim becerisi düşük" biçiminde tanımlamaktadır. "*Rethinking Construction*" ismi ile İngiltere'deki yapı üretiminin kalitesini ve verimliliğini arttırmak hedefiyle hükümet tarafından desteklenip hazırlanan 1998 Egan Raporu (Egan, 1998), düşük üretim performansının mevcut üretim biçiminin bir sonucu olduğunu ve bu yüzden de endüstrinin radikal çözümler ile birlikte diğer endüstrilerde olduğu gibi modernleşmesi gerektiğini belirtmekte, modernleşme konusundaki en büyük engelin de hem yatırımların azlığına hem de gelişmelerin yaygınlaşamamasına sebep olan endüstrinin parçalı yapısı olduğunu belirtmektedir. Bu bağlamda, özellikle endüstri ve kitlesel üretim devrimleri ile birlikte büyük sıçramalar yakalayan imalat endüstrilerinin gerisinde kalan ve teknolojiyi üreten değil takip eden konumuna düşen yapı endüstrisinin durumu Castro-Lacouture (2009, s.1063) şu şekilde açıklamaktadır:

Yapı endüstrisi, işgücünün yoğun olduğu, proje tabanlı ve yeni çıkan teknolojilere yavaş uyum gösterebilen bir endüstridir. Tüm bu etkenlerin bir birleşimi olarak bu endüstri yalnızca dünya genelindeki en tehlikeli üretim alanı değil, aynı zamanda deneyimli işgücü eksikliği, beklenmedik arazi koşulları, tasarım değişiklikleri, iletişim problemleri, inşa edilebilirlik sorunları ve inşaat yöntem ile tekniklerinin uygun olmaması gibi olası sebeplerle düşük üretkenliğe ve bütçe aşımalarına da eğilimlidir.

Çözüm odaklı olarak, modernleşmenin nasıl gerçekleştirilebileceği konusunda yapı endüstrisinin diğer gelişmiş endüstrilerden örnek alabileceği üretim modelleri ve çağın getirdiği teknolojik olanaklar bulunmaktadır (Li ve He, 2013). Özellikle üretimin daha mekanik bir hale getirilebilmesini sağlayan çağdaş teknolojiler, yapı

endüstrisinden beklenen üretim etkinliği seviyesini karşılayabilme konusunda insan işgücünden daha fazlasını vaat etmektedir. Linner (2013, s.3), bu durumu şu şekilde açıklamaktadır:

İnsan işgücünün aksine, makina teknolojisi (otomasyon ve robotik teknolojileri de içeren modern versiyonları ile birlikte) hesaplanabilir ve de zaman, maliyet, kalite garantisi veren bir üretim biçimi sunmaktadır. Ayrıca yine insanların aksine, üretim kapasitesinin geliştirilmesi konusundaki potansiyeli sınırsızdır.

Bu doğrultuda yapı üretim sürecinin nasıl şekillenmesi gerektiği, ne tür teknolojilerin hangi amaçlarla kullanılabileceği hakkında da birçok araştırma ve rapor bulunmaktadır. Örneğin, 2001 yılında yayımlanan "*Modernising Construction*" raporu (National Audit Office, 2001) satın alma, tedarik ve teslimat safhalarına yoğunlaşmakta ve proje katılımcılarının bütünleşik hareket edebilmesi için bilgi teknolojilerini öne çıkarmaktadır. 2008 "*ICT and Automation*" raporu (National Platform, 2008), yapının tasarımından inşaatına ve tüm yaşam döngüsüne yönelik olarak gerekli olan bilgi, iletişim ve otomasyon teknolojilerini tanımlamakta ve bu doğrultuda bir yol haritası çizmektedir. Benzer biçimde, "Construction 2025" raporu da (Cable ve diğer., 2013) endüstrinin ileriye dönük başarısı için belirlediği hedefler arasında "verimli ve teknolojik olarak üstün" ifadesine yer vermektedir.

Yapı endüstrisinin belirtilen tüm bu sorunlarına yönelik olarak uzun süredir sahip olunan farkındalık ve çözüm çabalarına rağmen gelinen noktada ise, 2017 yılı McKinsey raporunda (MGI, 2017) şu ifadeye yer verilmektedir:

Sektörün üretkenliğinin artırılmasından önemli faydalar sağlanacak olmasına ve de endüstrinin önündeki engellerin uzun süredir tartışılmış ve iyi biliniyor olması rağmen, ilerleme oldukça sınırlıdır. Endüstri en iyi halinde dahi çok yavaş evriliyor gibi gözükmemektedir....Endüstri, daha üretken bir yaklaşıma ihtiyaç duymaktadır ve bu tür bir yaklaşımı sağlayabilecek araçlar da giderek artmaktadır....Biz (McKinsey), endüstrinin maliyet, zamanlama, tahmin

edilebilirlik gibi yönlerden zayıf performansının iyileştirilebilmesi için süreç tabanlı sistemlerden daha bütüncül proje-faaliyet sistemlerine yönelinmesine ihtiyaç duyulduğunu görmekteyiz.

Daha üretken bir üretimi sağlayacak olan bütüncül yaklaşımın ne olabileceği konusunda, son dönemlerde de giderek popülerleşen bir düşünce biçimi olan "karmaşık sistemler yaklaşımı" öne çıkmaktadır. Bu yaklaşım altında organizasyon yönetimine yönelik olarak "proje karmaşıklığı" kavramı üzerinden yapılan çalışmalara göre yapı üretimi, belirsizliklerle dolu bir çevrede yürütülen, dinamik ve karmaşık bir üretim ağıdır (Jensen ve diğer., 2014). Endüstrinin başarısı için ise, yapı üretim ağının kendisine özgü karmaşık yapısının iyi anlaşılması ve bu özgülüğe uygun çözümlerin geliştirilmesi gerekmektedir (Wood ve Gidado, 2008).

1.1 Problemin Tanımlanması

Bir endüstrinin üretim etkinliği, kaynaklarını ne kadar başarılı bir biçimde dönüştürebildiği ve katılımcılarına maliyet, zaman, kalite ve kapsam gibi yönlerden ne kadar değer katabildiği ile ilişkilidir. Yapı endüstrisi, küresel düzeydeki önemine ve büyüklüğüne rağmen bu noktada hem üretkenlik ve verimlilik açısından genel üretim ortalamalarının altında bir seviyede kalmakta hem de beklentileri karşılayabilmekte güçlük çekmektedir.

Tüm bu sorunlara yönelik olarak gösterilen temel etken ise, yapı endüstrisinin üretim ağının özgün ve karmaşık doğasıdır. Bir yapı projesi ürün, süreç endüstri düzeylerinin her birinde bu karmaşıklık hali ile karşı karşıyadır. Yapı, özgün bir arazi üzerinde, özgün bir tasarım dahilinde birçok farklı çeşitlilikte ve büyüklükte malzemenin, bileşenin ve sistemin bir araya geldiği bir üründür. Bu karmaşık ürün, birçok tedarikçinin ve birçok farklı disiplinden insan kaynağının işbirlikteliği dahilinde çeşitli teknolojilerce uygulanan zorlu bir süreci gerektirmektedir. Bu zorlu süreç ise, yapı endüstrisinin dağınık (merkezi olmayan) ve parçalı yapısı içerisinde sürdürülmektedir. Tüm bunlara ek olarak, yapı projeleri tasarımından planlamasına

ve inşaatına kadar ki kendi iç değişkenlerinin yanı sıra bir de politik, toplumsal ve ekonomik çevrelerin dinamiklikleri ve belirsizlikleri ile de mücadele etmek durumundadır.

Endüstrinin bu karmaşık hali, hem proje süreçlerinin etkin bir biçimde yürütülebilmesini zorlaştırmakta hem de bu duruma yönelik yenilikçi çözümlerin getirilebilmesini sınırlandırmaktadır. Modern çağ içerisinde üretim sürecinin yönetsel ve tekniksel boyutlarını destekleyebilecek çeşitli gelişmeler yaşanmış olsa da, yapı endüstrisi çağın getirdiği bu olanakları değerlendirebilmek konusunda diğer endüstrilere kıyasla daha yavaş bir ilerleme kaydetmektedir. Hedeflenen üretim etkinliği seviyesinin yakalanabilmesini sağlayacak çözümleri kendi içerisinde üretebilmek konusunda yetersiz kalan yapı endüstrisi, bu konuda daha başarılı olan imalat endüstrilerinin üretim modellerini uyarlamaya çalışmakta fakat bu tür bir aktarımı da endüstrinin kendisine özgü karmaşık doğası ile örtüşmediği için sınırlı düzeyde bir fayda sağlayabilmektedir.

Bu bağlamda yapı endüstrisinin kendi doğasına uygun üretim modellerinin geliştirilebilmesi için, sorunlarının kaynağı olarak gösterilen karmaşıklık olgusunun yapı üretim sürecine ilişkin olarak neyi ifade ettiğinin anlaşılması ve bu olguya yönelik olarak ürün, süreç ve endüstri özelinde çözümlerin getirilmesi gerekmektedir.

1.2 Çalışmanın Hedefi ve Amaçları

Bu çalışmanın hedefi, yapı endüstrisindeki üretim etkinliği sorununu irdelemek, bu sorunun sebebi olarak gösterilen karmaşıklık kavramını anlayabilmek, yapı projelerinin karmaşıklık halini kavrayabilmek ve bu karmaşıklık halinin üstesinden gelebilmek için ortaya koyulan yöntemleri saptayabilmektir. Bu hedef doğrultusunda çalışmanın amaçları şunlardır:

- Yapı endüstrisinin diğer endüstrilere kıyasla ne kadar etkin bir üretim sergileyebildiğini araştırmak, üretimin etkinliğini arttırabilmek için ne tür

gelişmelerin yaşandığını incelemek ve bunların neden çözüm sağlayamadığının sebeplerini belirlemek,

- Yapı endüstrisinde düşük üretim etkinliği sorununun asıl kaynaklarından birisi olarak gösterilen "karmaşıklık" olgusunun sebeplerini ve etkilerini incelemek ve yapı projelerinde karmaşıklığın üstesinden gelebilmek için ne tür yöntemlerin/yaklaşımların ortaya koyulduğunu saptamaktır.

1.3 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma içerisinde karmaşıklık olgusu, "proje karmaşıklığı" kavramı üzerinden yapı endüstrisine yönelik olarak irdelenmektedir. Karmaşıklığın etkileri, sebepleri ve nasıl yönetilebileceği ürün, süreç ve endüstri düzeylerinde bir bütün olarak ele alınıp sorgulanmaktadır.

Araştırma, karmaşıklık konusunda doğrudan yapı endüstrisine yönelik bilimsel yayınların sınırlılığından dolayı herhangi bir yapı türü ile sınırlandırılmamaktadır. Her ne kadar proje karmaşıklığının tanımlı bir kavram olarak incelenmeye başlanması 1990'lara kadar dayansa da, bu alandaki bilgi gelişimi yalnızca belirli bir endüstri üzerinden ilerlenebilecek kadar dahi ne derinliklidir ne de ayrılmış biçimdedir.

1.4 Araştırma Yöntemi

Çalışma, üretim etkinliği sorununun sebebi olarak gösterilen "karmaşıklık" olgusu üzerine yapı projelerine yönelik ne tür stratejilerin ortaya koyulduğunu saptayabilmek amacıyla yürütülen bir sistematik literatür incelemesine (SLİ) dayanmaktadır.

"Cochrane Handbook for Systematic Reviews" (Higgins ve Green, 2011) içerisinde açıklandığı biçimde sistematik literatür incelemesi ile hedeflenen, belirli bir araştırma sorusuna cevap bulabilmek amacıyla önceden belirlenmiş olan

kriterlere uyan tüm bilimsel çalışmaları toparlayıp harmanlamaktır. Özellikle tıp alanında bir araştırma konusuna ilişkin mevcut niceliksel verileri toplamak ve bir meta-analizi oluşturmak amacıyla kullanılan bu yöntem (Tranfield ve diğer., 2003), diğer alanlarda da yaygınlaşmakta ve " karmaşıklık " gibi niteliksel araştırmaları gerektiren konular için de mevcut düşüncelerin haritalandırılması amacıyla kullanılmaktadır (Geraldi ve diğer., 2011; Bakhshi ve diğer., 2016; Luo ve diğer., 2016). Bu tür çalışmalar doğrultusunda açık, şeffaf, tekrar edilebilir ve sistematik bir yöntem süreci kullanıldığı için taraflı yargılar olabildiğince azaltılabildiği, güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir (Pittaway ve diğer., 2004; Kitchenham ve diğer., 2010).

Bu bağlamda yürütülen sistematik inceleme dahilinde konuya ilişkin anahtar kelimeler üzerinden bilimsel literatüre yönelik veri tabanlarından veri toplanmakta (makale, bildiri ve kitap), bu veriler belirlenen kriterler doğrultusunda ayıklanmakta, ayıklama sonucu belirlenen yayınlar incelenip analiz edilmekte ve bir sonuç değerlendirmesi yapılmaktadır.

İnceleme sonucunda araştırma konusu üzerine literatürde dağınık ve parçalı bir halde bulunan çalışmaların bir çerçeve altında sentezlenmesi, haritalandırılması ve bu sayede aşağıdaki sorulara cevap bulunabilmesi beklenmektedir:

- Konu üzerindeki bilgi gelişimi zaman içerisinde nasıl evrilmektedir?
- Çalışmalar hangi alanlarda yoğunlaşmakta ve hangi alanlarda boşluklar görülmektedir?
- Gelecekte konu üzerine ne tür çalışmalar yürütülebilir?

1.5 Çalışmanın Organizasyonu

Çalışma, beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, çalışmanın hedefinin, amaçlarının, kapsamının ve araştırma yönteminin açıklandığı “Giriş” bölümüdür.

İkinci bölümde, yapı endüstrisindeki üretim etkinliği sorunu irdelenmektedir. Öncelikli olarak, üretimin başarısı ile ilişkilendirilen "üretim etkinliği" kavramı tanımlanmakta ve alt kavramlar üzerinden endüstrinin başarı düzeyi değerlendirilmektedir. Daha sonra, yapı endüstrisinin üretim etkinliğini arttırabilmek için son yüzyılda ne tür gelişmelerin yaşandığı incelenmekte ve tüm bu gelişmelere rağmen endüstrinin üretim başarısı açısından neden yetersiz kaldığı sorgulanmaktadır.

Üçüncü bölümde, belirtilen yapı üretim etkinliği sorununun üstesinden gelebilmek için yapı projelerinin ürün, süreç ve endüstri düzeylerinde etkiyen tüm boyutları ile birlikte bir bütün olarak kavranması ve sonrasında da bu bütüne yönelik çözümlerin getirilmesi gerektiği düşüncesi üzerinden holistik bir düşünce biçimi barındıran "karmaşık sistemler yaklaşımı" irdelenmektedir. Öncelikli olarak bu yaklaşımın ne olduğu, ne tür bir düşünce biçimini temsil ettiği ve bu düşüncenin hangi disiplinler altında kullanım alanı bulduğu açıklanmaktadır. Sonrasında, bu yaklaşım biçiminin proje yönetimi alanındaki uzantısı olan "karmaşık proje" kavramı ile yapı üretim süreci arasında bir bağıntı kurulmakta ve karmaşık bir projenin nasıl ele alınması gerektiği üzerinde durulmaktadır.

Dördüncü bölümde, karmaşık sistemler yaklaşımı üzerinden yapı üretimine yönelik olarak ne tür uygulamaların öne sürüldüğünü incelemek amacıyla bir sistematik literatür incelemesi yürütülmektedir. Öncelikle, sistematik literatür incelemesinin ne olduğu tanımlanmakta ve uygulanış biçimi tariflenmektedir. Daha sonra ise sıralanan uygulama adımları doğrultusunda literatür verisi yönetsel ve tekniksel açılardan incelenip değerlendirilmekte ve bir sonuç çıkarımı yapılmaktadır.

Beşinci bölüm olan sonuç bölümünde ise, tez çalışmasının sonuçları sunulmaktadır.

BÖLÜM İKİ

YAPI ENDÜSTRİSİNDE ÜRETİM ETKİNLİĞİ SORUNU

Yapı endüstrisi, küresel düzeyde benzer büyüklükteki endüstriler ile karşılaştırıldığında üretim başarısı açısından daha düşük seviyede kalan bir alan olarak değerlendirilmektedir. Bölüm içerisinde bu yargı detaylı olarak irdelenmektedir. Üretim başarısı, tanımlanan "üretim etkinliği" kavramı üzerinden açıklanmakta, yapı endüstrisinin üretim etkinliğini yükseltmek için ne tür gelişmeler gösterdiği incelenmekte ve mevcut durumdaki sorunlar ve sebepler üzerinde durulmaktadır. Bölüm, üç alt bölüm altında sunulmaktadır:

- İlk alt bölümde (2.1. Üretim Etkinliğine İlişkin Temel Kavramların Tanımlanması); üretim etkinliği kavramı ve bu kavrama ilişkin diğer alt kavramlar tanımlanmakta, sonrasında üretkenlik ve verimlilik üzerinden yapı endüstrisinin bir değerlendirmesi yapılmaktadır.
- İkinci alt bölümde (2.2. Yapı Endüstrisinin Üretim Etkinliğini Yükseltmeye Yönelik Son Yüzyıldaki Gelişmeler); yapı üretimindeki etkinliğin arttırılabilmesine yönelik olarak son yüzyılda endüstri içerisinde ne tür gelişmelerin yaşandığından bahsedilmektedir.
- Üçüncü alt bölümde (2.3. Mevcut Yapı Üretim Etkinliği Sorununun Gerekçeleri); son yüzyılda yaşanan teknolojik gelişmelere rağmen yapı endüstrisinin özellikle imalat endüstrilerine kıyasla neden üretim başarısı açısından geride kaldığı sorgulanmaktadır.

2.1 Üretim Etkinliğine İlişkin Temel Kavramların Tanımlanması

Başarılı bir üretimin, hem üreticisine hem de tüketicisine değer katması olduğu söylenebilir (Dvir ve diğer., 1998). Bu değer hangi yönlerden sağlandığı ise birçok farklı kavram üzerinden belirlenebilir. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir; ekonomiklik, hızlilik, kalite, estetik, fonksiyonellik, sürdürülebilirlik, verimlilik ve üretkenlik. Bu kavramların önem dereceleri veya ele alınış biçimleri farklı üretim

alanları veya farklı tür ürünler için değişebilmektedir. Bu tez içerisinde, üretim başarısı tüm bu kavramları gözeterek "üretim etkinliği" ile bağdaştırılmaktadır. Bir diğer ifade ile etkin bir üretim verimlilik, üretkenlik, sürdürülebilirlik, kalite ve benzeri yönlerden değer sağlayan üretimdir.

Üretim etkinliğine ilişkin belirtilen alt kavramlardan bazıları öznel yargılara dayanırken, verimlilik ve üretkenlik kavramları ise hesaplanabilirlik sağladıkları için ne kadar başarılı bir üretim sergilendiğini ölçebilme konusunda ön plana çıkmaktadırlar (Aparicio ve diğer., 2016). Dolayısıyla bu iki kavram, bir endüstrinin üretim etkinliği seviyesini saptayabilmek veya bir firmanın sektörü içerisindeki rekabet gücünü anlayabilmek gibi amaçlarla kullanılabilir. Bu açıdan öncelikli olarak bu iki kavramın tanımlanması gerekmektedir.

Üretim, girdilerin çıktılara dönüştürüldüğü bir süreçtir. Üreticinin amaçlarından birisi, girdi olarak kullanılan insan, ekipman, malzeme ve zaman gibi kaynakları en etkin biçimde sonuç çıktılara çevirmektir. Bu etkinliğin seviyesini belirleyen unsurlardan birisi olan üretkenlik, bir çıktı ürünün miktarının bir girdi kaynağın miktarına oranıdır (Linner, 2013). Bu oran ne kadar yüksek olursa, üretkenlik de o kadar yüksek demektir.

$$\text{Üretkenlik} = \text{Çıktı (miktar)} / \text{Girdi (miktar)} \quad (2.1)$$

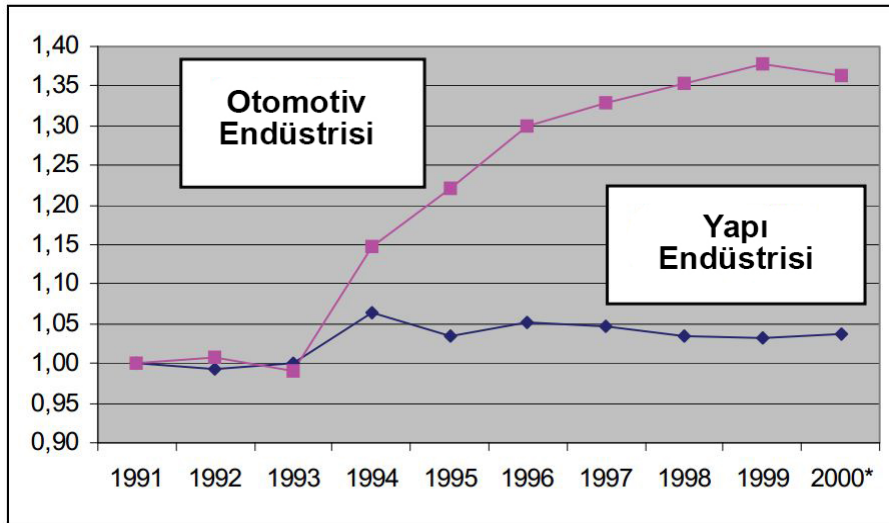
Üretkenlik, birçok açıdan ele alınabilmektedir. Örneğin; sermaye üretkenliği, yatırılan sermaye başına elde edilen parasal kazancı ölçmektedir. Malzeme üretkenliği, belirli bir girdi malzeme başına ne kadar ürün elde edildiğini ölçmektedir. İşgücü verimliliği, çalışma miktarı başına elde edilen ürünü ölçmektedir. Bu açıdan, ekonomik ve tekniksel yönlerden birçok üretkenlik kriteri belirlenebilmektedir.

Verimlilik ise, belirli bir girdi-çıktı oranına yoğunlaşan üretkenlik kavramının aksine daha bütüncül bir yaklaşım izlemekte ve üretime ilişkin tüm girdiler ile elde

edilen sonuçlar arasında bir ilişki kurarak bunun nasıl optimize edilebileceği üzerinde durmaktadır (Coelli ve diğer., 2005). Bu doğrultuda, girdi ve çıktılara ilişkin gözlenen değerler ile optimal olduğu düşünülen değerler karşılaştırılarak verimlilik konusunda bir çıkarım yapılmaktadır (Fried ve diğer., 2008).

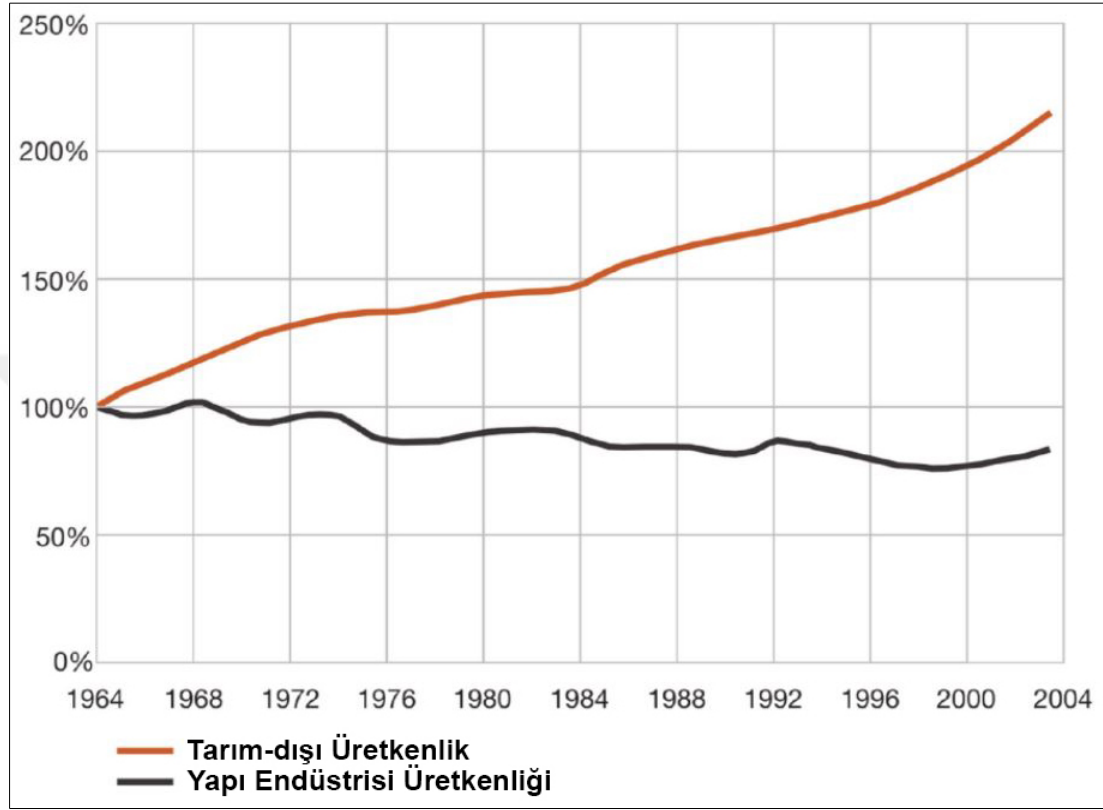
Yapı endüstrisi, üretkenlik ve verimlilik açısından diğer endüstrilerin (özellikle otomotiv ve elektronik gibi imalat endüstrileri) yakaladığı gelişmişlik düzeyine ulaşamamış bulunmaktadır (Balaguer ve Abderrahim, 2008). Bu konuda yapı endüstrisi özellikle otomotiv endüstrisi ile karşılaştırılmaktadır. Bunun sebebi olarak otomobil ve konut arasında ürün olarak bazı benzerliklerin bulunması gösterilebilir. Otomobil, elektronik cihazlara göre görece daha yüksek fiyatlı ve büyük hacimli bir üründür, ayrıca geniş kitleler tarafından talep edilir ve birçok model ve varyasyon altında piyasaya sürülür.

Otomotiv ve yapı endüstrilerinin üretkenlik açısından karşılaştırıldığı Şekil 2.1 içerisinde gösterildiği üzere, 1990-2000 yılları arasında Avrupa'da otomotiv endüstrisi %35'den fazla artış sağlarken yapı endüstrisi neredeyse yerinde saymaktadır.



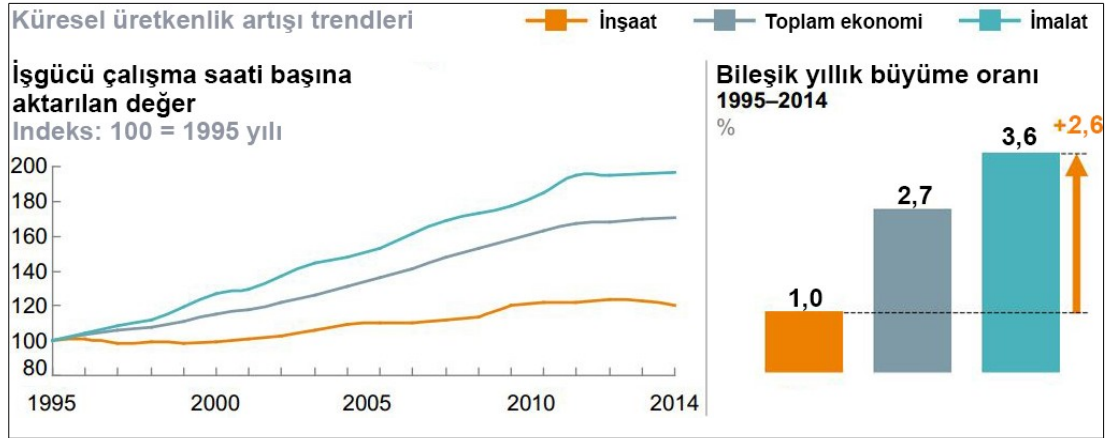
Şekil 2.1 Avrupa otomotiv ve yapı endüstrilerinin üretkenlik seviyeleri (Balaguer ve Abderrahim, 2008)

ABD Ticaret Bakanlığı'nın raporuna göre ise (Şekil 2.2) 1964-2004 yılları arasında tarım-dışı sanayinin işgücü üretkenliği %100'den fazla artış gösterirken yapı endüstrisinin üretkenliğinde azalma görülmektedir (Bock ve Linner, 2015a).

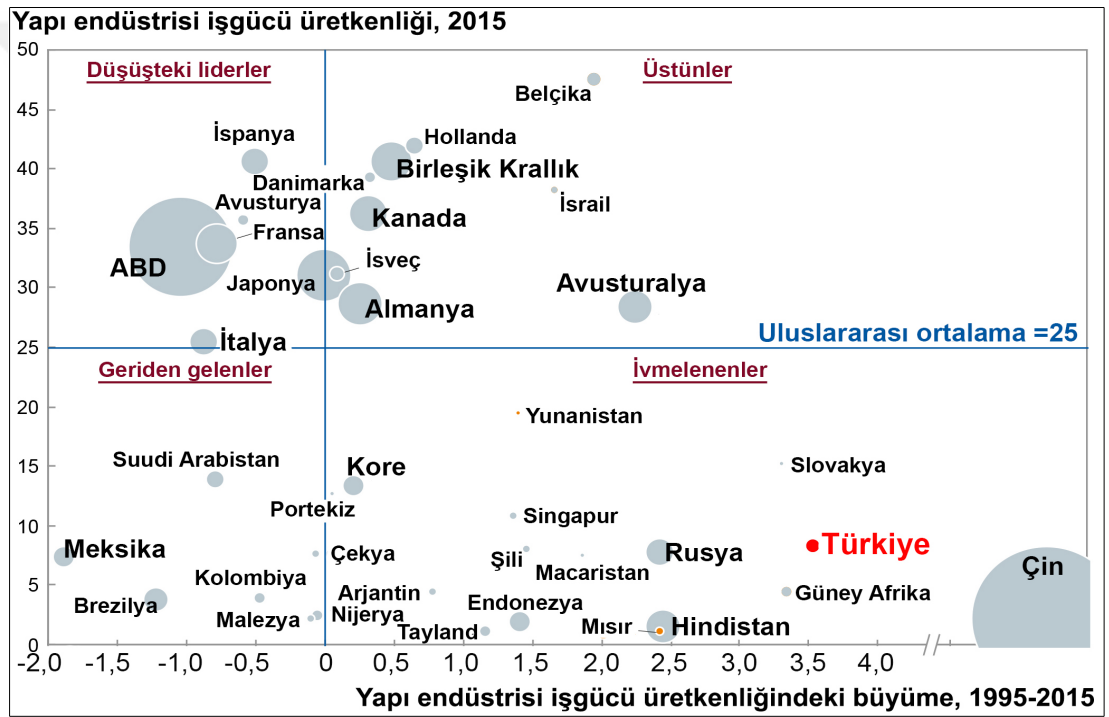


Şekil 2.2 ABD tarım dışı sanayi ve yapı endüstrisi üretkenlik seviyeleri (Bock ve Linner, 2015a)

2017 McKinsey raporundaki (MGI, 2017) küresel işgücü üretkenliği artışı diyagramı (Şekil 2.3) da yukarıdaki iki grafiği (Şekil 2.1 ve 2.2) desteklemektedir. Dünya genelinde 41 ülke verisi üzerinden oluşturulan bu diyagrama göre 1995-2014 yılları arasında imalat endüstrilerinin işgücü üretkenliğindeki artışı genel ekonomi ortalamasının üzerinde iken, inşaat endüstrisinininki ise ortalamanın oldukça altında kalmaktadır. Yine aynı rapor içerisindeki bir başka diyagramda ise (Şekil 2.4) inşaat endüstrisindeki işgücü üretkenliği konusunda hangi ülkelerin daha iyi performans sergilediği gösterilmektedir. Buna göre, Türkiye inşaat endüstrisindeki üretkenlikte dünya ortalamasının çok altında kalmakta fakat diğer yandan ise bu değeri yükseltme konusunda Çin'den sonraki en başarılı ülke olarak görülmektedir.



Şekil 2.3 1995-2014 yılları arası endüstrilere göre küresel üretkenlik artışı (MGI, 2017)



Şekil 2.4 Ülkelere göre işgücü üretkenliği ve işgücü üretkenliği artışı (MGI, 2017)

Yapı endüstrisine kıyasla daha yüksek seviyede bir üretim etkinliği yakalayan imalat endüstrisinin bu konudaki başarısı, modern çağın olanaklarını kullanarak geliştirdiği imalat yöntemleri ile bağdaştırılmaktadır (Balaguer ve Abderrahim, 2008). Bir sonraki başlık altında, bu yöntemlerin neler olduğu ve yapı endüstrisinde nasıl karşılık bulduğu üzerinde durulmaktadır.

2.2 Yapı Endüstrisinin Üretim Etkinliğini Yükseltmeye Yönelik Son Yüzyıldaki Gelişmeler

Bu başlık altında, daha etkin bir üretime yönelik olarak son yüzyılda yaşanan gelişmeler (1900'lerin başından bu yana) üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu dönemin öneminin ana sebepleri, imalat endüstrilerindeki ilerlemelerin etkisi ile birlikte bir yapının endüstriyel olarak nasıl üretilebileceğine ilişkin ilk önemli düşüncelerin ve çalışmaların bu dönem ile başlaması ve ayrıca insanlığın son yüzyılının teknoloji bakımından devrimsel ilerlemelerin kaydedildiği bir zaman aralığı olmasıdır.

Üretim etkinliğinin arttırılmasına yönelik gelişmeler incelenirken temelde şu iki soruyu sormak gerekmektedir:

- Üretime yönelik yaklaşım (veya konsept) nedir?
- Üretim yaklaşımını destekleyen teknolojik olanaklar nelerdir?

Endüstriyel devrim ile birlikte üretim konusunda önde gelen yaklaşım, "otomasyon" dur. Bu kavramın neyi ifade ettiğine yönelik olarak Castro-Lacouture (2009) literatür içerisinde yer alan şu tanımları sıralamaktadır: "insan girdisini azaltırken makina ve aletlerin katılımının arttırılması"; "üretimin yürütülmesi ve kontrolü için kullanılan elektronik, mekanik ve bilgisayar tabanlı teknolojiler" ve en kapsamlı tanım olarak "iş gücünü ve üretim süresini azaltmak, üretkenliği arttırmak, çalışma ortamını iyileştirmek ve iş kazalarını önlemek amacıyla üretimin işletilmesinde ve kontrolünde kullanılan üretim teknikleri ve ekipmanları ile yapılan eylem."

Yapılan bu tanımlamalar göz önüne alındığında, insan faaliyetlerinin yoğun olarak kullanıldığı, tehlikeli eylemler barındıran ve verimliliğin de düşük olduğu bir sektör olan yapı endüstrisi için otomasyon tüm bu sorunlara çözüm getirebilecek bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımı destekleyen 20. yy.'daki en önemli gelişmelerden birisi ise kitlesel üretim devrimidir.

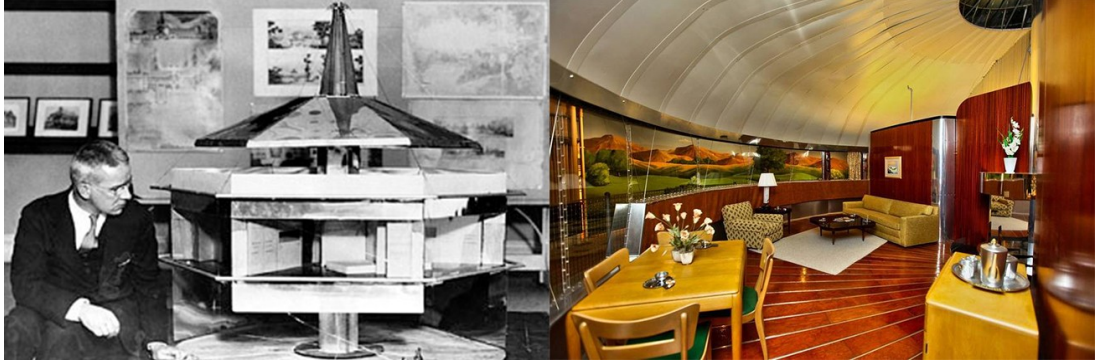
İlk endüstri devrimi, belirli fonksiyonları yerine getirebilen makinaları ortaya koymaktaydı. Böylelikle verimlilik arttırılabilmekte, işçilerin deneyimine ve el becerisine olan ihtiyaç azalmakta idi. Daha ileri bir gelişim ise montaj hatlarıydı. Bu hatlar içerisinde bütün iş ileri işgücü deneyimi gerektirmeyen küçük aşamalara bölünmekte ve her işçi sadece bu hat üzerinde aynı belirli görevi sürekli olarak tekrarlamaktaydı (Canepero, 2014). Montaj hatları ile üretim sistemini etkin bir şekilde kullanarak kitlesel üretim çağına öncülük eden Henry Ford, fabrikasında ürettiği "Ford T-Model" arabaları ile daha önce sadece yüksek gelir grubunun alım gücüne uygun olan motorlu arabaları orta gelirli Amerikan vatandaşlarının da satın alabileceği kadar ucuzlatarak Amerikan sokaklarını bu arabalar ile doldurdu. Henry Ford'un yakaladığı bu başarı sadece otomotiv sektörüne değil, aynı zamanda modern çağ mimarlarına da esin kaynağı oldu.

20.yy'dan önce mimari bir çalışmaya yatırılan işgücü ve malzeme ne kadar artarsa değeri de o kadar artmaktaydı, çünkü el becerisine dayalı çaba ve harcamalar oldukça rağbet görmekteydi. 20.yy ile birlikte el ile üretimden makina ile üretime geçiş, modernist düşüncenin en büyük hayali olmaya başladı (Kieran ve Timberlake, 2004). Bu yüzyılın önemli bazı mimarları bu hayalin peşinden ilerledi. Amaç, özellikle konut alanında mimarlığı kitlelerce talep edilen bir ticari ürün haline getirmektir.

Hem kitlesel üretim devriminin hem de dünya savaşlarının yarattığı konut talebinin etkisi ile, bu dönemde yapıların nasıl sistematik olarak üretilebileceği üzerine birçok çalışma ortaya koyuldu. Bu tür çalışmaların öne çıkanlarından bazıları ve yakaladıkları başarı düzeyleri şu şekildedir:

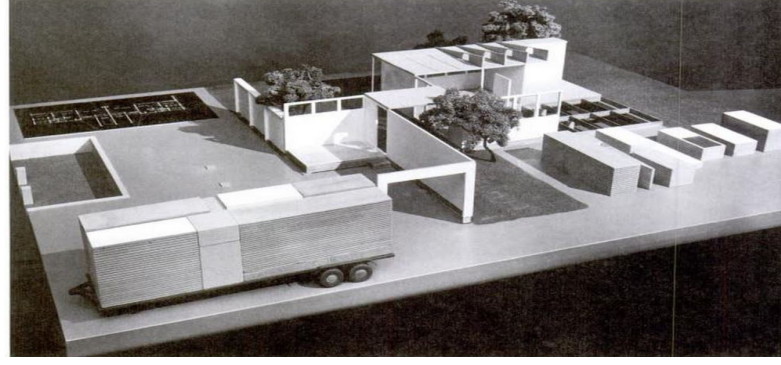
- Dymaxion Evi (Şekil 2.5): Buckminster Fuller, çalışmalarına 1928 yılında başladığı bu yapı ile modern malzemeleri ve teknolojileri kullanarak kitlesel olarak üretilmeye elverişli bir konut planlamaktaydı. Bu doğrultuda olabildiğince kolay üretilebilecek, taşınabilmesi ve kurulabilmesi kolay, olabildiğince az parçadan oluşan, hafif bir yapı tasarladı (Fuller, 1999). Verimli strüktür ve verimli geometri ilkelerine dayanarak paslanmaz çelikten

yapılmış merkezi bir masta bağlanan kablolar ile taşınan altıgen planlı yapı, korozyon dayanımlı hafif alüminyum dış paneller (uçak üretim hangarlarında imal edilmesi planlanan) ile kaplanmaktaydı. Ayrıca Fuller, bu yapı için prefabrike banyo modülleri de tasarlamıştı (Baldwin, 1997). Daha sonra dairesel planlı olarak geliştirilen ve Wichita Evi olarak da bilinen bu yapı, yalnızca bir adet satılabildi. Bunun başlıca sebebi olarak, yapının çağının ötesinde sistemler gerektirmesi ve dolayısıyla da bunları geliştirmek ve üretmek için büyük bir yatırıma ihtiyaç duyması olarak gösterilmektedir. Ayrıca yapının dairesel formu, farklı ihtiyaçları karşılayabilme konusunda sınırlı esneklik sağlamaktadır.



Şekil 2.5 Fuller tarafından tasarlanan Dymaxion Evi (Baldwin, 1997)

- Paket Ev (Şekil 2.6): Walter Gropius ve Konrad Wachsmann, 1940'lı yıllarda General Panel şirketi altında hem kitlesel üretime uygun hem de tasarım esnekliği sağlayan bir çözüm sundu. Temel fikir, ahşap panel bir birim ile yapının tüm ana sistemlerini (iç ve dış duvarlar, döşemeler ve çatı) oluşturabilmektir (Imperiale, 2012). “Evrensel bağlayıcı” isimli bir ara bileşen ile bu paneller farklı açılarda ve kombinasyonlarda birleştirilebilmekteydi. Savaş sonrası dönemdeki konut ihtiyacına rağmen bu sistem için yeterli satış gerçekleştirilemedi ve 1952 yılındaki iflas ile birlikte üretimi durduruldu (Bergdoll ve diğer., 2008). Bu durumun sebeplerinden birisi olarak, teknik imkansızlıklardan dolayı panellerin yeterli ölçü toleransları dahilinde üretilmemesi ve maliyetlerin aşağıya çekilememesi gösterilmektedir



Şekil 2.6 Paket Ev sistemini anlatan bir maket (Bergdoll ve diğer., 2008)

- Lustron Evi (Şekil 2.7): ABD hükümeti tarafından da desteklenen ve 2. Dünya Savaşı'ndan dönen askerler için üretilen bu yapı, çelik kiriş ve makaslar ile oluşturulan strüktüre iç ve dış panellerin monte edilmesi ile oluşturulmaktadır. Lustron, diğerlerinden üretim anlamında daha başarılı sonuçlar verse de iki yıl içinde şirketin iflas etmesi sebebiyle faaliyetine son verildi. Bu durumun sebepleri, üretimdeki gecikmeler, maliyetlerin aşılması, üretilen yapıların dağıtımındaki sorunlar ve yerel yasalar ile ihtiyaçlar için gerekli olan esnekliğin sağlanamaması olarak gösterilmektedir (Wolfe ve Garfield, 1989). Ayrıca bu yapının üretiminin başarısızlık ile sonuçlanması, endüstriyel üretimin yapı sektöründe geleneksel üretim ile başedemeyeceğinin bir kanıtı şeklinde de yorumlanmaktadır.



Şekil 2.7 Lustron Evi (Inhabitat, 2018)

Bu tür bir üretim şeklinin devamı olarak 1960-70'lerdeki modül yapılar gösterilebilir. Örneğin, Kisho Kurokawa tarafından tasarlanan, iki betonarme kuleye bağlanan 144 adet 10m²'lik eş modülden oluşan Japonya'daki Nakagin Kapsül Kulesi (Lin, 2011) ve Moshe Safdie tarafından tasarlanan 354 adet eş modülün çeşitli kombinasyonlar dahilinde üst üste yığılması ile meydana gelen Habitat 67 (Şekil 2.8) bu alandaki ikonik yapılardır.



Şekil 2.8 Modüler olarak üretilen iki ikonik yapı; Habitat 67 (Bergdoll ve diğer., 2008) ve Nakagin Kapsül Kulesi (Lin, 2011)

Yapı endüstrisinin ilk dönemlerdeki kitlesel üretime ilişkin sorunlarının temelinde genel olarak teknik imkanların kısıtlılığı ve ekonomik sorunlar gözlenmektedir. Çağ ilerledikçe teknik sorunlar daha aşılabilir hale gelse de, kitlesel olarak üretilen prefabrike sistemlerin yarattığı monotonluk da bu tür bir yaklaşımın yapı endüstrisi içerisinde yaygınlaşamamasının sebebi olarak sıkça gösterilmektedir. Kitlesel üretim modelinin yıllar içerisindeki gelişimi üzerine Turner'ın (2008, s.1) şu ifadesi, bu konu üzerine bazı ek fikirler de sunmaktadır:

1960'lar kitlesel üretim dönemi idi. İmalat firmaları çıktıyı arttırmak için uğraş veriyordu ve üretim metotları buna yönelikti. Yüksek üretim oranları elde edildi, fakat kaliteden ödün verilerek. 1970'ler de firmalar öne çıkabilmek için kaliteyi arttırmak istediler. Bunun için ürün yelpazesini daralttılar ve tekillığe yöneldiler.

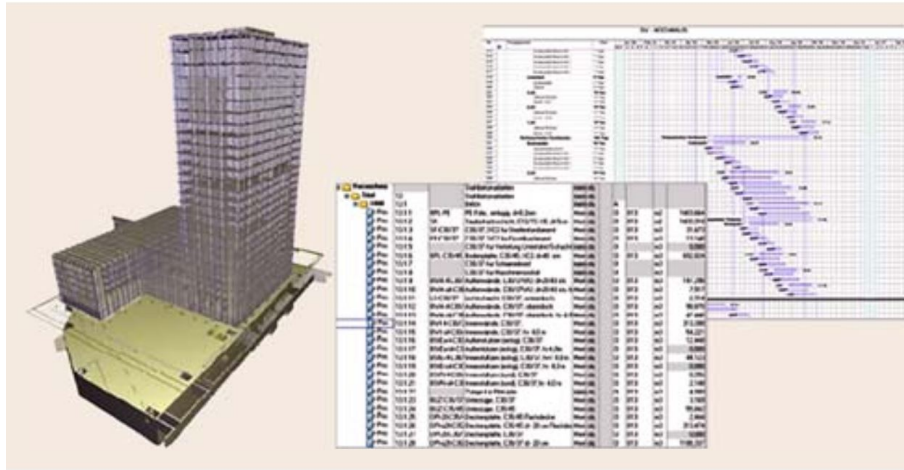
Böylelikle kalite, yüksek üretim oranını koruyarak elde edilebilirdi. 1980'lerde öne çıkarılan ise, çeşitlilikti. Müşteriler satın aldıklarının komşularınıninkinden farklı olmasını istiyordu. Firmalar bir yandan da hem yüksek üretim oranı hem de kaliteyi koruyabilmek için çeşitlilik sunan esnek imalat sistemlerini ortaya koydu. 1990'lardaki müşteri beklentisi ise yenilikti. Yeni bir ürün almak isteyen kimse, önceki senenin modelini satın almak istemiyordu. Yeni ürünlerin hızlıca ve etkin bir şekilde sunulabilmesi için ürün geliştirme süreleri kısaldı. Şimdi ise müşteriler fonksiyonellik istemekte. Cep telefonlarının sadece arama yapmasını değil, aynı zamanda mesaj ve mail göndermesini, internette gezinebilmesini, fotoğraf çekebilmesini ve müzik depolayabilmesini istiyorlar.

Turner'ın bu açıklamasından da anlaşıldığı üzere yapı endüstrisinde prefabrike sistemlere olan ilginin azaldığı dönem, kitlesel üretimde henüz kalite, esneklik (çeşitlilik) ve fonksiyonellik gibi unsurların yeterli seviyede yakalanamadığı dönem ile örtüşmektedir. Bu unsurlar özellikle yapı üretimi konusunda vazgeçilmezdir ve dolayısıyla endüstri içerisinde tekrar geleneksel yöntemlere ağırlık verilmesinin sebebi bu durum ile bağdaştırılabilir.

Yapı üretiminin otomasyonu konusunda prefabrikasyon ile yeterli gelişimi gösteremeyen ve bu alanda yalnızca belirli bazı yapı bileşenlerinin kitlesel üretimi ile sınırlı kalan endüstri için bir başka ilerleme alanı ise 1940'lar ile birlikte dijital sistemlerin ortaya çıkması oldu. Bu dönemde Zuse Z3, ENIAC ve EDSAC gibi ilk bilgisayarların geliştirilmesinin yanı sıra (Gibson ve diğer., 2010) Norbert Wiener öncülüğünde sibernetiks alanında da çalışmalar yürütüldü (Maurer, 2017). Bilgisayarların işlem güçlerinin artması, hacim olarak küçülmeleri ve kişisel olarak edinilebilecek kadar ucuzlamaları birçok teknolojik ilerlemeyi olanaklı kıldı. Bu gelişmelerin üretim üzerine iki alanda fayda sağladığı söylenebilir. Bunlardan ilki bilgi ve iletişim teknolojileridir, ikincisi ise bu teknolojilerin de desteğiyle geliştirilen robotik sistemlerdir.

Bilgi ve iletişim sistemleri, bilginin işlenmesi ve aktarılması konusunda büyük atılımlar sağladı. 1957'de Pronto ve 1960'da Sketchpad'in öncülüğünü yaptığı kullanıcılarına iki ve üç boyutlu modellemeler yapma imkanı sunan CAD (*Computer Aided Design*) teknolojileri geliştirilmeye başlandı. Bu tür teknolojiler, hem tasarımcılar hem de mühendisler için karmaşık çizim ve hesaplamaların daha doğru ve üretken bir biçimde elde edilebilmesini, üretilmek istenen ürünün fiziksel üretime geçmeden önce sanal olarak görselleştirilebilmesini ve analiz edilebilmesini sağladı (Castro-Lacouture, 2009). Ayrıca CAD, geliştirilen proje yönetim teknikleri ile birlikte zaman ve maliyet gibi sürece ilişkin hesaplamaların yapılabilmesini de olanaklı kıldı (Kensek ve Noble, 2014). Tüm bunların yanı sıra, iletişim sistemleri (internet, Wi-Fi, bulut sistemleri vs.) ile birlikte işlenen bilgi kolaylıkla aktarılabilir ve paylaşılabılır hale geldi.

Bilgi ve iletişim teknolojilerini yapı üretimine yönelik olarak bir çerçeve altında toparlayabilmek amacıyla geliştirilen bütünleşik sistem ise BIM (*Building Information Modelling*) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.9). Yapının tasarım ve inşaat safhalarını bütünleştiren bu sistemler (Eastman ve diğer., 2011), sadece biçim bilgisi taşıyan CAD sistemlerinin ötesinde fonksiyonları ve davranışları da simule ederek hem yapının hem de inşa sürecinin sanal olarak test edilebilmesini sağlamaktadır (Sacks ve diğer., 2010).



Şekil 2.9 Bir yapının dijital modeli ve ilişkin maliyet-zaman hesaplamaları (Castro-Lacouture, 2009)

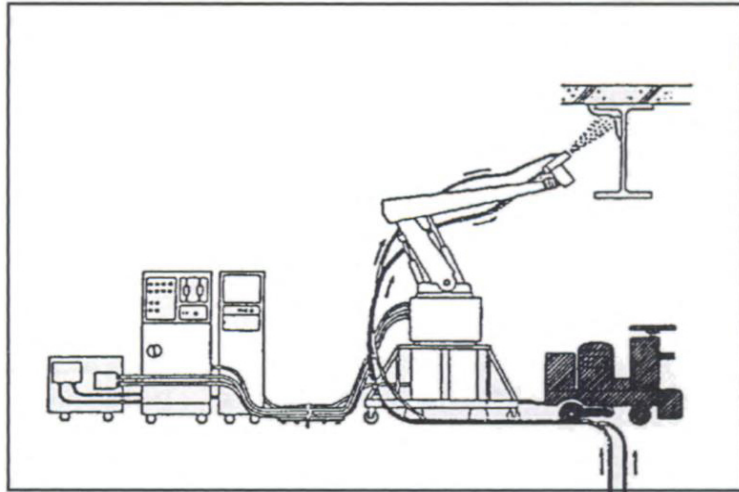
İkinci alan olan robotik sistemler ise, temelde geliştirilmiş olan bilgi ve iletişim sistemlerinden beslenmektedir. Amerikan Robot Enstitüsü'nün tanımına göre robot nesneleri (materyal, parça, alet) hareket ettirmesi amacıyla tasarlanmış, yeniden programlanabilir, çok amaçlı ve uzaktan kontrol edilebilir bir eylemcidir, veya çeşitli görevleri çeşitli programlanmış hareketlerle üretkenlikle yerine getirebilen özelleşmiş bir cihazdır (Gupta ve Arora, 2009, s.267). Robotik sistemler ise, yeniden programlanabilirlik, otonomluk, esneklik, durumsal farkındalık gibi yetenekleriyle tanımlanabilecek ileri düzeyde gelişmiş makinalardır (Bock ve Linner, 2015). Uluslararası Robot Federasyonu (IFR, 2012), bu özellikleriyle robotik sistemleri otomasyon konusunda anahtar bileşen olarak nitelendirmekte ve sağlayabileceği bazı faydaları şu şekilde sıralamaktadır; "çalışanlar için iş kalitesinin geliştirilmesi, üretim oranlarının arttırılması, ürünün kalitesinin ve tutarlılığının iyileştirilmesi, üretim esnekliğinin arttırılması ve işletim maliyetlerinin düşürülmesi."

Belirtilen tüm bu olanakları ile robotik sistemler yapı üretiminin daha etkin bir biçimde yürütülebilmesi için birçok fırsat sunmaktadır. Fırsat alanlarından ilki, yapı bileşenlerinin saha dışındaki üretiminin desteklenmesidir. İkinci ve daha önemli olan ala ise, saha içi üretimin desteklenmesidir. Yapı üretimi, doğası gereği arazi üzerinde gerçekleştirilen bir eylemdir. Prefabrikasyon her ne kadar yapının parçalarını kitlesel olarak üretme konusunda fayda sağlasa da, bu parçaların bir araya getirilmesi inşaat sahası içerisinde işçiler tarafından insan becerisi ile gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden bilgisayar destekli tasarımın ve yapı bileşenlerinin ön üretiminin dışında tam bir yapım otomasyonu için gerekli olan bir diğer safha, saha içi üretimin otomatikleştirilmesidir. Bu konuda insan becerisinin yerine geçebilme potansiyeline sahip olan araçlar ise robotlardır.

Dünya üzerinde geliştirilen ilk robot, 1959 yılında üretilen Unimate'dir. Yapı endüstrisinde ise robotik sistemlere yönelik ilk çalışmalar, bundan yirmi yıl sonra (bu süre aralığı yapı endüstrisinin teknolojik olarak ne kadar geriden takip ettiğinin bir göstergesi olarak da yorumlanabilir) 1978 yılından itibaren Japonya'da başladı (Linner, 2013). Bu dönemde Japon yapı endüstrisi, hem mevcut kalifiye işçilerin

yaşlanması hem de genç insanların '3k' (kitsui, kitanai, kiken - zor, kirli, tehlikeli) olarak tanımladıkları yapı endüstrisini tercih etmemelerinden dolayı sektörün imajını ve çalışma koşullarını geliştirmek amacıyla robotik sistemlere yöneldi (Cousineau ve Miura, 1998).

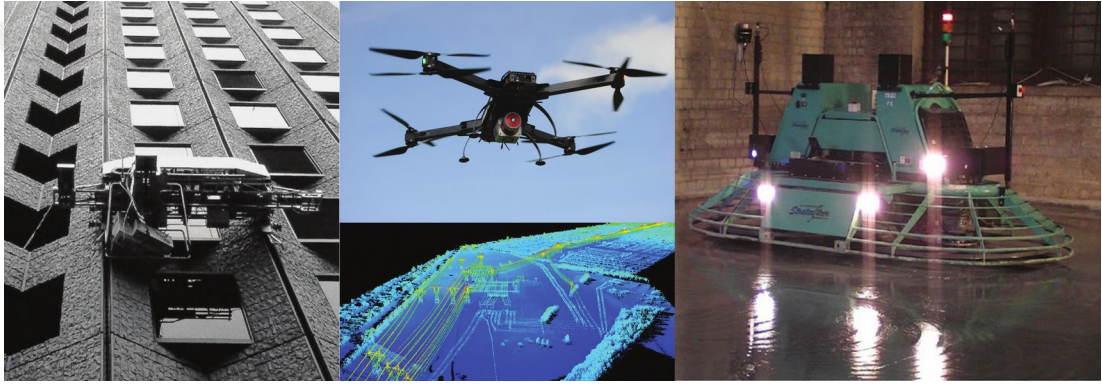
Robotik sistemlere ilişkin yenilikçi gelişmelerde öncü ülkelerden birisi konumundaki Japonya'yı bu alanda özel kılan, üretilen yapım robotlarının sadece araştırma - geliştirme aşamasında kalmayıp aynı zamanda uygulama sahasına çıkmış olmasıdır. Bu başarının altında yatan etken, hem robot sektörüne olan kültürel eğilim hem de bu alana yatırımlar yapan büyük inşaat firmalarının ("büyük beşli" olarak tanımlanan Shimizu, Taisei, Kajima, Obayashi ve Takenaki firmaları) varlığıdır (Yoshida, 2006). Bu kapsamda, dünyada geliştirilen ilk yapım robotu da Shimizu tarafından üretilen "SSR-1" (Şekil 2.10) isimli çelik üzerine yangın koruyucu malzeme püskürten cihaz oldu. Bu robot her ne kadar istenen düzeyde performans gösteremese de, yapım robotlarının fizibilitesi konusunda ipuçları verdi ve bu konuda öncülük sağladı (Cousineau ve Miura, 1998).



Şekil 2.10 Shimizu tarafından geliştirilen ilk tek görevli yapım robotu: SSR-1 (Cousineau ve Miura, 1998)

Bu doğrultuda ilk olarak "tek görevli yapım robotları" (*single task construction robots*) üzerinde çalışmalar yapıldı. Bu robotlar ile hedeflenen, inşaatın belirli bir

sürecine ilişkin insan faaliyetlerini desteklemek veya tamamıyla ikame etmekte (Bock ve Linner, 2016a). Tek görevli yapım robotları, strüktürel işlemler (betonarme demirinin işlenmesi ve yerleştirilmesi, betonun dağıtılması, yayılması, seviyelendirilmesi ve sıkıştırılması, çelik bileşenlerin kaynaklaması vs.), iç ve dış mekan işlemleri (tuğla ve fayans döşenmesi, yangın koruyucu malzeme kaplanması, cephe elemanlarının kurulumu, cephe kaplama ve boyama vs.), yapım öncesi ve esnasında destek ve kontrol işlemleri (otomatik saha ölçümü ve süreç takibi, arazi işlemleri, saha içi lojistik işlemleri vs.) gibi birçok faaliyette kullanılabilmektedir. "Şekil 2.11" içerisinde bu tür sistemlere ilişkin bazı örnekler sunulmaktadır.

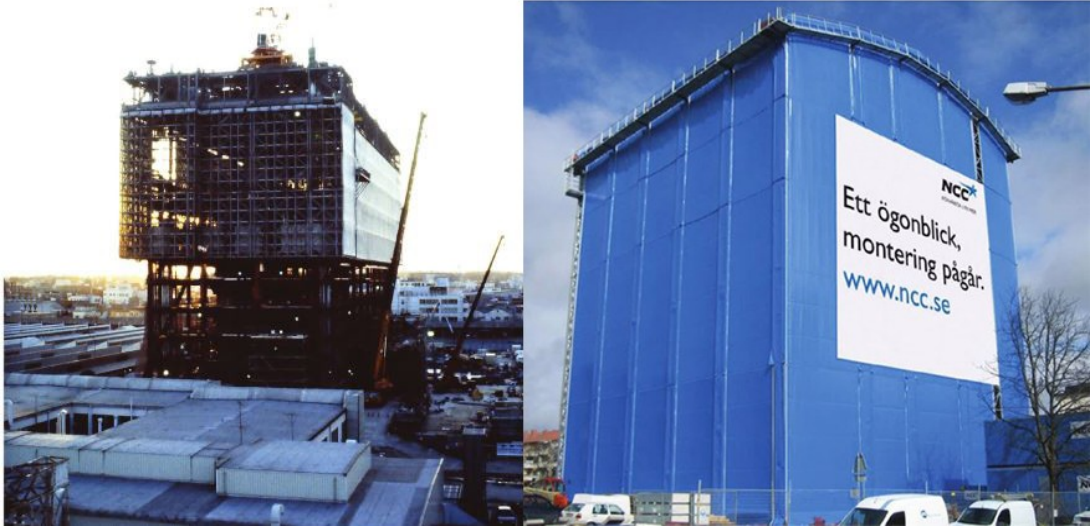


Şekil 2.11 Sırasıyla; Taisei cephe kaplama ve boyama robotu (Bock, 2015), RIEGL Ricopter saha gözlem robotu (Bock ve Linner, 2016a) ve beton seviyeleme robotu (Bock ve Linner, 2016a)

Tek görevli yapım robotları, bazı avantajlar ve dezavantajlar barındırmaktadırlar (Saidi ve diğer., 2016). Belirli eylemleri verimli ve kaliteli bir biçimde yerine getirebilen bu tür sistemler, yalnızca spesifik bir görevi yerine getirdikleri için uyarlanabilirlik konusunda yüksek esneklik sağlamaktadırlar, çünkü bu robotlar geleneksel yöntemlerle yapılan diğer iş süreçleriyle birlikte kullanılabilmekte ve dolayısıyla da tüm çalışma sahasının otomatik sistemlere uygun olarak yapılandırılmasını gerektirmemektedirler. Diğer taraftan ise bu spesifiklik önemli olumsuzluklar da yaratmaktadır. Tüm yapım sürecine bütünleşik olarak dahil olmadıkları için bu robotlar bazı güvenlik önlemlerini gerektirmektedirler, örneğin robotların çalıştığı mekanlarda insanların eş zamanlı olarak faaliyet göstermesi tehlikeli olabilmektedir. Bu açıdan, üretkenlik bakımından istenilen kazanım zarar

görebilmektedir. Tüm bunların yanında, robotların saha içindeki kurulumu (ekipmanlar, programlama) hem zaman hem de bu işlemlerin yürütülmesi için yeni kalifiye eleman gerektirmektedir. Ayrıca sistemin saha içinde taşınması da karmaşık ve zaman alıcıdır (Bock ve Linner, 2016a).

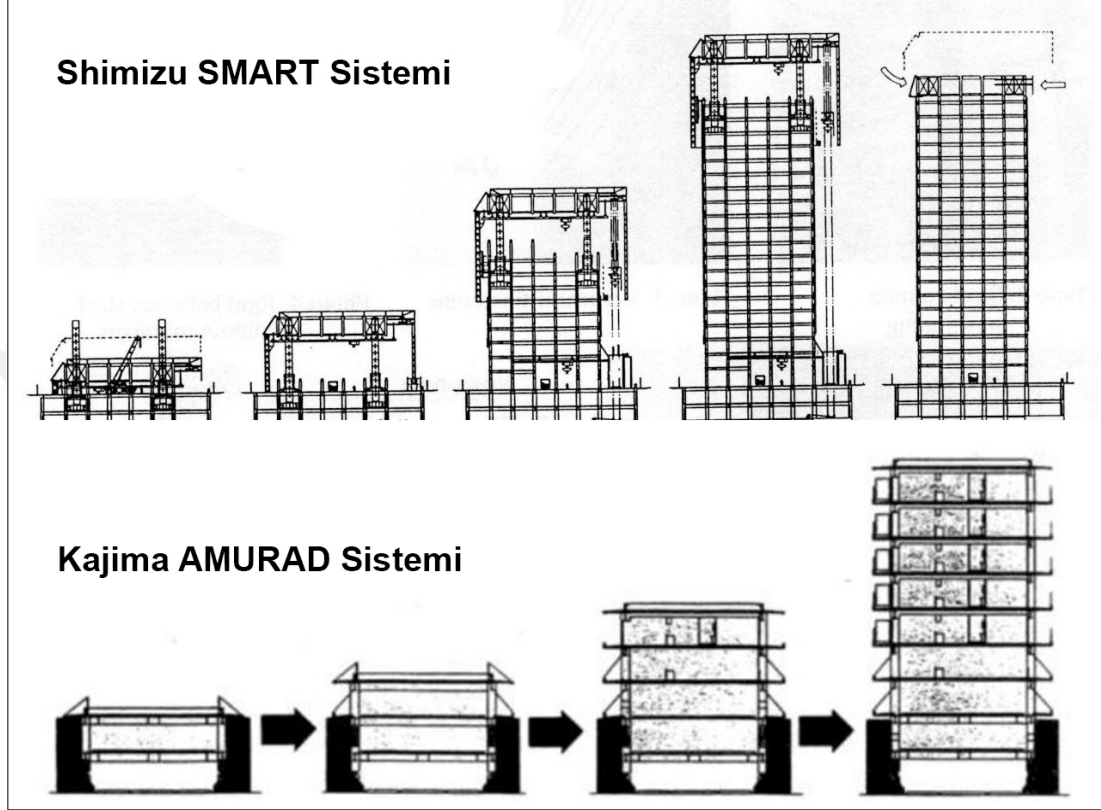
Tek görevli yapım robotlarının kısıtlılıklarını gidermek amacıyla, 1980'li yıllarda sürecin bütününe daha kapsamlı olarak ele alınmasını sağlayan "saha içi bütünleşik oto-yapım sistemleri" (*integrated site automation*) geliştirilmeye başlandı (Bock ve Linner, 2016b). Bu tür sistemler içerisinde birçok çeşitli yapım robotu koordineli bir şekilde çalışmakta ve tıpkı imalat endüstrisindeki gibi tam kontrollü bir fabrika ortamı yaratılmak istenmektedir, böylelikle hem çevreden daha az etkilenilmekte (yağış, rüzgar, güneş gibi) hem de çevreye daha az etkide bulunmaktadır (gürültü, kirlilik vb.). Bu tür sistemler için "Şekil 2.12" içerisinde iki örnek yer almaktadır; bunlardan ilki Obayashi firması (Japonya) tarafından geliştirilen ABCS sistemi, ikincisi ise NCC firması (İsveç) tarafından geliştirilen NCC-Komplett sistemidir.



Şekil 2.12 Obayashi ABCS (*Automated Building Construction System*) ve NCC-Komplett bütünleşik oto-yapım sistemleri (Bock ve Linner, 2016b)

Düşeyde veya yatayda hareket ederek üretim yapan birçok bütünleşik oto-yapım sistemi bulunmaktadır. Japonya'da özellikle düşeyde çalışan sistemler yüksek katlı

yapıların üretiminde kullanılmaktadır. Yapı ile birlikte yükselerek üretim yapan "Shimizu SMART" (Maeda, 1994) ve yapıyı hidrolik bir sistem ile yukarıya doğru iten "Kajima AMURAD" (Pachon, 2012) bunlar için birer örnektir (Şekil 2.13).

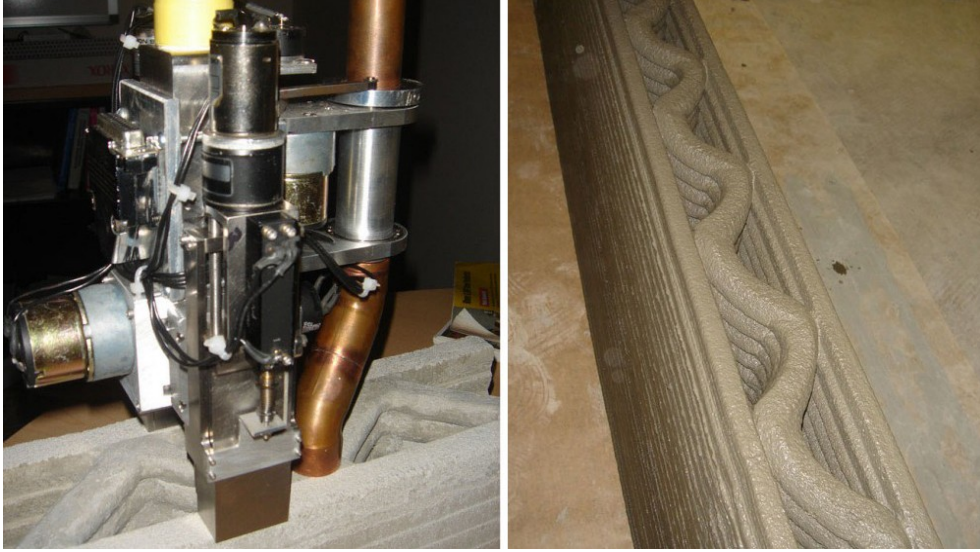


Şekil 2.13 "Shimizu SMART" (Maeda, 1994) ve "Kajima AMURAD" (Pachon, 2012) sistemlerinin üretim şemaları

Yapı üretiminde robotik sistemlerin kullanımına yönelik olarak son dönemde dikkat çeken bir başka alan ise popüler tanımı ile "3-Boyutlu baskı" (*3D printing*) olarak bilinen "eklemeli üretim" (*additive manufacturing*) yöntemidir (Gibson ve diğer., 2010). İki boyutlu katmanların üst üste eklenerek üç boyutlu bir obje oluşturulması temeline dayanan bu teknoloji (Kietzmann et al., 2015), ilk olarak 1984 yılında Charles Hull tarafından patentlendi (De Beer, 2006). Özellikle otomotiv, uzay-havacılık ve sağlık sektörlerinde yaygınlık kazanan eklemeli üretim, bir ürünün tekrarlı olarak çok sayıda üretilmesi konusunda avantaj sağlayan kitlesel üretimin aksine bir defaya özgü olarak üretilen objelerin üretimi için daha elverişli bir yöntem

olmasından dolayı (Campbell ve diğer., 2012) yapı endüstrisi için de bazı fırsatlar sunmaktadır.

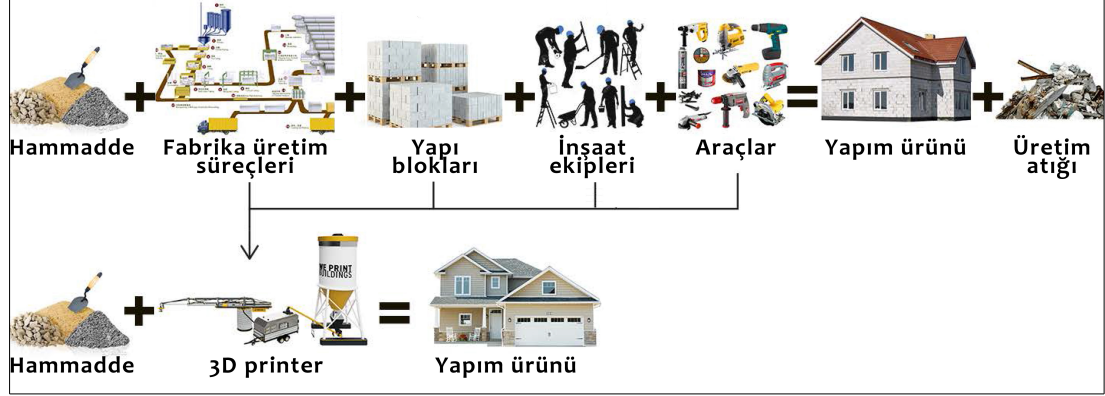
Yapı endüstrisinde ilk olarak Behrokh Khoshevis (1996) tarafından patentlenen "*Contour Crafting*" (Şekil 2.14) yöntemi ile ortaya çıkan ve günümüzde daha çok düşey iç ve dış duvarların üretiminde kullanılan eklemeli üretim teknolojisi, yapı üretiminde kullanılmaya en yatkın metotlardan birisi olan FDM (*Fused Deposition Modelling*) yönteminin patent süresinin 2009 yılında dolması ile birlikte giderek daha fazla yatırım bulmaya başlamaktadır. FDM yöntemi ile yapı sektöründe daha çok beton benzeri malzemeler kullanılsa da, bu yöntem polimer, seramik ve metal gibi birçok malzeme türü için de kullanışlıdır (Bogue, 2013).



Şekil 2.14 Khoshevis tarafından patentlenen "Contour Crafting" sistemi (Contourcrafting, 2018)

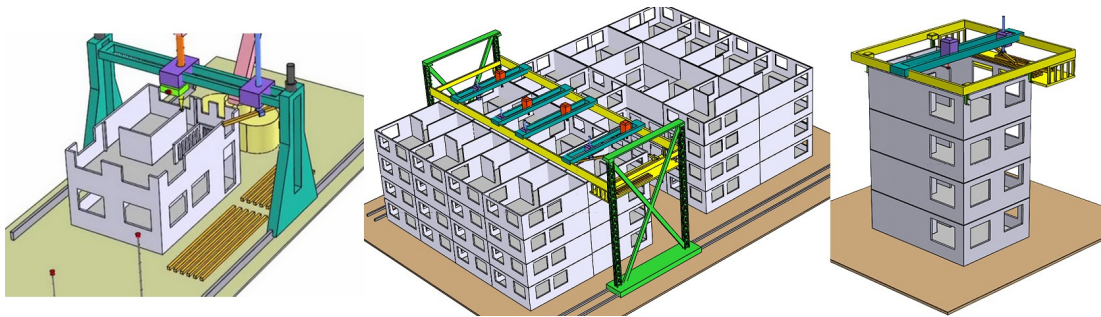
Eklemeli üretim, yapı üretimi konusunda radikal bir çözüm sağlamakta ve malzeme, enerji, zaman ve işçilik gibi yönlerden verimlilik artışı sağlamaktadır (Berman, 2012). "Şekil 2.15" de gösterildiği üzere, eklemeli üretim hammaddenin doğrudan yapı üretiminde atıksız bir şekilde kullanılabilmesini sağladığı için geleneksel yapı üretimine göre daha az kaynak gerektiren daha kısa bir üretim zinciri yaratmaktadır. Örnek bir karşılaştırma olarak Apis Cor firması, bu üretim yaklaşımıyla inşa edilecek bir dış duvar strüktürünün, gaz beton ile inşa edilecek bir

dış duvar strüktürüne göre %74 daha az malzeme gerektireceğini ve 4 kat daha hızlı tamamlanacağını öngörmektedir (Apis Cor, 2018).



Şekil 2.15 Eklemeli üretim ve geleneksel üretim biçimlerinin karşılaştırılması (Apis Cor, 2018)

Ayrıca eklemeli üretim, diğer yapım robotu sistemleri ile bütünleşik bir biçimde kullanılabilme olanağı da sunmaktadır (Perkins ve Skitmore, 2015). Örneğin, Contour Crafting bu noktada tıpkı bütünleşik oto-yapım sistemlerindeki gibi yapılandırılmış bir alan üzerine kurulu çeşitli biçimlerdeki vinç sistemlerinden (Şekil 2.16) faydalanmayı hedeflemektedir (Khoshevis, 2004). Böylelikle farklı tip robotik eylemler bu sistem altında toplanabilmektedir; eklemeli üretim robotları ile prefabrike elemanları yerleştiren robotların ve çeşitli tek görevli yapım robotlarının bir arada kullanılabilmesi gibi.



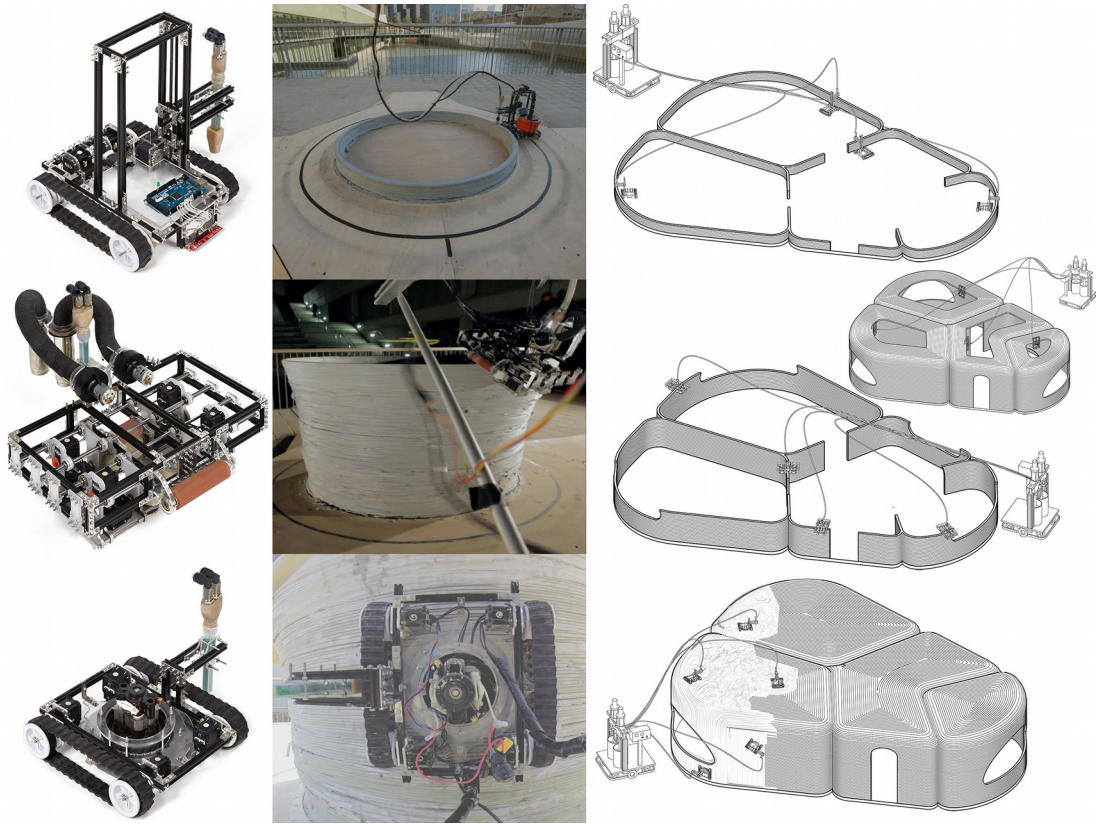
Şekil 2.16 Contour Crafting sistemi ile hedeflenen bazı üretim biçimleri (Contourcrafting, 2018)

Eklemeli üretim ile birlikte öne çıkan bir başka bakış açısı ise "swarm" sistemlerinin kullanılmasıdır. Pegna (1996, s.430), bu tür sistemlerin eklemeli üretim dahilinde kullanımını oto-yapım sistemlerine alternatif bir çözüm önerisi olarak

sunarken Şu ifadeyi kullanmaktadır:

Bir yapım faaliyeti için gerekli olan bilgi iŐleminin büyük karmaşası, bilgisayarlarca kolaylıkla kontrol edilebilir, yüksek miktarda fakat basit ve temel eylemler ile ikame edilmelidir.....Büyük bir yapı, büyük makinaların devasa boyutlardaki strüktürel bileşenleri bir araya getirmesi yerine, her defasında bir kum tanesi yerleştiren mekanik karıncalar ordusuyla da elbette ki inşa edilebilir.

Bu türden bir sisteme örnek olarak Institute of Advanced Architecture of Catalonia tarafından geliştirilen Minibuilders (Şekil 2.17), farklı görevler yürütebilen küçük boyutlu robotların koordineli bir biçimde çalışarak bir yapı üretmesi fikrine dayanmaktadır (IAAC, 2018).



Şekil 2.17 Minibuilders robotları ile yürütülen bir eklemeli  retim (IAAC, 2018)

Tüm bu gelişmeler göz önüne alındığında, yapı endüstrisinde üretim sürecinin maliyet ve zaman açısından daha verimli hale getirilebilmesi, çalışma şartlarının iyileştirilebilmesi ve ürün kalitesinin arttırılabilmesi için mekanikleştirme, robotikleştirme ve otomatikleştirme konusunda birçok yeni teknolojinin uyarlandığı, geliştirildiği ve uygulamaya geçirildiği görülmektedir. Fakat diğer yandan ise tüm bu çabaların istenilen verimlilik ve üretkenlik seviyelerinin yakalanabilmesine yeterli düzeyde yardımcı olamadığı gözlemlenmektedir (Van Gasse ve Maas, 2008). Bir sonraki başlıkta, bu durumun gerekçeleri üzerinde durulmaktadır.

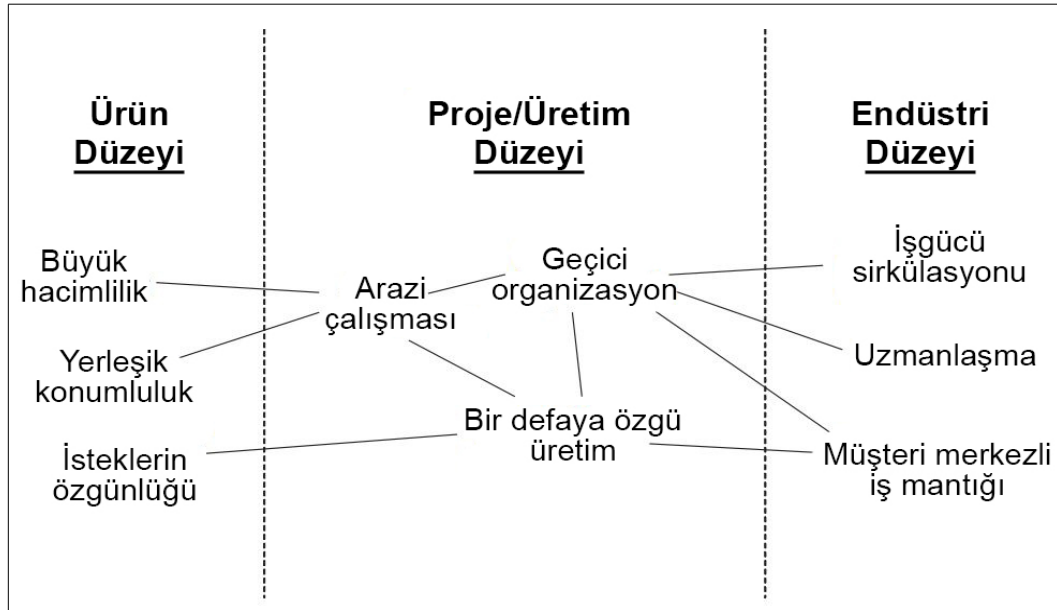
2.3 Mevcut Yapı Üretim Etkinliği Sorununun Gerekçeleri

Yapı üretiminin etkinliğini destekleyebilecek tekniksel ve yönetsel anlamda birçok ilerleme yaşanmasına rağmen, mevcut durumda endüstrinin üretkenlik ve verimlilik seviyesi son derece düşüktür (Aziz ve Hafez, 2013). Yapı endüstrisine ilişkin son yüzyıldaki gelişmeler değerlendirilecek olursa, endüstrinin teknolojik ilerlemenin bir öncüsü değil takipçisi olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, üretkenlik açısından imalat endüstrilerinin oldukça gerisinde kalınıyor olmasının doğal bir sonucu olarak gösterilebilir. Yapı endüstrisinin bu sorunun üstesinden gelebilmek için üretkenlik konusunda atılım yapmış olan endüstrilerin üretim modellerini kendisine örnek alıp uyarlamaya çalışması oldukça olağandır. Fakat bu çabalar da çağın getirdiği olanakların başarılı bir biçimde kullanılarak daha etkin bir üretim sürecinin oluşturulabilmesini sağlamakta yeterli olamamaktadır. Bu duruma yönelik olarak temelde şu temel sorular sorulabilir:

- İmalat endüstrilerinden yapı endüstrisine uyarlanan yöntemler ve teknolojiler neden beklenen ilerlemeyi sağlayamamaktadır?
- Eğer diğer endüstrilerden yapılan uyarlamalar çözüm sağlayamıyor ise, soruna yönelik olarak yapı endüstrisi neden kendi içerisinde yenilikçi çözümler üretememektedir?
- Başarılı sonuçlar sağlayan yenilikçi çözümler veya uyarlamalar var ise, bunlar neden endüstri içerisinde yaygınlaşamamaktadır?

Bu soruları cevaplayabilmek için, yapı üretiminin ne tür bir üretim biçimi olduğunun tanımlanması gerekmektedir. Yapı endüstrisi içerisindeki üretimi yerleşik bir ortamda üretim yapan imalat endüstrilerinden ayıran kendisine özgü bir takım özellikleri (*construction peculiarities*) bulunmaktadır (Björnfot ve Sardén, 2006). Bu özellikler, hem diğer endüstrilerden doğrudan bir model transferini zorlaştırmakta hem de endüstrinin kendi içerisindeki gelişimi konusunda sınırlılıklar yaratmaktadır (Höök ve Stehn, 2008).

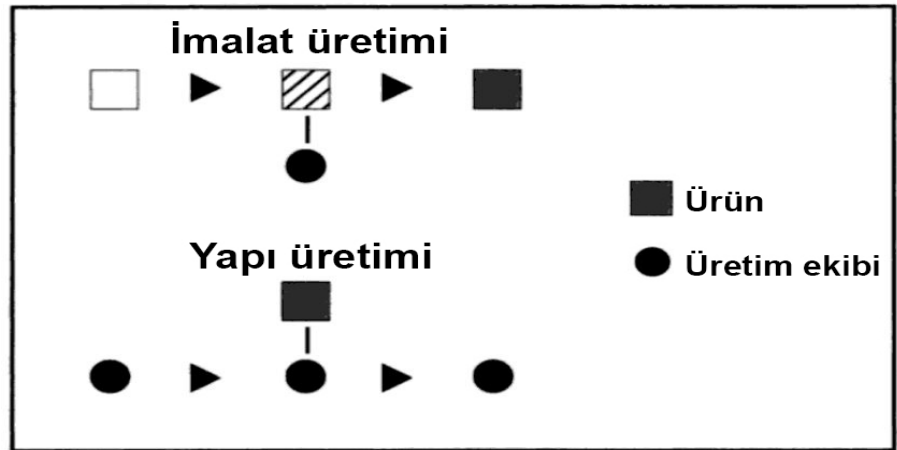
Yapı üretimine özgü özellikleri Nam ve Tatum (1988) "hareketsizlik, karmaşıklık, sağlamlık, maliyetlilik, yüksek sosyal sorumluluk"; Koskela (1992) "bir defaya özgünlük, arazi çalışmasının varlığı, geçici organizasyon, düzenleyici kurumların müdahaleleri"; Ballard ve Howell (1998) "sabit konumlu imalat ve konumun yerleşikliği" şeklinde sıralamaktadır. Bu sıralamalar arasından "ölgünlük, maliyetlilik, karmaşıklık, dayanıklılık" gibi kavramlar oldukça göreceli olsa da, endüstrinin yapısını betimlemede bazı fikirler oluşturmaktadır. Bu konuda daha düzenli ve kapsamlı olarak Vrijhoef ve Koskela (2005) tarafından sunulan ve yapı üretimini "üretilen ürün, üretilme biçimi ve endüstrinin yapısı" yönlerinden ele alan diyagram (Şekil 2.18) iyi bir örnek oluşturmaktadır.



Şekil 2.18 Yapı üretiminin kendisine özgü özellikleri (Vrijhoef ve Koskela, 2005)

Yapı üretimine ait özelliklerden hangilerinin nelere sebep olduğunun incelenmesi gerekmektedir. Öncelikli olarak, ürün ve süreç (ürün ve üretim düzeyleri) açısından yapı ve imalat üretiminin bazı farklılıkları ele alınacak olursa:

- Büyük hacimlilik – Yerleşik konumluluk: Yapı üretimini imalat üretiminden ayıran en önemli farklardan birisi, oldukça büyük ve aynı zamanda yerleşik bir ürünün inşa ediliyor olmasıdır. Ürün, parçaların bir araya gelmesiyle oluşturulan bir bütündür. Bir yapı projesi için imal edilen bu bütün büyüdükçe, hareket ettirilmesi elverişsiz bir hale gelir. Bu yüzden, bütünün üretim istasyonlarında hareket ettirilmesi yerine üretim istasyonlarının bütün içerisinde hareket ettirilmesi gereklidir. Şekil 2.19 de gösterildiği üzere, imalat üretimi sürecinde ürün üretim birimlerini ziyaret ederken, yapı üretiminde ise ürün sabittir ve üretim birimleri hareket etmektedir (Cousineau ve Miura, 1998). Bu durum, yapı üretimi esnasında ekipler arasında zaman ve mekan açısından ek bir koordinasyon çabasını gerektirmektedir.



Şekil 2.19 İmalat ve yapı üretiminde ürün ve üretim ekibi arasındaki ilişki (Cousineau ve Miura, 1998)

- İsteklerin özgünlüğü – Arazi çalışması – Bir defaya özgü üretim: Bir yapı projesi için her işveren veya kullanıcı, farklı ihtiyaçlar ve farklı öncelikler gözetebilir. Her yapı, farklı bir araziye ve çevreye sahiptir ve yapı üretimi genellikle yapılandırılmamış bir arazi üzerinde gerçekleştirilir. Üretim ne

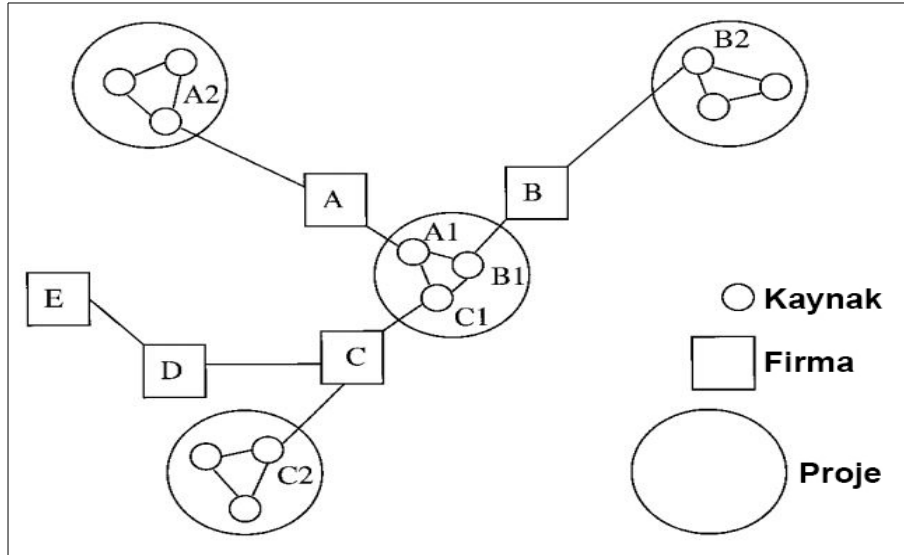
kadar prefabrike olursa olsun, son aşama muhakkak arazi içerisinde gerçekleştirilmek durumundadır. Ayrıca, her bölge farklı yönetmeliklere ve uygulamalara sahip olabilmektedir. Bu yüzden, arazi iç yapısı ve çevresi hem doğal (toprak yapısı, eğim, rüzgar, yağış, güneş, jeolojik yapı) hem de yapay (yerleşik beşeri birimler, toplumsal ve kültürel faktörler, sosyal sorumluluklar) sebeplerle bölgeden bölgeye farklılıklar gösterebilmektedir ve dolayısıyla da bir yapı bulunduğu çevreden bağımsız olarak düşünülemez. Tüm bu sebeplerden dolayı, her yapı projesi kendisine özgü bir durum taşır ve her tasarımcı da bu özgünlüğü kendi bakış açısına göre en iyi çözümün nasıl olabileceği konusunda değerlendirir. Bu durum üretim için yüksek düzeyde esneklik gerektirir, dolayısıyla imalat endüstrilerindeki gibi ürün ve süreç açısından bir standartlaşma yakalayabilmek güçtür (Salem ve diğer., 2006).

İmalat endüstrilerinden yapı endüstrisine doğrudan bir teknoloji transferini kısıtlayan bu özelliklerin her biri elbette ki sadece bu endüstriye özgü değildir. Bir defaya özgü ürünler, imalat sektörlerinde de yer bulmaktadır, özelleştirilmiş araçlar ve kişiye özel sağlık ekipmanları bunlara örnek olarak verilebilir. Arazi çalışması, tarım ve madencilik gibi alanlarda da yapılmaktadır. Büyük ve sabit bir ürünün üzerinde çalışma durumu, gemi ve uçak üretiminde de bulunmaktadır. Fakat yapı endüstrisini özel kılan, yapımın bu özelliklerin bir bileşimi olmasıdır (Ballard ve Howell,1998); örneğin uçak ve gemi büyük hacimli olmalarına rağmen üretildikten sonra hareket ettirilebildikleri için araziye bağlı değildirler ve genellikle önceden yapılandırılmış alanlarda üretilmektedirler. Bu yüzden, yapı endüstrisi için geliştirilen yöntemlerin yapı üretiminin kendisine özgü özelliklerinin bileşimine uygun olması gerekmektedir.

Yapı üretimine ilişkin ürün ve sürecin özgünlüğü, yenilikçi gelişmelerin yavaşlığını açıklamakta yeterli değildir. Üretimin kendisine özgü özelliklerine rağmen elbette ki çağın getirdiği olanaklardan belirli bir ölçüde faydalanılmaktadır. Örneğin, yapı bileşenleri büyük oranda kitlesel olarak üretilmektedir veya tasarım süreci dijital sistemler aracılığı ile yürütülmektedir. Tüm bunların ötesinde göz

önünde bulundurulması gereken husus ise, yapım sürecine ilişkin faaliyetleri yürütebilmek için bir araya gelen birçok uzmanlık alanından iş grubunun nasıl bir üretim ağı oluşturduğudur (Bertelsen ve diğer., 2007). Bu yüzden, yapı üretim ihtiyacının endüstri tarafından nasıl karşılandığının da ele alınması gerekmektedir (Austin ve diğer., 2002).

Vrijhoef ve Koskela (2005) tarafından da belirtildiği gibi, yapı endüstrisi geçici olarak oluşturulan organizasyonlarca yürütülmektedir ve bu durum endüstri içerisinde yüksek düzeyde parçalılığa sebep olmaktadır. Dubois ve Gadde (2002), bu duruma yönelik olarak yapı endüstrisini üretim biçimi açısından "gevşekçe bağlı bir sistem" (*a loosely coupled system*) şeklinde tanımlamaktadır (Şekil 2.20). Bunun anlamı, bir üretim organizasyonu için geçici olarak bir araya gelen firmalar birbiri arasında zayıf bağlantılar kurmaktadır ve birbirinden bağımsız olarak iş yürütebilmektedirler. Bir diğer deyişle, endüstri ağı içerisindeki firmalar belirli bir üretim organizasyonu için geçici olarak sıkı bağlantılar kurmakta, fakat üretim tamamlandığında ise belki de bir daha hiç bir araya gelmemek üzere birbirlerinden ayrılmaktadırlar.



Şekil 2.20 Gevşekçe bağlı bir sistem olarak yapı endüstrisi (Dubois ve Gadde, 2002)

Björnfot ve Sardén (2006) endüstrinin bu yapısının temel sebebini, üretimin "araziye bağlı" ve "özgün" niteliklerinden dolayı bütün yapı endüstrisinin merkezi bir mekanizma üzerinden yürütülebilmesinin olanaksızlığı olarak belirtmektedir. Her yeni bir yapı inşa edileceği zaman, üretim yeri farklı çevresel koşullara sahip olan yeni bir noktaya taşınmaktadır. Bu yüzden her proje, bulunduğu bölgenin gereklerini karşılayabilmek için (yerel çevre, malzemeler, tedarikçiler, ihtiyaçlar, yönetmelikler vs.) geçici olarak bir araya gelmiş firmalardan oluşan bir organizasyon tarafından gerçekleştirilmektedir.

Endüstrinin bu yapısı, merkezi yerine dağınık bir üretim mekanizması sağladığı için kısa vadede esneklik ve üretkenlik açısından fayda sağlamaktadır. Çünkü, bir yapı üretimi için birçok uzmanlık alanının bir araya gelmesi gerekmektedir ve bu uzmanlık alanlarının kapsamı ve çeşitliliği projeden projeye değişkenlik gösterebilmektedir. Bu açıdan dağınık üretim, hem projenin karmaşık yapısının kendi alanlarında yetkin olan gruplara bölüştürülmesini hem de projenin özgünlüğünün gerektirdiği organizasyon dahilinde verimli bir şekilde karşılanabilmesini sağlamaktadır.

Diğer taraftan ise, bu durum yenilikçi çözümlerin geliştirilmesini güçleştirmektedir. Yapı endüstrisi içerisinde elbette ki bir takım yenilikçi gelişmeler yaşanmaktadır, fakat bunlar çoğunlukla artımsaldır (inkremental) ve köklü (radikal) değişimler çok azdır (Memari ve diğer., 2014). Bertelsen ve diğer. (2007), bu durumu endüstrideki proje yönetim biçimi ile ilişkilendirmektedir. Yapı endüstrisindeki parçalılık, yapı projelerinin yönetilme biçimini de etkilemektedir. Üretim konusunda projeler değil, bölüştürülmüş olan iş sözleşmeleri yönetilmektedir. Bu durumun yenilikçilik üzerindeki bazı etkileri şöyledir:

- Yapı üretiminin birbiri ile düşük seviyede iletişim halinde olan iş gruplarına bölünmesi projenin bütünü yerine parçalarına odaklanılmasına sebep olmaktadır, çünkü işi yürütenlerin amacı sadece kendi iş bölümlerinin nasıl en verimli biçimde yapılabileceği üzerinedir. Dolayısıyla, yenilikçi adımlar bu iş

bölümlerinin iyileştirilmesi üzerine gerçekleşmektedir.

- Üretimin parçalılığının başka bir etkisi, endüstrinin büyük araştırma yatırımları yapabilecek düzeyde olmayan küçük firmalara bölünmüş olmasıdır (Memari ve diğer., 2014). Bir ürün olarak yapının yaşam döngüsü oldukça uzundur ve bu yüzden bu küçüklükteki firmaların geri dönüşü olmayabilecek bir araştırma yatırımı yapma ihtimali düşüktür. Dolayısıyla firmalar genellikle kısa dönemli kârlarını düşünmektedirler.
- Firmaların geçici olarak bir araya geliyor olmaları, yenilikçilik için gerekli olan yürütülen faaliyetten öğrenmeyi desteklememektedir. Bu yüzden, projenin bütününe yönelik olarak edinilen bilgi bir sonraki projeye taşınmamaktadır.

Endüstrinin üretimi ele alma konusundaki bu yaklaşım biçimi, özellikle "yalın üretim" anlayışı çerçevesinde eleştirilmektedir. Klasik anlayış, Koskela ve Howell (2002) ile Koskela ve diğer. (2002) tarafından belirtildiği üzere üretimi yalnızca bir dönüştürme eylemleri dizisi şeklinde ele almaktadır. Bir diğer deyişle, bir iş grubunun çıktısının diğer bir iş grubunun girdisi olduğu düşünülmektedir. Bu görüş, yalnızca girdilere ve çıktılara odaklandığı için üretimin bütününe ilişkin malzeme ve bilgi akışlarını göz ardı eden, değer sağlayan ve sağlamayan unsurların ayrıştırılamadığı verimsiz bir süreç oluşturmaktadır.

Sürecin bütününe düşünmek yerine mevcut parçalılığı geliştirme yanılgısı, radikal değişimler sağlayabilecek teknolojik sistemlerin gelişebilmesini ve yaygınlaşabilmesini de önlemektedir. Geçmişte William (1986) bilgisayar sistemlerinin ve Pegna (1996) da robotik sistemlerin yapı endüstrisindeki kullanımlarının geleneksel yöntemlerin yeni teknolojilerce taklit edilmesinden öteye gitmediğini belirtmektedir; örneğin el ile üretilecek bir çizim aynı mantık dahilinde bilgisayar ortamında üretilmekte, aynı inşaat faaliyetleri robotlarca yerine getirilmektedir. Bu durum yalnızca aynı karmaşık süreci daha üstün olduğu düşünülen bir sisteme aktarmakta ve problemi çözmemektedir. Üretim sürecini bir bütün olarak sorgulamak ve yeni üretim konseptleri geliştirmek yerine yalnızca

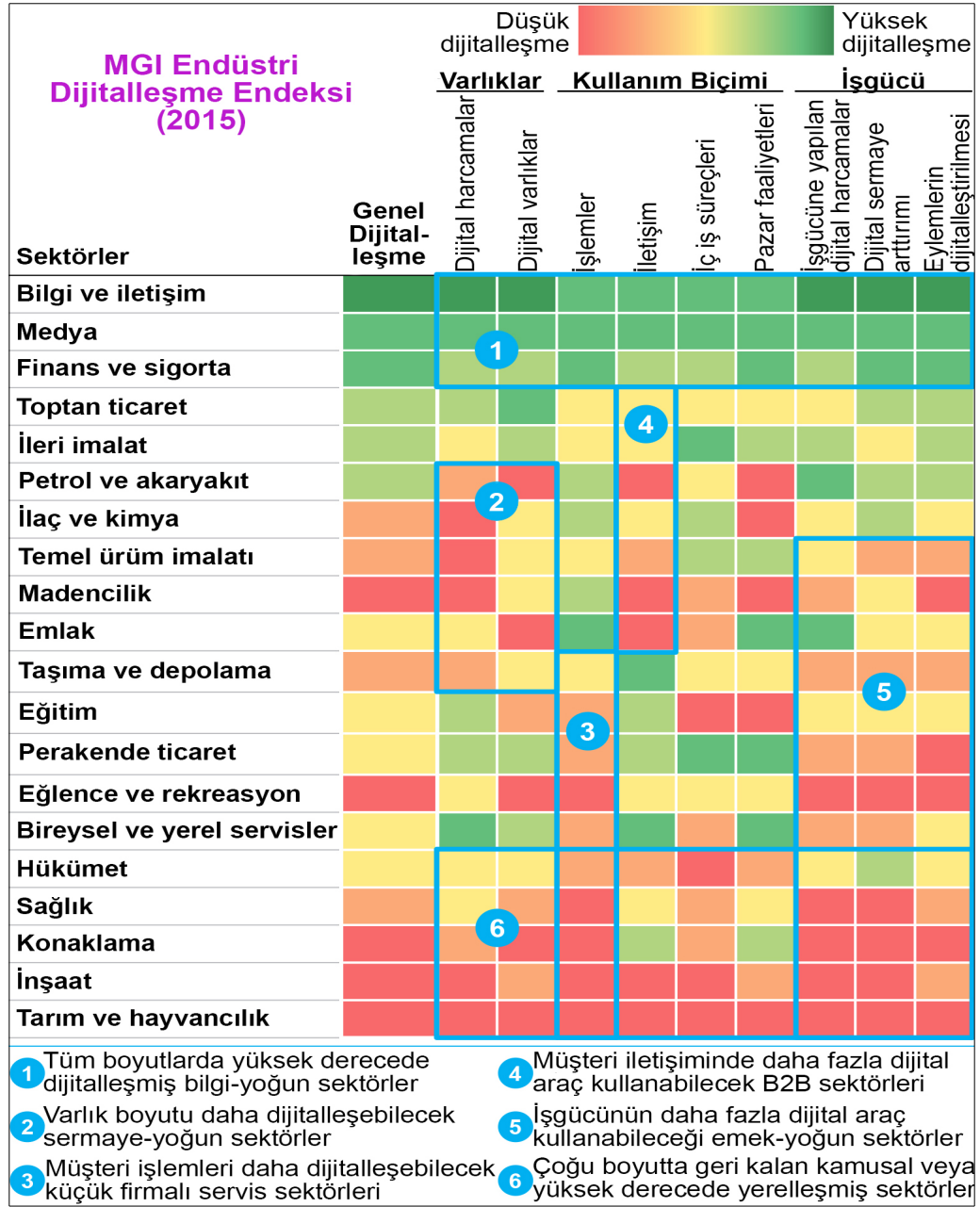
klasik bir yapı üretim sürecindeki eylemler dizisinin insanlardan bilgisayarlara ve robotlara devretmenin hedeflenmesi, geliştirilen sistemlerin sağlayabileceği üretkenlik artışını sınırlandırmakta ve dolayısıyla da yaygınlaşmasını geciktirmektedir. Tüm bunların yanı sıra, firmalar karmaşık bir sürecin gerektireceği karmaşık teknolojilerin yüklü ilk yatırım maliyetlerinden de kaçınmaktadır.

İleri teknoloji sistemlerinin yapı endüstrisi içerisinde yaygınlaşmamış olduğu, bu tür sistemlere ilişkin endüstri raporlarında da görülmektedir. Örneğin "World Robotics 2016" (IFR, 2016) verilerine göre (Şekil 2.21) 2015 yılı endüstriyel robot satış miktarının en fazla olduğu endüstri otomotiv iken (97.500 birim), bu miktar yapım ve yıkım sistemleri için (grafikte "diğer" içerisinde) sadece 568 birimdir.



Şekil 2.21 Sektörlere göre dünya genelinde yıllık tahmini yıl sonu endüstriyel robot satış miktarları (IFR İstatistik Departmanı 2015 yılı idari raporu (IFR, 2016))

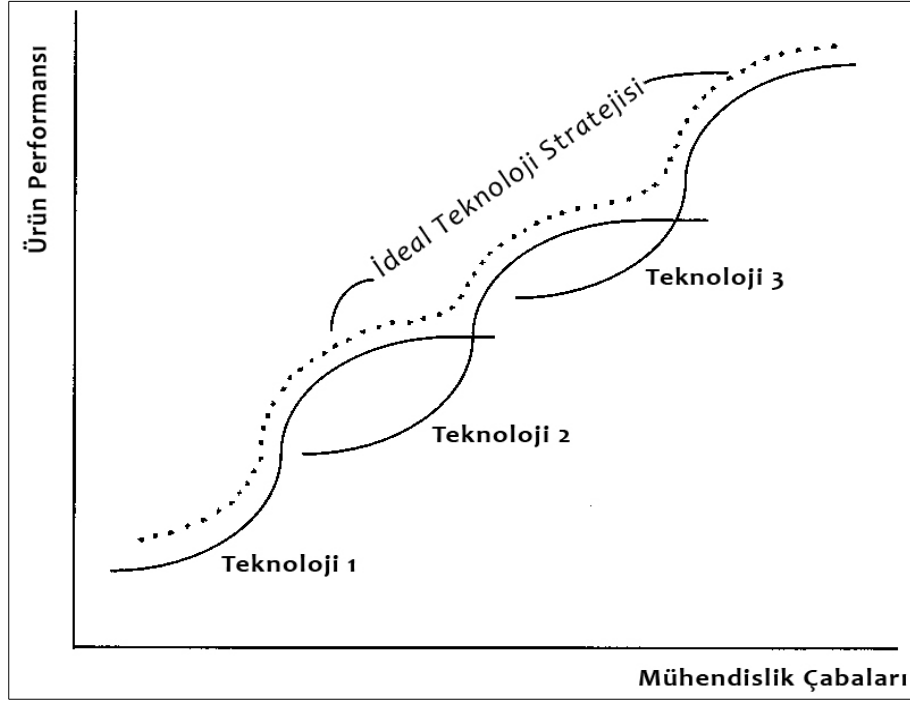
Benzer bir biçimde McKinsey tarafından hazırlanan "Digital America" raporunda sunulan "MGI 2015 Endüstri Dijitalleşme Endeksi" (Manyika ve diğer., 2015) grafiğinde (Şekil 2.22) yapı üretim faaliyeti, dijitalleşme düzeyi en düşük sektörlerden birisi olarak gösterilmektedir. Bu grafiğe göre yapı endüstrisi, müşteri ve pazar faaliyetlerinden işgücü eylemlerine kadar tüm boyutlarda dijitalleşme açısından geri kalmaktadır.



Şekil 2.22 "MGI 2015 Endüstri Dijitalleşme Endeksi" (Manyika ve diğer., 2015)

Mevcut üretim yöntemlerine alternatif olarak ortaya çıkan yaklaşımlar ise, endüstri içerisinde yenilikçiliği konusunda sınırlayan bir diğer önemli unsur ile karşı karşıya kalmaktadır; düzenleyici kurumların yapı üretimine ilişkin yasaları. Endüstri standartlarını belirleyen bu yasalar, sadece test edilmiş olan sistemleri onayladığı için radikal yenilikler getiren teknolojilerin gelişmesinde engel teşkil edebilmektedir. Örneğin eklemeli üretim üzerine çalışmalar yapan firmalar, bu üretim yöntemine ilişkin yasalar henüz mevcut olmadığı için geliştirdikleri teknolojileri bir yapının üretiminde uygulamak konusunda zorluklar yaşayabilmektedirler. Yasa koyucu otoriter kurumların da bu tür yeni sistemler için onay vermesi her zaman tahmin edilebilir değildir. Onaylama süreci yalnızca performans dayalı değildir ve bazı prosedürlerden geçmesi gerekebilmektedir. Bu durum, yeni bir teknolojik gelişmenin onay alıp almayacağı veya ne zaman onaylanacağı konusunda belirsizlikler yaratmakta ve yenilikçi düşüncelere karşı caydırıcı bir unsur olabilmektedir.

Yapı üretimine ilişkin olarak ileri sürülen yeni teknolojilerin zaman içerisinde bir öncekilerin yerine geçecek olması olağan bir beklentidir. Bu durum, bir endüstrideki yenilikçi çözümlerin nasıl geliştiğini açıklamak amacıyla S-Eğrisi (Şekil 2.23) ile tariflenmektedir. S-Eğrisi modeline göre bir teknolojinin gelişim hızı düşmeye başladığında, bu teknoloji ve onun uygulayıcıları yeni bir teknolojik girişim tarafından ikame edilmeye açık hale gelir. Yerine geçecek olan bu yeni teknoloji de kendi S-Eğrisi ile aynı sürece dahil olur (Christensen, 1999). Fakat yapı endüstrisi geleneksel üretim yöntemleri ile üretim yapma konusunda oldukça ısrarcı bir sektördür ve bu yüzden bir teknoloji daha yaygınlaşmadan diğer endüstrilerde ikamesi bile ortaya çıkabilmektedir.



Şekil 2.23 Bir endüstri içerisindeki yenilikçi teknolojilerin gelişiminin S-eğrisi ile gösterimi (Christensen, 1999)

Özetlenecek olursa eğer, yapı üretiminin ürün, süreç ve endüstri düzeyindeki kendisine özgü özellikleri hem diğer endüstri alanlarından teknoloji aktarımını zorlaştırmakta hem de endüstrinin kendi içerisinde yenilikler getirmesini sınırlandırmaktadır. Var olan gelişim çabaları çoğunlukla endüstri katılımcılarının kendi iç süreçlerini iyileştirmeleri amacıyla yürütülmekte ve bu yüzden de genellikle sürecin bütünü değil, bütünün parçaları geliştirilmektedir. Tüm bu sorunlara yönelik olarak, yapı üretimine ilişkin tüm katılımcıları (işveren, tasarımcı, üretici ve ürün-teknoloji geliştiricileri, düzenleyici kurumlar vs.) kapsayan bir düşünce değişimi gerekmektedir (Memari ve diğer., 2014). Bu bağlamda yapı üretiminin ürün, süreç ve endüstri düzeyindeki gerekleri doğrultusunda, üretimin hem yönetsel hem de tekniksel yönlerden kapsamlı bir biçimde ele alınmasını sağlayacak bütüncül bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır (Saurin ve diğer., 2013). Bu tür bir yaklaşım ile yapı üretiminin etkinliğinin arttırabilmesi adına aşağıda belirtilen hedeflerin ortaya koyulduğu söylenebilir:

- Yapı üretiminin doğasının daha derinlikli olarak anlaşılabilmesini sağlamak,
- Mevcut teknolojik gelişmelerin doğru bir yönetim ile daha etkin kullanılabilmesini sağlamak,
- Yapı üretim sürecinin bütününe yönelik radikal çözümler üretebilmek.

Tez kapsamında bu amaçlara yönelik olarak son dönemde proje yönetimi alanında giderek popülerlik kazanan "karmaşık sistemler yaklaşımı" üzerinde durulmaktadır. Bu yaklaşım, bir üretim organizasyonunu dinamik ve karmaşık bir sistem olarak bütüncül bir biçimde ele aldığı için yapı üretiminin sorunlarına yönelik kapsamlı çözümler oluşturabilmeyi vadetmektedir (Bertelsen ve Sacks, 2007).

BÖLÜM ÜÇ

KARMAŞIK SİSTEMLER YAKLAŞIMI VE YAPI ÜRETİM SÜRECİNDE KARMAŞIKLIK

Bu bölümde, yapı üretiminin karmaşık bir süreç olduğu düşüncesinden yola çıkarak karmaşık sistemler yaklaşımı ve bu yaklaşım biçiminin üretim organizasyonlarının yönetimi üzerine yansımaları ele alınmaktadır. Bu kapsamda “karmaşık sistemler yaklaşımı”, “proje karmaşıklığı”, “yapı projelerinde karmaşıklık” ve “karmaşık proje yönetimi” gibi kavramlar öne çıkmakta ve irdelenmektedir. Bölüm, üç alt bölüm üzerinden sunulmaktadır:

- İlk alt bölüm altında (3.1. Karmaşık Sistemler Yaklaşımı), karmaşık sistemler yaklaşımının ne olduğu, nasıl ortaya çıktığı ve ne tür bir düşünce biçimini temsil ettiği açıklanmaktadır. Sonrasında, bu yaklaşımın hangi disiplinler altında kullanım alanı bulduğundan bahsedilmektedir.
- İkinci alt bölüm altında (3.2. Karmaşık Bir Proje Olarak Yapı Üretimi), karmaşık sistemler yaklaşımının proje yönetimi alanındaki uzantısı olan “karmaşık proje” kavramı ile yapı üretimi arasında bir ilişki kurulmaktadır. Öncelikli olarak proje yönetimi alanına ilişkin temel bilgiler (temel kavramlar ve yaklaşımlar) verilmektedir. Sonrasında "karmaşık proje" ifadesi tanımlanmakta, hangi tür durumların karmaşık bir proje olduğu incelenerek yapı üretiminin bu tanıma uyup uymadığı irdelenmektedir.
- Üçüncü alt bölüm altında (3.3. Proje Yönetiminde Karmaşıklık Olgusunun Ele Alınış Biçimi), karmaşıklığın proje yönetiminde nasıl ele alındığı incelenmekte ve karmaşıklığın etkileri, sebepleri, ölçülmesi ve yönetilmesi üzerinde durulmaktadır.

Bu bölüm içerisinde karmaşıklık olgusu tümünden gelerek sırasıyla "karmaşık sistemler yaklaşımı", "proje karmaşıklığı" ve “yapı projelerinde karmaşıklık” konuları üzerinden irdelenmektedir. Bu irdelemenin gerçekleştirilmesinde ise,

bilimsel literatürde önem atfedilen ve özellikle atıf sayısı ile de öne çıkan çalışmaların (kitap, makale, bildiri vb.) listeleri oluşturulmuştur. Bu listeler bilimsel literatürde yer alan çalışmaların kronolojik olarak gelişiminin görülmesi ve çalışmalarda yapılan atıfların ve bu çalışmalara atıf yapanların takip edilmesi ile belirtilen konulara yönelik daha derinlikli bir araştırma yapabilmek için bir kılavuz sağlamaktadır. Bu listeler karmaşık sistemler yaklaşımına yönelik olarak Tablo 3.1, proje karmaşıklığına yönelik olarak Tablo 3.2 ve yapı projelerinde karmaşıklığa yönelik olarak Tablo 3.3’ de verilmektedir.

Tablo 3.1 Bilimsel literatürde karmaşık sistemler yaklaşımı üzerine yapılan ve en fazla atıf alan çalışmalar

No	Yazar(lar)	Tarih	Yayın türü (Kitap, makale, bildiri)	Çalışmanın adı	Atıf Sayısı
1	Boulding	1956	Makale	General systems theory—the skeleton of science	3700
2	Lorenz	1963	Makale	Deterministic nonperiodic flow	19483
3	Von Bertalanffy	1968	Makale	General system theory	14472
4	Waldrop	1993	Kitap	Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos	6337
5	Lorenz	1995	Kitap	The essence of chaos	2064
6	Kauffman	1996	Kitap	At home in the universe: The search for the laws of self-organization and complexity	6911
7	Lewin	1999	Kitap	Complexity: Life at the edge of chaos	2369
8	Mitchell	2009	Kitap	Complexity: A guided tour	2111
9	Gleick	2011	Kitap	Chaos: Making a new science	11297

Tablo 3.2 Bilimsel literatürde proje karmaşıklığı üzerine yapılan ve en fazla atıf alan çalışmalar

No	Yazar(lar)	Tarih	Yayın türü (Kitap, makale, bildiri)	Çalışmanın adı	Atıf Sayısı
1	Baccarini	1996	Makale	The concept of project complexity—a review	1046
2	Shenhar ve Dvir	1996	Makale	Toward a typological theory of project management	696
3	Shenhar	1998	Makale	From theory to practice: Toward a typology of project-management styles	286
4	Williams	1999	Makale	The need for new paradigms for complex projects	729
5	Clift ve Vandenbosch	1999	Makale	Project complexity and efforts to reduce product development cycle time	121
6	Tatikonda ve Rosenthal	2000	Makale	Technology novelty, project complexity, and product development project execution success: a deeper look at task uncertainty in product innovation	580

Tablo 3.2 devamı

No	Yazar(lar)	Tarih	Yayın türü (Kitap, makale, bildiri)	Çalışmanın adı	Atıf Sayısı
7	Shenhar	2001	Makale	One size does not fit all projects: Exploring classical contingency domains	897
8	Jaafari	2001	Makale	Management of risks, uncertainties and opportunities on projects: time for a fundamental shift	525
9	Snowden	2002	Makale	Complex acts of knowing: paradox and descriptive self-awareness	1162
10	Pich ve diğer.	2002	Makale	On uncertainty, ambiguity, and complexity in project management	828
11	De Meyer ve diğer.	2002	Makale	Managing project uncertainty: from variation to chaos	574
12	Ribbers ve Schoo	2002	Makale	Program management and complexity of ERP implementations	168
13	Kurtz ve Snowden	2003	Makale	The new dynamics of strategy: Sense-making in a complex and complicated world	1178
14	Engwall	2003	Makale	No project is an island: linking projects to history and context	972
15	Jaafari	2003	Makale	Project management in the age of complexity and change	233
16	Xia ve Lee	2004	Makale	Grasping the complexity of IS development projects	256
17	Williams	2005	Makale	Assessing and moving on from the dominant project management discourse in the light of project overruns	388
18	Xia ve Lee	2005	Makale	Complexity of information systems development projects: conceptualization and measurement development	326
19	Little	2005	Makale	Context-adaptive agility: managing complexity and uncertainty	116
20	Atkinson ve diğer.	2006	Makale	Fundamental uncertainties in projects and the scope of project management	583
21	Benbya ve McKelvey	2006a	Makale	Using coevolutionary and complexity theories to improve IS alignment: a multi-level approach	285
22	Benbya ve McKelvey	2006b	Makale	Toward a complexity theory of information systems development	239
23	Snowden ve Boone	2007	Makale	A leader's framework for decision making	1482
24	Shenhar ve Dvir	2007	Kitap	Reinventing project management: the diamond approach to successful growth and innovation	1000
25	Remington ve Pollack	2007	Kitap	Tools for complex projects	232
26	Geraldi ve Adlbrecht	2007	Makale	On faith, fact, and interaction in projects	126
27	Perminova ve diğer.	2008	Makale	Defining uncertainty in projects—a new perspective	423
28	Vidal ve Marle	2008	Makale	Understanding project complexity: implications on project management	214
29	Maylor ve diğer.	2008	Makale	Managerial complexity in project-based operations: A grounded model and its implications for practice	178
30	Whitty ve Maylor	2009	Makale	And then came complex project management (revised	209
31	Hass	2009	Kitap	Managing complex projects: A new model	108
32	Remington ve diğer.	2009	Bildiri	A model of project complexity: distinguishing dimensions of complexity from severity	76

Tablo 3.2 devamı

No	Yazar(lar)	Tarih	Yayın türü (Kitap, makale, bildiri)	Çalışmanın adı	Atıf Sayısı
33	Howell ve diğer.	2010	Makale	A project contingency framework based on uncertainty and its consequences	139
34	Bosch-Rekvelde ve diğer.	2011	Makale	Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework"	265
35	Vidal ve diğer.	2011b	Makale	Using a Delphi process and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the complexity of projects	222

Tablo 3.3 Bilimsel literatürde yapı projelerinin karmaşıklığı üzerine yapılan ve en fazla atıf alan çalışmalar

No	Yazar(lar)	Tarih	Yayın türü (Kitap, makale, bildiri)	Çalışmanın adı	Atıf Sayısı
1	Gidado	1996	Makale	Project complexity: The focal point of construction production planning	296
2	Dubois ve Gadde	2002	Makale	The construction industry as a loosely coupled system: implications for productivity and innovation	807
3	Austin ve diğer.	2002	Makale	Modelling and managing project complexity	153
4	Bertelsen	2003a	Bildiri	Complexity–Construction in a new Perspective	142
5	Bertelsen	2003b	Bildiri	Construction as a complex system	140
6	Bertelsen ve Koskela	2003	Bildiri	Avoiding and managing chaos in projects	35
7	Bertelsen	2004a	Bildiri	Construction management in a complexity perspective	55
8	Cicmil ve Marshall	2005	Makale	Insights into collaboration at the project level: complexity, social interaction and procurement mechanisms	200
9	Xia ve Chan	2012	Makale	Measuring complexity for building projects: a Delphi study	86
10	Giezen	2012	Makale	Keeping it simple? A case study into the advantages and disadvantages of reducing complexity in mega project planning	117
11	Brady ve Davies	2014	Makale	Managing structural and dynamic complexity: A tale of two projects	87
12	Davies ve Mackenzie	2014	Makale	Project complexity and systems integration: Constructing the London 2012 Olympics and Paralympics Games	91

3.1 Karmaşık Sistemler Yaklaşımı

"Karmaşık sistemler yaklaşımı" (kısaca, "Karmaşıklık"), bulunduğumuz doğayı daha iyi kavrayabilme konusunda modern bilimin ortaya koyduğu düşünme biçimlerinden birisidir. "Karmaşıklık bilimi" veya "karmaşık sistemler bilimi" olarak da isimlendirilen bu yaklaşım, yüzyıllar boyunca hakim görüş olan klasik bilim düşüncesinin çözümleyemediği durumlara cevap bulabilmek için ortaya çıktı. 1990'lar ile birlikte giderek popülerleşen bu disiplinlerarası düşünme biçimi (Manson, 2001), yaşadığımız çevreyi algılamada ve anlamlandırmada önemli bir değişim yaratmaktadır. Karmaşıklık yaklaşımının öncü isimlerinden Nobel ödüllü Ilya Prigogine, 1997 yılında bu durumu şu şekilde ifade etmektedir (Bogg ve Geyer, 2007 s.1);

İnanıyoruz ki, biz aslında yeni bir bilim çağının başındayız. İdealleştirilmiş ve basitleştirilmiş bir durum ile sınırlı kalmayan, aksine gerçek yaşamın karmaşıklığını yansıtan yeni bir bilimin doğuşunu gözlemliyoruz.

Her ne kadar "bilim" olarak nitelendirilse de, aslında karmaşık sistemler yaklaşımı yüzyıllarca klasik bilimde hakim olan "düzenli ve kurallı evren" yaklaşımına alternatif bir düşünme biçimidir. Bu bağlamda Karmaşıklık, bir paradigma kayması (*paradigm shift*) yaratmaktadır. Disiplinlerarası bir bilgi oluşumu şeklinde giderek büyüyen bu düşünce biçimi altındaki çalışmalar, genel olarak evrenin, doğanın veya toplumların değişiminin dinamiklerini, yapısını ve davranışlarını incelemektedir ve bunu yaparken de incelediği alanı bir "karmaşık uyabilir (*adaptive*) sistem" olarak değerlendirmektedir (Wood ve diğer., 2013).

Karmaşıklık, birçok bilim dalında (hem doğa bilimlerinde hem de sosyal bilimlerde) kendisine yer bulmaktadır ve bu açıdan da birçok farklı teoriyi içerisinde barındırmaktadır (Benham-Hutchins ve diğer., 2010). Farklı dallardaki farklı teoriler karmaşıklığı kendi bakış açısından değerlendirdiği için, karmaşıklığın tam olarak

neyi ifade ettiğine ilişkin ortak bir dil de bulunmamaktadır. Bu duruma yönelik olarak, Waldrop (1993) “Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos” isimli kitabının giriş bölümünde şu ifadeyi kullanmaktadır, “.... karmaşıklığın bilimi – henüz hem çok yeni hem de çok geniş kapsamlı bir konu ki, kimse tam olarak nasıl tanımlanması gerektiğini veya sınırlarının neresi olduğunu bilmiyor.”

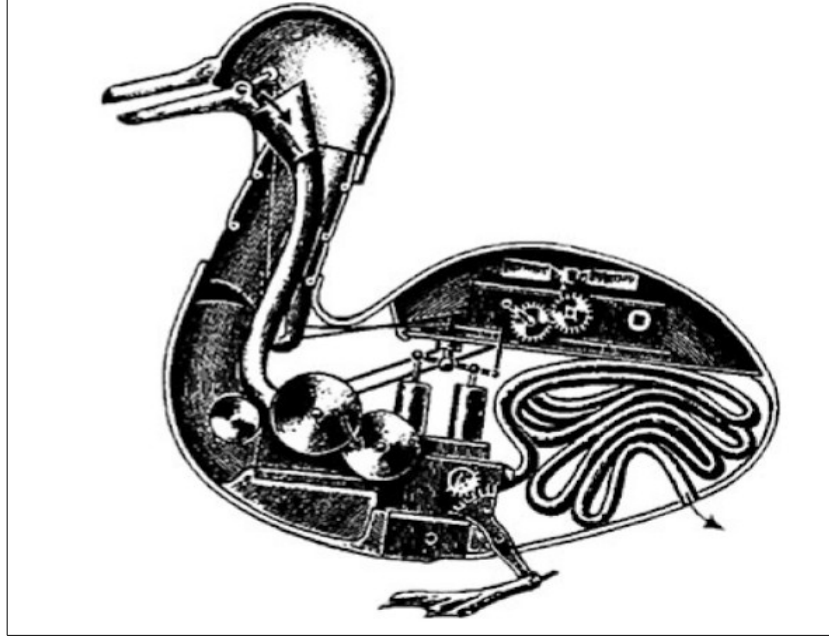
Bu açıdan, aşağıdaki bölümlerde karmaşıklığın tanımlanmasından ziyade, temsil ettiği düşünce biçimi ve bu düşünce biçiminin hangi alanlarda kullanıldığına değinilecektir.

3.1.1 Karmaşık Sistemler Yaklaşımının Düşünce Altyapısı

Klasik bilimsel düşünce biçimi, Aydınlanma Çağı (16.-18. yy) ile birlikte Copernicus, Galileo, Descartes, Newton, Kepler gibi isimlerin öncülüğünde matematik, fizik ve astronomi gibi alanlardaki çalışmaların oluşturduğu temele dayanmaktadır. Bu dönemde yaşanan gelişmeler, doğanın belirli kurallara dayandırılarak açıklanabileceği düşüncesinin önünü açtı. Örneğin bu bilimsel yaklaşımın yapı taşlarından birisi olan Isaac Newton'un 1687 yılında yayınladığı “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*” kitabı, gök cisimlerinin hareketlerinin belirli yasalar dahilinde matematiksel olarak açıklanabileceğini göstermekteydi.

Bu dönem ile birlikte oluşturulan ana görüş, yaşadığımız çevrenin tamamıyla mekanik bir şekilde (makina benzeri) çalıştığını varsaymaktadır. Klasik bilime göre evren, atomik birimlerden galaktik sistemlere kadar tam bir düzen içerisinde işlemektedir (Bertelle ve diğer., 2008). Buna göre evren, tıpkı Newton'un fizik yasaları gibi belirli modeller ve kurallar ile tanımlanabilir ve hatta eğer doğru modeller oluşturulursa, düzen içerisinde ilerleyen bu evrenin tüm işleyişi önceden tahmin edilebilir. Örneğin, “Sindiren Ördek” (*Digesting Duck*) (Şekil 3.1), bu dönemin düşünce şekline iyi bir örnektir (Scott, 2007). Jacques de Vaucanson

tarafından 1739 yılında tasarlanan bir özdevinirin (*automata*) temsili olan bu resim, insan dışı bir canlının nasıl mekanik bir biçimde işlediği kanısının bir göstergesidir.



Şekil 3.1 “Sindiren Ördek” (*Digesting Duck*) (Scott, 2007)

Maurer (2017), “mekanik felsefe” altında tanımladığı bu döneme ilişkin bazı temel görüşleri şu şekilde sıralamaktadır; rasyonalizm, determinizm, reduksiyonizm ve atomizm.

- Rasyonalizme göre; bilginin edinimi ve değerlendirilmesi, sadece mantıksal düşünce ile gerçekleştirilmelidir.
- Determinizme göre; tüm olaylar, öncül koşulları tarafından belirlenmektedir (neden-sonuç ilişkisi). Bunun anlamı, bir duruma ilişkin tüm etkenler bilinirse, sonuçlar da bilinebilir.
- Reduksiyonizme göre; bir sistemin bütünü, içerdiği tüm parçaların tanımlanması ile açıklanabilir.
- Atomizme göre; her şey, bölünemeyen en küçük parçalarından oluşur.

Lineer düşünce biçimi olarak da tanımlanan “düzenlilik, tahmin edilebilirlik ve bilinebilir evrensel kurallar” üzerine kurulu klasik bilim anlayışı altında yapılan devrimsel çalışmalara dayanan klasik bilim, pozitif bilimlerin gelişmesine önemli bir dayanak oluşturdu (Rihani, 2002). Bu bilimsel anlayış, bulunduğumuz doğayı ve uzayı anlamamızda büyük katkı sağladı ve insanlığın bilimsel ve teknolojik anlamda endüstri devrimine kadar ilerleyen sıçrayışının sürükleyicisi oldu.

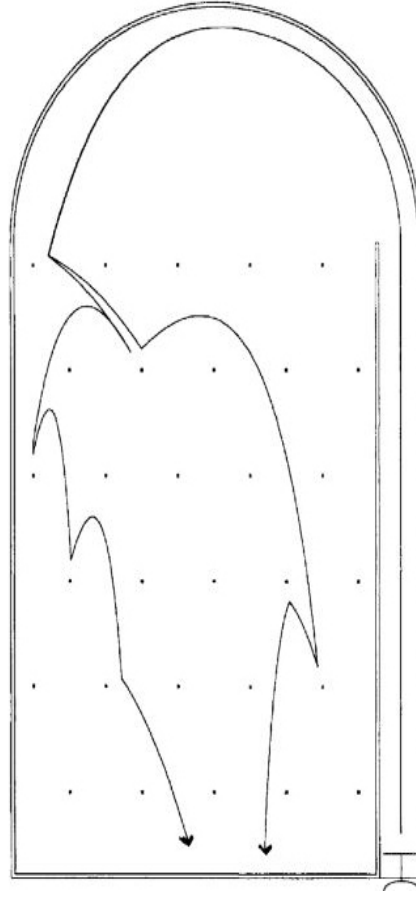
Tüm bu gelişmelerin ötesinde ise, son yüzyılda klasik bilimin bazı kabullerinin evreni anlamakta bazı sınırlılıklarının olduğu fark edildi. Bazı doğa olayları, deterministik ve redüksiyonist yaklaşımlar ile açıklanamayacak ve varsayılan mekanikliğe uygun biçimde tanımlanıp formüle edilemeyecek kadar dinamik, düzensiz ve tahmin edilemez unsurlar barındırmaktadır (Mitchell, 2009). Bu duruma yönelik olarak 20.yy'da gelişen yeni bilimin üç devrimsel alanını Gleick (2011) "izafiyet, kuantum mekaniği ve kaos" olarak tanımlamaktadır.

Her ne kadar Einstein'ın izafiyet (*relativity*) teorisi klasik fizik ile çatışsa da, olayları belirli kurallara dayanarak kesinlik arz edecek biçimde açıklıyordu. Asıl sarsıcı nokta, Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Schrödinger, Max Born ve Paul Dirac gibi isimlerin öncülüğünde 1900'lerin hemen başında öne sürülen kuantum mekanikleri oldu. Lineer düşüncenin kalbi olan matematik ve fizik alanlarında yaşanan bu gelişme, bazı durumların formüller ile açıklanamayacak kadar karmaşık olduğunu gösterdi. Örneğin kuantum mekaniklerine göre, bir gezegenin herhangi bir anda yörüngesindeki konumunun hesaplanabildiği gibi elektronların atomun çekirdeğinin etrafındaki konumunun belirlenebilmesi mümkün değildir. Bunun için, bir elektronun atomun çevresinde bulunabileceği yeri gösteren “ihtimal bulutu” (Şekil 3.2) kullanılmaktadır (Giordano, 2012).

Dinamik ve karmaşık sistemlerin anlaşılması konusunda yeni bir bakış açısı getiren kaos teorisinin (Kaneko ve Tsuda, 2011) temelini ise, Edward Lorenz 1963 yılındaki “*Deterministic nonperiodic flow*” isimli makalesi ile oluşturdu. Bu çalışmada uzak geleceğe ilişkin hava durumu tahminlerinin olanaklı olup olmadığını sorgulayan ünlü matematikçi, şu yargıya varmaktadır (s. 141):

Düzensiz ilerleyen durumların kararsızlığına ilişkin sonuçlarımız düzensiz görünen atmosfer için uygulandığında, mevcut andaki koşullar tamamıyla bilinemediği sürece herhangi bir metot ile yeterli uzaklıktaki bir geleceğe ilişkin tahmin yapabilmenin imkansız olduğunu göstermektedir. Hava durumu gözlemlerinin tam ve isabetli olamadığı düşünülürse, çok uzak geleceğe ilişkin kesin bir tahminin olanaksız olduğu gözükmemektedir.

Lorenz (1963) bu durumun sebebini, sistemdeki çok küçük farklılıkların oldukça farklı sonuçlara yol açabilmesine bağlamaktadır. “Kelebek etkisi” olarak bilinen bu durum, sisteme ilişkin tüm bilginin ediniminin olanaksızlığından dolayı uzak geleceğe ilişkin doğru bir tahmini imkansız kılmaktadır. Lorenz’in bu makalesi, evrenin tahmin edilebilir makina benzeri bir düzende işlediği görüşü ile tamamıyla çelişmektedir, çünkü kaotiklik beraberinde rastlantısal denilebilecek sonuçlar da getirmektedir. Lorenz (1995), küçük sapmaların getirdiği büyük değişimlere örnek olarak "pinball makinası" örneğini vermektedir (Şekil 3.3). Aynı makina, aynı topu, aynı mekanizma ile fırlatmasına rağmen top her defasında farklı rotalar çizebilmektedir. Çünkü fırlatma sırasındaki milyonda birlik küçük değişimler dahi önceden tahmin edilemez sonuçlar doğurmaktadır. Bu durum basit bir mekanizma için dahi böyleyken, içerisinde çok daha fazla elemanın ve çok daha fazla değişkenin olduğu sistemlerde bilinemezlik katlanarak artmaktadır.

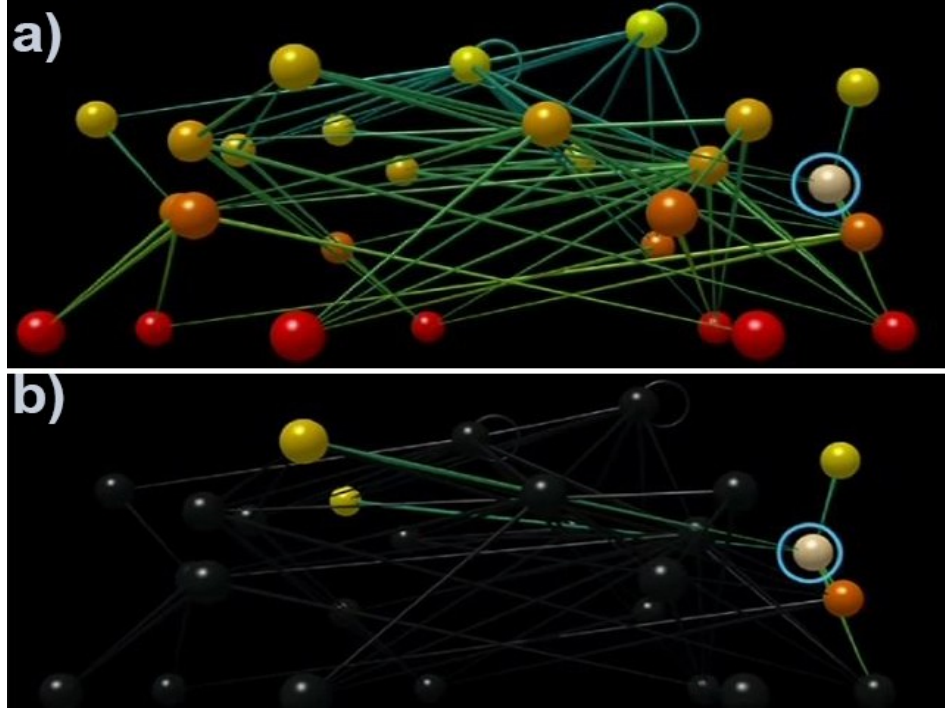


Şekil 3.3 Lorenz'in ön koşullara olan hassasiyeti açıklamak için verdiği "pinball makinası" örneği (Lorenz, 1995)

Evren, içerisinde hem düzenlilik hem de düzensizlik barındırmaktadır. Düzenliliğin içerisinde düzensizlikler açığa çıkabilirken, düzensizliğin içerisinde de düzenlilikler oluşabilmektedir. Karmaşık sistemler yaklaşımı, düzenin ve düzensizliğin süreç içerisinde nasıl oluştuğu üzerinde durmaktadır ve bunu da dinamik ve adaptif (çevresine uyum gösteren) karmaşık sistemler üzerinden açıklamaktadır. Karınca kolonileri, canlı bir organizma, hava durumu, ekonomi, insan psikolojisi, insan toplulukları, dünya ekosistemi gibi örnekler, karmaşıklık yaklaşımı altında incelenip anlamlandırılmaya çalışılan sistemlerden bazılarıdır. Bu tür sistemler bazı temel özellikler barındırmaktadır (Snowden ve Boone, 2007):

- Niceliksel çokluk (*multiplicity*): Çok sayıda ve birbiri ile etkileşim halinde bulunan eleman barındırırlar.
- Doğrusal olmama (*nonlinearity*): Elemanlar arasındaki etkileşimlerin doğurduğu etki, doğrusal değildir. Küçük değişimler, orantısız bir şekilde çok büyük etkiler yaratabilir.
- Ortaya-çıkma (*emergence*): Sistemin bütünü, sistemi oluşturan parçaların toplamından daha fazladır. Sistemin bütününde, sistemin parçalarında bulunmayan özellikler ortaya çıkabilir.
- Dinamiklik (*dynamic nature*): Sistemin kendi içyapısı ve çevresi sürekli bir değişim halindedir. Bu yüzden sisteme ilişkin tahmin yürütebilmek oldukça güçtür. Sistem içerisinde gerçekleşenler, yalnızca geçmişe dönük yorumlandığında düzenli bir neden-sonuç ilişkisine bağlı olduğu şeklinde algılanabilir. Oysa aynı durum geleceğe yönelik olarak uygulanamaz. Süreç dahilinde, düzenli sistemler birimlerinin davranışlarını kısıtlarlarken kaotik sistemlerde kısıtlama yoktur. Karmaşık sistemlerde ise, birimler ve sistem sürekli olarak birbirini kısıtlayarak değişim gösterir, bu evrimsel süreç geriye döndürülemezdir ve tahmin edilmesi de zordur.

Birbiri ile ilişkili yüksek miktarda bileşenden oluşan karmaşık sistemleri açıklayabilmek için klasik bilimin sunduğu parçalarına ayırarak inceleme yöntemi yeterli olmamaktadır. Bu tür bir inceleme, sistemin önemli parçalarını ön plana çıkarmakta ve önemsiz olarak nitelendirdiği bileşenleri göz ardı etmektedir. Örneğin gerçekte “Şekil 3.4a” şeklinde olan bir sistem, basitleştirilerek “Şekil 3.4b” şeklinde değerlendirilmektedir. Karmaşıklık bilimi ise, daha bütüncül bir yaklaşım sergilediği için sistemin karmaşıklığını, düzenliliklerini ve düzensizliklerini incelemek, sebeplerini ve etkilerini saptamak konusunda daha başarılı olmaktadır.



Şekil 3.4 Karmaşık bir sistem ağının çözülmesi (TED, 2010 - Eric Berlow: *Simplifying complexity*)

Karmaşıklık yaklaşımının gelişimine çeşitli alanlardan katkıda bulunan birçok isim ve çalışma bulunmaktadır. Henri Poincaré'in matematik alanında kaotik deterministik sistemler üzerine çalışmaları, Stuart Kauffman'ın biyoloji alanında organizmaların kendiliğinden nasıl organize olabildiği üzerine çalışmaları (özellikle 1996 yılında bu konu üzerine yayınladığı kitap, *"At home in the universe: The search for the laws of self-organization and complexity"*) ve Nobel ödüllü kimyager Ilya Prigogine'in kapalı bir sistem içerisinde termodinamiğin ikinci yasasına aykırı olarak karmaşık bir düzenliliğin nasıl oluşabileceğine ilişkin disipatif strüktürler çalışması, karmaşıklık düşüncesinin gelişiminde önemli yer edinmektedir. Ayrıca, karmaşıklığın bir sistem olarak ele alınıp incelenmesi üzerine Ludwig von Bertalanffy'nin (1968) *"General System Theory"* makalesi ve Norbert Wiener'in öncülüğünde 1940'ların ikinci yarısında gelişmeye başlayan sibernetik alanı da önemli çalışmalar arasında gösterilmektedir (Maurer, 2017).

McKelvey (2004), Karmaşıklık üzerine iki ekol tanımlamaktadır; Avrupa ve Amerika ekolleri. Avrupa ekolü, Prigogine'nin çalışmasının da dahil olduğu daha çok fizik ve matematik ağırlıklı olan gruptur. Amerikan ekolü ise, 1984 yılında kurulan ve kurucuları arasında Nobel ödüllü fizikçi Murray Gell-Mann'ın da bulunduğu Santa Fe Enstitüsü merkezli gruptur. Bu enstitü, ağırlıklı olarak biyolojik ve toplumsal sistemlerde karmaşık bir düzenin nasıl oluştuğuna odaklanan çok-disiplinli çalışmaların yürütüldüğü bağımsız bir araştırma ve eğitim merkezidir ve ayrıca bu alanda en prestijli kurum konumundadır.

3.1.2 Karmaşık Sistemler Yaklaşımının Kullanım Alanı Bulduğu Disiplinler

Karmaşık sistemler yaklaşımı fizik, matematik, kimya ve biyoloji gibi temel bilimlerdeki kullanımının ötesinde bu alanlardan çıkışla disiplinlerarası biçimde birçok farklı alanda da ele alınmaktadır (Whitty and Maylor 2009). Karmaşıklığın incelendiği alanlarda temel olarak şu tür soruların sorulduğu söylenebilir;

- Karmaşıklık nasıl oluşur? Karmaşıklık barındıran canlı veya cansız düzenli sistemler kendiliğinden nasıl oluşur?
- Karmaşık sistemler (canlı veya cansız) nasıl davranışlar gösterirler, ne tür etkileşimlerde bulunurlar, nasıl organize olurlar?
- Karmaşıklık nasıl yönetilebilir?

Karmaşık sistemler yaklaşımı, doğa içerisindeki karmaşık yapıların işleyiş biçimini anlayabilmek, benzer prensiplere dayanan teknolojileri geliştirmekte fayda sağlamaktadır. Örneğin, bir karınca kolonisinin herhangi bir lider barındırmaksızın son derece ilkel bireylerin etkileşimi ile nasıl kendiliğinden organize olarak çok geniş alanlar içerisinde ortaklaşa bir çalışma yürütebildiğini, nasıl yüzbinlerce bireysel yeterliliği olmayan karıncanın bir araya geldiğinde bir süperorganizmaya dönüşerek kolektif zeka oluşturabildiğini (Mitchell, 2009 s.3-4) çözümleyebilmek sürü robotiği (*swarm robotics*) sistemlerini geliştirmede fayda sağlamaktadır. Aynı şekilde, hücre

yapılarının nasıl organize olup organlar/organizmalar oluşturabildiğini, herhangi bir bilinç unsuru taşımayan organik malzemenin nasıl düşünebilen, kendi farkındalığı olan canlılar oluşturabildiğini anlayabilmek kendi kendine organize olabilen yapay zeka sistemlerini oluşturmada fayda sağlayabilmektedir.

Ayrıca bu yaklaşım, insan topluluklarının davranışlarını inceleme konusunda da kullanılmaktadır (Stevens, 2009 s.3-5). Örneğin, toplumlar ne tür davranışlar göstermektedir, ekonomik hareketlilikler ve pazar faaliyetleri nasıl oluşmaktadır, internet üzerindeki ağlarda nasıl ilişkiler oluşturulmaktadır, herhangi bir kaos anında insan toplulukları ne tür tepkiler verir, bir araç trafiğinde veya yaya trafiğinde neden, nasıl, ne tür davranışlar gözlemlenir.

Başka bir kullanım alanı örneği olarak ise (bu tezin de konusu olan) organizasyonların yönetiminde karmaşık sistemler yaklaşımının nasıl kullanılabileceğidir. Giderek küreselleşen ve karmaşıklaşan dünyadaki organizasyon ağını yönetebilmek için daha etkin yönetim biçimlerine ihtiyaç duyulmaktadır. "Karmaşıklığın yönetimi" olarak da tanımlanabilecek bu alana ilişkin Maurer (2017 s.89-108) ürün, süreç ve organizasyon odaklı üç bakış açısı belirtmektedir:

- Ürün odaklı olarak; ürün geliştirme konusunda bir ürün nasıl basitleştirilebilir, ürün karmaşıklığı göz önünde bulundurularak otomasyona yönelik nasıl tasarım alternatifleri geliştirilebilir,
- Süreç odaklı olarak; sürecin içerisindeki eylemler dizisi nasıl şekillenir, ne tür malzemeler, araçlar ve yöntemler kullanılabilir,
- Organizasyon odaklı olarak; organizasyonu meydana getiren aktörlerin birbiri ile ilişkileri (organizasyon ağı) aşağıdan-yukarıya ve yukarıdan-aşağıya nasıl biçimlenir, organizasyonun zaman içerisindeki gelişimi ve çevresi ile olan uyumu nasıl olur gibi konularda karmaşıklık üzerinden değerlendirmeler yapılmaktadır.

3.2 Karmaşık Bir Proje Olarak Yapı Üretimi

Organizasyonlar belirli amaçlara ulaşmak için bir faaliyet ağı yürütürler ve bu ağın süreci bir proje olarak değerlendirilir. Proje yönetimi alanında, karmaşık sistemler yaklaşımı "karmaşık proje" veya "proje karmaşıklığı" kavramları üzerinden değerlendirilmektedir ve her proje aslında bir karmaşık adaptif (çevresine uyum gösteren) sistemdir.

Vidal ve Marle (2008, s.1095), proje yönetimi alanına yönelik olarak sistem ve proje karmaşıklığını şu şekilde açıklamaktadır:

Sistem, bulunduğu çevre içerisinde bir takım hedeflere ulaşmak için (teleolojik bakış) bir eylem yürüten (fonksiyonel bakış) ve bu esnada içyapısı (ontolojik bakış) zaman içerisinde evrilen (genetik bakış) fakat kendi öz kimliğini kaybetmeyen bir nesnedir.

Proje karmaşıklığı, sisteme ilişkin yeterli bilgi sahibi olduğunda dahi projenin anlaşılmasını güçleştiren, bütün davranışlarının öngörülebilmesini ve kontrol altında tutulabilmesini zorlaştıran bir proje özelliğidir.

Organizasyonların faaliyetlerini başarılı bir şekilde yürütebilmek için uyguladıkları klasik proje yönetim metotları, giderek karmaşıklaşan çağımız için yeterli çözümleri üretememektedir ve bu yüzden karmaşık projelerin yönetimi yeni bir bakış açısını gerektirmektedir. Bu gerekliliğe ihtiyaç duyulan üretim alanlarından birisi de yapı endüstrisidir.

Bu başlık altında, “proje” ve “karmaşıklık” kavramlarına yönelik olarak temel bilgilendirmelere yer verilmekte ve yapı üretiminin bir karmaşık proje olup olmadığı irdelenmektedir.

3.2.1 “Proje” Kavramına İlişkin Temel Bilgilerin Tanımlanması

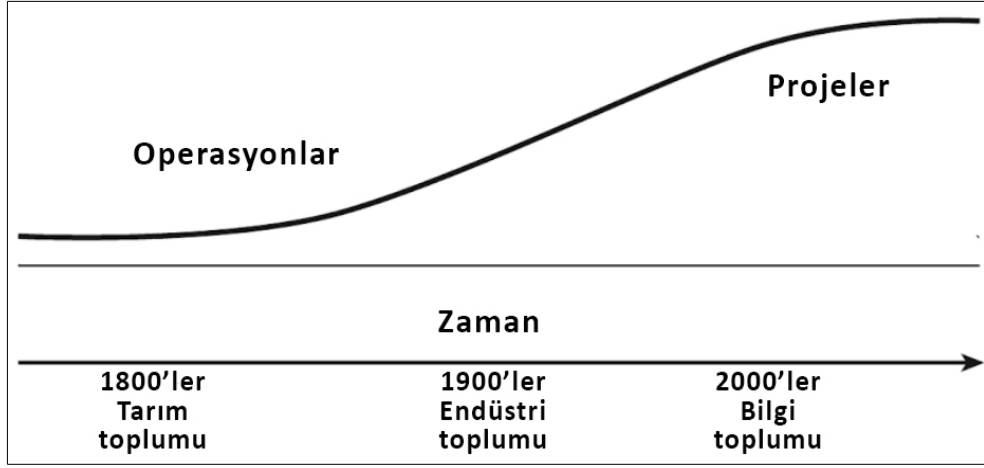
3.2.1.1 Proje nedir? Proje Yönetimi Nedir? Süreci Nedir? Başarılı Proje Nedir?

Proje yönetimi, insanlığın en eski uğraşlarından birisidir. Bu uğraş, insanların tarım kültürüne ve yerleşik hayata geçip şehirler, tapınaklar, surlar inşa etmeye başladıkları 10,000 yıl öncesine kadar dayandırılabilir. Antik çağların görkemli yapılarından çağımızın uzay operasyonlarına kadar tüm proje çalışmaları, basit veya gelişmiş belirli bir organizasyon yönetimini gerektirmiştir ve gerektirmektedir. Bu uğraşın temel sebeplerinden birisi ve en önemlisi, belirli bir amacı gerçekleştirmek üzere bir araya gelen insanları belirli bir ortak dil altında yönlendirebilmektir (Morris, 1997).

Her proje kendisine özgü özellikler barındırabildiği için kapsayıcı bir “proje” tanımı yapabilmek güç olabilmektedir. Bu tanımı yaparken öncelikli olarak, bir amaca yönelik olarak yapılan işi belirten iki kavramın farklılığına değinilmelidir: Operasyon ve proje (Shenhar ve Dvir, 2007)

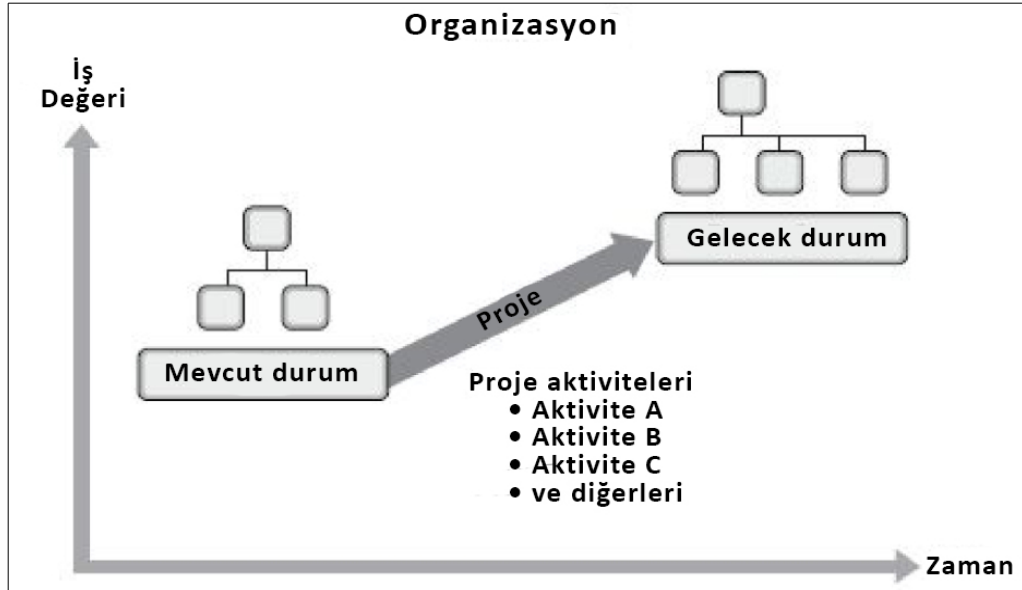
- Operasyon: Tekrarlı ve devam etmekte olan eylemlerdir. Örneğin; imalat, üretim, bakım, servis gibi.
- Proje: Özgün ve bir defaya mahsus girişimlerdir. Örneğin; yeni bir ürünün ortaya konması, yeni bir organizasyon oluşturulması, mevcut bir ürünün geliştirilmesi gibi.

Shenhar ve Dvir (2007), eylemlerin rutin olarak gerçekleştirildiği tarım toplumundan yüksek inovasyon talebinin bulunduğu bilgi toplumuna geçiş ile birlikte zaman içerisinde projelerin payının ivmelenerek artış gösterdiğini belirtmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Organizasyon eylemlerinin zaman içerisindeki evrimi (Shenhar ve Dvir, 2007)

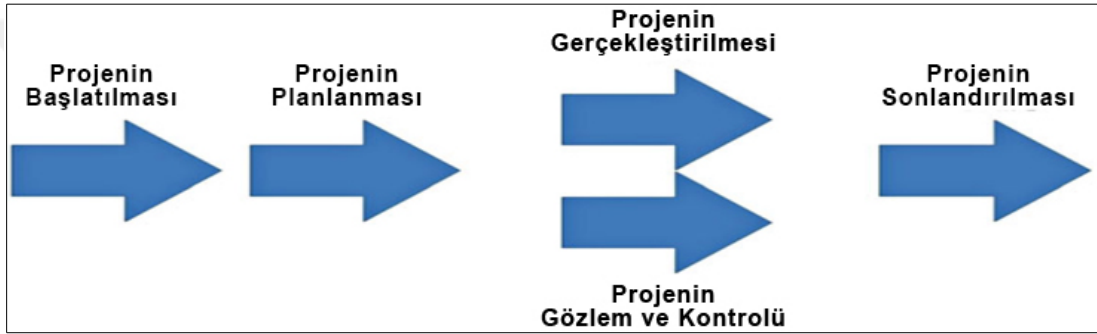
Proje, PMBOK (2017, Bölüm 1) içerisinde “özgün bir ürünü, hizmeti veya sonucu yaratmak için girişilen geçici çaba” olarak tanımlanmaktadır. Turner (2008) ise, özgünlük ifadesinden kaçınarak “faydalı bir değişim sağlamak için kaynaklar aktarılan geçici organizasyon” tanımını yapmaktadır. Şekil 3.6 ile gösterildiği üzere, projeyi gerçekleştiren organizasyonun amacı, organizasyonu mevcut durumundan gelecek bir duruma taşımaktır. Eğer bu gelecek durum hedeflenen iş değeri ile örtüşüyor ise, projenin başarılı olarak gerçekleştirildiği söylenebilir.



Şekil 3.6 Bir organizasyonun durumunun proje sürecindeki değişimi (PMBOK, 2017)

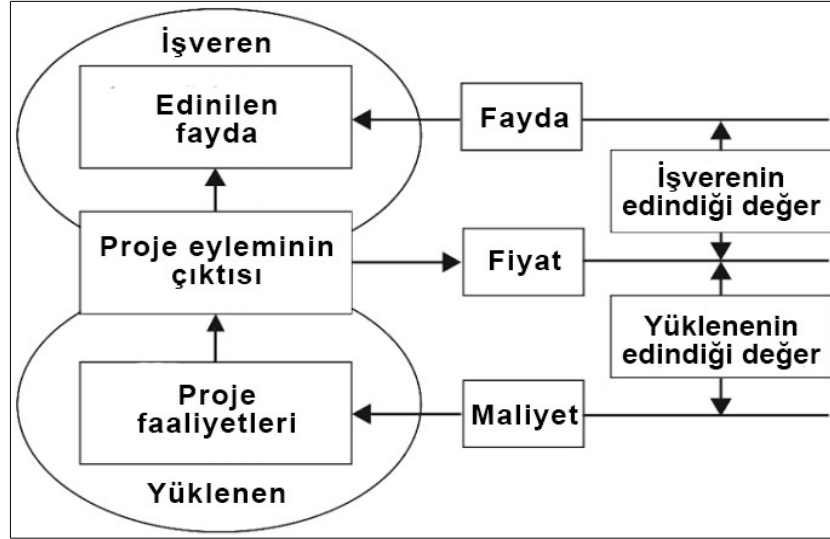
İstenilen hedeflere ulaşılabilmesi için proje aktiviteleri üzerine uygulanan bilgi, beceri, araç ve teknikler bütünü ise “proje yönetimi” olarak tanımlanmaktadır (PMI, 2013). Proje yönetimi faaliyeti de PMI tarafından beş ana süreç grubuna ve on bilgi alanına ayrıştırılmaktadır:

- Proje yönetimi ana süreç grupları (Şekil 3.7): Projenin başlatılması, planlanması, gerçekleştirilmesi, gözlem-kontrolü ve sonlandırılması,
- Proje yönetimi bilgi alanları: Entegrasyon, kapsam, zaman, maliyet, kalite, kaynak, iletişim, risk, satın alım ve paydaş yönetimi.



Şekil 3.7 Proje yönetimi sürecine ilişkin beş ana süreç (Marle ve Vidal, 2016)

Turner (2008) proje faaliyetlerinin taraflarını ve süreç sonunda (proje tamamlandığında) edinilmek istenen değerleri, işveren-yüklenen modeli ile açıklamaktadır (Şekil 3.8). Bu modele göre, bir proje içerisinde iki insan grubu yer almaktadır; işveren ve yüklenen (yüklenici). Yüklenen, bir maliyet altında projeyi yürütmekte ve projenin sonuç çıktısını bir fiyat dahilinde işverene sunmaktadır. Yüklenenin edindiği değer, fiyat ile maliyet arasındaki farktır. İşveren, kendisi için fayda sağlayacağını düşündüğü projenin çıktısını bir fiyat karşılığında satın almaktadır. İşverenin edindiği değer, fiyat ile fayda arasındaki farktır.



Şekil 3.8 Edinilen proje değerini açıklayan işveren-yüklenen modeli (Turner, 2008)

Başarılı bir proje, sürecin maliyet, zaman, kalite (demir üçgen olarak tabir edilen başarı kriterleri) ve ayrıca kapsam bakımından etkin ve verimli olarak gerçekleştirilmesinin yanında, süreç ve sonuç (ürün) bakımından proje paydaşlarının edindiği değerlerin beklentileri karşıladığı projedir (Ribbers ve Schoo, 2002).

3.2.1.2 Proje Yönetimine İlişkin Mevcut Öncü Kuruluşlar ve Yayınlar

Proje yönetimi disiplinine ilişkin olarak bir takım önemli kurumlar bulunmaktadır. Bu kurumlar, proje yönetimine yönelik uluslararası standartları belirlemekte, sertifika programları düzenlemekte, konferanslar ve yayınlar hazırlamaktadırlar. Bu açıdan, konuya ilişkin kabul görmüş düşünceleri takip etmek açısından özellikle bu kurumların yayınlarını taramak önem teşkil etmektedir. Bu kurumlardan bazıları şunlardır (PMI, 2017; IPMA, 2017; APM, 2017):

- PMI (*Project Management Institute*): 1969 yılında kurulan ABD merkezli uluslararası organizasyon, proje yönetimi disiplindeki en etkin kurumdur. Kurumun sunduğu PMP sertifikası bu disiplinindeki en önemli sertifikalardan birisidir. PMI tarafından sunulan önemli yayınlar şunlardır:
 - PMBoK (*Project Management Body of Knowledge*), organizasyonun baş

yayıdır. Herhangi bir endüstride etkin bir proje yönetimi için gerekli olan en temel bilgi kaynağıdır. İlk olarak 1996 yılında yayınlanan bu kitap, sürekli olarak güncellenmektedir (2000, 2004, 2008, 2013 ve son olarak 6. baskı 2017).

- PMJ (*Project Management Journal*), organizasyonun akademik makalelerden oluşan resmi dergisidir. Güncel proje yönetimi konseptlerinin ve teorilerinin yer bulduğu en bilindik platformdur.
- IPMA (*International Project Management Association*): 1972 yılında kurulan İsviçre merkezli uluslararası organizasyon, dünya genelinde 70'e yakın alt oluşumu ile PMI'dan sonraki en önemli kurumdur.
 - IJPM (*International Journal of Project Management*), Elsevier üzerinden IPMA ve APM işbirliği ile akademik makalelerin yayınlandığı (yılıda sekiz defa) dergidir.
- APM (*Association for Project Management*): Bu organizasyon, 1972 yılında IPMA'nın Birleşik Krallık kolu olarak kurulmuştur ve bu ülkede oldukça etkindir.
 - APMBok (*APM Body of Knowledge*): APM tarafından yayınlanan temel proje yönetimi bilgi kaynağı kitabıdır. Son baskısı 2012 (6. baskı) yılıdır.
 - PJ (*Project Journal*), organizasyonun 2012'den bu yana yayınlanan yıllık resmi dergisidir.

“BoK” kitapları, proje yönetimi için “en iyi uygulama” (*best practice*) aracı olarak tanımlanmaktadır. Bir proje için iyi uygulama, en iyi uygulamanın izlenmesi olarak değerlendirilmektedir. Akademik dergilerdeki yayınlardan beklenen, bu “en iyi uygulama” yöntemlerinin eleştirilmesi ve geliştirilmesidir. BoK kitapları, bu yayınlar doğrultusunda düzenli olarak güncellenmektedir. PMI, “PMBOK 2017” içerisinde kitabın değerine ilişkin olarak şu ifadeye yer vermektedir (böl.1 s.2):

PMBOK kitabı, proje yönetimine ilişkin genel kabul görmüş iyi uygulamayı tanımlamaktadır. Tanımlanan bilgi ve yöntemler, çoğu proje için çoğu zaman

uygulanabilir. Ayrıca, bu içeriğin değeri ve kullanışlılığı konusunda bir fikir birliği bulunmaktadır. “İyi uygulama”, içeriğindeki üzerinde uzlaşmış olan bilgi, beceri araç ve teknikler uygulandığında projeyi istenen değer ve sonuçlara başarılı bir şekilde ulaştırma şansını arttırabilmektedir.

Ayrıca tüm bu kurumların dışında, “karmaşık proje yönetimi” alanına yönelik olarak ICCPM (*International Centre of Complex Project Management*) organizasyonu bulunmaktadır. Bu oluşum, 2007 yılında Avusturalya Savunma Departmanı tarafından BK, ABD ve Kanada savunma bakanlıklarının desteği ile kurulmuştur (ICCPM, 2017).

3.2.1.3 Proje Yönetimine İlişkin Yaklaşımların Tarihsel Gelişimi

Her ne kadar insanların ortaya koyduğu büyük çaplı projelerin izine binlerce yıl öncesine kadar rastlanılabilsede, proje yönetiminin bir uzmanlık alanı olarak görülüp bilimsel olarak ele alınışı görece oldukça yenidir. Morris (1997), bu türden bir gelişimin ilk tohumlarının 2. Dünya Savaşı'ndaki askeriye planlamaları olduğunu belirtir. Morris'e göre askeriye'nin bu alana öncülük etmesi şaşırtıcı değildir, çünkü askeriye'nin yapısı bu tür sistemlerin doğması için oldukça elverişlidir; amaçlar kesin ve nettir, katı bir yönetim ve iletişim düzeni vardır, oldukça planlı hareket edilir, iş kalitesine önem gösterilir ve operasyonlar belirli süreç döngülerine sahiptir. Proje yönetiminin düşünsel olarak ilk olarak ne zaman ele alındığına ilişkin ise kesin bir yargı olmasa da, bu konuda iki görüş hakimdir (Söderlund, 2004):

- İlk görüş, 1957 yılında ilk olarak ABD donanması tarafından kullanılan PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) yöntemi olduğudur. Bu yöntem ile bir proje, onu oluşturan görevlerine bölünerek analiz edilmektedir. CPM ve Gantt çizelgeleri, PERT yöntemine benzer mantık kurallarına dayanmaktadır.
- İkinci görüş ise, 1959 yılında Paul O. Gaddis tarafından yazılan “The Project

Manager” makalesi olduğudur. Makalede, bir proje yöneticisinin görevi ve sahip olması gereken özellikleri (karakteri, düşünce biçimi, eğitimi) tanımlanmaktadır.

Bu görüş ayrılığının temel sebebi, farklı disiplinlerin farklı bakış açılarıdır. İlk grup, proje yönetimini sayısal bilimler altında ele alıp metot ve planlamayı matematiksel olarak desteklemektedir. İkinci grup ise, proje yönetimini sosyal bilimlerle desteklemektedir ve organizasyonu, ilişkileri, davranışları sosyoloji ve psikoloji ile irdemektedir (Söderlund, 2004).

Her ne kadar Gaddis (1953) proje yönetimi alanına daha çok sosyal bilimlerden açısından yaklaşmış olsa da, projeyi bir hedefin ulaşılmasına yönelik organizasyonel bir birim olarak tanımlamaktadır. Bu hedeflerden bazıları, sürecin zamanında, belirlenen bütçe dahilinde ve uygun performans değerleri dahilinde tamamlanmasıdır. Bu açıdan, aslında tüm bu hedeflerin doğru bir biçimde yönetilebilmesi için proje yönetiminin sayısal bilimlerle desteklenmesinin gerekliliği de kaçınılmazdır. Bir diğer deyişle, başarılı bir proje yönetimi için bu iki görüşün birlikteliğine ihtiyaç vardır.

Proje yönetiminin ilk 20 yılına ilişkin hakim görüşler literatürde şu şekilde değerlendirilmektedir (Laufer ve diğer., 1996; Hetland, 1997):

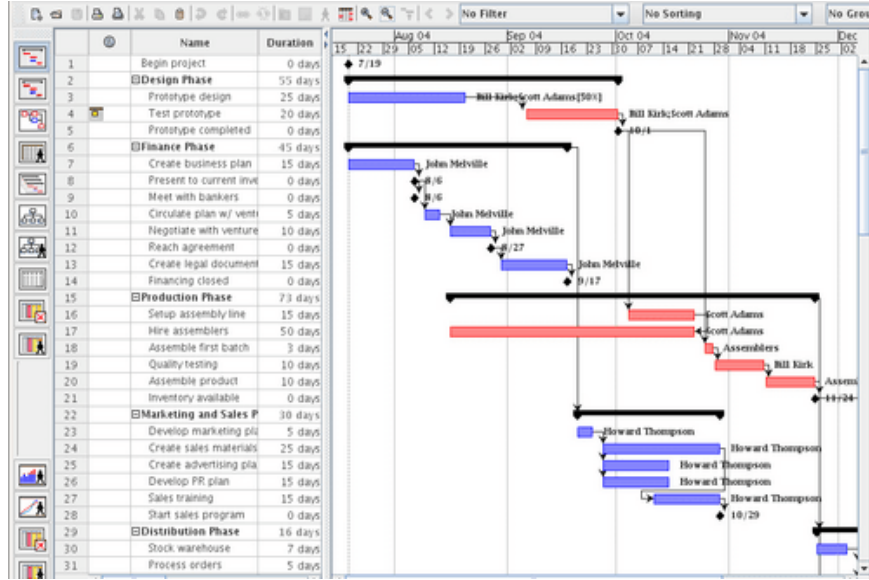
- 1960'lar, “görev” merkezli bakış açısı: Temel düşünce, bir projenin birbiri ile ilişkili görevlerden oluştuğudur. Proje, görev parçalarına ayrılır ve bu parçaların sıralı veya eş zamanlı olarak nasıl tamamlanacağı modellenir. Görev parçalarının kapsamı, zamanı ve ilişkin kaynakları kapsamlı bir şekilde belgelenir. Görevler birbirinden izole olarak düşünülür. İzlenecek olan ana hedef ve yöntemler belirli olabilir fakat süreç dahilinde dahi sürekli olarak bu izole görevlerin nasıl daha verimli olarak gerçekleştirilebileceğine ilişkin alternatif yollar aranabilir. Bu açıdan sürecin oldukça esnek olduğu da

düşünülebilir.

- 1970'ler, “paydaş” merkezli bakış açısı: Projelerin oldukça karmaşıktığı ve her görevin ayrı bir uzmanlık gerektirdiği fark edilmeye başlandığında, projenin görevler üzerinden değil de paydaşlar üzerinden ele alınması gerektiği fikri ortaya çıktı. Esas olan, bu paydaşların nasıl bir araya gelerek bir takım halinde işi yürüteceğiydi. Bu paydaşlar genel olarak üç kategoriye ayrılmaktadır.
 - İşveren, yönetici: Projenin amaçlarını ve yöntemlerini belirleyen, nasıl yapılacağını organize eden kişi veya gruplardır.
 - Tedarikçi, uygulayıcı: Belirlenen hedefler doğrultusunda belirli görevleri yerine getiren, kaynakları sağlayan kişi veya gruplardır. Genel olarak tüm projenin belli bir bölümü için görevlendirilirler ve bu işi yarı veya tam bağımsız bir şekilde kendi düzenleri dahilinde tamamlarlar, iş tamamlanınca da projeden çekilirler.
 - Üçüncü partiler: İlk iki grup dışında kalan yardımcı elemanlardır.

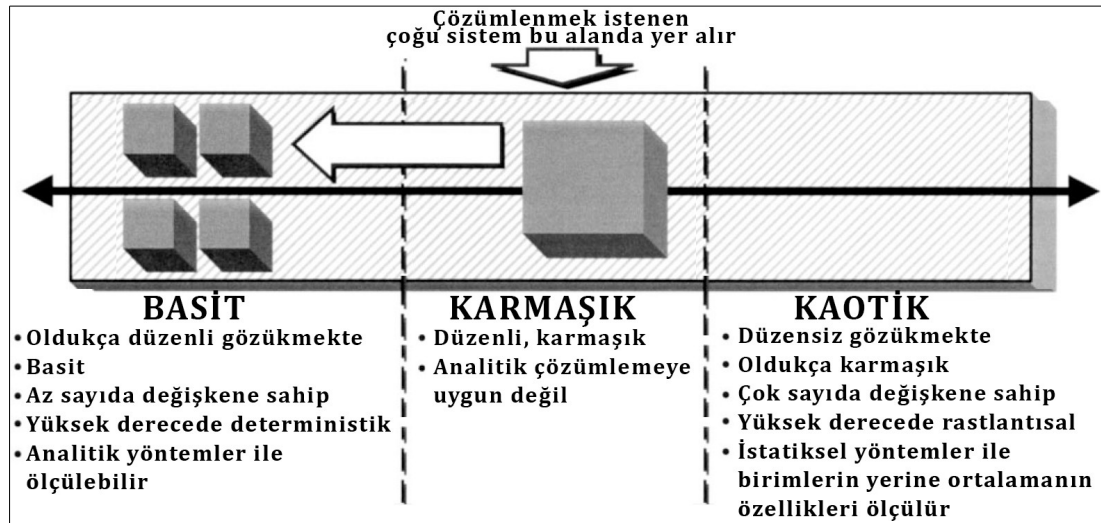
1980'ler ile birlikte, bir projenin planlanmasından sonra gelecekteki belirsizliklere karşı nasıl hareket edilmesi gerektiğine yönelik fikirler de oluşmaya başladı (Laufer ve diğer., 1996). Amaç, bu tür olasılıkları azaltmak, ilk etapta verilen kararların zamanın getirdiği koşullara karşı daha dayanıklı kalabilmesini sağlamak ve böylelikle de sapmaları önlemektir “Bulanık mantık” ve “stokastik model” bu amaçlar doğrultusunda kullanılan yöntemlerden bazılarıdır (Marle ve Vidal, 2016).

Zaman çizelgeleri üzerinde organizasyon planlarını görselleştiren proje yönetimine ilişkin bilgisayar yazılımları (örneğin Şekil 3.9), belirtilen bu temel görüşlere dayanmaktadır.



Şekil 3.9 OpenProj yazılımı ile hazırlanan bir Gannt çizelgesi (Projectlibre, 2008)

Bu dönemlerdeki yaklaşımların modellemeleri, indirgemeci (redüksiyonist) stratejiler barındırmaktadır (Beckerman, 2000). Bütün olarak kavranabilmesi güç olan karmaşık bir sistem, daha kolay çözümlenebileceği düşünülen basit küçük birimlere bölünmektedir (Şekil 3.10). Aralarındaki ilişkilerin oldukça az, zayıf ve lineer olduğu bu birimler, analitik olarak çözümlemeye daha yatkındır. Çözümlenen bu birimlerin de toplamının sistemin bütününe yansıttığı varsayılır.



Şekil 3.10 Karmaşık sistemlerin indirgemeci yöntem ile çözülmesi (Beckerman, 2000)

1980'lerin sonuna doğru ise, (bu tezin de konusu olan) projenin bütüncül (holistik) olarak değerlendirilmesi gerektiği yönünde fikirler ortaya çıkmaktadır. Bu dönemde özellikle biyoloji, sosyoloji ve ekonomi gibi alanlarda indirgemeci yaklaşımların doğru tahminler yürütebilme konusundaki başarısının sorgulanmaya başlanması ve bu doğrultuda bütüncül yaklaşımların ön plana çıkarılması, benzer sorunlar ile karşılaşan proje yönetimi alanı için de karmaşık sistemler yaklaşımını filizlendirdi (Beckerman, 2000).

Birçok endüstride, gelişmiş proje yönetim metotlarının varlığına rağmen başarısızlıkların (bütçe, zaman, kapsam, kalite gibi yönlerden) olağan dışı olarak tanımlanamayacak kadar sık yaşandığını belirten Shenhar ve Dvir (2007, s.6), bu konuda şu ifadeye yer vermektedir:

Projelerin yetersiz planlama, iletişim eksikliği veya kaynak yetersizliği sebebiyle başarısız olduğunu düşünebilirsiniz, fakat incelemeler gösteriyor ki, deneyimli yöneticilerce ve saygın organizasyonlarca iyi bir biçimde yönetilmiş projelerde dahi başarısızlıklara sıkça rastlanabilmektedir.

Bu durumun anlamı, proje yönetimi disiplinine ilişkin geliştirilmiş olan standart indirgemeci modellerin uygulanması, projenin zaman, maliyet, kalite ve kapsam açısından başarılı sonuçlanacağını garanti etmemektedir (Brady ve diğer., 2012). Uluslararası standartları belirleyen kurumlarca sunulan “en iyi yöntem” araçları, giderek karmaşıklaşan projelerin yönetimi konusunda yetersiz kalmaktadır (Williams, 2005).

İndirgemeci yöntem, basit faaliyetler için oldukça etkin sonuçlar çıkarsa da, proje karmaşıklaştıkça başarı seviyesinin de düştüğü gözlenmektedir. Süreç uzamakta, bütçeler aşılmakta, kaliteden ödün verilmekte ve paydaş memnuniyeti azalmaktadır (Williams, 1999). Bu öngörülememezlik ve başarısızlık durumunun temel sebebi, proje sürecinin bütünüyle deterministik bir şekilde (tam bir neden-sonuç ilişkisi

dahilinde) ilerleyeceğinin varsayılması, sistemin iç ve dış etmenlerden doğan olası belirsizliklerinin ve buna bağlı değişiminin göz ardı edilmesidir. Oysaki gerçekte, projeler çeşitli risk ve belirsizlikler altında sürekli olarak bir bütün halinde evrilmekte ve bu doğrultuda değişen kararların da etkisi ile öngörülen planlamalardan sapabilmektedir. Bu yüzden, beklenilmeyenlerin de göz önünde bulundurulduğu, organizasyon düzeninin ve değişiminin bir bütün halinde değerlendirildiği yaklaşımlar gerekmektedir.

Holistik (bütüncül) yaklaşımdaki temel düşünce, projeyi belirli bir mantık çerçevesinde ilerleyen sıralı eylemler dizisi olarak değerlendiren CPM (*Critical Path Method*) tabanlı yöntemlerin aksine projenin eylemlerinin bir bütün olduğu ve indirgemeci yaklaşımlar ile oluşturulan küçük parçaların sistemin bütünü yansıtmadığıdır. Bir diğer ifade ile gerçekte sistemin bütünü, analitik olarak çözümlenmiş olan parçaların toplamından daha fazlasıdır. Klasik yöntemlerin açıklayamadıkları, bu fark içerisinde gizlidir. Bu durum, projenin karmaşık bir sistem olması ve karmaşık bir sistem olarak da dinamiklik, doğrusal olmama, ortaya çıkma gibi özellikler barındırması ile açıklanmaktadır.

3.2.2 “Karmaşık Proje” Kavramına İlişkin Temel Bilgilerin Tanımlanması

Hangi tür bir projenin karmaşık olduğunu söyleyebilmek için öncelikli olarak “karmaşık olma” durumunun açıklanması gerekmektedir. Karmaşıklığın tam olarak neyi ifade ettiğine dair kesin kabul görmüş bir evrensel tanım bulunmamaktadır (Wood ve Ashton, 2009). Günlük hayatta karmaşıklık, bir durumun çözümlenmesinin zorluğu ile bağdaştırılan, zamana, duruma ve kişiye göre değişebilen göreceli ve soyut bir kavramdır. Bu bakımdan, örneğin Geraldi ve Adlbrecht (2007) karmaşıklığın aslında tanımlanabilmesinin en başta kavramın ruhuna aykırı olduğunu ifade etmektedir, çünkü karmaşık bir durum eğer tanımlanabiliyor olsaydı zaten karmaşık olmazdı.

Bu açıdan, bu tür somut ve nesnel olarak ortaya konulamayan bir kavrama öncelikli olarak bilimsel açıdan nasıl yaklaşıldığını belirtmek gereklidir. Daha sonra ise, benzer anlamlarda kullanılan kelimeler ile birlikte sözlük karşılıkları üzerinden bir karşılaştırma yapılacaktır.

3.2.2.1 “Karmaşıklık” Kavramı Üzerine Epistemolojik Bakış (Algılanan ve Tanımlanan Karmaşa)

Bir araştırma konusunun bilimsel olarak nasıl ele alındığını ortaya koyabilmek için öncelikli olarak konunun hangi düşünce şekli ile ele alındığını (yani paradigmasını) ifade etmek gereklidir. Guba ve Lincoln (1994), paradigmayı sırasıyla ontolojik, epistemolojik ve metodolojik varsayımlara dayanan düşünce sistemi olarak tanımlamaktadır. Bu sistem, ontolojik varsayımın epistemolojik olanı, onun da metodolojik olanı etkilediği bir zincirdir:

- Ontolojik (ontos, Yunanca “olma durumu, şekli”) varsayım, varlığın veya gerçekliğin ne olduğuna, olup olmadığına, eğer varsa da nasıl işlediğine dair soruları yanıtlandırır.
- Epistemolojik (episteme, Yunanca “bilgi, anlayış”) varsayım, yapılan ontolojik varsayım dahilinde neyin bilinebileceği, bilginin şeklini, bilen veya bilebilecek kişi ile bilinmek istenen arasında ne tür bir ilişkinin olması gerektiği gibi soruları yanıtlandırır.
- Metodolojik (methodos, Yunanca “bilgi arayışı”) varsayım, epistemolojik varsayım dahilinde araştırmacının bilgiye nasıl ulaşabileceği sorusunu yanıtlandırır.

Her aşama için farklı düşünce yapıları bulunmaktadır ve bunlardan hangisinin en doğrusu olduğu araştırmanın konusuna ve aranan cevaba göre değişiklik göstermektedir. Killam (2013), bu düşünce yapılarına ilişkin bazı temel yaklaşımları sınıflandırmaktadır. Ontolojik varsayım için:

- Realist yaklaşım: Nesnel olarak ortaya konulabilecek bir gerçek vardır. Durumdan bağımsızdır ve her zaman için geçerlidir. Deney ile doğrulanabilir. Bu görüş, pozitivizmin (klasik bilimin) temelidir.
- Relativist yaklaşım: Gerçeklik, duruma bağlıdır ve sürekli olarak değişkenlik gösterir. Bu yüzden, tek bir gerçeklik yoktur, öznel yargılara dayanan çoklu gerçeklik vardır. Bu görüş, konstrüktivizmin temelidir.

Epistemolojik varsayım için:

- Etik (*ing. etic* (“*ethic*” ile karıştırılmamalı)): Gözlemci, inceleme alanının dışında yer alır ve bu alana herhangi bir müdahalede (manipülasyon) bulunmadan nesnel bir sonuç çıkarmaya çalışır. Bu bakış açısı, tek bir doğru olduğunu varsayan realistik yaklaşımın da gereğidir.
- Emik (*ing. emic*): Gözlemci, doğrudan inceleme alanının içerisinde yer alır ve bu alan ile iletişime geçer. Bu bakış açısı, gerçek doğrunun duruma göre değiştiğini varsayan relativistik yaklaşımın bir gereğidir.

Metodolojik varsayım için:

- Tümdengelim: Yukarıdan aşağıya yönlü bir sav üretim yolu izler. Öncelikle ortaya bir hipotez sürülür ve bunun gerçekliğini test etmek için uygun metotlar seçilir (örneğin, ortaya koyulan bir hipotezin deneysel yöntemler ile test edilmesi). Realistik yaklaşıma daha yakındır.
- Tümevarım: Aşağıdan yukarıya yönlü bir sav üretim yolu izler. Öncelikle uygun metotlar dahilinde veri toplanır, daha sonra bu veri üzerinden bir hipotez ortaya koyulur (örneğin, doğa gözlemleri ile elde edilen bulgulardan yola çıkılarak bir hipotezin ortaya konması). Relativistik yaklaşıma daha yakındır.

Ayrıca, bu gruplandırmaların bulanıklaştığı veya ötesinde yer alan görüşler de bulunmaktadır, fakat tüm bu görüşleri tanımlamak ayrı bir kapsamlı çalışmayı gerektirmektedir.

Belirtilen araştırma paradigmaları, karmaşıklık konusuna ilişkin olarak verilen şu ifade üzerinden örneklendirilebilir, *“Karmaşıklık, duruma ilişkin bir bilinemezlikten, anlaşılamazlıktan kaynaklanır. Eğer bilenebiliyor olsaydı, durum zaten karmaşık olmazdı. Karmaşıklığı bilebilmek, karmaşıklığın ruhuna aykırıdır.”* Bu ifadeye göre karmaşıklık, duruma bağlı olarak var olan bir olgudur (relativistik görüş), kişi karmaşıklığın içerisinde ve onunla ilişki halindedir (emik yaklaşım), fakat aynı zamanda çözümleyebilmek için kurulan bir ilişki karmaşıklığı ortadan kaldıracığı için ise bu olguyu saptayabilme konusunda herhangi bir yöntem de olamayacaktır.

Karmaşıklığın bilimsel açıdan nasıl ele alındığı konusunda, Schlindwein ve Ison (2004) iki tür karmaşıklık tanımlamaktadır; algılanan ve tanımlanan (tanımsal) karmaşa:

- Algılanan karmaşa yaklaşımı, karmaşıklığı gözlemci tarafından fark edilen, öznel yargılara dayanan, göreceli bir olgu olarak ele alır. Günlük dilde kastedilen karmaşıklık biçimi de aslında budur. Anlayamadığımız, çözümleyemediğimiz şeyler için “karmaşık” ifadesini kullanırız ve bunun karmaşık olup olmadığı veya ne derece karmaşık olduğu kişiden kişiye değişebilir. Gözlemci, doğrudan karmaşıklığın içerisinde ve dolayısıyla onunla etkileşim halindedir. Olgunun öznel olmasının sebebi de karmaşık durum ile gözlemcinin arasında oluşan o anki bu etkileşimin özgünlüğündendir. Bir diğer ifade ile karmaşıklık farklı zamanlarda, farklı durumlarda ve farklı kişiler ile bambaşka bir şekilde algılanabilir. Algılanan karmaşanın öznelliği, onu nesnel olarak ölçülemez kılar.
- Tanımlanan (tanımsal) karmaşa yaklaşımı, algılanan karmaşa yaklaşımının

aksine nesnel yargılara dayanır. Gözlemci, karmaşıklığın dışarısında yer alır ve herhangi bir müdahalede bulunmadan öznel yargılardan bağımsız olarak onu analiz etmeye çalışır. Karmaşıklık, nesnel bir şekilde tanımlanıp analiz edildiği ve ölçülmeye çalışıldığı için bu tür yaklaşımlar klasik bilime daha uygundur.

Sonuç olarak, algılanan karmaşa relativistik görüşün, tanımlanan karmaşa ise realist görüşün bir yansımasıdır. Karmaşıklığın içerisinde bulunan, onunla mücadele edip yönetmeye çalışan bir kişi için hakim olan tür algılanan karmaşadır. Bu kişinin karmaşayı anlayabilmek, modelleyebilmek ve çözümleyebilmek için ihtiyaç duyduğu model ise tanımlanan karmaşadır.

3.2.2.2 Karmaşık Proje Nedir? Temel Kavramların Tanımlanması ve Karşılaştırılması

Karmaşık sistemler yaklaşımına ilişkin başlıkta da belirtildiği gibi, karmaşıklığı tanımlama konusunda her disiplin kendi yaklaşımlarını ortaya koymaktadır. Proje yönetimi alanında da kesin olarak kabul görmüş bir "karmaşıklık" veya "karmaşık proje" tanımı bulunmamaktadır, fakat belirli kavramların farklılığına ilişkin bir genel uzlaşısı olduğu söylenebilir.

Sözlük tanımları üzerinden ilerlenecek olursa, Büyük Türkçe Sözlük (TDK, tb) içerisinde karmaşıklık kelimesine yakın veya eş olarak “karışıklık, düzensizlik, çapraşıklık” veya “zorluk, güçlük, zahmetlilik” ifadeleri, zıt olarak “basitlik, kolaylık, yalınlık, sadelik” ifadeleri bulunmaktadır. Bu kelimeler arasından “çapraşıklık” konuya en yakın tanımı içeren kelime gibi gözükmektedir, “anlaşılması, çözülmesi veya içinden çıkılması güç, karışık, muğlak”. Bu ifade elbette ki bilimsel olarak tanımlanan karmaşıklık kavramı için yeterince kapsayıcı değildir, fakat karmaşıklığın sebebi olan unsurlar (sonraki bölümlerde açıklanacak) göz önüne alındığında diğerlerine göre daha fazla ön plana çıkmaktadır.

Karmaşıklık olgusuna ilişkin proje yönetimi literatürü İngilizce üzerinden geliştiği için bu dile ait olan kelimelerin incelenmesi daha faydalı olacaktır. Karmaşıklık (komplekslik) kavramının tanımını netleştirmek için özellikle farklılığına değinilen kelimeler şunlardır, “*complex (komplex), complicated (komplike), intricate (girift).*” Merriam-Webster's Dictionary of Synonyms (Webster, 1984) ve Oxford Dictionary of English (Stevenson (Ed.), 2010) içerisinde bu kelimeler hemen hemen benzer anlamlarda tanımlanmakta ve hatta bazı durumlar için birbirlerinin eş anlamlısı olarak gösterilmektedir. Oxford sözlüğü içerisinde kompleks sözcüğü “birçok farklı ve birbirine bağlı parçadan oluşan” ve “analiz edilmesi veya anlaşılması zor; komplike veya girift” şeklinde tanımlanmaktadır. Merriam-Webster sözlüğünde ise belirtilen üç sözcüğün bir karşılaştırması bulunmaktadır:

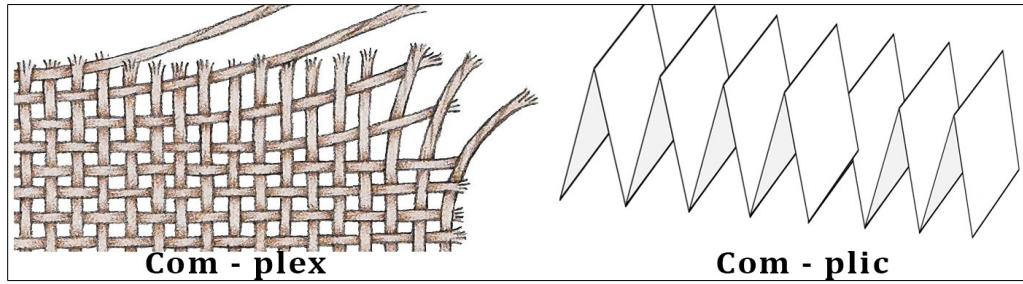
Birçok parçadan veya elemandan oluşan ve az veya çok düzeyde kafa karıştırıcı bir biçimde birbiri ile ilişkili olan anlamında kullanıldığında:

- kompleks; derin araştırma ve uzmanlık bilgisi gerektirecek kadar farklı ve birbiri ile ilişkili parça veya elemandan oluşan (örneğin, kompleks bir saat mekanizması),
- komplike; anlaşılması, çözülmesi, açıklanması, uğraşılması aşırı derecede güç olacak kadar kompleks (örneğin, komplike bir matematik problemi),
- girift; parçaları takip edilmesi güç olacak kadar birbirinin içine dolaşmış.

Karmaşık proje yönetimi alanında, bu üç kelime sözlük anlamlarındaki bulanıklığın aksine daha tanımlı olarak yer almaktadır ve ayrı ayrı kavramlar olarak kullanılmaktadır. Giriftlik, genellikle diğer ikisinin bir alt unsuru olarak zorluk düzeyini belirleyen bir etken anlamında kullanılmaktadır. Bu yüzden, daha detaylı olarak karşılaştırılması gereken ifadeler komplekslik ve komplikeliktir.

Kompleks (karmaşık) ve komplike (karışık) kelimelerinin etimolojik kökenleri incelendiğinde (Skeat, 2013):

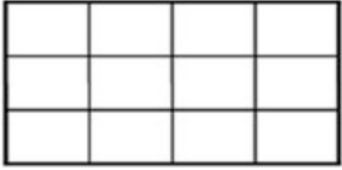
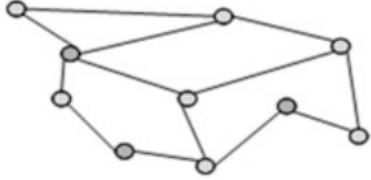
- Kompleks; “com” (bir araya) ve “plectere/plex” (örmek/örülmüş, dokunmuş) kelimelerinin birleşimi olarak “örülerek bir araya getirilmiş” anlamını taşımaktadır.
- Komplike; “com” (bir araya) ve “plicare/plic” (katlamak/katlanmış) kelimelerinin birleşimi olarak “katlanarak bir araya getirilmiş” anlamını taşımaktadır.



Şekil 3.11 “Kompleks” ve “komplike” kavramlarının etimolojik kökenleri üzerinden şematik olarak karşılaştırılması

Şekil 3.11 içerisinde de gösterildiği gibi, komplikelik elemanların katmanlaşmasının getirdiği bir ilişki bütününü tanımlarken, komplekslik ise elemanların örüntülülüğünün getirdiği ilişki bütününü tanımlamaktadır. Bu tanımlara göre, kompleks bir yapı içerisindeki elemanlar birbiri ile daha sıkı ve daha iç içe bağlantılar kurmaktadır. Proje yönetimi içerisinde sistemlerin farklılıklarının değerlendirilmesi bu bağlamda yapılmaktadır. Örneğin, bu çerçevede Şekil 3.12 içerisinde dört farklı sistem yapısı gösterilmektedir;

- Basit sistem; komplike veya kompleks olmayan, katmanlılığın ve ilişkilerin az olduğu bir sistemdir.
- Komplike sistem; bir katlanmış parçalar dizisidir.
- Kompleks (karmaşık) sistem; birçok farklı tür parçanın birbiri arasında çok çeşitli ilişkiler kurduğu yapıdır.
- Çok karmaşık sistem ise; daha fazla çeşitlilikteki parçanın birbiri arasında daha fazla yoğunluk ve çeşitlilikte ilişki kurduğu yapıdır.

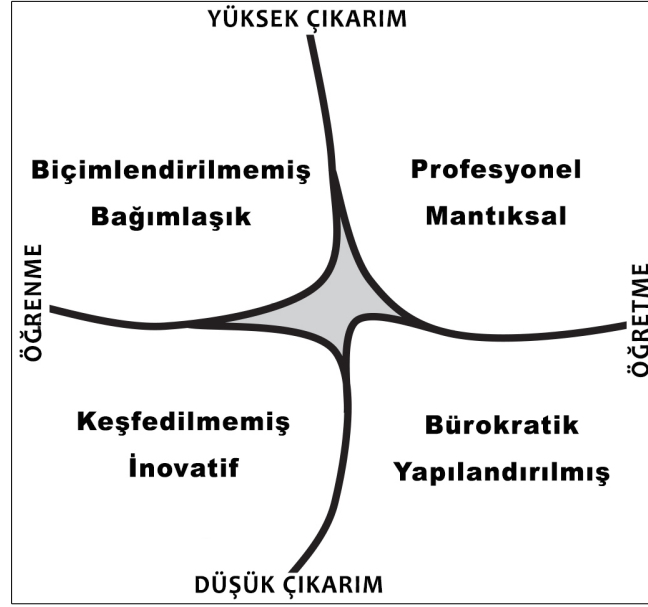
Basit Sistem	Komplike Sistem
	
Karmaşık Sistem	Oldukça Karmaşık Sistem
	

Şekil 3.12 Farklı sistem durumlarına ilişkin yapısal farklılıklar (Marle ve Vidal, 2016)

Çok karmaşık sistemin daha da karmaşıklaştığında alacağı hal, “kaotiklik” tir. Bu kavramın da “düzensizlik” ile karıştırılmaması gerekmektedir, çünkü kaotiklik tam bir düzensizlik hali değildir. Sistemlerin durum türlerine ilişkin bu bölümde bahsedilen beş kavramın (basitlik, komplekslik, komplikelik, kaotiklik ve düzensizlik) getirdiği özellikler bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanmaktadır.

3.2.2.3 Hangi Tür Durumlar Hangi Tür Projelerdir? (Basit, Komplike, Karmaşık, Kaotik)

Hangi tür durumların kompleks, komplike, basit, kaotik veya düzensiz olduğunu anlama konusunda David Snowden (2002) tarafından geliştirilen “Cynefin çerçevesi” isimli model iyi bir başlangıç noktası olarak görülebilir (Şekil 3.13). “Cynefin”, Gal dilinde kabaca “yaşam yeri” anlamına gelmektedir (kelimenin Gal dilindeki daha açık anlamı ise, çevresel etmenlerin ve deneyimlerimizin üzerimizdeki kavranamaz etkileridir). Snowden (2002), bu çerçevenin hangi tür durumlarda nasıl karar alınması gerektiğine yönelik olarak yardımcı bir araç olduğunu ve bu açıdan da proje yönetimi alanı için oldukça uygun olduğunu ifade etmektedir.



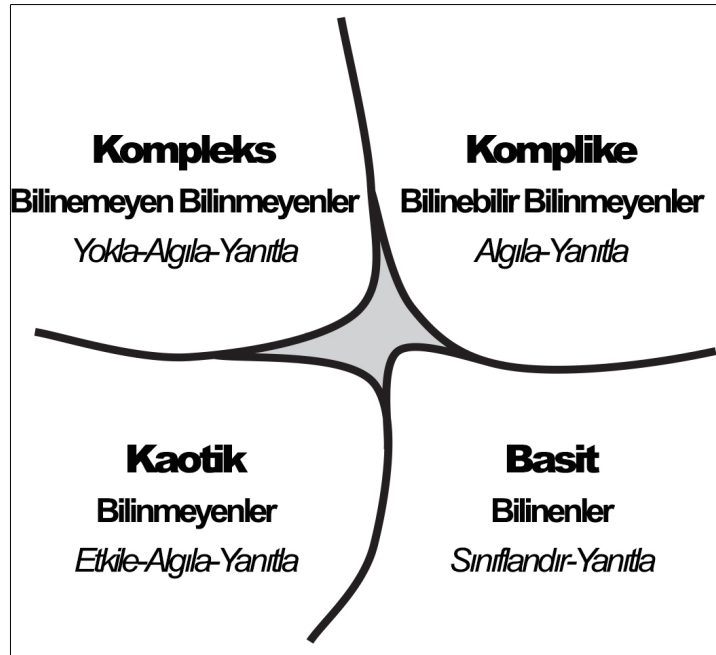
Şekil 3.13 Snowden tarafından geliştirilen Cynefin çerçevesi (Snowden, 2002)

Snowden (2002), başlangıç olarak durum yönetimine yönelik olarak hazırladığı çerçeveyi “bilme eylemi” üzerinden iki boyuta ayırmaktadır. Boyutlardan birisi “bilgi çıkarım düzeyi”, diğeri ise “öğrenim-öğretim sosyo-kültürü” şeklindedir. Çıkarım düzeyi, bir duruma ilişkin üretilen bilgi seviyesi ile bağlantılıdır. Düşükten yükseğe doğru, daha kapsamlı ve uzmanlık gerektiren bilgi çıkarımı gözlenir. Öğrenim-öğretim sosyo-kültürü ise bilginin aktarımı veya edinimi ile bağlantılıdır. Öğrenim kültüründe bilgiye ilişkin belirsizlikler hakimdir, kesin ve belirgin olmayan bu bilgiye dair bir öğrenim aşaması bulunmaktadır. Öğretim sosyo-kültüründe ise, sahip olunan açık ve kesin bilgiye ilişkin farkındalık vardır ve bu bilgi aktarılabilir. Şekil 3.13 içerisinde gösterildiği üzere, bu iki boyutlu sistem dört alan oluşturmaktadır:

- Bürokratik-Yapılandırılmış (düşük çıkarımla öğretim alanı): Bilginin açık, bilinir ve bariz olduğu alandır. Temel eğitim için de uygundur.
- Profesyonel-Mantıksal (yüksek çıkarımla öğretim alanı): Herkes tarafından bilinmeyen, fakat belirli bir uzmanlık eğitimi dahilinde öğretilebilecek bilgi alanıdır.

- Biçimlendirilmemiş-Bağımlaşık (yüksek çıkarımla öğrenim alanı): Kalıpsal olarak ortaya konmamış fakat bireylerin birbiri arasında paylaştığı bilginin alanıdır, örneğin deneyim, değer, inanç.
- Keşfedilmemiş-İnovatif (düşük çıkarımla öğrenim alanı): Ne uzmanlık bilgisinin ne de deneyimin var olduğu, daha önceden karşılaşılmamış bilginin öğrenildiği alandır.

Snowden, daha sonra bu çerçeveyi karmaşık sistemler temelinde geliştirerek (Kurtz ve Snowden, 2003; Snowden ve Boone, 2007) basitlik, kompleksik, komplikelik, kaotiklik ve düzensizlik kavramları üzerinden ortaya koymaktadır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Cynefin çerçevesi içerisindeki durum alanları (Snowden, 2002)

Geliştirilmiş Cynefin çerçevesi içerisindeki alanlardan ikisi olan basit ve komplike durumlar, düzenli bölgelerdir. Bilginin belirgin olduğu öğretim alanları olan bu durumlar olay tabanlı olarak yönetilebilirler, çünkü olaylar arasında algılanabilir bir neden-sonuç ilişkisi vardır.

- **Basit durumlar** (“en iyi” uygulama alanı) içerisindeki bilgi, “bilindik bilinenler” olarak tanımlanır, herkes tarafından kavranabilir ve sorgulanmayan bilgidir. Değişiklik miktarı az olan ve problemleri düzenli süreçler ile çözülebilen alanlar basit durumlar içerisine girer. Bu tür durumlar stabil özellikler gösterir ve çözümü tartışmayı gerektirmeyecek kadar açıktır. İzlenilmesi gereken yöntem, “algıla, sınıflandır, yanıtla” şeklindedir. Duruma ilişkin gerçekler dikkatlice belirlenir, işlenir ve uygun yöntemler uygulanır. Durumun açıklığından dolayı iletişime çok az ihtiyaç duyulur ve anlaşmazlık ihtimali de çok azdır. Genellikle geçmişte edinilen deneyimlerden faydalanılır ve bu deneyimler çoğunlukla uygunluk gösterir.

- **Komplike durumlar** (uzmanlık alanı) içerisindeki bilgi, “bilindik/bilinebilir bilinmeyenler” olarak tanımlanır. Bilginin kavranabilmesi uzmanlık gerektirir. Durum içerisindeki problemin varlığı sıradan bir kişi tarafından fark edilebilir, fakat problemin sebepleri ve çözümü uzman kişi olmaksızın bilinemeyebilir (örneğin, bir sürücünün aracında bir sorun olduğunun farkında olması ama üstesinden kendisinin gelemiyor oluşu). İzlenilmesi gereken yöntem, “algıla, analiz et, yanıtla” şeklindedir. Tek bir en iyi çözüm yoktur. Duruma ilişkin gerçekler uzmanlarca dikkatlice belirlenir, analiz edilir ve uygun yöntemlerden birisi uygulanır.

Cynefin alanlarından diğer ikisi olan öğrenim bölgeleri ise kaotik ve kompleks durumlar. Bu alanlar örüntü tabanlı olarak yönetilebilirler, çünkü olaylar arasında doğrudan belirgin bir neden-sonuç ilişkisi yoktur, bu yüzden karar vermek için ortaya çıkan olay örüntüsü takip edilir.

- **Karmaşık durumlar** (“ortaya çıkma” alanı) içerisindeki bilgi, “bilinmedik/bilinmeyen bilinmeyenler” olarak tanımlanır, olayların neden gerçekleştiği (aralarındaki neden-sonuç ilişkileri) yalnızca geçmişe dönük olarak anlaşılabilir. Değişimin sürekliliği, olay örgüsünün bulanıklığı ve

tahmin edilemezliğinden dolayı kesin bir doğru çözüm yolu yoktur. İzlenilmesi gereken yöntem, “yokla, algıla, yanıtla” şeklindedir. Duruma ilişkin olayların oluşumu ve ilerleyişi dikkatlice gözlenir, eldeki imkanlara göre mevcut durumu başarıya ulaştırması beklenen bir çözüm yolu üretilir. Bu yüzden, çözümün üretilme şekli retrospektif olarak tanımlanır, çözüm yolu o ana kadar geçmişte yaşanmış olaylara dayanır. Eğer olaylar farklı gelişseydi, çözüm de farklı olabilirdi. Bu tür durumlarda deneyler yapmak (örneğin simülasyonlar, prototipler, tasarım alternatifleri gibi) başarı ihtimalini yükseltir .

- **Kaotik durumlar** (acil müdahale alanı) içerisindeki bilgi, “bilinmeyenler” olarak tanımlanır. Değişim sürekli ve olaylar arasındaki neden-sonuç ilişkileri hiçbir şekilde tanımlanamaz (örneğin kriz yönetimi durumları). Bu yüzden de yönetilebilir bir olay örgüsü bulunmamaktadır ve doğruya götüreceği düşünülen bir çözüm yolu aramak anlamsızdır. İzlenilmesi gereken yöntem, “etkile, algıla, yanıtla” şeklindedir. Kaosun içerisindeki olay örgüsüne ilişkin veri toplamak yerine, harekete geçip bir düzen oluşmasını sağlamak ve sonrasında kararlılığın oluştuğu ve oluşmadığı yerleri tespit ederek uygun bir davranış göstermek gereklidir. Amaç, durumu kaostan karmaşaya çevirerek olası gelecek krizleri önlemek ve kaosun yarattığı fırsatları değerlendirmektir. Kaos, yeniliklerin oluşması için en ideal durumlardan birisidir.

Çerçevenin merkezindeki beşinci alan (gri renkli alan) olan düzensiz durum ise yönetilebilirliğin olmadığı bölgedir. Düşüncelerin örtüşmediği ve kakofoninin hakim olduğu bu alanda çözüm yolu, durumun bütünü anlamlı parçalara bölerek diğer alanlara kaydırmaktır. Cynefin çerçevesindeki bu diğer dört alanı Gul ve Khan (2011) şu şekilde özetlemektedir: Basit sistem, gerçekte nasıl işlediği doğrusal bir model ile tanımlanabilen durumlardır; komplike sistem, birçok basit sistemin bir araya gelmesiyle oluşan fakat yine de bilinebilir, modellenabilir durumlardır;

kompleks sistem, bütünüyle bilinmeyen fakat belli bir ölçüde tahmin edilebilen durumlardır; kaotik sistemler, doğrusal olmayan, ne bütünüyle bilinebilen ne de tahmin edilebilen durumlardır.

Son olarak, Bakhshi ve diğer. (2016) proje yönetimi literatürüne dayanarak iki kutuplu bir karmaşıklık ve basitlik karşılaştırması tablosu (Şekil 3.15) sunmaktadır.

Basit Projeler		Karmaşık Projeler
Yönlendirilmiş Projeye ilişkin değişkenler tamamıyla belirlidir	← Durum →	Kaotik Projeye ilişkin değişkenler dalgalanmalar gösterir
Merkezi Proje bileşenleri merkezi mekanizmaya bağlıdır	← Otonomi →	Dağınık/Bağımsız Proje bileşenleri merkezden bağımsız karar alabilir
Lineer ilişki Proje bileşenleri birbiri ile doğrusal/sıralı ilişki kurarlar	← Bağlantılılık →	Ağ ilişkisi Proje bileşenleri birbiri ile karmaşık ağ bağlantıları kurarlar
Homojen yapı Farklılaşmanın az olduğu modüler yapılardır	← Farklılaşma →	Heterojen yapı Farklılaşmanın yüksek olduğu açık bağlantılı yapılardır
Öngörülebilir Olumlu veya olumsuz davranışlar önceden tahmin edilebilir	← Ortaya çıkma →	Öngörülemez Olumlu veya olumsuz davranışlar önceden tahmin edilemez
Küçük Temel bileşenlerin miktarları/ölçüleri sınırlı büyüklüktedir	← Büyüklik →	Büyük Temel bileşenlerin miktarları/ölçüleri sınırsız büyüklüktedir

Şekil 3.15 Basit ve karmaşık projelerin karşılaştırılması (Bakhshi ve diğer., 2016)

Sonuç olarak , karmaşıklık “bilinmeyen bilinmeyenler” alanında yer aldığı için kesin bir çerçevede tanımlayabilmek mümkün değildir. Bu yüzden, daha ziyade diğer durumlar ile karşılaştırılarak tanımlanmakta ve karmaşıklığın durum üzerinde ne tür etkilere yol açtığı üzerinde durulmaktadır. Bu bakış açısına dayanarak Marle ve Vidal (2016) proje karmaşıklığına ilişkin şu tanımı yapmaktadır;

Proje karmaşıklığı, proje sistemine ilişkin yeterli bilgi sunulduğunda dahi projenin tüm davranışlarının anlaşılabilmesini, öngörülebilmesini ve kontrol altında tutulabilmesini güç kılan proje özelliğidir.

Bu ifadeye uyan bir projeye “karmaşık proje” denilebilir. Fakat karmaşıklık, göreceli bir kavramdır. Bu bakımdan, tanımlamanın ötesinde ele alınması gereken bir diğer unsur “karmaşıklık düzeyi” dir. Bir diğer deyişle, bir projenin ne kadar karmaşık olduğudur. Bu unsur sonraki başlıklarda (Bölüm 3.3 içerisinde) ele alınacaktır.

3.2.3 Yapı Üretimi, Karmaşık Bir Proje Midir?

Yapı üretiminin karmaşık bir süreç olduğu ve sürecin bu halinin de başarısı üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu, karmaşık sistemler düşüncesinin ortaya çıkışından önce de “büyüklük, zorluk, çokluk, parçalık, dağınıklık, belirsizlik” gibi ifadeler ile birlikte dile getirilen bir durumdur. Bu durumun “karmaşık proje” kavramı ile bilimsel literatürde ele alınışı ise ilk olarak 1990’lı yıllara dayanmaktadır. 1996 yılındaki Baccarini'nin “*The concept of project complexity - a review*” ve Gidado'nun “*Project complexity: The focal point of construction production planning*” makaleleri, bu alana ilişkin ilk çalışmalar olarak gösterilebilir.

Baccarini (1996) bir organizasyonel üretimin karmaşıklığının bileşenlerini sorguladığı, yönetsel ve teknik boyutlarını irdelediği ve bu bağlamda da proje karmaşıklığı alanının teorik temellerinden birisini oluşturduğu yazısında (Bölüm 3.3.1 içerisinde ayrıntılandırılmaktadır), yapı endüstrisini karmaşıklığın en yüksek olduğu üretim alanlarından birisi olarak göstermektedir. Gidado (1996), endüstrinin karmaşıklığını doğrudan proje yöneticileri ile yaptığı bir anket çalışması üzerinden değerlendirmekte ve ne tür bir yapı projesinin karmaşık olarak nitelendirilebileceğine ilişkin olarak şu sonuçları çıkarmaktadır:

- Projenin bir araya getirilmesi gereken yüksek miktarda farklı sistem barındırması,
- Erişim problemleri olan bir arazide çalışılıyor olması ve birçok iş kolunun aynı anda yakın noktalarda çalışıyor olması,
- Belirli bir amaca nasıl veya ne zaman ulaşılabilceğine ilişkin kesin yargılar oluşturulamayacak kadar karışık olması,
- İşin nasıl gerçekleştirileceğine ilişkin çok fazla detay gerekmesi,
- Başlangıçtan bitime kadar etkin bir koordinasyon, kontrol ve gözlem gerektirmesi,
- Projenin sürekli revizyonlar gerektirmesi ve bu yüzden ekip üyeleri arasında sıkı ilişkilere ihtiyaç duyulması.

Williams (1999) ile Calvano ve John (2004), karmaşıklığın 20. yüzyılda özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonraki endüstriyel gelişmeler ile birlikte sürekli olarak ivmeli bir biçimde artış gösterdiğini belirtmekte ve bu artışı da iki ana gerekçeye bağlamaktadır:

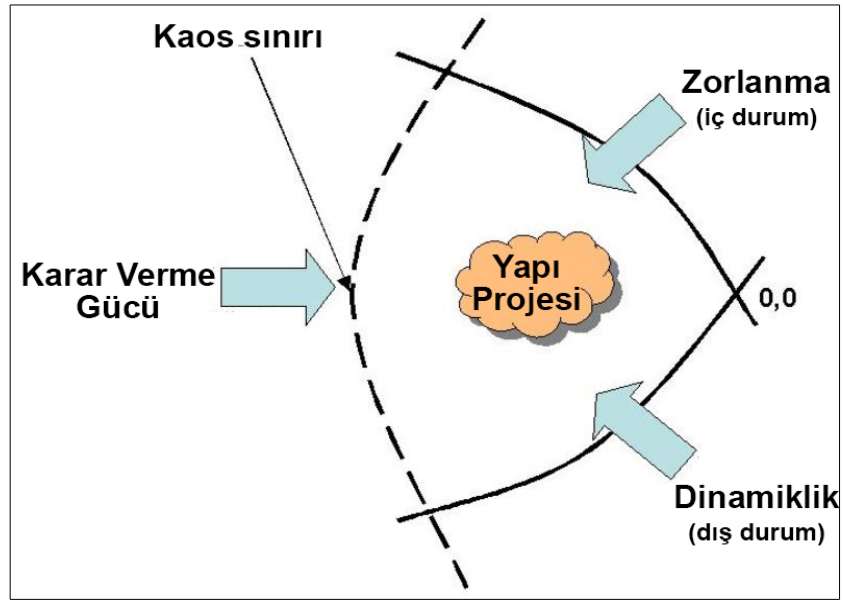
- İlk sebep, karmaşıklığın teknolojik olarak artmasıdır. Artan talep ve ihtiyaçlara yönelik olarak sürekli yeni ürünlerin piyasaya çıkması ve bu konudaki ürün çeşitliliği yelpazesinin genişlemesi, bir projenin nasıl yapılabileceğine ilişkin olasılıkları arttırmaktadır. Ayrıca, yeni çıkan bu ürünler daha küçük ebatlar dahilinde daha fazla fonksiyon barındırdıkları için, sadece bütünün değil bileşenlerin de karmaşıklığı artmaktadır.
- İkinci sebep ise, organizasyonel karmaşıklığa ve belirsizliklere yöneliktir. Projelerin rekabet koşullarının bir gereği olarak sürekli daha kısa zamanda ve daha düşük bütçeler ile tamamlanması beklenmektedir. Bu durum da oldukça sıkı bir çalışmayı gerektirdiğinden dolayı riskleri arttırmaktadır. Eylemlerin hızlı ve eş zamanlı gerçekleştirilmeye çalışılması, birçok belirsizliği de beraberinde getirmektedir.

Bu çalışmaların ötesinde yapı üretiminin karmaşık bir sistem olarak tanımlanıp detaylıca irdelenmesi ise, Sven Bertelsen'in "yalın üretim" ekseninde yaptığı bir dizi çalışmaya dayanmaktadır. Bertelsen (2003b), yapı üretiminin karmaşık sistem davranışları göstererek dinamiklik, lineer olmama, tahmin edilemezlik gibi özellikler barındırdığını ve ayrıca projenin yalnızca kendi içerisinde değil, aynı zamanda endüstriyel ve toplumsal açılardan da karmaşıklıklar barındırdığını belirtmektedir. Bu bağlamda, Bertelsen (2003a), yapım sürecindeki karmaşıklığa yönelik olarak şu üç temel sorun alanını belirlemektedir:

- Üretimin, proje yönetiminde varsayılan ve hedeflenen düzenli süreç akışının aksine düzensiz, rastlantısal, kaotik unsurlar barındırması,
- Üretim sürecinin parçalar halinde gerçekleştirilmesi ve bu parçaları yerine getiren iş gruplarının projenin bütününün başarısının ötesinde kendi iç hedeflerine (karlılık, malzeme kullanımı-tercihi, işçi sayısı-kalitesi, iş grubunun başka yapı çalışmaları) sahip olmaları,
- Üretim alanlarının insanların aynı zamanda sosyal alanı olması ve bu durumun çeşitli belirsizlikler doğurması.

Bertelsen ve Koskela (2003), yapı üretiminin bu karmaşık yapısını "kaos sınırı" şeması üzerinden açıklamaktadır. Bu grafiğe göre (Şekil 3.16), yapı projesini düzenlilikten kaos sınırının dışına doğru iten etkenler dinamiklik (organizasyonun dış durumu) ve zorlanma (organizasyonun iç durumu) iken içeriye doğru iten ise karar verme gücüdür. Halihazırda karmaşık bir süreç olan yapı üretimi, bu etkenler altında kaos sınırının dışına (düzensizliğin daha da yüksek olduğu bir alana) itilebilmektedir. Bertelsen ve Koskela (2003) bu tür bir kaotikliğe sürüklenen yapılara örnek olarak Sydney Opera Evi (bütçesi \$7M'dan \$107M'a çıkan ve inşaat süreci 4 yıldan 14 yıla uzayan yapı) ve Denver Uluslararası Havalimanı (açılışı dört defa ertelenen ve maliyeti planlananın 2.5 katına ulaşan yapı) binalarını göstermektedir. Hem iç hem de dış etkenler altında belirsizliklerin ve değişkenliklerin hakim olduğu yapı üretim sürecini Bertelsen (2004a, s.5) örneklerle şu şekilde tariflemektedir:

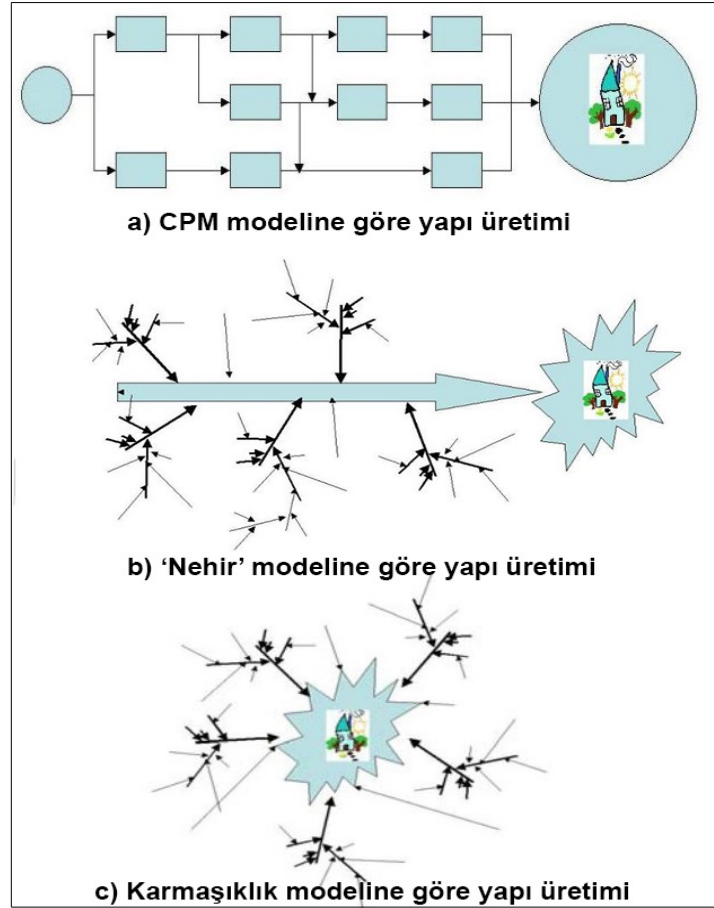
En aşağıdan başlanacak olursa, bir işçinin eli ile işini nasıl yapacağı kendi tercihinə bağlıdır. Herhangi bir resmi süreç tanımı bulunmamaktadır ve endüstri içerisindeki sözleşmelerin işin nasıl yapılacağı konusunda müdahaleler içermemesi bu tür bir alt seviye süreci desteklemektedir. Aynı şekilde yüksek seviyede de süreç benzerdir, yüklenici işini kendi yolu doğrultusunda gerçekleştirecektir....Hava durumu süreci etkileyebilmektedir, beklenmedik olaylar diğer başka değişikliklere yol açabilmektedir.



Şekil 3.16 Yapı projesinde kaos sınırı (Bertelsen ve Koskela, 2003)

Belirtilen bu koşullar altındaki yapı üretiminin basit, düzenli ve lineer bir süreç olduğu yanılgısı ile indirgemeci yöntemler doğrultusunda yönetilmesi (sürecin genellikle sıralı parçalara bölerek yukarıdan-aşağı yönetim biçimi ile yürütülmesi), zamanında tamamlanamama, bütçeyi aşma, hatalar ve sapmalar gibi olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır. Oysaki yapım süreci, hem kendi iç karmaşıklığı (tasarımından inşasına tüm yaşam döngüsü boyunca) hem de bulunulan çevrenin dinamikliği göz önünde bulundurularak ele alınmalıdır. Bertelsen ve diğer. (2007), "Construction Physics" isimli makalesinde proje yönetimi alanında CPM ve PERT gibi lineer yaklaşımlara (Şekil 3.17a) karşıt olarak sürecin gerçek yaşamdaki

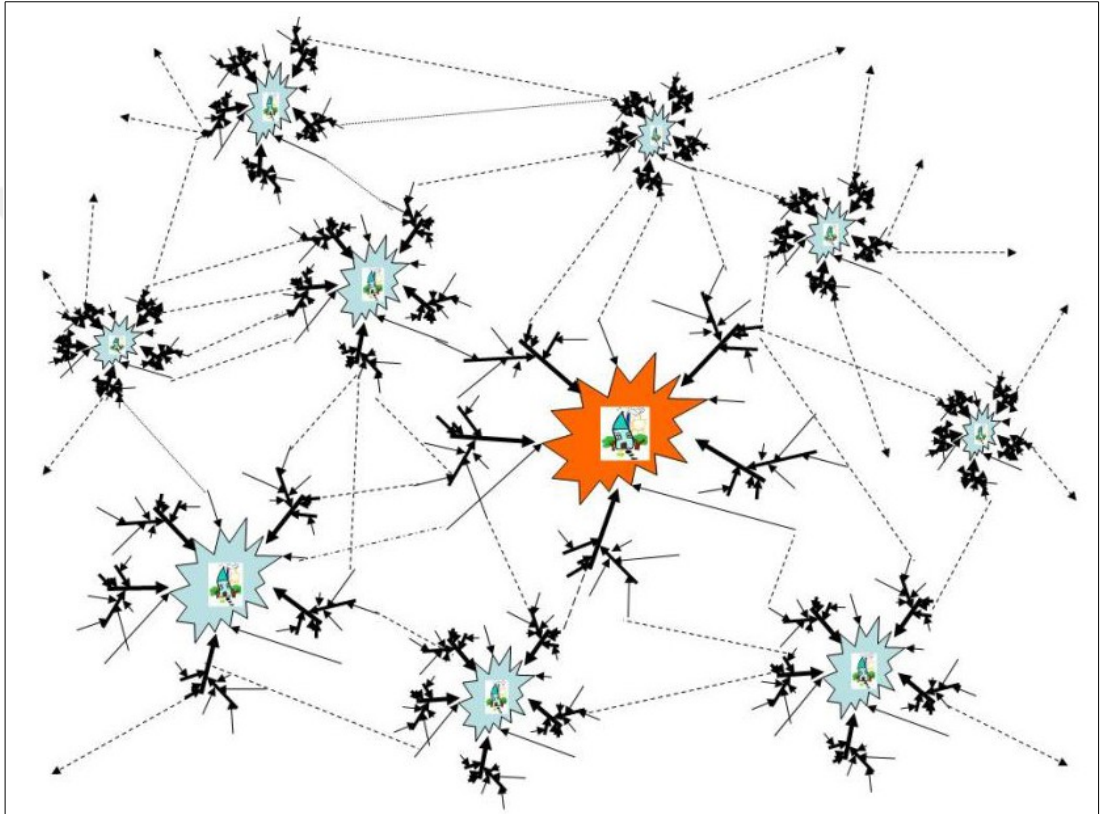
doğasına uygun model gösterimleri önermektedir. Bu doğrultuda ilk olarak, sürecin birçok iş akışının toplamı olarak değerlendirilmesi gerektiği belirtilerek bir "nehir modeli" (Şekil 3.17b) önerilmektedir. İkinci olarak ise, nehir modelinin dahi sürecin gerçek doğasını yansıtmadığı belirtilerek belirli bir akış doğrultusu üzerinde ilerlemeyen "karmaşıklık modeli" (Şekil 3.17c) önerilmektedir.



Şekil 3.17 Yapı üretiminin farklı modellere göre süreci (Bertelsen ve diğer., 2007)

Bertelsen ve Sacks (2007) bu modelleri bir adım ileriye götürerek proje karmaşıklık modeli yerine Dubois ve Gadde'nin (2002) "*a loosely coupled system*" (Bölüm 2.3 içerisinde bahsedilen) yorumuna benzer bir endüstri karmaşıklık modeli (Şekil 3.18) ortaya koymaktadır, çünkü bir projeyi bu ağdan bağımsız ele almak mümkün değildir. Her proje, katılımcılarının aynı anda birden fazla projede yer

alabildiği bu endüstri ağı içerisinde yer almaktadır. Cicmil ve Marshall (2005), yapı endüstrisinin bu karmaşıklık ağını sosyal ilişkilerle örülü değişken ve belirsiz bir süreç olarak betimlemektedir. Bir diğer ifade ile, yapı üretimi sadece tekniksel değil aynı zamanda sürece dahil olan katılımcıların birbirleri ile ilişkilerinden doğan ve toplumsal boyutlara da ulaşabilen çeşitli sosyal karmaşıklık faktörleri de barındırmaktadır.



Şekil 3.18 Bertelsen ve Sacks'a (2007) göre yapı üretiminin gerçek yaşamdaki süreci

Tüm bu çalışmalar ile tariflenen yapı endüstrisinin nitelikleri, Cynefin çerçevesinde belirtilen “bilinmedik bilinmeyenler” alanı ve Bakhshi ve diğer. (2016) tarafından sunulan tablodaki karmaşık proje özellikleri ile örtüşmektedir; girift ağ ilişkilerinin olduğu, heterojen, dağınık, büyük ve kaotik bir endüstri vardır, değişim süreklidir, olay örgüsü bulanıktır, tahmin edilemezlik yüksektir. Bu bağlamda Schramm ve diğer. (2006) tarafından da belirtildiği üzere, yapı üretimi hem proje

hem de endüstri düzeyinde karmaşık ve dinamik bir yapıya sahiptir. Bu açıdan geleneksel proje yönetimi, üretimin başarısı konusunda oldukça sınırlı destek sağlayabilmektedir ve dolayısıyla da yapı üretiminin karmaşık proje yönetimi üzerinden değerlendirilmesi gerekmektedir (Ochieng ve diğer., 2013).

3.3 Proje Yönetiminde Karmaşıklık Olgusunun Ele Alınış Biçimi

Yapı üretiminin karmaşık ve buna bağlı olarak zorlu bir süreç olarak değerlendirilmesine rağmen, doğrudan yapı endüstrisindeki karmaşıklığa yönelik olarak yapılan araştırma sayısı oldukça sınırlıdır (Wood ve Gidado, 2008; Wood ve Ashton, 2009; Jarkas, 2017). Bu yüzden bu başlık altında karmaşıklık konusu, proje yönetimi alanında yapılan çalışmalar hangi endüstride yapıldığı gözetilmeksizin bir bütün halinde ele alınmaktadır.

Proje yönetimi alanında karmaşıklığın giderek artış gösterdiğine, karmaşıklık artışının projelerin başarısızlığa doğru eğiliminin altında yatan ana sebeplerden birisi olduğuna ve bu yüzden de çözümlenmesi gereken bir olgu olduğuna sürekli olarak işaret edilmektedir. Diğer taraftan ise bu olgu ile tam olarak neyin kastedildiği, tanımının ve sebeplerinin ne olduğu hakkında henüz bir uzlaşma bulunmamaktadır ve bu bakımdan mevcut durumda hala hem teorik hem de pratik anlamda daha derinlikli ve detaylı araştırmalar gerekmektedir. Proje yönetimi alanında karmaşıklık ile ilgili olarak Luo ve diğer. (2017) tarafından da belirtildiği şekilde dört ana araştırma konusu bulunmaktadır:

- Proje karmaşıklığının etkileri nelerdir,
- Proje karmaşıklığını sürükleyen unsurlar nelerdir,
- Proje karmaşıklığının ölçülmesine ilişkin ne tür metotlar kullanılabilir,
- Proje karmaşıklığı nasıl etkin bir biçimde yönetilebilir.

Karmaşıklığın etkileri, şu ana kadar bahsedilen ve kendisini üretimdeki başarısızlıklar olarak gösteren unsurlardır. Bu başlığın konusu diğer üç madde olacaktır. Bunlar, aynı zamanda birbirinin de zinciri olan maddelerdir. Proje karmaşıklığını sürükleyen unsurları belirleyebilmek, karmaşıklığın ölçülebilmesi için gereklidir. Proje karmaşıklığını doğru bir biçimde yönetebilmek için ise, projenin ne kadar ve hangi açılardan karmaşık olduğunu bilmek gereklidir.

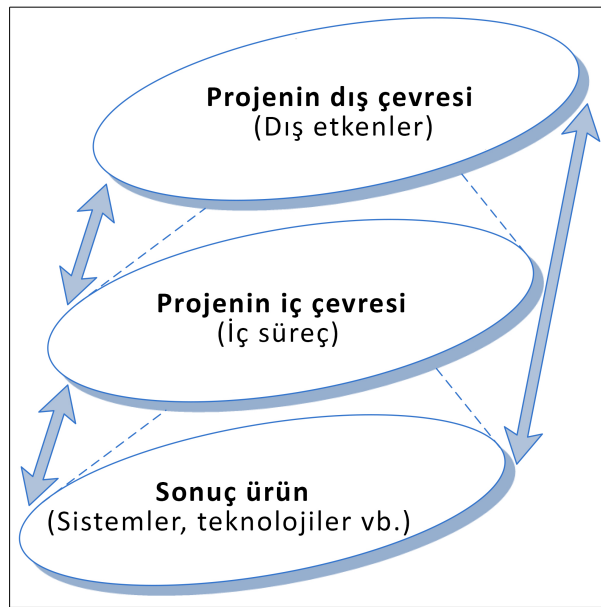
Tüm bu konulara yönelik olarak karmaşıklık konusu farklı perspektifler dahilinde işlenebilmektedir. Geraldi ve diğer. (2011), akademik araştırmalar içerisinde iki tür akımın varlığına işaret etmektedir; "projenin içerisindeki karmaşıklık" (*complexity in projects*) ve "projenin karmaşıklığı" (*complexity of projects*).

- "Projenin içerisindeki karmaşıklık", projeyi karmaşık bir sistem olarak ele alan ve bu sistemin ne tür davranışlar gösterdiğini karmaşık sistemler teorileri üzerinden değerlendiren görüştür.
- "Projenin karmaşıklığı", doğrudan projenin katılımcıları tarafından ortaya koyulan, bir projenin hangi sebeplerden dolayı karmaşıklaştığını, proje bireylerinin ve organizasyonlarının buna nasıl karşılık verdiğini inceleyen görüştür.

Bakhshi ve diğer. (2016) ise görüş türlerini üç sınıfa ayırmaktadır; PMI (*Project Management Institute*) bakış açısı, SoS (*System of Systems*) bakış açısı ve karmaşıklık teorileri bakış açısı. PMI bakış açısı projenin karmaşıklığı görüşü ile, karmaşıklık teorileri bakış açısı da proje içerisindeki karmaşıklık görüşü ile eşleniktir. SoS bakış açısı ise, farklı tür sistemlerin gösterdiği davranış farklılıklarını inceleyen bir alan olarak proje içerisindeki karmaşıklık görüşünün bir uzantısı olarak değerlendirilebilir.

"Proje içerisindeki karmaşıklık" ve "projenin karmaşıklığı" görüşleri aslında aynı sistemi farklı yönlerden incelemektedir. Örneğin Botchkarev ve Finnigan (2014),

“sistemlerin sistemi” şeklinde isimlendirdiği modelinde (Şekil 3.19) projeyi üç alt sistemden (dış çevre, iç çevre ve ürün) oluşan bir karmaşık sistem olarak tanımlamaktadır. Tanımlanan bu alt sistemler de kendi alt sistemlerini barındırmaktadırlar. Projenin davranışlarının yatayda resmedilen bu iç sistemlerin iç ve dış ilişkilerinin yarattığı karmaşıklık üzerinden incelenmesi “projenin içerisindeki karmaşıklık” görüşüne uyarken, sistemlerin karmaşıklığa sebep olan nitelikleri (çokluk, çeşitlilik, belirsizlik, ikilem, dinamizm gibi) üzerinden incelenmesi ise “projenin karmaşıklığı” görüşüne uymaktadır.



Şekil 3.19 Botchkarev ve Finnigan'ın (2014) proje karmaşıklığına ilişkin SoS modeli

Karmaşıklığı tanımlamaya ve çözümlemeye yönelik olarak ortaya koyulan bu görüşler, Schlindwein ve Ison (2004) tarafından tanımlanmış olan "tanımsal karmaşa" ile de ilişkilendirilebilir (Marle ve Vidal, 2016). Bu başlık altında, proje karmaşıklığı ağırlıklı olarak projenin karmaşıklığı görüşü üzerinden değerlendirilmektedir.

3.3.1 Proje Yönetimi Açısından Karmaşıklığın Unsurları

Bir projenin karmaşık bir sistem olduğu kabulünden yola çıkılarak sürecinin doğrusal olmamak, tahmin edilemezlik, kaotiklik, dinamiklik ve ortaya-çıkma gibi özellikler barındıracağı söylenebilir. Proje yönetimi alanına yönelik olarak irdelenmesi gereken nokta ise, süreç içerisindeki hangi etmenlerin bu özelliklere sebep olduğudur. Bu noktada, farklı araştırmacılar konuyu farklı çerçeveler altında sunabilmektedir. Herhangi bir uzlaşılmış ve kabul görmüş çerçeve olmasa da (Luo ve diğer., 2017), bazı çalışmaların öne çıktığı ve sıkça atıf aldığı görülmektedir. Bu başlık altındaki anlatım, bu öne çıkan çalışmaları kronolojik olarak sıralamakta ve böylelikle proje yönetimi alanında karmaşıklığa ilişkin düşüncelerin nasıl geliştiğini de göstermektedir.

Karmaşık proje yönetimi üzerine yapılmış olan sistematik literatür araştırmaları (Geraldi ve diğer., 2011; Bakhshi ve diğer., 2016) ve incelenen makalelerdeki atıflar göz önüne alındığında, "Turner ve Cochrane (1993)" ve "Baccarini (1996)" tarafından ele alınan makalelerin proje karmaşıklığına ilişkin ilk önemli çalışmalar olduğu görülmektedir.

Turner ve Cochrane (1993), doğrudan karmaşıklık ifadesine değinmemektedir, fakat makalenin içeriği sonraki yıllarda karmaşıklığın boyutlarından birisi olarak gösterilen “belirsizlik” olgusu için öncül fikirler oluşturmaktadır. İçerikte, projelerin başarısızlıkla sonuçlanabilmesinin bir sebebi olarak hedeflerin ve yöntemlerin doğru şekilde tanımlanamamış olması gösterilmektedir ve projeler dört kategoride açıklanmaktadır:

- Hedeflerin ve yöntemlerin belirli olduğu “toprak” grubu; sağlam temellere oturtulmuş projeler,
- Hedeflerin belirli, yöntemlerin belirsiz olduğu “su” grubu; hedef noktasının belli fakat akış şeklinin gelişigüzel olduğu projeler,

- Hedeflerin belirsiz, yöntemlerin belirli olduğu “ateş” grubu; yöntemlerin yeterli üretimi gerçekleştirdiği fakat amaçsızlığın tüm çabayı boşa çıkarabileceği projeler,
- Hedeflerin ve yöntemlerin belirsiz olduğu “hava” grubu; elle tutulur bir şeyin gerçekleşmediği ve amaçların gökyüzü kadar boş olduğu projeler.

Baccarini (1996) ise doğrudan karmaşıklık ifadesine değinmektedir. Proje yönetiminde sıkça karmaşıklık kavramına değinildiğini, fakat bu kavramın tam olarak neyi ifade ettiğine dair literatürde oldukça az çalışma yer aldığını belirterek ortaya sözlük anlamı üzerinden bir tanım koymaktadır. Projenin büyüklüğünün, belirsizliğinin ve zorluğunun (komplikeliğinin) karmaşıklık olgusundan ayrı nitelikler olarak değerlendirilmesi gerektiğini ve karmaşıklığın yüksek miktarda çeşitlilik ve ilişkililik gösteren birçok parçanın bir araya gelmesinden kaynaklandığını ifade eden Baccarini, karmaşıklığa ilişkin olarak şu iki etmeni göstermektedir:

- Farklılaşma, proje unsurlarının görev, uzmanlık, eleman gibi alt unsurlara ayrılması,
- Bağımlılık, proje unsurları arasındaki ilişki ve bağımlılıklardır.

Karmaşıklığın etmenlerini tanımladıktan sonra, Baccarini proje karmaşıklığını da projenin planlama ve uygulama süreçlerini temel alarak iki gruba ayırmaktadır:

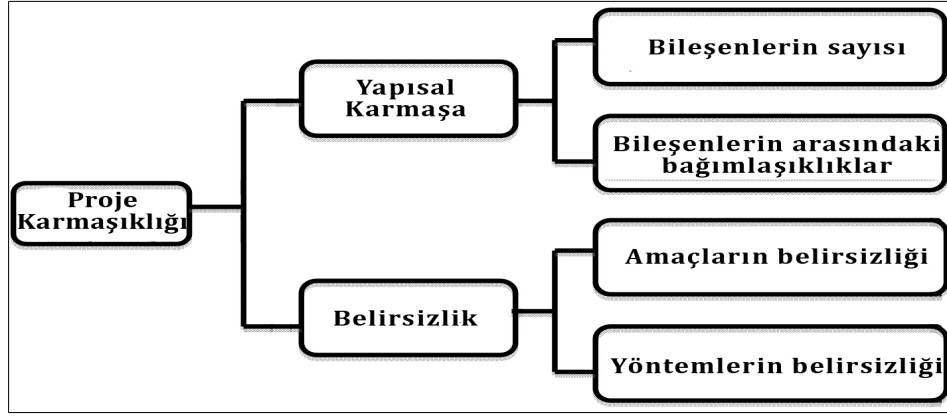
- Organizasyonel karmaşa: Projenin yönetilmesine ilişkin birimlerin çeşitliliği ve bunlar arasındaki yataydaki veya düşeydeki ilişkiler,
- Teknolojik karmaşa: Girdilerin çıktıya dönüştürüldüğü süreçteki bileşenlere (kaynaklar, ekipmanlar, alt süreçler, uzmanlaşmalar vb.) ilişkin çeşitlilik ve bunlar arasındaki ilişkiler.

Williams (1999), Baccarini ile Turner ve Cochrane tarafından sunulan bu düşünceleri bir araya getirerek karmaşıklığın sebeplerini tekrar değerlendirmektedir. Klasik proje yönetim metotlarının proje karmaşıklığını Baccarini'nin karmaşıklık tanımına benzer bir biçimde ölçtüğünü ve bunda da yetersiz kaldığını ifade eden Williams, örnek bir ölçüm şekli olarak şu iki yöntemi vermektedir;

- Dizisel karmaşa: Bir bileşendeki değişimin kaç değişim sırası yaratacağı (örn; A sistemi B sistemini etkiler, B sistemi C'yi, C ise D'yi)
- Geribildirim karmaşası: Bir bileşendeki değişimin en sonunda o sistemi tekrardan ne derece etkileyeceği (örn; A sisteminin B, C ve D sistemleri üzerinde yarattığı etkinin tekrar A sistemine nasıl yansıdığı)

Williams'a göre bu yaklaşımdaki temel sorun, projenin sürekli olarak bir zincir biçiminde ileriye doğru ilerlediği varsayımıdır. Bu da sürecin dinamizmini yeterli ölçüde yansıtmamaktadır. Karmaşıklığın ikinci bir boyutu olarak görülmesi gereken “belirsizlik”, bu dinamizmin temel sebeplerinden birisidir. Amaç ve yöntemlerdeki belirsizlikler, sürecin sürekli olarak yeniden planlanmasına ve buna bağlı olarak hem ilişkilerin yeniden şekillenmesine hem de sürece daha fazla bileşen eklenmesine sebep olmaktadır. Bu doğrultuda Williams, Baccarini'nin görüşlerini “yapısal karmaşa” altında, Turner ve Cochrane'in görüşlerini de “belirsizlik” altında toplayarak karmaşıklığın sebeplerine ilişkin yeni bir diyagram oluşturmaktadır (Şekil 3.20):

- Yapısal karmaşa; projeyi oluşturan bileşenlerin (organizasyonel ve teknolojik) sayısı ve bağımlılıkları,
- Belirsizlik; projeye ilişkin amaçların ve yöntemlerin belirsizliği.



Şekil 3.20 Williams (1999) tarafından ortaya konan proje karmaşıklığı bileşenleri

Jaafari (2001) karmaşıklık konusunda özellikle “belirsizliğin dinamizmine” değinmektedir. Jaafari'ye göre karmaşıklığın asıl daha önemli olan boyutu, öngörülebilir ve planlanabilir olan yapısal karmaşadan ziyade, projenin gerçekleştirilmesi aşamasında dahi sürekli olarak değişkenlik gösteren belirsizlik faktörleridir. Bu faktörler Jaafari'ye göre öngörülemez çevresel etkenler ve proje paydaşlarının süreç içerisinde değişkenlik gösterebilen hedefleridir.

Ribbers ve Schoo (2002), karmaşıklık etmenlerini çeşitlilik, entegrasyon ve değişkenlik kavramları üzerinden değerlendirmektedir. Çeşitlilik ile kastedilen, sistemin veya durumun içerisindeki elemanların sayısı ve bunlar arasındaki ilişkilerdir (bir diğer ifade ile yapısal karmaşıklıktır). Entegrasyon ise süreç içerisindeki yenilikçilik (inovasyon) düzeyidir (örneğin; yeni müşteri ve tedarikçi işbirlikleri, yenilikçi bir teknolojinin yenilik ve zorluk düzeyi), bu kavram da belirsizlik ile ilişkilendirilebilir. Williams'ın diyagramından farklı olarak ortaya koyulan etmen ise değişkenliktir. Değişkenlik, çeşitlilik etmenine ilişkin değerlerin zaman içerisindeki değişimidir (örneğin; kapsam değişimi, kaynakların eksilmesi), bir başka deyişle “yapısal karmaşanın dinamizmi” dir.

Xia ve Lee (2004) (2005), proje karmaşıklığının bileşenlerini bir taksonomi üzerinden değerlendirmektedir. Taksonominin bir boyutuna Baccarini'den referans aldığı organizasyonel (projenin organizasyonel çevresinin karmaşıklığı; hiyerarşi

seviyelerinin, organizasyon birimlerinin ve uzmanlık alanlarının tür ve ilişki miktarları) ve teknolojik (projenin teknolojik çevresinin karmaşıklığı; girdilerin, çıktıların, görevlerin ve teknolojilerin tür ve ilişki miktarları) karmaşa türünü yerleştirmekte, diğer boyutuna ise Turner ve Cockrane'in “belirsizlik” kavramını referans alarak oluşturduğu strüktürel (projenin temel yapısal elemanları; (1) çeşitlilik, çokluk, farklılaşma, (2) bağımlaşıklık, etkileşim, koordinasyon, entegrasyon) ve dinamik (projeye ilişkin belirsizlikler ve değişim; belirsizlik, ikilem, değişkenlik, dinamiklik) karmaşayı yerleştirmektedir. Bu iki boyutun kombinasyonu olarak dört farklı karmaşıklık türü tanımlanmaktadır (Şekil 3.21):

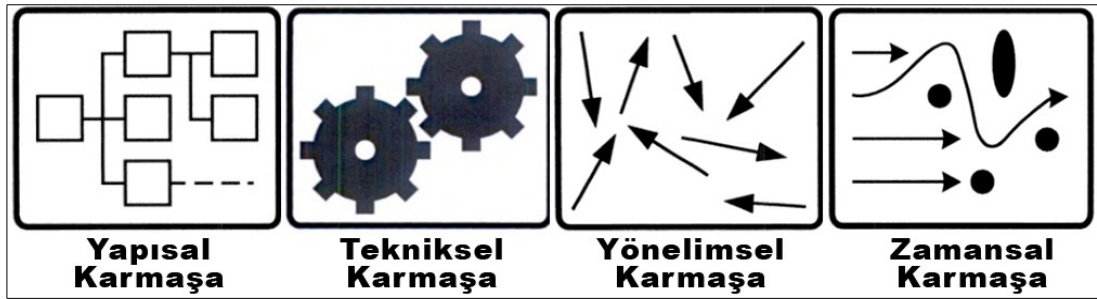
- Strüktürel organizasyonel karmaşa: Organizasyon elemanlarının çokluğu ve bağımlaşıklıklarını kapsar. Proje paydaşları bu türün en önemli unsurudur, bunlardan bazıları; son kullanıcılar, proje ekibi, üst yönetim, harici yükleniciler ve tedarikçiler.
- Strüktürel teknolojik karmaşa: Teknoloji elemanlarının çokluğu ve bağımlaşıklıklarını kapsar.
- Dinamik organizasyonel karmaşa: Organizasyon çevresinin değişim oranını ve örüntüsünü kapsar. Bu değişimlerden bazıları organizasyonun yapısı, kullanıcı ihtiyaçları ve iş süreci olabilir.
- Dinamik teknolojik karmaşa: Teknoloji çevresinin değişim oranını ve örüntüsünü kapsar.

Organizasyonel vs. Teknolojik	Strüktürel Organizasyonel Karmaşa	Dinamik Organizasyonel Karmaşa
	Strüktürel Teknolojik Karmaşa	Dinamik Teknolojik Karmaşa
Strüktürel		Dinamik

Şekil 3.21 Xia ve Lee'nin (2004) karmaşıklık matrisi

Remington ve Pollack (2007), “*Tools for Complex Projects*” isimli kitabında karmaşıklığı dört sınıfa ayırmaktadır; yapısal, tekniksel, yönelimsel ve zamansal (geçici) karmaşa (Şekil 3.22):

- Yapısal karmaşa, birbirine bağlı birçok eylemin ilişkisinden doğmakta, karmaşıklığın doğrusal olmama ve ortaya çıkma fenomenlerine bağlı davranışlarından kaynaklanmaktadır.
- Tekniksel karmaşa, ihtiyaç duyulan bir tekniksel yöntemin bilinmemesinden veya denenmemiş olmasından kaynaklanmaktadır.
- Yönelimsel karmaşa, amaç ve hedeflerin anlaşılmamış, üzerinde uzlaşılmamış olmasından kaynaklanmaktadır.
- Zamansal karmaşa, proje süresince yaşanan çevresel dalgalanmalardan (pazar dalgalanmaları, sosyopolitik değişimler vb.) kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.22 Remington ve Pollack (2007) tarafından tanımlanan karmaşıklık türleri

Remington ve diğer. (2009) bir diğer çalışmada ise proje karmaşıklığını “karmaşanın boyutları” ve “şiddet faktörleri” olarak iki gruba ayırmaktadır:

- Karmaşa boyutları, Remington ve Pollack (2007) tarafından verilmiş olanlar ile benzerdir. Yalnızca burada beş adet olarak sıralanmıştır; birimlerin sayısı ve ilişkileri, hedefler (hedeflerin açıklığı, hedef ve hedef yolu üzerinde uzlaşılmışlığı), hedeflere ulaşma araçları (tekniksel, inovatif vs.), projenin zaman ölçeği ve çevre (pazar, politik, düzenleyici kurumlar vs.).
- Şiddet faktörleri, karmaşanın boyutlarına etki eden ve onların etkisini

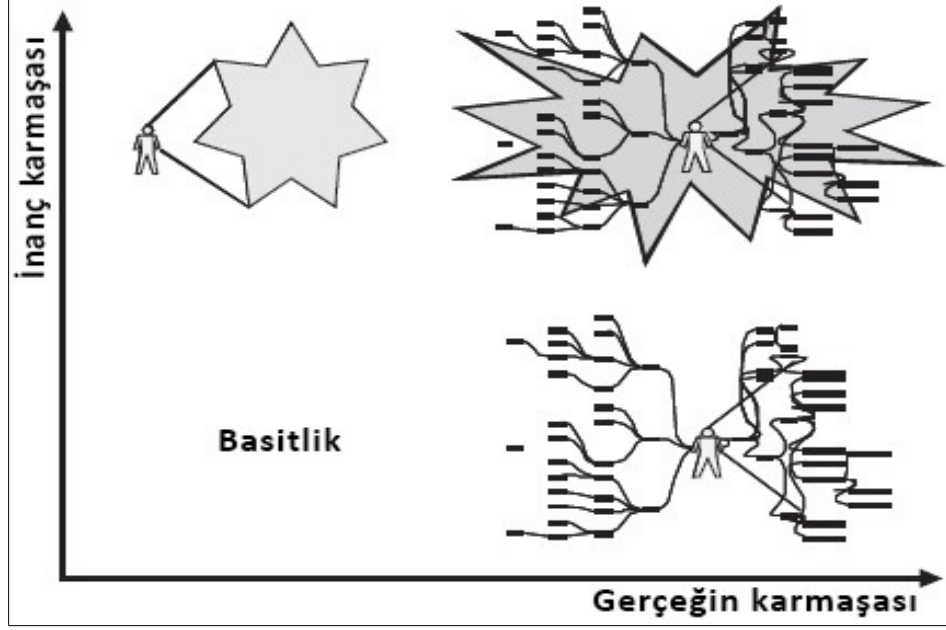
şiddetlendiren etkenlerdir. Bu faktörler dokuz adet olarak sıralanmıştır; zorluk, doğrusal olmama, belirsizlik, özgünlük, iletişim, duruma bağlılık, kesinlik, güven ve yeterlilik (kabiliyet, uygunluk).

Geraldi ve Adlbrecht (2007), öncekilerden farklı bir yol izlemektedir. Karmaşıklığın hem tüm özellikleriyle (belirsizlik, dinamizm vs.) bütüncül bir şekilde yansıtılabilmesinin mümkün olmadığını hem de duruma ve algılayıcıya göre değişkenlik gösterdiğini belirterek, karmaşayı bir örüntü olarak ele almaktadır. Bu örüntüyü de üç gruba ayırmaktadır; inanç, gerçeklik ve etkileşim.

- İnanç karmaşası; özgün bir şeyler üretmek, yeni problemler çözmek, yüksek belirsizlik ile uğraşmak gibi muğlaklık barındıran ve önceden tanımlanmış yöntemler ile çözülemeyen karmaşa ile ilişkilendirilmektedir. Bu tür karmaşada olasılıklar oldukça yüksektir ve en iyi çözümün hangisi olduğunu söyleyebilmek imkansızdır. Belirsizlik, yaratıcılık, dinamizm ve esneklik gibi kavramlar bu türe aittir. Kesin gerçekliğe dayanan bilginin eksikliğinden dolayı, çözüm ancak tahmin ve sezgi ile üretilebilir.
- Gerçeğin karmaşası; birbiri ile ilişkili yüksek miktarda bilginin uğraşına dayanan karmaşadır. Bilgi miktarı, bağımlılaşık, tutarlılık ve sınırlılık bu tür ile ilişkilidir. Sorunlar genellikle zamanın kısıtlılığından dolayı çok yüksek miktardaki bilginin tamamının toplanıp, analiz edilip içselleştirilemeyecek olmasından kaynaklanmaktadır. Eğer doğru araçlar (bilgisayar destekli sistemler vs.) ile çözüm sunulamazsa, ihtimal ve ilişkiler bulanıklaşarak inanç karmaşasının taşıdığı özelliklere benzer şekilde evrilecektir.
- Etkileşim karmaşası; diğer iki karmaşa türünü de etkileyen şeffaflık, çokluk, empati gibi özellikleri barındıran karmaşadır. Politik, kültürel, sosyal ilişkiler bu grup altındadır.

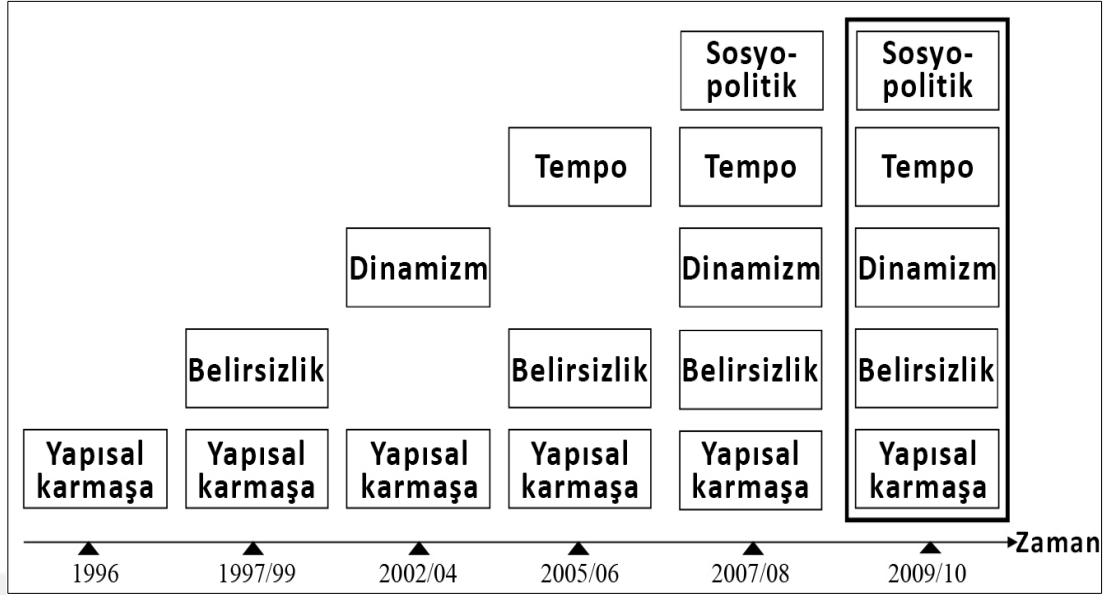
Geraldi ve Adlbrecht'in gerçeklik ve inanç karmaşası üzerinden tariflediği iki boyutlu grafik içerisinde (Şekil 3.23), yüksek karmaşıklık bu iki türün birlikte artış

gösterdiği alana düşmektedir. Gerçeğin ve inancın karmaşasının düşük olduğu alanda ise basitlik hakimdir.



Şekil 3.23 Geraldi ve Adlbrecht'ın (2007) tanımladığı karmaşa örüntüsünün “gerçeklik” ve “inanç” boyutları

Proje karmaşıklığına üzerine detaylı bir sistematik literatür incelemesi yapan Geraldi, Williams ve Maylor (2011), karmaşıklığa ilişkin öne sürülen unsurların tarihsel bir dökümünü yapmaktadırlar (Şekil 3.24). Literatür değerlendirmesinin sonucu olarak da karmaşıklık unsurları beş ana gruba ayrıştırılmaktadır; yapısal karmaşa, belirsizlik, dinamizm, tempo ve sosyo-politik. Bu unsurlar arasında tempo, projenin zaman kaynaklı karmaşıklık unsurlarıdır (hız, aciliyet, kritiklik, zamanın getirdiği geçici etmenler vb.). Sosyo-politik unsurlar, insan temelli karmaşıklık etkenleridir. Dinamizm ise, diğer karmaşa türlerindeki değişim ile ilişkilendirilmektedir, örneğin; dinamik yapısal karmaşa, dinamik belirsizlik, dinamik tempo ve dinamik sosyo-politik unsurlar.



Şekil 3.24 Gerald ve diğer.'nin (2011) sistematik literatür araştırmasına göre karmaşıklığın sebebi olarak öne sürülen unsurların tarihsel gelişimi

Son olarak, “International Center for Complex Project Management” (ICCPM, 2013) proje karmaşıklığına yönelik şu ifadeye yer vermektedir, "Projelerin iç karmaşası politik, sosyal, teknolojik ve çevresel durumlarca sürüklenmektedir. Ayrıca, projenin yaşam döngüsü boyunca önemli ölçüde değişebilen son kullanıcı talepleri de etkili olmaktadır." Bu ifadede yapısal, sosyo-politik, tekniksel, yönelimsel, çevresel ve zamansal karmaşadan bahsedildiği şeklinde yorumlanabilir, fakat önceki çalışmalarda sunulan unsurlar ile karşılaştırıldığında kapsayıcılığının ne kadar yüksek olduğu şüphelidir.

Bir projeyi karmaşıklığa doğru hangi unsurların sürüklediğini kesin bir biçimde tanımlayabilmek, hem karmaşıklığın bilinemezliğinden hem de göreceliliğinden dolayı olanaksız gözükmemektedir. Tezin yazarının kendi görüşü dahilinde bu unsurlar yukarıdaki çalışmalar göz önünde bulundurularak üçe ayrılmakta ve başlığın devamında detaylı olarak açıklanmaktadır. Bu unsurlar şunlardır; yapısal karmaşa, dinamik belirsizlik ve süreç aciliyeti.

Ayrıca belirtilmesi gereken bir diğer nokta ise, tüm bu unsurların ayrı bir biçimde tanımlanarak açıklanması karmaşıklık bütüncül ve kapsayıcı bir şekilde açıklayabilmek konusunda yeterli değildir. Bu nedenle, projeyi bir karmaşıklık modeli altında tanımlayarak karmaşıklık etmenlerini bu model içerisine oturtmak daha faydalıdır. Tez çalışmasının karmaşıklığın ölçülmesi ve yönetilmesine ilişkin bölümlerinde (Bölüm 3.3.2 ve 3.3.3) bu tür modellerden bahsedilecektir.

3.3.1.1 Yapısal Karmaşa

Yapısal karmaşa, literatürde en fazla öne çıkan ve incelenen karmaşıklık türüdür. Klasik proje yönetim metodları ile bir proje parçalarına ayrıştırıldığında (CPM ve WBS gibi yöntemler ile), ortaya çıkan iş yığını aslında bu türe ilişkindir. Bu yüzden bir ürüne, sürece veya organizasyona yönelik olarak karmaşıklıktan bahsedildiğinde, ilk olarak bu karmaşıklık unsuru incelenmektedir.

Bir proje büyüdükçe, oluşan hiyerarşiler ve iş bölünmeleri ile birlikte yapısal karmaşa artmakta ve de projenin planlanmasından üretimine ve kullanımına kadar tüm evreleri zorlaşmaktadır. Örneğin, Remington ve Pollack (2007) bu karmaşıklık türü ile karşılaşıldığında sıkça sarf edilen soruları ve cümleleri şu şekilde sıralamaktadır:

- Tüm bunların tamamını nasıl bir araya getirebiliriz ve yönetebiliriz?
- Tüm bu ilişkileri nasıl takip edebiliriz?
- Tüm bunları nasıl aklımda tutabilirim?
- Tüm bunları zamanlamak ve koordine etmek imkansız.
- Aynı anda halledilmesi gereken çok fazla iş var.

Yapısal karmaşanın ana bileşenleri, Geraldi ve diğer. (2011) tarafından üç gruba ayrıştırılmaktadır; sayısal büyüklük, çeşitlilik ve ilişkililik. Eleman sayısı ne kadar çoksa, eleman çeşitliliği ne kadar fazlaysa ve elemanlar ne kadar çok birbiri ile

ilişkili ise yapısal karmaşa da o kadar büyüktür. Bu bileşenler arasından ise Maylor ve diğer. (2008) tarafından belirtildiği üzere, proje içerisindeki birimlerin birbiri arasında kurduğu ilişkilerin çokluğu ve çeşitliliği karmaşıklığa birimlerin sayısal çokluğundan daha fazla etki etmektedir. İlişki türleri, "havuzlanmış, sıralı ve karşılıklı" olarak çeşitlenmektedir (Williams, 1999) ve de karşılıklı (iki taraflı) ilişki hem daha sık karşılaşılan hem de karmaşıklığı en fazla arttırandır.

Yapısal karmaşanın içeriğine yönelik olarak ise Baccarini (1996) projenin yönetimsel ve tekniksel safhaları üzerinden organizasyonel (organizasyon birimlerinin yataydaki ve düşeydeki hiyerarşik katmanlaşmaları ve kurdukları ilişkiler) ve teknolojik karmaşa (irdilerin çıktılara dönüştürüldüğü üretime ilişkin birimlerin sayısı, çeşitliliği ve kurdukları ilişkiler) olarak iki grup tanımlarken, Shenhar ve Dvir (1996) projenin yapısı üzerinden üç sistem kapsamı tanımlamaktadır.

- Kapsam 1 – bileşen projeleri: Tek bir bileşenin veya birden fazla bileşenden meydana gelen bir kurulumun oluşturulduğu projelerdir. Bu bileşen veya kurulum, bir sistem içerisinde tanımlanmış bir görevi yerine getiren bir alt sistem olabilir, örneğin bir bilgisayarın yazıcısı.
- Kapsam 2 – sistem projeleri: Sistem, birbiri ile ilişkili alt sistemlerin bir araya gelmesinden oluşan ve birçok işlevi yerine getirebilen bileşenler bütünüdür. Bilgisayarın bütünü, bir sistemdir.
- Kapsam 3 – sistem dizisi projeleri: Süper sistem olarak da değerlendirilen sistem dizisi, ortak bir amacı yerine getiren dağınık sistemler bütünüdür. Geniş bir coğrafya üzerine dağılmış bir hava savunma sistemi veya bir şehrin toplu taşıma sistemi bu kategori içerisinde.

Shenhar ve Dvir (1996) bu sistem kapsamlarının projenin hiyerarşik yapısını, iç-dış ilişkilerini ve gerekliliklerini şekillendirdiğini belirtmekte ve bu duruma ilişkin bir tablo sunmaktadır (Tablo 3.4). Bu tablo bir anlamda da yapısal karmaşa

büyükçe projenin nasıl biçimlendiğini göstermektedir.

Tablo 3.4 Shenhar ve Dvir (1996) tarafından tanımlanan üç sistem kapsamı türünün projenin yapısı üzerine etkileri

Bileşen	Sistem	Sistem dizisi
Proje organizasyonu		
Genellikle bir işlev grubuna ait bir organizasyon, personel yok veya çok az	Bir ana yönetim grubu, birçok dahili ve harici taşeron, teknik ve yönetsel personel	Bir şemsiye örgüt, bağımsız alt proje grupları
Planlama		
Basit araçlar kullanılır, eylem sayısı genellikle 100'den azdır	Karmaşık planlama ve araçlar, 100-1000'lerce eylem	Bir üst plan ve detaylı alt planlama, 10000'lerce eylem
Kontrol ve raporlama		
Basit ve kendi içinde kontrol Yönetime bildirim	Sıkı ve resmi kontrol, bütçe, zamanlama ve teknik konularda üst yönetime bildirim	Kontrol eden ayrık, merkezi bir mekanizma, birçok toplantı ve raporlama
Belgeleme		
Basit, çoğunlukla teknik dokümanlar	Birçok resmi belgeleme, Teknik ve yönetsel	Yönetsel belgeler tekniklerden çok daha fazla
Yönetim şekli		
Genellikle resmi değil, aile tipinde atmosfer	Resmi ve bürokratik, resmi olmayan taşeron ilişkileri ve bazı politik yönler	Resmi ve sıkı bürokrasi, politik, sosyal ve çevresel konulara duyarlılık

3.3.1.2 Dinamik Belirsizlik

Belirsizlik, gerçek yaşamın dinamikliğinin getirdiği sonsuz ihtimallerin doğal bir sonucudur. Her ne kadar karmaşık bir proje önceden bütünüyle planlanmış da olsa, tüm yaşam döngüsü boyunca bu sonsuz ihtimallerin etkisinde sürekli olarak bir evrilme halindedir. Değişim halindeki yaşamın belirsizliği bu evrilmenin temel sebebidir, bir diğer ifade ile "dinamizm" ve "belirsizlik" birbirinin tetikleyicisi durumundadır. Bu açıdan, bu iki kavramı bir bütün olarak ele almak mantıklı olacaktır.

Dinamizm ve belirsizlik, yapısal karmaşanın bir gereğidir, zaman ve mekana yayılmış eleman ve ilişki çokluğu bu iki olguyu beraberinde getirir (Remington ve

diğer., 2009). Bir projenin stabil yapısını sürekli olarak düzensizliğe ve bilinmezliğe iten bu etkenler, basit durumlarda göz ardı edilebilecek kadar azaltılabilir, fakat karmaşık durumlar için etki derecesi öngörülemyebilecek düzeydedir. Bu etki, proje katılımcıları tarafından doğru bir biçimde karşılanamadığı zaman düzensizliklere, hatalara, bir işin yeniden yapılması gerekliliğine ve dolayısıyla da verimsizliklere sebep olabilir (Geraldı ve diğer., 2011). Tüm bu sebeplerden dolayı, dinamizm ve belirsizlik olgularını tanımlamak ve sebeplerini saptamak önemlidir.

Dinamizm, karmaşıklığa ilişkin olarak Maylor ve diğer. (2008) tarafından projenin niteliklerinin ve göstergelerinin zaman içerisindeki değişimi olarak tanımlanmaktadır. Jaafari (2003), bu değişimi kimin tetiklediği ve değişime neyin sebep olduğuna cevap olarak "otokatalitiklik" kavramını kullanmaktadır. Bir diğer ifade ile değişim, anlık bir şekilde kendi kendisini tetikleyen bir olgudur. Değişim için bir başka açıklama ise termodinamiğin ikinci yasası ile yapılabilir, "Kapalı bir sistemde termal dengeye ulaşıncaya kadar entropi sürekli olarak artış gösterir". Bunun anlamı, evren (kapalı sistem) bulunduğumuz zaman diliminde (dengenin henüz sağlanmamış olduğu an) sürekli olarak düzensizlik eğilimindedir (entropi). Bu yüzden hem bu düzensizlik eğilimi hem de bu eğilime karşıt biçimde düzenlilik oluşturmak için gösterdiğimiz çaba, dinamizmin kaynağıdır.

Dinamiklik teknolojik, toplumsal, ekonomik ve küresel olarak her alanda baş göstermektedir ve gerek bulunulan iç ve dış çevrenin rastlantısallığından gerekse de bu rastlantısallığa olan ilgisizlikten dolayı projeyi sürekli bir değişime itmektedir (Xia ve Lee, 2005). Bu bağlamda, yarattığı bu etki ile dinamikliğin yazının devamında tanımlanan "belirsizlik" kavramı ile iç içe olduğu unutulmamalıdır. Çünkü belirsizliğin bir kaynağı da değişimin kendisini tetikleyici etkisidir. Proje içerisindeki bir sistemde beliren herhangi bir değişim, bir diğerinde öngörülemyen değişimlere (bir başka deyişle belirsizliklere) sebep olabilir. Bu tür etkiler, "değişimin yayılımı" (Vidal ve Marle, 2008), "pozitif geribildirim" veya "amplifikasyon" gibi kavramlar ile açıklanmaktadır.

Belirsizlik, proje yönetiminde genellikle risk analizleri dahilinde değerlendirilmektedir. Risk yönetimine ilişkin uluslararası standart olan “ISO 31000:2009 Risk management - Principles and guidelines”, risk kavramı ile ilgili olarak şu açıklamayı yapmaktadır:

Her tür ve büyüklükteki organizasyon amaçlarına ulaşp ulaşamayacaklarını veya ne zaman ulaşacaklarını belirsiz kılan iç ve dış etkenler ile karşılaşır. Belirsizliğin organizasyon amaçları üzerindeki etkisi “risk” olarak tanımlanır.

Bir organizasyonun bütün eylemleri risk barındırır. Riski yönetmek için organizasyon riski tanımlar, analiz eder ve sonrasında risk kriterlerine uygun hale gelmesi için müdahale edilip edilmemesi gerektiğini değerlendirir.

Bu ifadedeki kavramlara yönelik olarak aynı uluslararası standarttaki bazı tanımlamalar şu şekildedir:

- Risk, amaçlar üzerindeki belirsizlik etkisidir. Risk, bir olayın sonuçları ve de bu olayın ve sonuçların gerçekleşme ihtimalleri ile bağıntılıdır.
- Etki, beklenenden pozitif veya negatif olarak sapmadır.
- Belirsizlik, bir olayın, olayın sonucunun veya ihtimalinin bilinmesine veya anlaşılmasına ilişkin bilgi eksikliği durumudur.

Tüm bu tanımlamalar ve açıklamalar özetlenecek olursa; risk, bir olayın kapsamına ilişkin bilgi eksikliğinden dolayı iç veya dış kaynaklı olarak organizasyonun hedefleri üzerinde yaşanabilecek olumlu veya olumsuz anlamdaki sapmadır. Benzer bir şekilde PMI tarafından hazırlanan PMBOK (2013, Böl. 11) içerisinde de proje riski "gerçekleşmesi durumunda proje amaçlarından (zaman, maliyet, kapsam, kalite vb.) en az biri üzerinde pozitif veya negatif etki yaratan belirsiz bir olay veya durum" şeklinde tanımlanmaktadır.

Proje riskine yönelik bu açıklamalara göre, belirsizlik ile risk arasında bir neden-sonuç ilişkisi vardır. Belirsizlik, riskin nedenidir ve kaynağı olarak bir duruma veya durumun gerçekleşme olasılığına ilişkin bilgi yetersizliği ile bağdaştırılmaktadır. Benzer bir şekilde, Jay R. Galbraith, bir görevin tamamlanmasına yönelik olarak "belirsizlik" kavramını "Designing Complex Organizations" (1973) isimli kitabında şu şekilde tanımlamaktadır (Tatikonda ve Rosenthal, 2000), "Belirsizlik, bir görevi gerçekleştirebilmek için gerekli olan bilgi ile görevi gerçekleştiren organizasyonun elinde bulunan bilgi arasındaki farktır." Bu bağlamda bu görüşe göre eğer duruma ilişkin belirsizlik azaltılmak isteniyorsa, daha fazla bilgi toplanması gerekmektedir (Schrader ve diğer., 1993).

Tüm bu görüşlere karşıt olarak ise, risk ve risk yönetimi üzerinden sunulan tanımlamaların belirsizlik kavramını kapsamlı bir şekilde açıklayabilmek konusunda yetersiz kaldığı düşüncesi de bulunmaktadır (Ward ve Chapman, 2003; Perminova ve diğer., 2008). Bu düşüncenin temel sebebi, risk yönetiminin belirsizliği ağırlıklı olarak bir tehdit unsuru olarak ele alması ve ayrıca belirsizliğin kapsamının yalnızca öngörülebilir olayların gerçekleşme ihtimalleri ile sınırlandırılmasıdır.

Karşıt görüşe göre ilk olarak, belirsizlik iki yönlü bir olgudur, olumlu (fırsatlar) veya olumsuz (tehditler) sonuçlar doğurabilir. Her ne kadar risk yönetimi tanımı içerisinde fırsatlara da işaret ediliyor olsa da, "risk" ifadesi genel olarak "tehdit" ile eş anlamlı kullanılmakta ve belirsizlik de ortadan kaldırılması veya olabildiğince azaltılması gereken bir unsur olarak ele alınmaktadır. Bu bakımdan örneğin Green (2001), "risk yönetimi" ile "değer yönetimi" alanlarının bütünleşik olarak "belirsizlik yönetimi" altında ele alınması gerektiğini savunmaktadır. Bir başka açıdan, Ward ve Chapman'a (2003) göre ise belirsizliğin yönetimi sadece algılanan tehdit ve fırsatlardan ibaret de değildir. Asıl önemli olan, ortaya çıkmasını beklediğimiz durumların olumlu mu yoksa olumsuz mu yansıyacağının yargısına varmadan önce tüm bunların kaynağı olan belirsizlikleri önyargısız bir şekilde tanımlayabilmektir.

İkinci olarak ise, belirsizlik sadece öngörülebilirlerden ibaret değildir. Risk analizleri ile gerçekleşmesi muhtemel olaylar tanımlanarak bunların ne tür etkiler yaratabileceği saptanmakta ve bu etkilere karşı uygulanabilecek eylemler üzerinde durulmaktadır. Bir başka ifade ile olası riskler belirlidir fakat bunların gerçekleşme ihtimalleri belirli değildir, gerçekleşme ihtimallerine yönelik olarak da çözüm sağlaması beklenen muhtemel durum planları ve senaryolar önceden belirlenmiştir. Öngörülemeyenler ise kriz yönetiminin bir parçası olarak değerlendirilmektedir, çünkü bu görüşe göre öngörülemeyen yönetilemez de. Bu yaklaşıma olan eleştiri, risk yönetiminin öngörülemeyen riskleri veya ikilemlerden doğan belirsizlikleri göz ardı etmesidir (Pich ve diğer., 2002). Özellikle hızlı değişen çevrelerde bu tür belirsizlikler kaçınılmaz ve olağandır, klasik risk yönetimi anlayışı bu tür çevreler için yeterli değildir (De Meyer ve diğer., 2002). Ayrıca, risk çözümleri bütünden ziyade parçalara yöneliktir (Jaafari, 2001). Her risk ayrı ayrı değerlendirilir ve her birine ayrı ayrı çözümler sunulur, bu durum da karmaşık projeler için gerekli olan bütüncül yaklaşım düşüncesi ile çelişmektedir.

Karmaşıklık düşüncesi dahilinde belirsizlik kaynağına, biçimine veya yarattığı etkiye göre sınıflandırılabilir. Karmaşık sistemlerdeki "bilinemeyen bilinmeyenler" durumu göz önüne alındığında, belirsizliğin yalnızca bilgi eksikliği ile sınırlandırılmayacağı anlaşılmaktadır. Bu bağlamda belirsizlik konusunda yalnızca "bilgi yetersizliği" değil, aynı zamanda "bilginin bilinemezliği" de söz konusudur (örneğin, çevrenin öngörülemeyen durum ve olayları). Bu bakış açısı altında Williams (2005), belirsizliği aleatorik (şansa bağlı, rastlantısal) ve epistemik (bilgi eksikliğine bağlı) olarak ikiye ayırmaktadır. Farklı bir açıdan Pich ve diğer. (2002) ise şu iki çeşit belirsizliği tanımlamaktadır:

- Birçok değişkenin etkileşiminden dolayı eylemlerin etkilerinin değerlendirilememesi, anlaşılabilmesi (*lack of understanding*)
- Olayların ve sebeplerin bilinmemesi, farkında olunmaması (*lack of awareness*)

Bir proje dahilinde yalnızca bilginin eksikliğinden, anlaşılamamasından veya bilinmemesinden doğan belirsizlikler değil, aynı zamanda ikilemler de önemli rol oynamaktadır. Schrader ve diğer. (1993), ikilemlerin problem çözme konusunda farklı yöntemler gerektirdiğini belirtmektedir. İkilem "bilginin açıklığı" ile ilişkilidir, açık bir biçimde kesin doğrular veya kesin yanlışlar yoktur (örneğin bir yapı tasarımı). Bilgi eksikliğine dayalı belirsizlik durumunda projeye ilişkin belirli bir model tanımlanabilmekte ve bu model doğrultusunda bilgi edinildikçe projeye entegre edilmektedir. İkilem durumunda ise bu tür bir kesinlik içeren model yoktur, ilişkin değişkenler ve ilişkiler belirsizdir, bu yüzden de daha az yapılandırılmış ve daha az tahmin edilebilirdir, çözüm konusunda yaratıcı düşünce ihtiyacı yüksektir.

Belirsizliğe ilişkin bilgi odaklı olarak yapılan tüm bu açıklamalar üzerinden Cynefin çerçevesi de göz önünde bulundurularak belirsizlik türleri şu şekilde sıralanabilir:

- Bilinebilir bilinmeyenlere ilişkin belirsizlikler
 - Bilginin mevcut, fakat anlaşılamamış, çözümlenememiş olması (örn, uzman eksikliği), aktarılamamış olması (iletişim sorunları) veya rastlantısal olması (öngörülebilir bir belirsizlik)
 - Bilginin yetersiz, fakat elde edilebilir olması (örn, veri eksikliği)
- Bilinemeyen bilinmeyenlere ilişkin belirsizlikler
 - Bilginin mevcut, fakat çözümlenebilmesinin güç olması (çok fazla birim ve ilişki bulunması) veya kesin bir doğru çözümün olmaması (ikilemler)
 - Bilginin yetersiz ve de o an için elde edilemiyor olması (sürecinin tahmin edilemez, öngörülemez olması, yalnızca geçmişe dönük olarak anlaşılabilmesi)
- Bilinmeyenlere ilişkin belirsizlikler; hem bilgi yeterliliğinin hem de kavranabilirliğin düşük olması

Belirsizliğin kaynaklarını ise Jaafari (2001), "amaç fonksiyonu" ve "proje değişkenleri" üzerinden tanımlamaktadır. Amaç fonksiyonu, projenin hedeflerine ulaşılmasında belirlenen optimal yoldur. Proje değişkenleri, bu optimal yoldan olumlu veya olumsuz yönde sapmalara sebep olan iç ve dış faktörlerdir. Proje belirsizliğini proje değişkenlerinin etkisi altında amaç fonksiyonu ile belirlenen hedeflere ulaşılama ihtimali olarak tanımlayan Jaafari, bu ihtimali de iki sebebe bağlamaktadır:

- Amaç fonksiyonunun kesin bir şekilde tanımlanmamış olması,
- Sürekli olarak değişkenlik gösterebilen (dinamiklik) proje değişkenleri

İlk sebep, Turner ve Cochrane (1993) tarafından belirtilen “hedeflerin ve yöntemlerin doğru tanımlanamamış olması” veya Remington ve Pollack (2007) tarafından tanımlanan "yönelimsel ve tekniksel karmaşa" ile ilişkilendirilebilir. Hedefler yönünden Giezen (2012), amaç fonksiyonunun pratikte gerçekleştirilenler ile bütçe, zaman, kapsam gibi yönlerden örtüşmemesini tahminlerin isabetli yapılamamasına dayandırmakta ve bu duruma yönelik olarak dört temel sebep belirlemektedir;

- Optimistik yargılar: Tahmini yürüten kişilerin sürecin olağandan daha olumlu bir şekilde ilerleyeceği ve olumsuz durumların gerçekleşmeyeceği düşüncesine olan eğilimi.
- Stratejik saptırmalar: Stratejik veya politik sebeplerle tahminleri kasıtlı olarak olağandan daha düşük göstermek.
- Teknoloji gösterişliliği: Gösteriş ve itibar gibi sebepler ile henüz denenmemiş veya gerekli olmayan çözümlere başvurulması ve dolayısıyla belirsizliklerin yükselmesi.
- Kapsam kayması: Planlananın dışında gerçekleşen değişimlerin toplamı.

Yöntemler yönünden ise Shenhar ve Dvir (1996) özellikle teknolojik belirsizliklere değinmekte ve farklı tür teknolojik belirsizlikler içeren projelerin farklı tür özellikler barındırdığını belirtmektedir. Örneğin Tablo 3.5 içerisinde, artımsal (inkremental) teknolojik inovasyonlar içeren projeler ile radikal teknolojik inovasyonlar içeren projeler arasında süreç ve yönetim şekli açısından ne tür farklılıklar bulunduğu gösterilmektedir.

Tablo 3.5 Shenhar ve Dvir'in (1996) farklı tür teknolojik belirsizliklerin proje yapısı üzerindeki etkisine ilişkin karşılaştırması

Artımsal İnovasyon İçeren Projeler	Radikal İnovasyon İçeren Projeler
Endüstriler	
Bina, köprü inşaatları, altyapı çalışmaları, makina, elektrik-elektronik, kimya	Bilgisayar, elektronik, uzay-havacılık
Yeni teknolojilerin kullanımı	
Yeni teknoloji yok veya çok az, yaygın ve bilinen teknolojiler	Yeni teknolojiler fazla, mevcutlar veya geliştirilmek üzereler
Araştırma, geliştirme ve test aşaması	
Yok veya çok az	Yeni ürün geliştirilir, prototipler üretilir, test aşamaları uygulanır
Tasarım döngüleri ve tasarımın dondurulması	
Bir veya iki tasarım döngüsü, üretim başlamadan veya ilk çeyrekte önce dondurulur	2-4 tasarım döngüsü, üretim safhasının ikinci veya üçüncü çeyreğinde dondurulur
İletişim şekli ve sıklığı	
Genellikle resmi düzeyde az iletişim, önceden belirlenmiş seyrek toplantılar	İletişim sıklığı ve bilgi akışı yüksek, resmi olmayan iletişim çok fazla
Liderin özellikleri ve çalışanların türü	
Yönetim kabiliyeti yüksek lider, işçiler ve bazı akademisyenler	Teknik bilgisi yüksek lider, Profesyonel çalışanlar ve akademisyenler
Yönetim şekli	
İlk planlamaya dayalı katı yönetim, değişim yok veya çok az	Esnek yönetim, değişime sürekli olarak hazır

İkinci sebebe ilişkin olarak Perminova ve diğer. (2008), risk veya fırsatlar doğurabilen proje değişkenlerini iç ve dış durum (kontekst) üzerinden değerlendirmektedir. İç durum belirsizlikleri daha çok sistemin yapısal karmaşasından kaynaklanırken, dış durum belirsizlikleri ise çevresel koşullardan kaynaklanmaktadır. Bu tür dinamik belirsizlikler öngörülebilir veya öngörülemez olabilir, projenin yaşam döngüsü boyunca yeni değişkenler ortaya çıkabilir veya var

olanların ihtimali ve etkisi değişebilir. İç ve dış durum, "ISO 31000:2009" içerisinde şu şekilde açıklanmaktadır:

- Dış durum, “organizasyonun hedeflerini ulaşmaya çalıştığı dış çevre” dir. Kültürel, toplumsal, politik, yasal, düzenleyici, finansal, teknolojik, ekonomik, doğal yaşam ve ticari rekabet çevreleri bunlardan bazılarıdır. Bu çevrelerin boyutu uluslararası, ulusal, bölgesel veya yerel düzeyde olabilir. Ayrıca, dış paydaşların algı ve değerleri ve bunlar arasındaki ilişkiler de dış durum etkenleridir.
- İç durum, “organizasyonun hedeflerini ulaşmaya çalıştığı iç çevre” dir. Bunlardan bazıları;
 - Yönetimsel ve organizasyonel yapı, rol ve sorumluluklar,
 - İlke, amaç ve stratejiler,
 - Kaynak ve deneyim anlamında yeterlilikler (sermaye, zaman, insan, süreçler, sistemler ve teknolojiler),
 - Bilgi sistemleri, bilgi akışları ve karar verme süreçleri (resmi veya resmi olmayan),
 - İç paydaşlar arasındaki ilişkiler ve bunların algı ve değerleri
 - Organizasyonun kültürü,
 - Organizasyonca uygulanan standartlar, prensipler ve modeller,
 - Sözleşmesel ilişkilerin biçim ve kapsamı.

Belirsizliğin kaynaklarına ilişkin olarak tüm bu açıklamaları destekler ve de tamamlar nitelikte Ward ve Chapman (2003) bir liste oluşturmaktadır ve Atkinson ve diğer. (2006) de bu listeyi üç ana başlıkta toparlamaktadır; tahminlere ilişkin belirsizlikler, proje taraflarına ilişkin belirsizlikler ve proje yaşam döngüsünün aşamalarına ilişkin belirsizlikler.

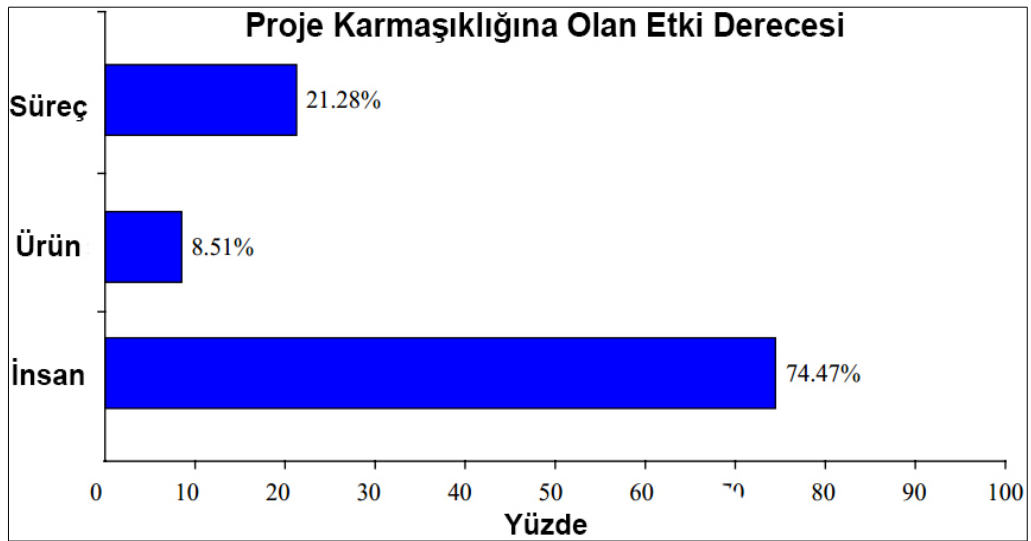
- Tahminlere ilişkin belirsizlikler
 - Tahminlerin temeline ilişkin belirsizlikler: Yeterli bilginin eksikliği

durumunda tahminlerin öznel bir şekilde yapılmasından kaynaklanan belirsizliklerdir. Bu öznellik, tahminleri kimin yaptığına (aktör grubunun yapısı, deneyim seviyesi), nasıl yaptığına (yöntemler, kullanılan kaynaklar, önyargılı veya taraflı olarak yapılan iyimser veya kötümser yorumlamalar) ve ne zaman yaptığına (zamansal değişimler) göre değişebilmektedir.

- Tahmin değişkenleri: Projeye ilişkin parametrelerin (zaman, maliyet, kalite vb.) doğru değerlendirilememesi konusundaki belirsizliklerdir. Temelde “bilinebilir bilinmeyenler” ve “bilinmeyen bilinmeyenler” üzerinden açıklanabilecek bu durumun bazı sebepleri şunlardır; neye ihtiyaç duyulduğuna dair tanımların açık olmaması (hedeflerin belirsizliği), bir eylemin yenilik barındırması veya eyleme ilişkin deneyim eksikliği, etkenlerin ve ilişkilerin çokluğundan kaynaklanan karmaşıklık (yapısal karmaşa), sürece ilişkin analizlerin yetersizliği, eylemler üzerine etki edebilecek muhtemel olay ve durumlar (riskler).
- Proje taraflarının temel ilişkilerine yönelik belirsizlikler: İnsanların, iş birimlerinin ve organizasyonların çokluğunun ve bunların yazılı veya sözlü ilişkilerinin beraberinde getirdiği belirsizliklerdir. Bunlardan bazıları şunlardır; rol ve sorumlulukların tanımlanması ve algılanması, iletişim, tarafların yeterlilikleri, sözleşme durumları, koordinasyon ve kontrol mekanizmaları. Ayrıca, tarafların süreç içerisindeki performansları, amaç ve motivasyonları, yapılan işin uygunluğu ve kalitesi, gerçekte olan yeterlilikleri ve tarafların amaçlarının örtüşmemesi de etkindir. Projenin birden fazla organizasyon barındırması ve bu organizasyonların farklı performans kriterlerine, bilgi düzeylerine, algılara ve önceliklere sahip olmaları, süreç içerisindeki riskleri de farklı algılayıp, değerlendirip yönetebilmelerine sebep olabilir.
- Proje yaşam döngüsünün aşamalarına yönelik belirsizlikler: Öncelikle tasarımın yeterince olgunlaştırılmamış ve planlanmamış olmasından kaynaklanan belirsizliklerdir. Örneğin; tasarım ve lojistik belirsizlikleri,

üretimden önceki planlama esnasında büyük oranda giderilebilecek belirsizliklerdir. Neyin, ne zaman, nasıl, kim tarafından, hangi maliyetle yapılacağı eğer tanımlanmazsa, projenin tüm yaşam döngüsü boyunca belirsiz olarak kalabilir. Ayrıca, amaç ve önceliklerin belirsizliği de projenin temelini oluşturan ve tüm proje aşamalarına yansıyan belirsizliklerdir. Bu tür belirsizlik yüksek olduğunda, tahminlere ilişkin belirsizlikler de yüksek olacaktır. Planlama sürecinden kaynaklanan belirsizliklerin yanı sıra, tüm proje safhalarında etkiyen riskler de bir başka unsurdur.

Sonuç olarak, yapısal karmaşa karmaşıklığın temelini oluşturan bileşendir fakat bu bileşenin etkisini güçlendiren ise süreç içerisindeki dinamiklik ve belirsizliktir. Azim ve diğer.'nin (2010) karmaşıklığa etki eden faktörlerin ağırlıklarını belirledikleri diyagramda görüldüğü üzere (Şekil 3.25), proje ürününün karmaşıklığa etkisi en az iken dinamik belirsizliklerin en yoğun olduğu süreç ve de özellikle “insan” ise karmaşıklığı en fazla sürükleyen etkenlerdir. bu açıdan insanların kabiliyetleri, davranış karakterleri, iletişim ve öğrenme yetileri, takım çalışmasına yatkınlıkları, uzlaşma eğilimleri, profesyonellik ve etik değerleri gibi unsurlar, karmaşık bir projenin yönetimini zorlaştıran ana sebepler arasındadır.



Şekil 3.25 Azim ve diğer.'ne (2010) göre karmaşıklığa etki eden faktörlerin ağırlıkları

Son olarak, Geraldi ve Adlbrecht (2007) projenin yönetim süreci ile dinamizm ve belirsizlik düzeyi arasında şu üç ilişkiyi kurmaktadır:

- Problemi çözmeye ilişkin deneyim ne kadar düşük ise, çözüme ulaşma yolu da o kadar bulanık hale gelir, karmaşa artar.
- Durum üzerinde anlaşılamadığı, iletişimin koptuğu, güvenin sarsıldığı kriz anlarında karmaşa artar.
- Zaman ne kadar kısıtlı olursa, çözüm ihtimallerini gözden kaçırma ihtimali de o kadar yükselir, yani karmaşa artar.

Buradaki üçüncü önermeden çıkışla, bir sonraki başlık altında incelenen süreç temposu ile dinamik belirsizliklerin bağıntılı olduğu unutulmamalıdır. Zaman, tempo, dinamiklik ve belirsizlik kavramları birbiri ile iç içedir.

3.3.1.3 Süreç Temposu

Üretim, ürün geliştirme, inovasyon ve benzer birçok faaliyette eylemlerin temposunun yukarıya çekilmesi özellikle rekabet koşulları gereğince başlıca hedeflerden birisidir. Bu durum, sürecin bütününe veya parçalarının hızını, aciliyetini ve kritikliğini arttırmaktadır. Williams (1999) tarafından da belirtildiği gibi, bir görevin sürekli olarak nasıl daha kısa sürede gerçekleştirilebileceğine yönelik baskı proje yönetimini de giderek karmaşıktırmaktadır, çünkü aynı görevi daha kısa bir zaman dilimi içerisinde karşılayabilme çabası yapısal karmaşanın ve dolayısıyla da dinamik belirsizliklerin etkisini güçlendirmektedir. Yapısal karmaşanın bir bileşeni olan elemanlar arası ilişkiler süre sıkıştırıldıkça daha fazla yoğunlaşmaktadır, bu yüzden herhangi bir değişimin de geribildirim olması gerekenden daha yüksek olabilmekte, küçük değişimler büyük ve yıkıcı etkilere yol açabilmektedir (Williams, 2005). Ayrıca, proje için gerçekçi bir süre planlamasının yapılmaması veya süreç esnasında planlanandan daha erken tamamlanmasına karar verilmesi gibi etkenler de benzer sonuçlara sebep olabilmektedir (Xia ve Chan,

2012). Tüm bu durumlar, normalde basit bir durum olarak yönetilebilecek bir projeyi zaman baskısı altında belirsizliklerle dolu, değişken ve karmaşık bir yapıya dönüştürebilmektedir.

Bir projenin neden hızlandırılmak istendiğini ve bu isteğe karşı ne tür engeller ile karşılaşıldığını Gupta ve Wilemon (1990) şu şekilde sıralamaktadır:

- Hızlandırma yönündeki sebepler: En önemli etkenler, artan rekabet ve hızlı teknolojik değişim olarak gösterilirken, diğer sebepler ise pazar talepleri, üretim hedefleri, yönetim baskısı, ürün yaşam döngüsünün kısalması ve yeni pazarların ortaya çıkmasıdır.
- Hızlandırma yönündeki engeller: En önemli etkenler, ürün gereksinimlerinin doğru tanımlanmamış olması ve teknolojik belirsizlikler olarak gösterilirken, diğer sebepler ise yönetim desteğinin eksikliği, kaynakların eksikliği ve zayıf proje yönetimidir.

Eisenhardt ve Tabrizi (1995), bir projenin nasıl hızlandırılabilirine ilişkin organizasyonel düşünceyi literatürdeki iki görüş farklılığı üzerinden tanımlamaktadır. Bunlardan birisi, süreç içerisindeki faaliyetlerin oldukça belirli olduğu varsayımına dayanan sıkıştırma (*compression*) stratejisi, bir diğeri ise bu faaliyetlerin yüksek derecede belirsizlik taşıdığı varsayımına dayanan deneyimsel (*experiential*) stratejidir.

- Sıkıştırma stratejisi: Sürecin oldukça iyi anlaşılmış, tanımlanmış, tahmin edilebilir ve takip edilebilir bir aşamalar dizisi olduğu varsayılır. Amaç, bu aşamaları iyi bir planlamaya tabi tutmak ve sonrasında da olabildiğince sıkıştırarak sürecin uzunluğunu kısaltmaktır.
- Deneyimsel strateji: Sürecin tahmin ve takip edilebilirlikten uzak, belirsiz olduğu varsayılır (örneğin eylemlerin bulanıklık içermesi, pazarın ve teknolojilerin sürekli bir değişim halinde olması gibi). Bu yüzden, bu tür

dinamik bir ortam ile baş edebilmek için sezgisel becerilere, odaklanmaya ve motivasyona önem verilir. Çözüm olarak gerçek zamanlı deneyim, esneklik ve bazı durumlar için de doğaçlama ön planda tutulur.

Bir sürecin aslında bütünüyle belirli veya belirsiz olamayacağı da göz önünde bulundurulmalıdır. Başından sonuna dek tamamıyla planlanmış bir sürecin bile hem iç hem de dış etkenlerce sürekli olarak aksaklıklara veya değişimlere maruz kalabileceği, öte yandan ise bir sürecin tamamıyla gelişigüzel bir şekilde ilerleyemeyeceğinden dolayı da her zaman için bir miktar belirlilik arayışının içinde olunacağı düşünülürse, bu iki strateji türünün de öne sürdüğü düşüncelerin bir projenin yönetim şeklinin bir parçası olabileceği düşünülebilir.

Clift ve Vandenbosch (1999), farklı karmaşıklık düzeyindeki ve farklı süreç uzunluklarındaki projelerde süreç temposuna yönelik baskının yansımalarını inceledikleri çalışmalarında bir takım sorular üzerinden şu sonuçları çıkarmaktadırlar:

- Sürecin aşamaları nasıl şekillendirilmektedir? Kısa dönemli basit projelerde, aşamalar iyi tanımlanmıştır ve bu aşamaların sıkıştırılması hedeflenmektedir. Eş zamanlı olarak gerçekleştirilen aşamalar daha azdır ve her aşamanın sonunda bir sonraki aşamaya geçiş için lider tarafından onay istenir (bu safha aşama kapısı olarak isimlendirilmektedir). Kısa dönemli karmaşık projelerde, aşamalar olabildiğince paralel olarak gerçekleştirilmektedir ve süreç kapıları da mümkün ise atlanmaktadır. Uzun dönemli projelerde ise sürecin zaten uzun olduğu algısı, tempo baskısını azaltmakta ve geleneksel proje yönetim metotlarına bağlı kalınmaktadır.
- Liderlik biçimi nasıldır? Kısa dönemli basit projelerde, otokratik liderler daha baskındır. Tamamıyla tanımlanmış hedefler doğrultusunda hareket edilir ve lider bu hedeflerin yerine getirilmesinden sorumludur, aşama kapılarında karar lider tarafından verilir. Kısa dönemli karmaşık projelerde ise katılımcı

yönetim biçimi öne çıkmaktadır. Ekip üyelerinin fikirlerine ve çözüm konusundaki yaratıcılıklarına önem verilir. Bu sebepten dolayı da bağımsız olarak kararlar alabilen ekip çalışanları ile disiplini korumak zorunda olan lider arasında ayrı bir yönetim sınıfına (*senior management*) ihtiyaç duyulur. Uzun dönemli projelerin yönetimi de daha çok otokratiktir, fakat süreç daha esnektir.

- Tüketici katılımı nasıldır? Tüketicinin sürece katılımı doğrudan karmaşıklık ile doğru orantılıdır. Kısa dönemli karmaşık projelerde, müşteri sürecin en başından dahil olur ve sık olarak süreç içerisinde bulunur. Diğer türlerde ise tüketici kısıtlı olarak sadece belirli aşamalarda katılım sağlar, genellikle tasarım sürecinin sonunda görüş bildirir.
- Tedarikçi katılımı nasıldır? Sürecin çekirdek ekibinin haricinde bir çalışma grubunun projeye dahil olması da doğrudan karmaşıklık ile bağdaştırılmaktadır. Karmaşık projeler içerisinde uzmanlık bilgisi gerektiren eylemlerin yürütülmesi için tedarikçilere daha çok ihtiyaç duyulur ve bu tedarikçiler sürecin bütünleşik bir parçası olarak projenin içerisine dahil edilirler.

Bu sonuçlar bir tablo altında toparlandığında (Tablo 3.6), uzun dönemli projelerin daha çok kısa dönemli basit projeler ile benzeştiği görülmektedir. Bu durum, sürecin zamana yayılmasının karmaşıklık düzeyini azalttığı şeklinde yorumlanabilir. Sürecin aciliyeti arttıkça proje daha karmaşık bir hale evrilmekte ve bu yönde bir yönetim anlayışı gerektirmektedir, sürecin aciliyeti azaldıkça ise yönetim anlayışı basit projelerdekine benzemeye başlamaktadır.

Tablo 3.6 Clift ve Vandenbosch'un (1999) farklı karmaşıklık düzeyleri ve farklı süreç uzunlukları arasındaki ilişkiye yönelik raporu

Kısa dönemli basit proje	Kısa dönemli karmaşık proje	Uzun dönemli proje
Sürecin aşamaları nasıl şekillendirilmektedir?		
Aşamaların içerisindeki eylemlerin sıkıştırılması, Aşamaların sınırlı kesişimi	Aşamalar arasında karar verme sürecinin atlanması, Aşamaların fazlaca kesişimi	Geleneksel süreç yönetim metodlarının kullanılması
Sürecin yönetiminde liderlik biçimi nasıldır?		
Deneyimli, otokratik lider, tanımlı olan sürece tam uyum	Ekip kurma becerisine sahip katılımcı lider, yüksek üst yönetim katılımı	Deneyimli, otokratik lider, tanımlı olan sürece tam uyum, kısıtlı üst yönetim katılımı
Süreç içerisinde tüketici katılımı nasıldır?		
Kısıtlı tüketici katılımı, deneme testinde veya son üründe	Sürecin başlangıcından itibaren sıklıkla başvurulur	Kısıtlı tüketici katılımı, sürecin son aşamalarında
Süreç içerisinde tedarikçi katılımı nasıldır?		
Kısıtlı tedarikçi katılımı önem derecesi düşük eylemlerde	Sürecin bütünlük bir aktörü olarak kullanılır	Çok fazla başvurulmaz
Harici ekip çalışanlarına ihtiyaç duyulmakta mıdır?		
Çok fazla başvurulmaz	Uzmanlık isteyen eylemler için sıkça kullanılır	Çok fazla başvurulmaz, genellikle sadece bir şamada

3.3.2 Proje Yönetimi Açısından Karmaşıklığın Ölçülmesi

Proje yönetimine ilişkin karmaşıklığın tanımlanması ve etki eden karmaşıklık faktörlerinin belirlenmesi, teorik bir altyapı sunmaktadır. Fakat bunun pratik anlamda faydalı olabilmesi için, tüm bu bilgilerin karmaşıklığın yönetilebilmesi konusunda kullanışlı bir çerçeveye oturtulması gerekmektedir (Azim ve diğer., 2010). Bu tür bir çerçeve ile hedeflenenlerden birisi de karmaşıklığın ölçülebilmesidir. Karmaşıklığı ölçmenin sağlayabileceği faydalardan bazıları şunlardır (Sinha ve diğer., 2006; Remington ve Pollack, 2007; Wood ve Ashton, 2010; Bosch-Rekveltd ve diğer., 2011; Xia ve Chan, 2012; Luo ve diğer., 2017):

- Bir projenin karmaşıklık düzeyini ve bu düzeye hangi unsurların daha fazla etkide bulunduğunu anlayabilmek,
- Farklı projeleri karmaşıklık açısından karşılaştırabilmek,

- Proje sürecine ilişkin karmaşıklığın paydaşlarca projenin erken aşamasında daha iyi kavranabilmesini sağlayabilmek,
- Proje karmaşıklığının daha iyi anlaşılmasını sağlayabilmek,
- Projenin yönetilmesi konusunda doğru araçların ve yaklaşımların kullanılmasına yardımcı olabilmek,
- Doğru karar alma ve planlamaya katkıda bulunarak karmaşıklığın olumsuz etkilerini azaltabilmek.

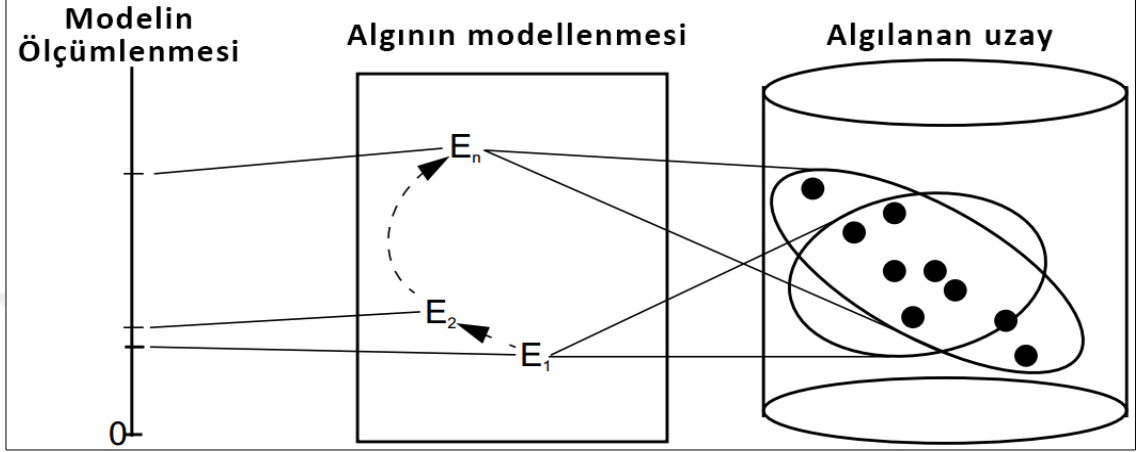
Bu konuda öncelikli olarak ön plana çıkan soru şudur; "Karmaşıklık ölçülebilir midir?" (Dao, 2016). Bir projenin ne kadar zorlu veya karmaşık olduğunu büyüklüğü ve maliyeti üzerinden ölçmek yeterli olmayabilmektedir (Remington ve diğer., 2009). Karmaşıklık, gerçek hayatta karşımıza çıkan öznel bir deneyimdir ve bu olguyu bir model ile tanımlayıp ölçebilmek oldukça güçtür. Edmonds, (1999, s.72) bunun sebebini şu şekilde ifade etmektedir: "Karmaşıklık, bir modelin atomik birimleri ve bunların ilişkileri hakkında makul düzeyde bilgi sahibi olunmasına rağmen tüm davranışlarının belirli bir dil altında formüle edilebilmesini güçleştiren özelliğidir."

Karmaşık projelerde "bilinemeyen bilinmeyenler" ile uğraşılıyor olması, projenin bütün bileşenleri ile birlikte bir sistem modeli altında ele alınabilmesini imkansız kılmaktadır. Ayrıca bilinememe gücü, oluşturulacak olan modelin nesnellüğünün de kaybolmasına sebep olmaktadır, çünkü aynı karmaşık sistem farklı kişilerce farklı modellemeler altında farklı biçimlerde yorumlanabilmektedir. Bu yorumlama farkına sebep olan katmanlaşma "Şekil 3.26" içerisinde gösterilmektedir.

- Katman 1 – Algılanan uzay, dinamik bir yapıya sahiptir, bu yüzden bu uzayın karmaşıklık durumu (karmaşıklığa sebep olan unsurlar) da sürekli bir değişim halindedir.
- Katman 2 – Algının modellenmesi, algılayıcının algılanan uzaydan edindiği ve modele yansıttığı bilgi ile bağıntılıdır. Karmaşık bir sistemin tüm bilgi

içeriğinin yansıtılabilmesi mümkün olmadığı için, algılayıcı sadece algılayabildiği ve bunlar içerisinde önemli bulduğu bilgileri aktarmaktadır.

- Katman 3 – Modelin ölçümlenmesi, oluşturulan sistem modelinin biçimine ve ölçüm yöntemlerine göre farklılık gösterebilmektedir.



Şekil 3.26 Karmaşıklık modelinin katmanları (Edmonds, 1999)

Projelerin karmaşıklık düzeylerini değerlendirebilmek konusunda iki yol olduğu söylenebilir; belirli kriterlere göre projeler için sınıflandırmalar oluşturmak (basit, komplike, kompleks, kaotik gibi) veya tüm projelerin belirli düzeyde karmaşıklık barındırdığını varsayarak projelerin karmaşıklık düzeyini ölçmek (az karmaşık, çok karmaşık gibi). Karmaşıklığın ölçülmesi konusunda göz önünde bulundurulan ikinci seçenektir. Vidal ve Marle (2008), bu amaçla oluşturulacak olan bir ölçüm modelinin kullanıcısı açısından sahip olması gereken özellikleri şu şekilde sıralamaktadır:

- Geçerliliğinin ve güvenilirliğinin olması,
- Gerekli olan tüm önemli karmaşa elemanlarını barındırmalı,
- Gerekli olmayan detaylardan arındırılmış olması,
- Anlaşılır olması,
- Hesaplamaya elverişli olması.

Proje karmaşıklığının ölçülmesine yönelik literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, şu temel yaklaşımlar gözlenmektedir:

- Mevcut bilimsel literatüre dayanarak tanım ve unsurlara ilişkin bir temel oluşturulması,
- Oluşturulan temel doğrultusunda bir ölçme modelinin belirlenmesi, karmaşıklığın gerçek yaşamdaki etkilerini ve sebeplerini gözlemlemek amacıyla bilgi toplanması,
- Toplanan bilginin değerlendirilmesi, karmaşıklık unsurlarının ağırlıklarının saptanması ve bir sonuç çıkarılması,
- Ulaşılan sonucun doğruluğunun test edilmesi.

Literatürde saptanan ölçme yöntemleri, genellikle anket çalışmaları ile matematiksel hesaplamaların bir karışımıdır. Anket çalışması ile hedeflenen karmaşıklığın niteliksel etkilerini saptamak iken, matematiksel hesaplamalar ile niceliksel sonuçlara ulaşmak istenmektedir. Bazı örnek çalışmalar “Tablo 3.7” içerisinde sunulmaktadır. Örneğin bu tabloda yapı endüstrisine yönelik olarak Xia ve Chan (2012) tarafından yürütülen Delphi çalışmasına göre yapı üretiminin karmaşıklığına en fazla etki eden faktörler ağırlık sıralamasına göre şu şekildedir:

- Yapı fonksiyonları ve strüktürü; inşa edilebilirlik, özelleşmiş fonksiyonlara ilişkin yüklenicilerin bilgi ve kabiliyetleri vs.
- İnşaat yöntemi; üretime ilişkin teknikler ve süreçler, özelleşmiş ekipler, kalifiye insan kaynağı vs.
- Projenin aciliyeti; eylemlerin zamanlarının örtüşmesi, kaynakların zamanlamasının zorlaşması vs.
- Proje büyüklüğü ve ölçeği; yeterli kaynağın mevcudluğu, yönetimin ve koordinasyonun karmaşıklaşması, yüklenici ve kontrat sayısının artması vs.
- Jeolojik durum; arazi çalışmaları, arazi yapısına ilişkin belirsizlikler ve tahmin edilemezlikler vs.

- Yakın çevre; konum ve erişilebilirlik, spesifik çevre koşulları (tarihi, ekolojik gibi), hava durumu vs.

Tablo 3.7 Literatürde karmaşıklığın ölçülmesine yönelik yapılan çalışmalarda uygulanan yöntemler

N o	Yazar(lar) (Tarih)	Karmaşıklığın ölçülmesinde kullanılan yöntem
1	Vidal ve diğer. (2011a ve 2011b)	Öncelikli olarak literatür araştırmasına dayanan bir karmaşıklık unsuru listesi hazırlanmaktadır. Bu liste, ilgili alanda akademideki ve endüstrideki kişiler ile yapılan bir anket çalışması ile sadeleştirilmektedir. Bu sadeleştirme için bir Delphi analizi kullanılmaktadır. Sadeleştirilen listedeki unsurların AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>) yöntemi ile ağırlıkları hesaplanmaktadır. Son olarak ise, elde edilen sonuçların doğruluğu bir proje üzerinde test edilmektedir.
2	Xia ve Chan (2012)	Yapı projelerine yönelik bir ölçüm yapılmaktadır. Literatürden elde edilen unsurlar, anket çalışması ile yürütülen üç aşamalı bir Delphi analiziyle arındırılmakta ve yapı endüstrisine yönelik hangi unsurların daha ön planda olduğu saptanmaktadır.
3	Qing-hua ve diğer. (2012)	Literatürden derlenen karmaşıklık unsurları üzerinden bir anket çalışması yürütülmektedir. Elde edilen sonuçlar, niteliksel açıdan AHP yönteminden daha iyi sonuçlar sağladığı belirtilen ANP (<i>Analytic Network Process</i>) yöntemi ile değerlendirilmekte ve unsurların ağırlık dereceleri çıkarılmaktadır.
4	He ve diğer. (2015)	Yapı sektöründeki megaprojeler üzerine bir ölçüm yapılmaktadır. Literatürden elde edilen altı ana grupta toplanmış 28 karmaşıklık faktörü iki aşamalı bir Delphi analizi yürütülerek geliştirilmektedir. Sonrasında, bu listedeki unsurların FANP (<i>Fuzzy Analytic Network Process</i>) yöntemi ile ağırlık dereceleri çıkarılmaktadır.
5	Lu ve diğer. (2015)	ProjectSim isimli bir program ile karmaşıklığa ilişkin unsurlar haritalandırılmakta ve bu çalışma üzerinden 12 hipotez öne sürülmektedir. Daha sonra bu hipotezler, Shanghai World Expo'nun inşaat projesinin danışmanlarının yardımı ile doğrulanmaktadır.
6	Nguyen ve diğer. (2015)	Ulaşım projelerinin karmaşıklığı ölçülmektedir. Literatürden ve sektör uzmanlarından elde edilen unsurlar, bir anket çalışması yürütülerek arındırılmaktadır. Daha sonra, unsurların ağırlıkları FANP yöntemi ile saptanmaktadır.
7	Qureshi ve diğer. (2015)	Karmaşıklığın ölçümü için proje elemanları arasındaki ilişkileri ve parametreleri haritalandırmayı sağlayan "Yapısal Eşitlik Modellemesi" (<i>Structural Equation Modelling</i>) yöntemi kullanılmaktadır.

3.3.2 Proje Karmaşıklığının Yönetilmesi Üzerine Düşünceler

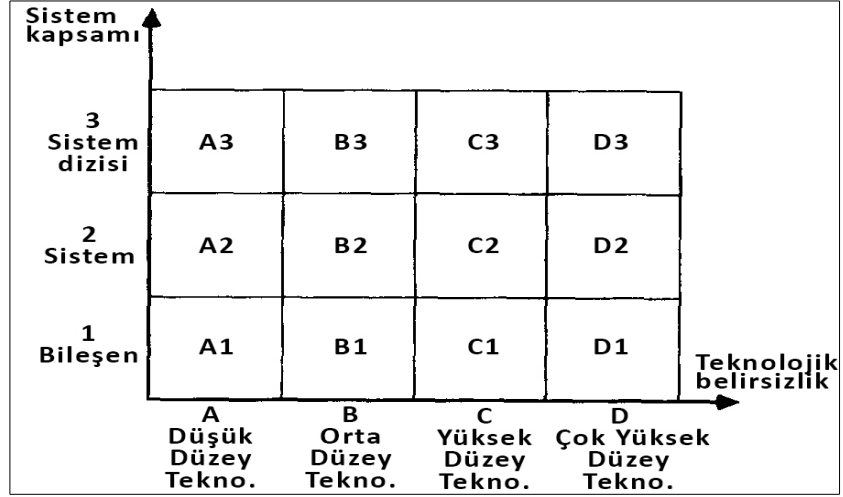
Karmaşık projelerdeki başarısızlıkların sebepleri olarak projenin uygun biçimde yönetilememesi, kontrol edilememesi, amaçların bütünüyle belirlenmemiş olması, iletişim eksiklikleri, projenin karmaşasının küçümsenmesi, riskli veya denenmemiş teknolojilere başvurulması, zamanlama sorunları gibi birçok etmen sıralanmaktadır

(Ribbers ve Schoo, 2002; Tatikonda ve Rosenthal, 2000). Tüm bu sorunların üstesinden gelebilmek, projeyi hedeflerinden uzaklaştırabilecek olası riskleri azaltabilmek ve süreci başarılı bir şekilde yürütebilmek için doğru yönetim planlarının oluşturulması gerekmektedir.

Proje karmaşıklığının yönetilmesine yönelik olarak ilk öne çıkan görüş, klasik proje yönetiminin temel prensiplerine olan karşılıktır. Boulding'in (1956) "Genel sistemler teorisi" makalesine dayanan ve karmaşık sistemler yaklaşımının proje yönetimi alanında yankı bulmasından önce ilişkin uluslararası kuruluşlarca da desteklenen bu prensiplere göre, tüm projeler evrensel olarak benzer yapısal özellikler barındırırlar ve bu yüzden de belirli bir standart proje yönetim modeli altında yönetilebilirler (Little, 2005). "İyi uygulama, en iyi uygulamadır" (*good practice is best practice*) ifadesi ile özdeşleşen bu klasik görüşün anlamı, bir organizasyonu başarıya götürecek olan yolun uzman kurumlar tarafından üzerinde uzlaşmış olan proje yönetim modeli olduğudur. Örneğin PMI'nın 1987 yılı PMBOK yayınında şu ifade yer almaktadır, "Bütün projelere benzer biçimde davran ve projenin yönetimi için gerekli olan evrensel görevleri, araçları ve teknikleri tanımla.".

Oysa ki bu tür bir evrensel yaklaşım, gerçek yaşam ile bağdaşmamaktadır. Shenhar ve Dvir (1996) farklı tür projelerin büyüklük, zaman aralığı, endüstri ve müşteri profili gibi birçok yönden farklılıklar gösterebileceğini, bu bağlamda farklı düzeyde karmaşıklık ve belirsizlik barındırabileceğini ve dolayısıyla da farklı tür yönetim ve uygulama biçimlerini gerektirebileceğini belirtmektedir. Örneğin bu bakış açısına göre, bir yüzme havuzu inşa etmek ile deniz altı tüneli inşa etmek aynı bakış açısıyla ele alınamaz. Daha sonra bu görüş, "*Toward a typology of project-management styles*" (Shenhar, 1998) ve "*One size does not fit all*" (Shenhar, 2001) makaleleri ile genişletilmekte ve farklı tür projelerin nasıl sınıflandırılacağına yönelik olarak bir taksonomi (Şekil 3.27) oluşturulmaktadır. İki boyuttan oluşan bu taksonominin bir boyutu teknolojik belirsizlik (teknolojilerin bilinirliği ve uygulanıp

test edilmişliği) iken, diğeri ise sistem kapsamıdır (yapısal karmaşa). Taksonomi içerisinde oluşan türlere ilişkin bazı örnekler Tablo 3.8 içerisinde gösterilmektedir.



Şekil 3.27 Shenhar ve Dvir (1996) tarafından ortaya koyulan proje taksonomisi

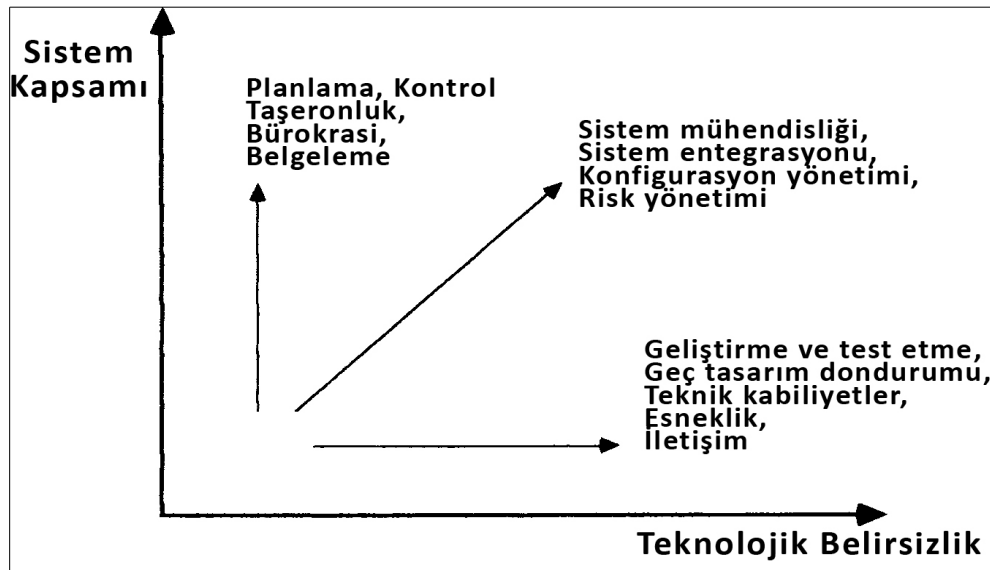
Tablo 3.8 Shenhar ve Dvir'in (1996) proje taksonomisi için verdiği bazı örnek projeler

A1	Standart bir tuğla üretimi
A2	Bir konutun inşaat projesi
A3	New York metro sisteminin modernizasyonu
B1	Yeni bir yazıcı modelinin geliştirilmesi
B2	Yeni bir araba modelinin geliştirilmesi
B3	Manş Tüneli inşaatı
C1	1970 VCR aygıtlarının geliştirilmesi
C2	İlk geliştirilen kişisel bilgisayarlar
C3	Ay üzerinde bir uzay üssü kurmak
D1	Uzay sondalarının üstün teknoloji bir bileşeni
D2	Üstün teknoloji bir savaş uçağının geliştirilmesi
D3	ABD füze savunma sistemi (SDI)

Bu taksonomiden de anlaşılacağı üzere, tüm projeler evrensel olarak tektip bir biçimde tanımlanamayacağı gibi tüm projeler için evrensel tektip bir yönetim biçimi de uygulanamaz. Shenhar'a (1998) göre bir projenin başarılı olabilme ihtimali, projenin bu sınıflandırma içerisinde nerede durduğuna ve bu doğrultuda nasıl yönetildiğine bağlıdır.

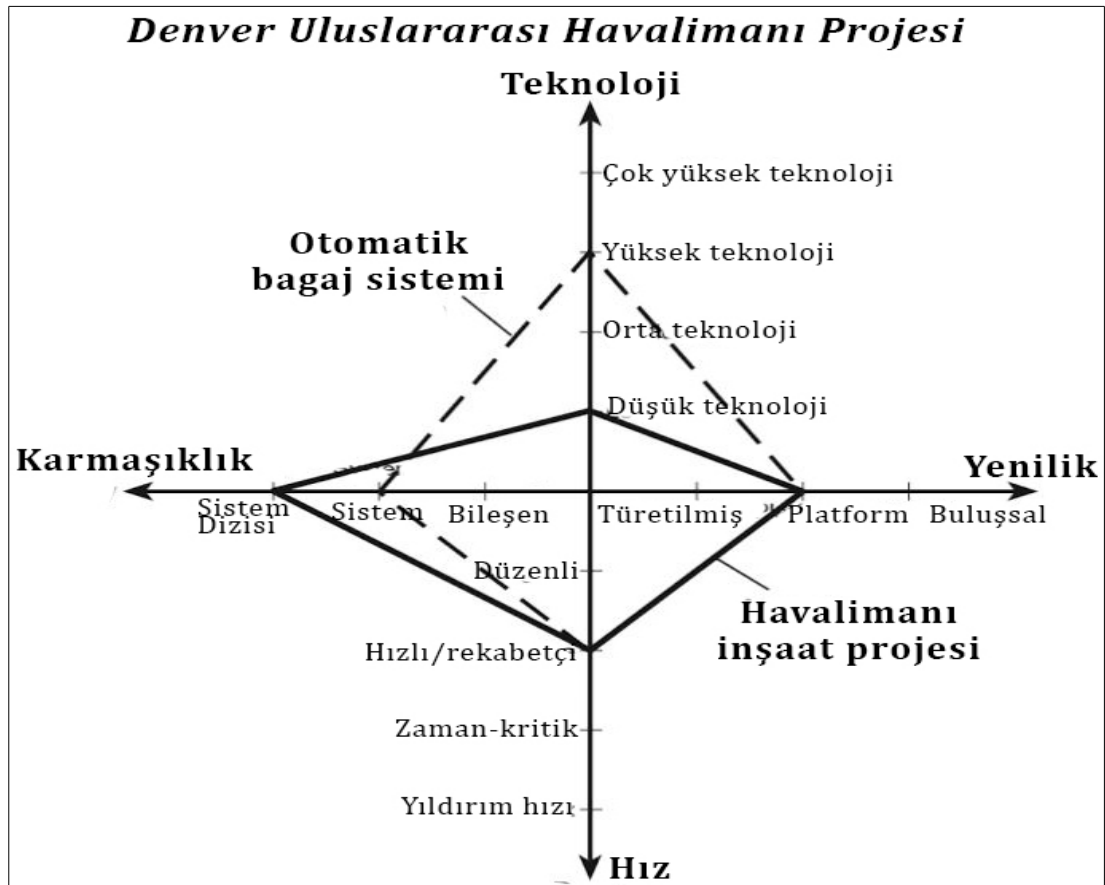
Evrensellik görüşüne olan bu karşıtlık, benzer düşünceleri öne süren olumsuzluk (contingency) teorisi ile bağdaştırılmaktadır (Shenhar, 2001). Bu teoriye göre organizasyonun başarısı, iç (yapısal) ve dış (çevresel) değişkenlere nasıl tepki verdiği ve organizasyonun süreklilik gösteren değişime sürekli bir biçimde uyum sağlayabilmesi ile ilişkilidir. Bu teoriyi temellendiren isimlendirden olan Burns ve Stalker (1961), organizasyonu mekanik ve organik olarak iki gruba ayırmaktadır. Mekanik organizasyon resmi, merkezi, özelleşmiş ve bürokratiktir, çok fazla yetki (otorite) seviyesi barındırır ve iletişim miktarı azdır. Bu tür organizasyonlar basit, stabil ve belirlilik seviyesi yüksek olan çevrelerde işlenmeye daha yatkındır. Organik organizasyon ise tam tersi biçimde resmi olmayan, dağınık, otorite seviyesi az, geniş kapsamda çalışılan ve iletişimin yüksek olduğu organizasyonlardır. Bu tür organizasyonlar daha çok karmaşık ve belirsizlik seviyesi yüksek çevreler için uygundur.

Olumsuzluk teorisi bağlamında Shenhar'ın taksonomisinde herhangi bir boyuttaki ilerleme, projenin mekanikliğini veya organikliğini değiştirmekte ve dolayısıyla proje için gerekli olan yönetim biçimini de farklılaştırmaktadır. Şekil 3.28 içerisinde hangi boyuttaki bir ilerlemenin hangi durumlara yol açacağı gösterilmektedir.



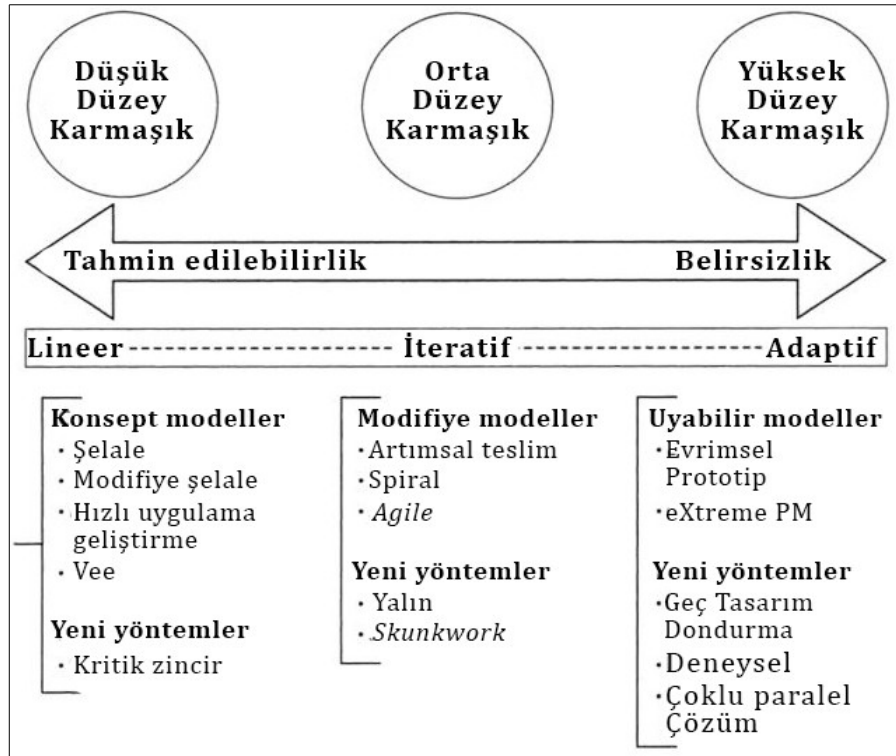
Şekil 3.28 Bir projenin taksonomisinin herhangi bir boyutundaki ilerlemesinin etkileri (Shenhar, 1998)

Shenhar ve Dvir (2007), bu taksonomiye “*Reinventing Project Management*” isimli kitaplarında geliştirmekte ve “Elmas Çerçeve” (*Diamond Framework*) içerisinde “yenilik, teknoloji, karmaşıklık ve hız” boyutları üzerinden yeniden tanımlamaktadırlar. Bir örnek olarak, Denver Uluslararası Havalimanı (DUH) projesi bu çerçeve altında Şekil 3.29 içerisindeki gibi tariflenmektedir. Bu proje, yapının inşaatı ve otomatik bagaj sisteminin kurulumu şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Yapının inşaatı bir sistem dizisidir ve ticari bir yapı olarak hızlı inşa edilmek istenmektedir. Ayrıca tipik bir yapı endüstrisi projesi olarak mevcut bilinen tekniklerin uygulandığı, herhangi bir araştırma-geliştirme sürecinin bulunmadığı düşük teknoloji, yenilik açısından mevcut teknolojilerin üzerine kurulu bir üretim sürecidir. Yenilik ve hız bakımından benzer olan yenilikçi otomatik bagaj sistemi ise projenin kaotikliğe sürüklenmesine de sebep olacak düzeyde yüksek teknolojidir.



Şekil 3.29 DUH projesinin “Elmas Çerçeve” içerisindeki konumu (Shenhar ve Dvir, 2007)

Elmas çerçeve, projenin hangi boyutlarının karmaşıklığa sebep olduğunun anlaşılabilmesini ve bu doğrultuda da projenin niteliklerine uygun bir yönetim biçiminin uygulanmasını amaçlamaktadır. Örneğin Hass (2009) tarafından ortaya koyulan diyagram (Şekil 3.30), ikinci amaca yönelik olarak hangi karmaşıklık düzeyleri için hangi yönetim biçimlerinin uygun olabileceğini sıralamaktadır. Elbette ki belirtilen bu iki diyagram içerisinde bir projenin nerede yer aldığının doğru bir şekilde tanımlanabilmesi için daha önce de ifade edildiği üzere karmaşıklığın doğru bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Bir diğer ifade ile projenin öncelikle karmaşıklığının değerlerinin ölçülmesi, daha sonra oluşturulan sınıflandırma çerçevesi içerisinde nerede yer aldığının tespit edilmesi ve buna göre de hangi yönetim biçiminin uygulanabileceğinin belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.30 Hass (2009) tarafından ortaya koyulan karmaşıklık yönetim çerçevesi

Literatür içerisinde karmaşıklığın yönetilmesine ilişkin olarak karşılaşılan bir başka bakış açısı ise, karmaşıklığın bileşenlerinin bir çerçeve altında tanımlayarak bu

bileşenlerden doğabilecek sorunları çözümlenektir. Bu tür çerçevelere örnek olarak aşağıdakiler sıralanabilir:

- Kagioglou (1998) – Genel Tasarım ve İnşaat Süreci Protokolü (“*Generic Design and Construction Process Protocol*” - GDCPP)
- Vidal ve Marle (2008) - ALOE (*Attributes, Links, Objects, Events*) – Nitelikler, Bağıntılar, Nesneler, Olaylar,
- Maylor ve diğer. (2008) - MODeST (*Mission, Organization, Delivery, Stakeholders, Team*) – Görev, Organizasyon, Teslimat, Yükleniciler, Takım,
- Azim ve diğer. (2010) - Üçgen modeli (Ürün, Süreç ve İnsan),
- Bosch-Rekveltd ve diğer. (2011) - TOE (*Technical, Organizational, Environmental*) – Tekniksel, Organizasyonel, Çevresel,
- Botchkarev ve Finnigan (2014) - Proje SoS modeli (Dış çevre, İç çevre ve Ürün),

Sıralanan listedeki ilk çerçeve olan GDCPP (Şekil 3.31), Salford ve Loughborough Üniversiteleri tarafından yapı endüstrisine yönelik olarak geliştirilen bir yapı üretim süreci modelidir (Kagioglou ve diğer., 2000). Yapı üretimindeki eylemlerin son derece parçalı ve kopuk olmasına bir çözüm olarak geliştirilen GDCPP modeli, süreç içerisindeki bilgi ve malzeme akışlarını diyagramlar ile net ve açık bir şekilde tanımlayarak firmaların süreç içerisinde nerede konumlandıklarını anlayabilmelerini, birbirleri arasında daha güçlü bir iletişim kurabilmelerini, daha kolay karar verebilmelerini, değer ve atık unsurlarının saptanabilmesini ve böylelikle de sürecin bütünleşik, etkin ve standart hale getirilebilmesini amaçlamaktadır (Austin ve diğer., 2002).



Şekil 3.31 GDCPP çerçevesi (Austin ve diğer., 2002)

GDCPP ile modellenen yalnızca yapısal karmaşa olsa da, bu karmaşa türü proje karmaşıklığının bütününün temelini oluşturduğu için başarılı bir organizasyon yönetimi için önemli bir ilk adımdır. Proje içerisindeki hataların ve gereksiz tekrarların azaltılması, sürecin sadece değer yaratan eylemlerden oluşturulması ve gereksiz eylemlerden arındırılması, sürecin basitleştirilmesi ve kaynak kullanımının optimal hale getirilmesi, yapısal karmaşıklığın azaltılmasını sağlayabilecek bazı stratejilerdir. Eğer yapısal karmaşıklık azaltılırsa, dolaylı olarak sisteme etkiyen diğer karmaşıklık türleri de (belirsizlik, dinamizm, süreç aciliyeti vb.) azaltılmış olacaktır. Bilinmeyenler ve değişkenler miktarı azalacağı için, proje daha kolay planlanabilir ve yönetilebilir hale gelecektir.

Bir sistemin basitleştirilmesine yönelik en temel mantık, askeriye kökenli bir yaklaşım olan "KISS" (*Keeping it Simple Stupid*) prensidir. Sistemin en sıradan insan için bile anlaşılır olması esasına dayanan bu prensip, karmaşıklık gibi tamamıyla rasyonel ilkelere dayanmayan ve bu yüzden de idrak etmesi güç olan durumlar için oldukça elverişlidir (Axelrod, 1997), örneğin karmaşık sistemlerin etmen tabanlı modellere dönüştürülerek simule edilmesinde bu prensip kullanılabilmektedir (Terano, 2008). Bu tür prensipler ile karmaşık bir sistemin (veya karmaşık bir projenin) anlaşılması, planlanması ve yürütülmesi daha kolay hale gelmektedir. Diğer taraftan dikkate alınması gereken nokta ise, Basitleştirmeye yönelik olarak bir diğer

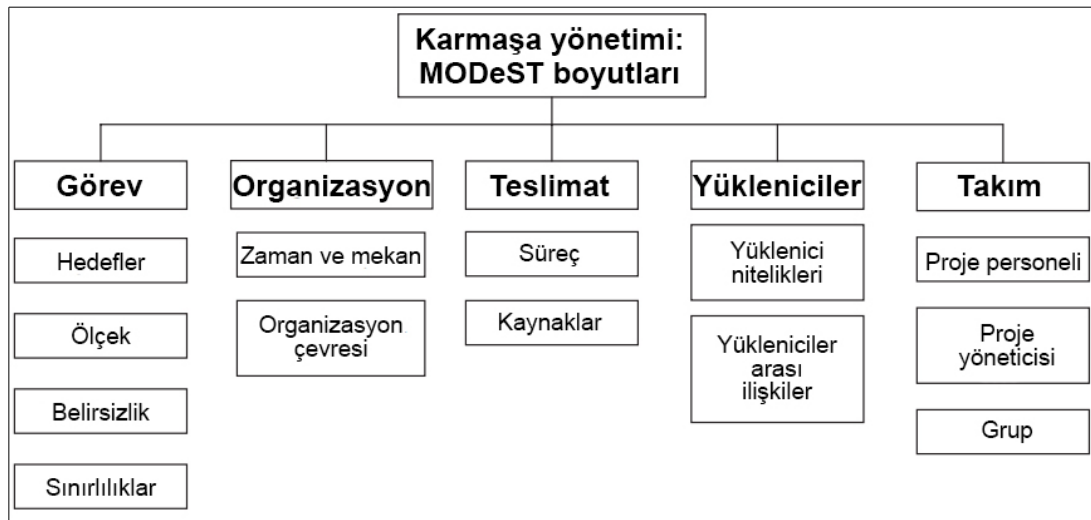
tarafından dikkat edilmesi gereken durum ise basitlik ile içerik zenginliği arasındaki ters ilişkidir (Giezen, 2012), bu yüzden basitlik ile zenginlik arasındaki dengenin sağlanması, basitleştirirken de neyin değer ve neyin atık olduğunun farkında olunması gerekmektedir.

Belirsizliğin ve değişimin düşük olduğu projelerde yapısal karmaşıklık üzerinden bütünü parçalara ayırarak yapılan erken safha planlamaları doğru zamanlama ve koordinasyon ile birlikte proje başarısı için yeterli olabilir. Fakat belirsizliklerin hüküm sürdüğü hızlı değişen bir çevrede yürütülen bir proje için yapılan erken safhalardaki planlamalar yeterli değildir (Schrader ve diğer., 1993; Koskela ve diğer., 2002), çünkü dinamik belirsizlik projenin en geç safhalarına kadar projeyi dönüştürebilen ve farklı yönlere evirebilen bir unsurdur (Howell ve diğer., 1993). Dinamik belirsizlik arttıkça yapılan planlamaların sürekli olarak değişmesi gerekebileceği göz önünde bulundurulmalıdır, örneğin De Meyer ve diğer. (2002, s.65) bu durumu klasik mantık üzerinden üretilen CPM tabanlı modeller üzerinden "Gantt çizelgesi, bir önceki hafta ne yaşandığının gösterilmesi ve bir sonraki hafta da benzerinin yaşanacağını umulmasıdır." şeklinde yorumlamaktadır. Bir diğer ifade ile, projenin amaçlarının ve yöntemlerinin doğru tanımlanmış olması ve de sürece ilişkin bilgi ve deneyimin yeterli düzeyde olması değişimin getirdiği iç ve dış belirsizlikleri ortadan kaldırmak için yeterli değildir. Bu bağlamda karmaşık bir sürecin geleceğine yönelik isabetli tahminlerin olanaksızlığından dolayı da doğrusal (lineer) ve redüksiyonist proje modellemelerine sadık kalınması olanaksızdır (Jaafari, 2003). Jaafari (2001, s.89-90), bu durumu şu şekilde özetlemektedir:

Stabil ortamlarda yürütülen projelerde tipik olarak konsept aşamasında belirsizlik yüksektir, bu belirsizlik ileriye dönük planlama ve tedbirli kararlar ile zamanla giderek azaltılır. Fakat değişken ortamlarda yürütülen karmaşık projelerde ise, belirsizlik zaman içerisinde azalma göstermeyebilir. Bu yüzden, proje değişkenlerinin sürekli olarak takip edilmesi, amaç fonksiyonunun durumunun gözden geçirilmesi ve gerekli eylemlerin yapılarak proje stratejilerinin duruma

uygun şekilde uyarlanması gereklidir.

GDCPP modelinden sonra sıralanan karmaşıklık çerçevelerinde süreç içerisinde beliren değişime ve belirsizliklere yönelik etkenlerin de dahil edildiği görülmektedir. Örneğin Vidal ve Marle (2008) tarafından sunulan ALOE modelinde niteliklerin (*Attributes*; maliyet, zaman, süre kalite gibi) ve nesnelerin (*Objects*; kaynaklar, ürünler, eylemler gibi) yanında dinamik belirsizlikler ile ilişkilendirilebilecek bağıntılara (*Links*; sıralı, hiyerarşik, değişim, etki ve katkısallık bağıntıları) ve olaylara (*Events*; gerçekleşen ve gerçekleşebilecek olaylara) yer verilmektedir. Maylor ve diğer. (2008) tarafından sunulan MODeST modelinde ise (Şekil 3.32) daha kapsamlı ve detaylı bir listeleme yapılmaktadır. Bu model içerisinde takım (*Team*; proje personeli, proje yöneticisi, grup), yükleniciler (*Stakeholders*; yüklenici nitelikleri ve yükleniciler arası ilişkiler), teslimat (*Delivery*; süreç ve kaynaklar) gibi daha ziyade yapısal karmaşıklığa yönelik boyutların yanı sıra organizasyon (*Organization*) ve görev (*Mission*) gibi zamansal, mekansal ve çevresel durumlar ile belirsizlikleri de kapsayan boyutlar yer almaktadır. Ayrıca “Üçgen modeli”, “TOE çerçevesi” ve “Proje SoS modeli” içerisinde de iç ve dış çevre durumlarına, süreç belirsizliklerine ve değişime ortak olarak değinilmektedir.



Şekil 3.32 Maylor ve diğer. (2008) tarafından sunulan MODeST modeli

Bahsedilen tüm bu dinamik belirsizliklerin ötesinde ise, bir projenin hangi tür değişim ve belirsizlikler altında nasıl yönetilmesi gerektiğine yönelik olarak literatürde bazı sınıflandırmalar bulunmaktadır. Bu sınıflandırmalardan bazıları, Tablo 3.9’da “Bölüm 3.3.1.2. - Dinamik Belirsizlik” içerisinde belirtilen bilgi odaklı belirsizlik türleri üzerinden sıralanmaktadır. De Meyer ve diğer. “sapma, öngörülen belirsizlik, öngörülemeyen belirsizlik ve kaos” stratejilerini, Pich ve diğer. (2002) “talimat, seçim ve öğrenme modeli” stratejilerini, Giezen (2012) ise “tahmin et ve kontrol et” ve “hazırlıklı ol ve üstlen” stratejilerini önermektedir.

Tablo 3.9 Hangi tür belirsizliklere karşı hangi tür stratejilerin uygulanabileceğine yönelik bir sınıflandırma

Belirsizlik Türleri	Belirsizlik Stratejileri		
	De Meyer ve diğer. (2002)	Pich ve diğer. (2002)	Giezen (2012)
Bilinebilir Bilinmeyenlere ilişkin Belirsizlikler	Sapma stratejileri Öngörülen belirsizlik stratejileri	Talimat modeli	“Tahmin et ve kontrol et” stratejisi
Bilinmeyen Bilinmeyenlere ilişkin Belirsizlikler	Öngörülemeyen belirsizlik stratejileri	Seçim modeli ve Öğrenme modeli	“Hazırlıklı ol ve üstlen” stratejisi
Bilinmeyenlere ilişkin Belirsizlikler	Kaos stratejileri		

Bir proje ekibinin bu dinamik belirsizlik türlerinden hangisinin daha baskın olduğunu belirlemek (özel bir yargıya dayanarak) ve uygun çözümleri uygulaması gerekmektedir, fakat projenin hangi tür belirsizliklere ne derece sahip olduğunu nesnel bir şekilde belirleyebilmek mümkün değildir. Hem Giezen (2012) hem de Pich ve diğer. (2002), projelerin tüm bu stratejilerin farklı ağırlıklardaki bir karışımı olarak yönetildiğini belirtmektedir. Örneğin, basit projeler için “tahmin et ve kontrol et” stratejisinin daha ağırlıklı olması beklenirken, karmaşık projeler için ise “hazırlıklı ol ve üstlen” stratejisi daha ağırlıklı olması gerektir.

“Bilinebilir bilinmeyenlere” ilişkin dinamik belirsizliklere karşı uygulanabilecek stratejiler, iç ve dış durumlara ilişkin bilginin yeterli ve/veya dinamik belirsizliklerin tahmin edilebilir olduğu projelere yöneliktir. “Talimat modeli” veya “tahmin et ve kontrol et” stratejilerinde belirtildiği gibi, sürecin nasıl işlemesi gerektiğine yönelik bir planlama yapılır ve bu planlamaya sadık kalınır. Genellikle görev düzenlemesini ve muhtemel durum planlarını oluşturmak yeterlidir ve sürecin kontrolü gelişmelerin takibi (tamamlama zamanı, maliyet vb.) için yapılır. De Meyer ve diğer. (2002) bu tür durumlar için iki strateji alanı sıralamaktadır; sapma ve öngörülen belirsizlik:

- Sapmalar teker teker izlenemeyecek, planlanamayacak kadar küçük birçok etkenin toplamının proje üzerinde maliyet ve zaman gibi yönlerden yarattığı etkidir ve ancak sapmaların toplamının yarattığı bu etki gözlenip saptanabilir (örneğin; işçilerin günlük hastalık durumları, hava koşulları, ufak zamanlı malzeme gecikmeleri gibi). Sapmalar, genellikle radikal değişiklikler gerektirmezler ve planlama esnasında belirli stratejik noktalara yedek (*buffer*) zaman, bütçe ve kaynak ekleyerek tolere edilmeye çalışılırlar. Kaynak ve zaman yedeklemesi (*critical chain buffer*) (Leach, 1999) yönteminden başka olarak, projenin bütünü için gevşeklik payı verilebilir, kaliteden ödünler verilebilir veya esneklik sağlayabilecek yöntemler ve teknolojiler kullanılabilir (Thomke ve Reinertsen, 1998).
- Öngörülen belirsizlik, proje ekibi tarafından tanımlanmış ve anlaşılmıştır fakat gerçekleşip gerçekleşmeyeceği bilinmemektedir. Küçük sapma kaynaklarının aksine etkileri belirgindir ve ön planlama gerektirirler. Bu tür belirsizlikler, risk yönetimi ile ele alınır; risk ve fırsatlar tanımlanır ve ilişkin muhtemel durum planları oluşturulur.

“Bilinmeyen bilinmeyenlere” ve “bilinmeyenlere” ilişkin dinamik belirsizliklere karşı uygulanabilecek stratejiler, iç ve dış durumlara ilişkin bilgi düzeyinin yetersiz, çözümlenebilirliğin ve öngörülebilirliğin düşük veya kaotikliğin hakim olduğu projelere yöneliktir. “Hazırlıklı ol ve üstlen” stratejisine göre, belirsizliğin getirdiği

değişim kabul edilir ve bunun için gerekli olan esnekliği sağlamak amacıyla hazırlıklı olunur. Öngörülemeyen belirsizlikler için muhtemel durum planı yoktur ve bu yüzden proje sürecinin her anının takip edilmesi, çıkarım yapılması (öğrenme kültürü), yeni ve özgün planlamaların oluşturulabilmesine yönelik çözüm üretilmesi gereklidir. Kaotiklikte ise, öngörülemeyenler ortaya çıktığında dahi doğru çıkarımlarda bulunabilmek güçtür ve bu yüzden proje başlangıçta planlanandan çok farklı biçimlerde tamamlanabilir. Bu bağlamda öğrenme kültürünün yüksek olması ve başlangıçta planlanan konseptin sürekli olarak yeniden tanımlayıp planlayabilecek kadar esnek olunması gerekmektedir. Çözüm üretme konusunda başlıca iki ana grup sıralanabilir; tasarım aşamasına yönelik çözümler, üretim sürecine yönelik çözümler:

- Tasarım aşamasına yönelik olarak Pich ve diğer. (2002), karmaşık ve kaotik durumlar için iki tür çözüm üretim yöntemi belirtmektedir; öğrenim ve seçim modeli. Öğrenim modelinde tek bir çözüm üzerinde durulur ve bu çözüm zamanla öğrenilerek geliştirilir. Seçim modelinde ise en iyi veya optimum çözüm bilinemediği için oluşturulan birçok aday çözüm arasından en iyisinin hangisi olabileceğine karar vermeye çalışılır. Hangisinin tercih edilmesi gerektiği projenin hızına, öğrenilebilecek bilgi miktarına, seçim adaylarının maliyetine ve projenin ikilem ve karmaşıklık düzeyine bağlıdır. Seçim adayları maliyetli ve aciliyet düşük ise, tek çözüm veya yaklaşım üreterek bunu zamanla öğrenerek geliştirmek tercih edilebilir. Tam tersi, öğrenme maliyetli ve aciliyet yüksek ise çoklu bağımsız çözümler üretilip en iyisini seçmek tercih edilebilir. Eğer bu iki yöntem de düşük geri dönüşler sağlıyor ise, karma bir yöntem olarak her bir bağımsız aday çözüm için öğrenme safhası oluşturulabilir. Belirsizliğin yüksek olduğu durumlarda (tasarım geliştirmeye de yönelik olarak) öğrenme ve seçme gücünü arttıran bazı deneysel yaklaşımlar şunlardır; tekrara dayalı çözümler (iteratif) (Eisenhardt ve Tabrizi,1995), deneysel yaklaşımlar (*probe and learn*) (Lynn ve diğer., 1996), hatalardan öğrenerek çözüm geliştirmek, deneycilik (*computer simulation, mass screening, rapid prototyping*) (Thomke, 1998),

tasarımların paralel veya seri olarak test edilmesi (örneğin, “*randomized local search*”) (Loch ve diğer., 2001).

- Sürece yönelik olarak ise, Perminova ve diğer. (2008) tarafından da belirtildiği gibi basit projelere yönelik çözümler karmaşık projeler için zamansal kopukluklara sebep olmaktadır. Planlama ve risk analizleri projenin geleceğini tanımlarken, sürecin planlananlara uygun gerçekleşip gerçekleşmediğini kontrol eden gözlemler ise projenin geçmişini yansıtmaktadır. Aradaki boşluğu doldurması gereken ise, sürekli ve gerçek zamanlı olarak projenin içerisinde bulunduğu durumun anlamlandırılması ve böylelikle hızlı ve esnek kararların verilmesidir. Bu bağlamda, belirsizliğin tüm çeşitlerinin projenin tüm yaşam döngüsü boyunca (konsept aşamasından sonuçlandırma aşamasına kadar) takip edilmesi ve yönetilmesi (Ward ve Chapman, 2003), “proaktif ve reaktif” çözümlerin getirilmesi gerekmektedir (Atkinson ve diğer., 2006). Bu görüş aynı zamanda Mintzberg (1979) tarafından olumsuzluk teorisi altında belirtilen düşünceye de benzerdir, bu düşünceye göre bir organizasyon için olayların gerçekleşme biçiminin önceden niyetlenilmiş olduğu “kasti” stratejilerden daha çok niyetlenilmemiş veya niyetlenenin aksinde ilerlemiş olayların üzerine “ortaya çıkan” stratejiler daha baskın ve önemlidir.

Karmaşık projelerin yönetim yapısının nasıl olması gerektiğine yönelik olarak ise, Grant (2003) yukarıdan-aşağıya yönlü yapılan “rasyonel tasarım” ile süreç içerisinde aşağıdan-yukarıya yönlü gerçekleşen “ortaya çıkan süreç” yaklaşımlarının bir kombinasyonu olarak “planlanan ortaya çıkma” kavramını önermektedir. Çünkü karmaşık bir proje, yalnızca yukarıdan anlaşılamayacak kadar detaylı ve de yalnızca aşağıdan kavranamayacak kadar geniş kapsamlıdır. Ek olarak, Benbya ve McKelvey (2006a ve 2006b) projenin iş gruplarının, uygulama gruplarının ve müşteri gruplarının süreç içerisinde birbirlerini etkileyerek evrildiklerini ve bu yüzden de tüm proje katılımcılarının sürecin tamamında göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmektedir.

Tüm bu belirtilen stratejilere ek olarak, projenin yaşam döngüsü boyunca karmaşıklığın üstesinden nasıl gelinebileceğine yönelik olarak literatürde rastlanılan diğer bazı dikkat edilmesi gereken hususlar da şunlardır (Gupta ve Wilemon, 1990; Eisenhardt ve Tabrizi, 1995; Clift ve Vandenbosch, 1999; Stalk ve Hout, 1990):

- Planlama aşamasına önem gösterilmesi: Planlama, sürecin daha iyi anlaşılmasını ve daha rasyonel bir biçimde ele alınmasını sağlamaktadır. Bu yüzden planlama süresini daha uzun tutarak sürece ilişkin net ve ortak bir dilin oluşturulması, daha sonraki aşamalarda süreci aksatabilecek olası anlaşmazlıkların ve hataların önlenmesini, eylemlerin kimlerce gerçekleştirileceğine ilişkin daha isabetli kararlar alınmasını, gereksiz süreçlerin ayıklanabilmesini ve eylem dizisinin daha verimli bir şekilde kurgulanabilmesini sağlamaktadır. Diğer taraftan ise planlama süresini aşırı uzun tutmak da aksi sonuçlar doğurabilir, ideal ile aşırı olanın da farkında olunması gerekmektedir.
- Tasarımın alternatiflerinin oluşturulması ve sonuçların kapsamlı test aşamalarına tabi tutulması: Doğru tasarım için belirli bir yol olmadığında, ne kadar fazla alternatif veya prototip (ilk örnek) oluşturulursa başarılı bir sonuç elde etme şansı da o kadar artmaktadır. Alternatiflerin karşılaştırılması üzerinden her birinin güçlü ve zayıf yönleri daha iyi anlaşılabilmekte ve doğru alternatiflerin hangileri olduğu daha iyi sezinlenebilmektedir, böylelikle doğru bir sonuca daha hızlı ulaşılabilmektedir. Ayrıca, çok fazla alternatif oluşturmak daha iyi seçeneklerin kaçırılmış olabileceği kaygısını azalttığı için sürece olan bağlılığı da arttırmaktadır. Oluşturulan tasarım sonuçlarının test edilmesi ise de, olası hataların sürecin en başında giderilebilmesini sağlayabildiği için sürecin hızı ile doğrudan ilişkilidir.
- Dijital sistemlerin kullanılması: Bilgisayar sistemleri bilginin hem daha hızlı hem de daha isabetli bir şekilde işlenebilmesini sağlamaktadır, ayrıca hata miktarını da azaltmaktadır. Bunun yanı sıra, süreçteki aktörlerin birbiri ile iletişimini sağlayabilecek ortak bir dil sunmaktadır.

- Müşteri ve tedarikçi katılımının arttırılması: Müşterinin sürece dahil olması, fikir alışverişleri ile tasarım girdilerinin daha doğru elde edilmesini sağlamaktadır., böylelikle daha hızlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Sürecin belirli aşamalarını tedarikçilere devretmek ise, bu aşamaların o alanda uzmanlaşmış kişilerce yapılmasını sağladığı için süreç daha hızlı ilerleyebilmektedir. Ayrıca, çekirdek ekibin üzerindeki yük de azalmış olmaktadır. Tedarikçilerin sürece erken katılımı, planlamanın daha fazla fikir ve bakış açısı dahilinde gerçekleşmesini de sağlamaktadır.
- Güçlü proje liderlerinin bulunması: Sürecin odağının kaybolmaması, gerektiğinde doğru ve hızlı karar verebilmek, eylemleri yönetebilmek ve aktörleri bir arada tutabilmek için güçlü liderlere ihtiyaç duyulabilmektedir. Diğer taraftan ise, katılımcı karar verme mekanizmaları da destek görmektedir. Problem çözmede sadece üst yönetimden gelen emirler değil, alttan gelen yaratıcı fikirler de katkı sağlayabilmektedir. Ayrıca, lider sınıfı ile eylemi gerçekleştirenler arasında bir bağlantı unsuru oluşturabilecek bir üst yönetim sınıfı da gerekebilmektedir.
- Çok işlevli ekiplerin kullanılması: Her bir aşamanın farklı ekiplerce yürütülmesi yerine bir çalışma ekibinin birden fazla amaca hizmet edebilmesi, farklı aşamaların birbirine bağlanabilmesini sağlamakta ve böylelikle de daha bütünleşik bir süreç yaratılabilmektedir.
- Ekip motivasyonunun arttırılması: Bir işin zamanında veya daha erken bitirilmesine yönelik olarak bir ödül sisteminin oluşturulması, ekibin odaklanmasını ve motivasyonunu arttırmakta ve işe bağlılığını sağlamaktadır.
- Sürecin kontrolü için sık aralıklarla dönüm noktalarının oluşturulması: Süreç içerisinde nerede durulduğuna ve yapılan eylemlerin doğruluğuna kanaat getirebilmek için sıklıkla dönüm noktalarının oluşturulması önemlidir.
- Bekleme sürelerinin azaltılması: Süreç doğru bir şekilde planlanmış ise, aşamalar arasındaki bekleme sürelerinin azaltılması da daha mümkün olabilmektedir. Aşamalara ilişkin kaynakların zamanında ve yeterli miktarda sağlanması ve bir aşama tamamlandığında bir diğerine geçiş için kontrol ve

karar mekanizmalarının hızlı gerçekleşmesi gerekmektedir. Birbirine zincir şeklinde bağlı olmayan eylemlerin de mümkün olduğunca eş zamanlı olarak yürütülebilmesi sağlanmalıdır.

Sonuç olarak, bilinmeyen bilinmeyenlerin baskın olduğu bir projenin başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için karmaşıklığı sürükleyen tüm unsurların sürecin tamamı boyunca göz önünde bulundurulması, tekniksel ve yönetimsel araçların bütüncül ve gerçek zamanlı bir biçimde uygulanması gerekmektedir. Bu bölüm altında proje yönetimi alanına ilişkin tüm endstrilerce üretilen bilgi birikimi gözetilerek yapılan bu konudaki inceleme, “Bölüm 4” içerisinde doğrudan yapı projelerine yönelik olarak sürdürülmektedir.

BÖLÜM DÖRT

YAPI PROJELERİNDE KARMAŞIK SİSTEMLER YAKLAŞIMINA DAYANAN STRATEJİLERİN BELİRLENMESİ

Üretim organizasyonlarındaki karmaşıklığa yönelik olarak proje yönetimi alanında yapılan çalışmalar çoğunlukla her endüstriye uyarlanabilecek niteliktedir ve bu çalışmalar karmaşıklığın sebeplerini, etkilerini ve olası çözüm yöntemlerini anlamakta iyi bir temel sağlamaktadır. Her ne kadar yapı endüstrisinde karmaşıklık düzeyinin yüksek olduğu ve bu durumun üretim açısından önemli bir sorun teşkil ettiği belirtilse de, bu soruna yönelik çalışmalar oldukça sınırlı ve dağınıktır. Bu bağlamda bu bölüm altında, doğrudan yapı endüstrisine yönelik olarak ne tür çözüm odaklı çalışmaların bulunduğunu saptamak, toparlamak ve bir bütün halinde değerlendirebilmek amacıyla sistematik bir literatür incelemesi yürütülmektedir. Bölüm, iki alt bölüm altında sunulmaktadır:

- İlk alt bölümde (4.1. Sistematik Literatür İncelemesinin Tanımı ve Uygulanış Biçimi), sistematik literatür incelemesi tanımlanmakta ve uygulanmasında hangi adımların izlendiği açıklanmaktadır.
- İkinci alt bölümde ise ilk alt bölümde belirtilen uygulama adımları doğrultusunda araştırma konusuna yönelik olarak bir sistematik literatür incelemesi yürütülmektedir. Öncelikli olarak incelenecek konu tanımlanmakta ve ilişkin anahtar kelimeler belirlenmektedir. Daha sonra veri tabanlarından anahtar kelimeler üzerinden veri toplanmakta ve bu toplanan veriler bir ayıklamaya tabi tutulmaktadır. Son olarak ise, ayıklanan veriler analiz edilmekte ve bir sonuç değerlendirmesine gidilmektedir.

4.1 Araştırma Yöntemi: Sistematik Literatür İncelemesinin Tanımı ve Uygulanış Biçimi

Sistematik literatür incelemesi (SLİ), belirli bir araştırma sorusuna cevap bulabilmek amacıyla önceden belirlenmiş olan kriterlere uyan tüm bilimsel

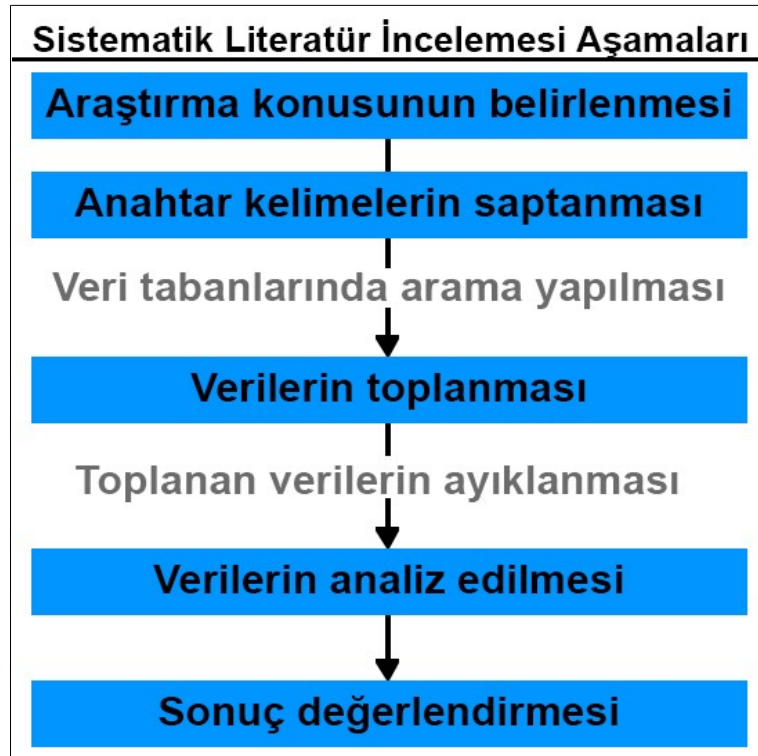
alışmaları toparlayıp harmanlamayı hedefleyen bir araştırma yöntemidir (Higgins ve Green, 2011). SLİ doğrultusunda açık olarak süreci belirtilen, şeffaf, tekrar edilebilir ve sistematik bir yöntem kullanıldığı için taraflı yargılar olabildiğince azaltılabilmekte ve daha güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir (Tranfield ve diğer., 2003). Bu tür bir yöntem ile yürütülen çalışmalar, ana bilimsel çalışmaların analiz edildiği ikincil çalışmalar olarak değerlendirilmektedir. İkincil alışmalar, mevcut bilgi birikiminin toparlanması yanı sıra, literatürdeki boşlukları saptamak ve gelecekteki çalışmalara zemin oluşturmak için önemlidir.

Özellikle tıp alanında mevcut deney ve gözlem çalışmalarını derlemek amacıyla kullanılan bu yöntem, birçok farklı disiplinde kullanılmak üzere çeşitli şekillerde uygulanmaktadır (Parris ve Peachey, 2013). Kitchenham ve diğer. (2010), iki farklı tür sistematik literatür incelemesi tanımlamaktadır:

- Klasik SLİ, sayısal verilere dayanan çalışmaları derleyip karşılaştırmakta ve belirli bir araştırma sorusuna yönelik istatistiksel bir çalışma yürütmektedir. Bu alışma, meta-analizi olarak isimlendirilmektedir. Örneğin, "A yöntemi, B yönteminden daha mı etkin bir tedavidir?" sorusuna yönelik olarak yapılmış olan literatürdeki çalışmaların tamamı harmanlanarak daha güvenilir olduğu düşünülen bir sonuç elde edilmektedir.
- Haritalandırma, belirli bir alana ilişkin çalışmaları bulmak ve sınıflandırmak amacıyla gerçekleştirilir. Örneğin "A konusu üzerine ne bilinmektedir" gibi daha genel bir araştırma sorusu sorulur ve bu alana ilişkin ne tür araştırmaların mevcut olduğu üzerinden bir değerlendirme yapılır.

Bu iki tür yöntem birbirini desteklemek amacıyla kullanılabildiği gibi iki türün avantajlarından yararlanılan bir karışım yöntemi de oluşturulabilmektedir. Yöntemlerin uygulanma biçimi farklılık gösterebilse de temel mantığı benzerdir ve şu şekildedir (şekil 4.1).

- Araştırması yapılacak olan konunun belirlenmesi,
- Belirlenen konuya ilişkin anahtar kelimelerin saptanması,
- Anahtar kelimeler üzerinden arama yapılarak veri toplanması,
- Toplanan veriler içerisinde uygun olanlarının seçilip ayıklanması,
- Ayıklanan verilerin incelenmesi ve analiz edilmesi,
- Analizler üzerinden bir sonuç değerlendirmesinin yapılması.



Şekil 4.1 Sistemik literatür incelemesi için izlenecek olan adımlar

4.2 Analiz ve Değerlendirme

Bu alt bölümde, belirtilen ana aşamalar üzerinden ilerlenilerek bir sistemik literatür incelemesi yürütülmektedir. Amaç, karmaşık sistemler düşüncesi doğrultusunda yapı projelerine yönelik olarak yönetsel ve teknik açıdan ön sürülen stratejileri saptamaktır.

4.2.1 SLİ İçin Araştırma Konusunun ve İlişkin Anahtar Kelimelerin Belirlenmesi

Sistemik literatür incelemesi yapılmadan önce, bazı benzer çalışmalara göz atıldı. Bu noktada Geraldi ve diğer. (2011) ile Bakhshi ve diğer. (2016) tarafından proje karmaşıklığı üzerine yapılan literatür incelemelerinin yanı sıra, diğer alanlarda Farashahi ve diğer. (2005), Pittaway ve diğer. (2004), Knobien ve Oerlemans (2006), Turner ve diğer. (2010) tarafından yürütülen incelemeler de çalışmanın nasıl gerçekleştirilebileceği üzerine fikir vermektedir.

Bu tez çalışmasında yapılacak olan SLİ'nin konusu, yapı projelerinde tüm sürecin başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için karmaşıklığa yönelik ne tür çözüm odaklı stratejilerin uygulanabileceğidir. Bu konuda, haritalandırma yöntemine benzer bir yaklaşım izlenmektedir.

Literatür incelemesinin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için öncelikli olarak gerekli olan, incelenmek istenen alana ilişkin olarak toplanan araştırma verisinin farklı bakış açılarını ortaya koyabilecek kadar kapsamlı ve derinlikli olmasıdır. Bu yüzden, doğru anahtar kelimelerin seçilmesi önemlidir. Doğru arama dizisinin oluşturulması konusunda "Bölüm 3" içerisinde incelenmiş olan çalışmalar önemli bir dayanak oluşturmaktadır. Bu çalışmalardan elde edilen bazı anahtar kelimeler ve bunların çeşitli kombinasyonları şu şekildedir:

- *Complex (uncertainty, risk), system, complexity, project, management*
- *Complex project, project complexity, complexity management, managing complexity, project management, managing project*
- *Complex project management, project complexity management, managing complex project, managing project complexity*
- *System of systems, system of systems approach, systems integration*
- *Design, construction, design/construction integration*
- *Construction industry*

Yapı projelerinde karmaşıklığın ele alınmasına yönelik olarak başlıca iki alan göze çarpmaktadır, bunlar yönetsel ve tekniksel yaklaşımlardır. Literatür incelemesinde bu iki alana yönelik çalışmaları kapsayan bir araştırma yapılabilmesi için iki farklı arama dizisinin oluşturulması gerekmektedir. Aşağıda açıklandığı gibi, saptanan anahtar kelimeler üzerinden oluşturulan bu iki arama dizisinden ilki yönetsel stratejileri, ikincisi ise tekniksel stratejileri kapsayan yayın çalışmalarını belirlemeye yöneliktir:

- Yönetsel stratejiler, projenin daha çok organizasyon boyutu ile ilişkilidir. Projeyi gerçekleştiren organizasyonun yapısı nasıl şekillenmelidir, organizasyonun katılımcıları nasıl hareket etmelidir, birbirleri ile ilişkileri nasıl kurulmalıdır, organizasyona etki eden iç ve dış faktörlere nasıl tepki verilmelidir gibi sorulara cevap aranmaktadır. Bu tür yaklaşımlara yönelik arama dizisi şu şekildedir:

Arama dizisi 1 (Yönetsel Stratejiler) için kullanılan anahtar kelimeler ("*complexity management*" OR "*complex project management*" OR "*managing complexity*" OR "*reducing complexity*") AND ("*construction*")

- Tekniksel stratejiler, projenin daha çok teknoloji boyutu ile ilişkilidir. Proje içerisinde hangi tür teknolojik araçlar (bilgi-iletişim sistemleri, robotik sistemler vb.), hangi amaçlarla nasıl kullanılabilir gibi sorulara cevap aranmaktadır. Bu tür yaklaşımlara yönelik arama dizisi şu şekildedir:

Arama dizisi 2 (Tekniksel Stratejiler) için kullanılan anahtar kelimeler: ("*systems integration*" OR "*system of systems approach*") AND ("*construction*")

Arama dizileri içerisinde uygun anahtar kelimeleri bağlamak amacıyla "AND", alternatif anahtar kelime aranması amacıyla "OR" Boolean terimleri

kullanılmaktadır. Arama dizilerinin uygunluğunu test etmek amacıyla *Google Scholar* üzerinde birçok farklı dizi kombinasyonu ile denemeler yapıldı. Dizilerin kapsamlı sonuçlar verebildiğini anlayabilmek amacıyla, daha önceden belirlenen çalışmaların sonuçlar içerisinde görünüp görünmediğine bakmak faydalı olmaktadır. Böylelikle bu doğrultuda aramanın kapsamını genişletebilmek için farklı anahtar kelimeler de eklenebilmektedir.

4.2.2 SLİ İçin Veri Toplanması ve Ayıklanması

Veri toplamak amacıyla belirlenen arama dizilerinin hangi veri tabanlarında kullanılacağını saptamak amacıyla yedi veri tabanı üzerinde bir ön inceleme yapıldı. İnceleme neticesinde "Web of Science (WoS), ScienceDirect (SD), Emerald Insight (EI) ve American Society of Civil Engineers ASCE" veri tabanlarının çalışma için daha uygun arama sonuçları çıkardığı gözlemlendi ve dolayısıyla bunlar üzerinden ilerlemeye karar verildi. "ABI Proquest, Wiley ve Springer Link" veri tabanları ise çalışma konusuna uygun sonuçlar çıkarabilme konusunda yetersiz kaldığı için elendi.

Belirlenen arama dizileri yukarıda belirtilen WoS, SD, EI ve ASCE veri tabanlarında kullanıldıktan sonra ortaya çıkan arama sonuçları birkaç adımda ayıklanmakta ve incelenecek olan sonuç yayınlara ulaşılmaktadır. Bu sürecin aşamaları şu şekildedir:

- **Aşama 1 - Arama:** Arama dizileri, veri tabanları içerisinde kullanılarak ilk sonuçlar kabaca elde edilmektedir. Yürütülen bir literatür incelemesinin en azından son 20 yılı kapsıyor olması beklenmektedir (Farashahi ve diğer., 2005) ve bu yüzden çok eski çalışmaları elemek amacıyla yayın yılına ilişkin bir filtre eklenebilmektedir. Fakat bu incelemede eskiye dönük çalışmaların azlığından dolayı bu tür bir filtrelemeye ihtiyaç duyulmadı ve herhangi bir süre aralığı verilmedi (Aşama 4 içerisinde elde edilen veriler ayıklanıp sonuçlandırıldığında, sadece 4 çalışmanın 20 yıldan daha eski tarihli olduğu görülmektedir).

- **Aşama 2 - Filtreleme:** Elde edilen ilk sonuçlar, bir filtrelemeye tabi tutulmaktadır. ASCE, WoS ve EI ilk aşama sonucunda herhangi bir filtrelemeye ihtiyaç duyulmayacak kadar az sonuç vermektedir ve buradan elde edilen sonuçlar doğrudan üçüncü aşamada kullanılmaktadır. Fakat SD veri tabanından elde edilen sonuçlar teker teker ayıklanamayacak kadar fazla olduğu için bir ek filtreleme kullanıldı. Filtreleme için iki yol izlendi: İlk olarak, arama dizileri "anahtar kelimeler, başlık ve öz" (Key-Title-Abstract) içerisinde arandı ve sonuçlar not alındı; ikinci olarak, belirli dergilere göre filtreleme uygulandı ve bu sonuçlar not alındı. Bu konuda öne çıkan dergiler özellikle "*Automation in Construction*" (AutoCons) ve "*International Journal of Project Management*" (IJPM) oldu.
- **Aşama 3 - Ayıklama:** İkinci aşamadan elde edilen sonuçlar, öz metinleri okunarak hızlı bir ayıklamadan geçirilmektedir. Öncelikle, ulaşılan yayınların tam metin olarak erişilebilir ve tercihen İngilizce dili altında olması beklenmektedir. Yayınlar yapı endüstrisine yönelik olmalıdır, bu noktada özellikle "*construction*" kelimesi birçok alanda farklı anlamlarda kullanılabildiği için yapı endüstrisi ile ilişkili olmayan sonuçlar da çıkabilmektedir ve bu tür sonuçlar elenmektedir. Yayınların doğrudan karmaşıklığı yönetmeye, üstesinden gelmeye yönelik çalışmalar olması gerekmektedir. Sebeplerini ortaya koymak veya ölçmek gibi amaçlarla yürütülmüş olan çalışmalar da ayıklanmaktadır.
- **Aşama 4 – Sonuçlandırma:** Son olarak, birden fazla veri tabanında rastlandığı için çiftlenen yayınlar elenmektedir. Ayrıca, bir önceki aşamadaki hızlı ayıklamada farkedilmeyen, fakat içeriği okunduğunda konu ile ilişkisi olmadığı anlaşılan yayınlar da ayıklanmakta ve incelenecek olan yayınların listesi sonuçlandırılmaktadır.

Yapı projelerinde karmaşıklığa yönelik yönetimsel ve tekniksel stratejileri içeren çalışmaları ayrı ayrı tespit etmek amacıyla yukarıda açıklanan dört aşamanın

uygulanması sonucunda, Şekil 4.2’ de gösterildiği gibi, yönetsel amaçlı birinci arama dizisinden 24 adet ve tekniksel amaçlı ikinci arama dizisinden 62 adet olmak üzere toplam 86 yayın incelenmek için belirlendi.

	Yönetsel stratejiler				Tekniksel stratejiler			
	Arama Dizisi 1: ("complexity management" OR "complex project management" OR "managing complexity" OR "reducing complexity") AND ("construction")				Arama Dizisi 2: ("systems integration" OR "system of systems approach") AND ("construction")			
Veri tabanları:	ASCE	EI	WoS	SD	SD	WoS	EI	ASCE
İlk kaba arama	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Aşama 1 sonuçları	42	43	163	3438	8838	346	81	164
SD üzerinde KeyTitleAbs ve önemli dergiler üzerinden filtreleme	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Aşama 2 sonuçları	42	43	163	280	730	346	81	164
Özet içeriklerin okunması, yayın dili, erişilebilirlik, konu ile ilişkililik	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Aşama 3 sonuçları	9	17	5	30	50	12	21	24
Çift sonuçların silinmesi, Tam içeriklerin okunması üzerinden ayıklama	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Aşama 4 sonuçları	24				62			

Şekil 4.2 SLİ çalışmasının uygulama aşamaları ve sonucunda elde edilen veriler

4.2.3 SLİ Verilerinin Analiz Edilmesi

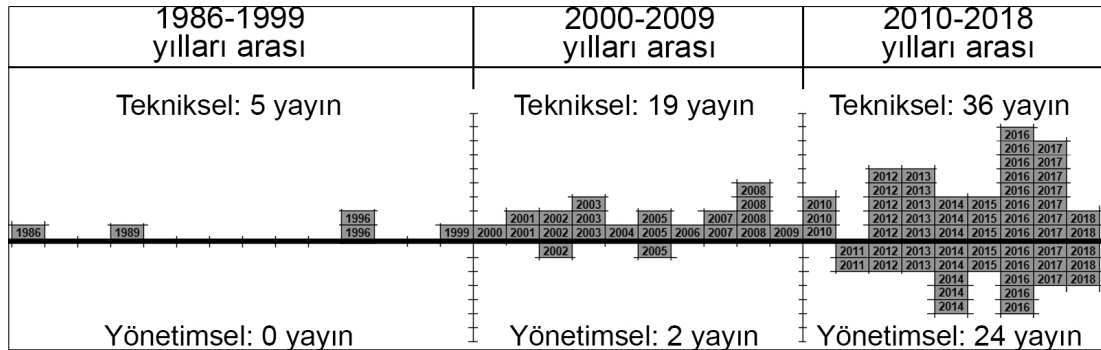
SLİ sonucunda belirlenen 86 yayın, içerik olarak tekrar incelenerek yönetsel ve tekniksel stratejileri kapsayan çalışmaların sayısı tespit edilmiştir. Bu incelemenin sonucunda Tablo 4.1’ de görüldüğü üzere, arama dizileriyle ortaya çıkan sonuç ile büyük ölçüde örtüştüğü söylenebilir. Yönetsel stratejilere ilişkin 26 yayının %69'u (18/26) yönetsel yaklaşımlara yönelik birinci arama dizisinden, tekniksel stratejilere ilişkin 60 yayının %90'ı (54/60) tekniksel yaklaşımlara yönelik ikinci arama dizisinden gelmektedir.

Tablo 4.1 Arama dizilerinden çıkan sonuçların gruplara ayrıştırılması

	Yönetimsel stratejiler	Tekniksel stratejiler
Arama Dizisi 1	18	6
Arama Dizisi 2	8	54
	Toplam: 26	Toplam: 60

İncelenmek için belirlenen yayınların tarihsel dağılımı incelendiğinde (Şekil 4.3), çalışmaların büyük bölümünün 2010-2018 yılları arasında yer aldığı görülmektedir. 2010-2018 yılları arasında 60 yayın, 2000-2009 arasında 21 yayın ve rastlanılan en eski yayın olan 1986 yılından 1999 yılına kadar 5 yayın tespit edildi. Bu durum iki sebep ile açıklanabilir: Birincisi, yapı üretiminde karmaşıklığın yönetilmesine ilişkin farkındalık artmaktadır ve bu yönde çalışmalar yürütülmektedir; ikincisi ise, etkileri bilinen karmaşıklık olgusu daha çok son on yılıki dönemde tanımlı bir kavram olarak ele alınıp incelenmeye başlandığı için "karmaşıklık" kavramını tanımlamadan karmaşıklık kaynaklı sorunlara çözüm önerileri sunan çalışmalar SLİ taraması üzerinden tespit edilememektedir.

Tarihsel dağılıma strateji türleri açısından bakıldığında, 2011 yılının bir dönüm noktası olduğu görülmektedir. 2011 yılından önce tekniksel yaklaşımlara yönelik çalışma sayısı 27 iken, yönetimsel yaklaşımlara yönelik olanlar sadece 2' dir. Bu tarihten sonra da tekniksel yaklaşımlar daha fazla olsa da, yönetimsel olanların büyük bir artış gösterdiği görülmektedir (33 tekniksel, 24 yönetimsel).



Şekil 4.3 SLİ sonucunda belirlenen 86 yayının tarihsel dağılımları

Veri arama esnasında yapılan filtremeler ile de bağıntılı olarak belirlenen yayınlar arasında "*Automation in Construction*" (31 yayın) ve "*International Journal of project management*" (7 yayın) en fazla öne çıkan dergilerdir. Bunları 4'er yayın ile "*Procedia-Social and Behavioral Sciences*" ve "*Procedia Engineering*" dergileri takip etmektedir. "Tablo 4.2" içerisinde en az iki yayına rastlanılan dergilerin bir sıralaması yapılmaktadır.

Tablo 4.2 Belirlenen yayınlar içerisinde en fazla öne çıkan dergiler

Dergi İsmi	Yayın Sayısı
Automation in construction	31
International Journal of project management	7
Procedia-Social and Behavioral Sciences	4
Procedia Engineering	4
Journal of Construction Engineering and Management	3
Journal of computing in civil engineering	3
Advanced Engineering Informatics	3
Journal of Management in Engineering	2
Construction Innovation	2
Engineering Construction and Architectural Management	2

Tespit edilen 86 yayın içerikleri bakımından üç gruba ayrılarak incelenmiştir. Aşağıda açıklanan bu gruplandırmadan Grup 1 "Arama dizisi 1" ile hedeflenen yönetsel stratejiler ile, Grup 2 ve 3 ise "Arama dizisi 2" ile hedeflenen tekniksel stratejiler ile bağıntılıdır:

- Grup 1- Yapı üretim organizasyonun karmaşıklığının nasıl yönetilmesi gerektiğine ilişkin çalışmalar (Toplam 26 adet yayın çalışması tespit edilmiştir, bkz. Tablo 4.3),
- Grup 2 - Yapı üretiminin teknolojik açıdan bütüncül bir biçimde nasıl ele alınabileceğine ilişkin modeller (çerçeveler) sunan çalışmalar (Toplam 11 adet yayın çalışması tespit edilmiştir, bkz. Tablo 4.4),
- Grup 3 - Yapı üretimindeki karmaşıklık sorununun üstesinden gelebilmek için geliştirilen teknolojileri ortaya koyan çalışmalar (Toplam 49 yayın çalışması tespit edilmiştir, bkz. Tablo 4.5 ve 4.6),

4.2.3.1 Grup 1 - Yapı üretim organizasyonun karmaşıklığının nasıl yönetilmesi gerektiğine ilişkin çalışmalar

Yönetimsel yaklaşımlara yönelik SLİ içerisinde belirlenen yayınlar incelendiğinde, bu çalışmaların konu alanı ile de bağıntılı olarak genellikle niteliksel veriler ile desteklendiği görülmektedir. Bu noktada, üç temel veri kaynağı bulunmaktadır. Bunlar literatür verisi, anket-görüşme verisi ve proje uygulaması verisi şeklindedir:

- Literatür verisi: Proje yönetimi alanındaki mevcut bilgi birikiminin incelenmesi üzerinedir. Bu inceleme ya diğer iki türü desteklemek amacıyla bir ön çalışma olarak, ya da literatürün kapsamlı bir sistematik araştırması olarak yürütülmektedir.
- Anket veya görüşme verisi: Endüstriye ilişkin insanlar (proje yöneticisi, mimar, mühendis, yüklenici, tedarikçi, işveren vb.) üzerinden elde edilen verilerdir. Bu edinim bir panel veya seminer toplantısı esnasında toplu görüşmeler ile, birebir yüz yüze görüşme ile veya elektronik araçlar üzerinden olabilmektedir. Karşılıklı konuşma, görüşme veya anket doldurma üzerinden toplanan veri sonrasında analiz edilmektedir.
- Proje uygulaması verisi: Uygulanan bir projenin belgelerinin incelenmesi, projenin katılımcıları ile görüşülmesi veya projenin belirli safhalarına ilişkin gözlem yapılması üzerinden elde edilen veridir.

Hangi tür yöntemlerin ne kadar sık ve hangi amaçlarla kullanıldığını görebilmek amacıyla çalışmalar haritalandırmada bu ilk ayrışma noktası üzerinden de sınıflandırılmaktadır. Bu üç veri kaynağı hibrit olarak beraber kullanılabilir, fakat sınıflandırılma yapılırken çalışmanın ana değerinin hangi tür üzerinden elde edildiği dikkate alınmaktadır. Toplamdaki 26 çalışmanın yalnızca 4 adeti ana yöntem olarak literatür incelemesini kullanırken, 11 adeti anket veya görüşme üzerinden, 11 adeti ise proje uygulaması üzerinden ilerlemektedir. Bu çalışmaların hangi amaçlarla yürütüldüğünü anlayabilmek için çalışmaların ayrışma noktasına bakmak

gerekmektedir. Bu ayrışma ise, öne sürülen yönetsel stratejilerin karmaşıklığının hangi boyutlarına yönelik olduğudur. Bu konuda şu iki tür sıralanabilir:

- Karmaşıklığın bütününe yönelik olarak yürütülen çalışmalar,
- Karmaşıklığın belirli bir unsuruna yönelik olarak yürütülen çalışmalar.

Bütününe yönelik yaklaşımları saptayabilmek amacıyla (toplamda 7 çalışma); Hu ve diğer. (2013) ile Luo ve diğer. (2017) sistematik literatür incelemeleri yürütmektedir, Kermanshachi ve diğer. (2016a ve 2016b) ile Shadid (2018) anket ve görüşmeler üzerinden Delfi analizleri yapmaktadır, Brady ve Davies (2014) Londra 2012 Olimpiyat Parkı ve Heathrow Terminali (T5) projeleri, Chapman (2016) da bir demiyolu projesi üzerinden çıkarımlarda bulunmaktadır. Tüm bu çalışmalar içerisinde karmaşık proje yönetimine ilişkin olarak belirlenen stratejiler şu şekilde derlenebilir:

- Projenin yönetim yapısına ve başlangıcına yönelik stratejiler;
 - Organizasyon ve paydaş yönetimi; organizasyon ağının haritalandırılması, otorite yapısının netleştirilmesi, katılımcıların amaçlarının hizalılığı, katılımcıların rollerinin ve sınırlarının biliniyor olması, güçlü iletişim ve koordinasyon,
 - Süreç planlaması; uygulama hedeflerinin ve yöntemlerinin belirlenmesi, yasal zorunlulukların ve kısıtlılıkların saptanması, inşaat ve arazi yönetimi, maliyet ve zaman yönetimi, yüklenici-tedarikçi yönetimi, lojistik planlaması,
 - Senaryo planlaması ve risk yönetimi; politik, sosyal ekonomik çevrelerin, pazarların, belirsizliklerin, rakiplerin vb. belirlenmesi,
 - Dijital teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması
- Süreci güvence altında tutan ve proje yönetiminin süreç içerisindeki gelişimini sağlayan stratejiler;
 - Sürecin ve ürünün kalitesinin sürekliliği,
 - Değişimin sürekli takibi, tespiti, yorumlanması, öğrenim ve karar alma,

- Esneklik ve uyum sağlayabilme kabiliyeti, kendiliğinden organize olabilme,
- Gelişimin ve yenilikçiliğin sürdürülmesi.

Bütüne yönelik çalışmalar, unsurlara yönelik çalışmaların ayrıştırılabilmesi ve boşlukların tespit edilebilmesi konusunda fayda sağlamaktadır. Karmaşıklığın belirli bir unsuruna yönelik olarak yürütülen çalışmalar ise temelde şu üç gruba ayrıştırılabilir:

- Organizasyonun yapısının ve sürecinin bütünleşikliği (toplamda 8 çalışma); disiplinlerarası bütünleşiklik ve işbirliktelik, süreç boyunca katılımcılık, amaçların hizalılığı vb.
- Organizasyonun yalınlığı ve çevikliği (toplamda 7 çalışma); yapısal karmaşıklığın azaltılması (atık-değer unsurlarının saptanması), duyarlı ve esnek olunması, öğrenme ve adaptasyon kabiliyetinin yüksek olması
- Değişimin ve belirsizliklerin yönetimi (toplamda 4 çalışma); iç-dış durum belirsizliklerinin (risklerin ve fırsatların) ve değişiminin yönetilmesi

Organizasyonun bütünleşikliği noktasında projelerin başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için Brady ve diğer. (2005) bütünleşik iş modelinin ve işbirlikteliğinin, Davies ve Mackenzie (2014) katılımcıların hizalı bütünleşikliğinin, Jensen ve diğer. (2014) de ürün, süreç ve organizasyonun hizalı bütünleşikliğinin önemine işaret etmektedir. Grabher ve Thiel (2015) büyük bir proje (mega-proje) içerisindeki işbirlikteliğinin organizasyon, katılımcılar ve uzmanlık alanları açısından kattığı değere dikkat çekmekte, Gao ve diğer. (2018) ise bu işbirlikteliğinin başarısı için kontrat düzenlemeleri üzerinden görev tanımlarının iyi planlanması gerektiğini belirtmektedir. Uihlein (2014) tasarımı sürecinde inşaat mühendislerinin, Janipha ve diğer. (2015) de satın alma sürecinde müşteri katılımının önemini irdelemektedir. Uihlein (2013) ise disiplinlerarası bütünleşiklik yönünde ne kadar ilerleme kaydedildiğine yönelik bir değerlendirme yapmaktadır.

Organizasyonun yalınlığı ve çevikliği, hem projenin başarılı bir şekilde kurgulanmasında hem de sürdürülmesinde fayda sağlamaktadır. Yalınlık süreçle ilişkin atıkların sürekli olarak elenmesini ve değerin arttırılmasını, çeviklik de değışime hızlıca tepki verebilme duyarlılığının ve bir karar verip uygulayabilme esnekliğinin arttırılmasını hedeflemektedir (Sohi ve diğ., 2016). Bu bağlamda yalın üretim daha çok bir üretim biçiminin geliştirilip mükemmelleştirilmesine yönelik iken, çevik üretim ise tahmin edilemeyenlere ve değışime (belirsizlikler, müşteri ihtiyaçları, market değışimleri vb.) karşı duyarlılığa ve uyarlanabilirliğe yöneliktir. Saini ve diğ. (2018), bu iki yaklaşım biçiminin bileşimini "yalın, esnek, paydaş katılımı ile birlikte gelişim gösteren" şeklinde tariflemekte ve yapı endüstrisi için gerekli olan model olduğunu belirtmektedir.

Yalınlık kapsamında organizasyon ağının yapısı içerisindeki birimler ve ilişkiler öne çıkmaktadır. Krinner ve diğ. (2011) organizasyonun modüllerinin (bileşenlerinin) başarılı bir yönetimi için matriks tabanlı bir analiz ile yapısal karmaşayı azaltmayı hedefleyen bir çalışma yürütmekte, Favari (2012) karmaşıklığın azaltılmasına yönelik olarak bir altyapı projesinden yaptığı çıkarımlarda organizasyon ağının analizine ve iletişimin yönetimine işaret etmektedir. Giezen (2012) ise proje ürününün basitleştirilmesi üzerinde durmakta ve bu basitliğin olumlu ve olumsuz yönlerini irdelemektedir.

Çeviklik kapsamında ise esneklik ve uyum sağlayabilecek yönetim çerçeveleri öne çıkmaktadır. Eriksson ve diğ. (2017) keşfedici öğrenme ve adaptasyon unsurlarını öne çıkararak esneklik merkezli bir proje yönetim modeli sunmakta, Hietajärvi ve diğ. (2017) de projenin yaşam döngüsü boyunca değışim doğrultusunda evrilmeyi güçlendirecek bütünleşik adaptasyon mekanizmalarını incelemektedir. Ayrıca, Sohi ve diğ. (2016) çevikliğin yalınlık ile birlikte kullanımının gerekliliği üzerinden bu iki yaklaşım altında öne sürülen stratejilerin ne kadar etkili olduğunu incelemekte, Saini ve diğ. (2018) ise yalınlık ve çeviklik üzerinden örtülü bilginin (tacit knowledge) nasıl daha etkin bir şekilde yönetilebileceğini irdelemektedir.

Yalınlık ve çeviklik, organizasyonun belirsizlikleri ve değişimleri yönetebilme kabiliyetini de arttırmaktadır. Yalınlık doğrultusunda ürün ve süreç ne kadar mükemmelleştirilir ve yapısal karmaşa ne kadar azaltılırsa, dinamik belirsizliklerin çeşitliliği, büyüklüğü ve etkisi de o kadar az olacaktır. Çeviklik doğrultusunda ne kadar çok duyarlı, esnek, öğrenmeye açık ve uyumlu olunursa, dinamik belirsizlikler ile mücadele kabiliyeti de o kadar yüksek olacaktır.

Dinamik belirsizlikler konusunda özellikle beklenilmeyenin getirdiği iç ve dış durum değişimlerinin yönetimi öne çıkarılmaktadır (Love ve diğer., 2002). İç duruma yönelik olarak Lehtiranta (2011) işbirlikteliğin getirdiği organizasyonlar arası bağıntı risklerinin yönetimini, dış duruma yönelik olarak Balkiz ve Therese (2014) sosyo-kültürel dalgalanmaların yapı endüstrisi üzerindeki etkisini incelemektedir. Qazi ve Therese (2016), bir karmaşıklık-risk ağı modeli ve organizasyonun belirsizliklere karşı uygulayabileceği bir çerçeve sunmaktadır.

Yönetimsel yaklaşımlara yönelik olarak SLİ içerisinde incelenen tüm çalışmalar Tablo 4.3 içerisinde sunulmaktadır. Çalışmalar çoğunlukla yönetim biçimi, uyum sağlayabilme yeterliliği ve belirsizlik yönetimi üzerinedir. Luo ve diğer. (2017) tarafından da belirtildiği gibi, tüm bu yönetimsel yaklaşımlar ancak tekniksel yaklaşımlar ile desteklenebildiği zaman başarılı olabilir.

Tablo 4.3 SLİ kapsamında yönetsel yaklaşımlara yönelik incelenen çalışmalar

N o	Yazarlar (Tarih)	Çalışmanın yöntemi	Çalışmanın konusu	Çalışmanın içeriği
1	Love ve diğer. (2002)	İki adet 6 katlı apartman yapısının sürecine ilişkin ilişkiler gözlemler	Değişimin yönetimi	Yapı projelerinde değişimin yönetimi üzerinde durulmaktadır. Karmaşık yapı projelerinin iç ve dış çevrelerinin dinamik yapısının getirdiği beklenmedik değişimleri yönetme konusunda risk yönetimi alanının yetersiz kaldığı belirtilerek, değişimin kaynaklarının olumlu ve olumsuz etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi amaçlı bir çalışma yürütülmektedir.
2	Brady ve diğer. (2005)	Görüşme	Bütünleşik iş modeli ve işbirlikçilik	İstemler bütünleşikliği ve bütünleşik çözüm üretme kavramları öne çıkarılmakta ve yapı endüstrisinde müşteri taleplerinin karşılanabilmesi için bütünleşik bir iş modeline ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir. Bu doğrultuda bütünleşik çözüm üretimi, projenin tüm yaşam döngüsü boyunca müşterinin özgün ihtiyaçlarını karşılayabilecek ürün ve servisler bütünü olarak tanımlanmaktadır.
3	Krinner ve diğer. (2011)	Bir sağlık yapısı projesinin tasarım aşamasının gözlemi	Yalın üretim anlayışı doğrultusunda matris tabanlı bir analiz ile organizasyonun yapısal karmaşasının azaltılması	Organizasyonun yapısal karmaşasını azaltmak amacıyla yalın üretim ekseninde çoklu-alan matrisi (Multiple-Domain Matrix) metodu kullanılmaktadır. Üretimin tasarım aşamasına yoğunlaşan bu çalışmada, alt-organizasyonlar modüllere ayrılmakta ve bu modüllerin akılcıca yönetimi üzerinden atıkların ve değerlerin tespit edilmesini hedeflenmektedir.
4	Lehtiranta (2011)	Görüşme	İşbirlikçiliğin getirdiği organizasyonlar arası bağıntı risklerinin yönetimi	Yapı üretiminin işbirlikçiliğin gereği olarak birçok farklı disiplinden katılımcıyı barındırdığı ve bu durumun da fırsatların yanı sıra riskleri de beraberinde getirdiği belirtilmektedir. Bu tür bir durum altında organizasyonlar arasındaki bağıntısal risklerin proje başarısını tekniksel performans risklerinden daha fazla zorladığına işaret edilerek, bu tür risklerin ve sonuçlarının daha iyi algılanıp yönetilebilmesine yönelik bir çalışma yürütülmektedir. Sonuç olarak ise bağıntısal risklerin kaynağı olarak gösterilen karmaşıklığın, belirsizliklerin ve dinamikliklerin üstesinden gelebilmek için karmaşıklık düşüncesi altında sunulan yaklaşımlar öne çıkarılmaktadır.
5	Giezen (2012)	Rotterdam metro hattı inşaatı projesine ilişkin görüşme ve gözlem	Karmaşıklığın azaltılmasının olumlu ve olumsuz etkileri	Projelerin zaman ve bütçe aşımalarının sebepler sorgulanmakta ve bu duruma yönelik olarak karmaşıklığın azaltılmasının ne tür olumlu ve olumsuz etkilerinin olacağı irdelenmektedir. Bir mega-altyapı projesine ilişkin görüşmeler ve gözlemler üzerinden yapılan çalışmada, karmaşıklığı azaltmanın belirsizlikleri azalttığı fakat yenilikçi çözümleri de sınırladığı ve bu bağlamda gereğinden fazla karmaşıklık ve gereğinden fazla basitleştirme arasında bir dengenin kurulması gerektiği belirtilmektedir.

Tablo 4.3 devamı

N o	Yazarlar (Tarih)	Çalışmanın yöntemi	Çalışmanın konusu	Çalışmanın içeriği
6	Favari (2012)	Ulaştırma projesinde paydaşlar ile görüşme ve belgelerin incelenme	Altyapı projelerinin yönetimi için karmaşıklığın azaltılması	Altyapı projelerinin yürütülmesindeki başarısızlıkların sebebi olarak yönetsel sorunlara işaret edilmekte ve bu durum karmaşıklık üzerinden ele alınmaktadır. Proje yönetiminde karmaşıklığın azaltılmasına yönelik olarak başlıca şu alanlar sıralanmaktadır; etkili finansal destek, organizasyon ağı analizi, iletişim yönetimi, sözleşme ve risk yönetimi.
7	Uihlein (2013)	Literatür verisi	Disiplinlerarası bütünlük	Yapı üretimine yönelik olarak bütünlüğün değer katan bir yaklaşım olarak öne çıktığı, hem organizasyonların bu yönde gelişim gösterdiği hem de bu yaklaşımı destekleyen araçların (BIM gibi) yaygınlaştığı belirtilmektedir. Farklı disiplinlerin bu yaklaşım yönünde ne kadar ilerleme kaydettiğine yönelik bir değerlendirme yapılan çalışmada, sektörler arasında eğilim ve gelişim açısından farklılıklar bulunduğu işaret edilmektedir.
8	Hu ve diğer. (2013)	Sistemik literatür incelemesi	Yönetim çerçevesi ve stratejileri	Karmaşık proje yönetimi ile mega-yapı projelerinin yönetimi arasında bir bağlantı kurulmakta ve mega-projelerin yönetimindeki eğilimleri araştırmak amacıyla sistemik bir literatür incelemesi yürütülmektedir. Sonuç olarak popülerlik derecesine göre sıralanan şu sekiz alan belirlenmektedir: • Organizasyon ve paydaş yönetimi, • Proje planlaması ve satın alma, • Maliyet ve zaman yönetimi, • İnşaat ve arazi yönetimi, • Risk analizleri ve yönetimi, • Bilgi teknolojilerinin geliştirilmesi ve kullanımı, • Liderlik ve profesyonellik gelişimi, • Karmaşık proje yönetimi, • Proje takibi ve kontrolü.
9	Jensen ve diğer. (2014)	Alçı panel üretimi üzerine gözlem ve görüşme	Ürün, süreç ve organizasyonun hizalı bütünlüğü	Yapı endüstrisi ürün, süreç ve organizasyon modüllerinden oluşan karmaşık bir üretim sistemi olarak tanımlanmakta ve başarılı bir üretim için parçalı halde bulunan bu üç modülün hizalı (alignment) bütünlüğüne ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir.
10	Uihlein (2014)	Anket çalışması	Tasarımı sürecinde inşaat mühendislerinin katılımı	Yapı tasarım sürecinde mimarlar ile inşaat mühendislerinin birlikte hareket etmelerinin sağlayabileceği faydalar incelenmektedir. Yapılan anket çalışmasının sonuçları bu tür bir bütünlüğün zaman, profesyonel ilişkiler ve işbirlikçi çevre boyutlarına değer kattığını, tekniksel inovasyon, inşa edilebilirlik, mimari tasarım, strüktürün diğer sistemler ile bütünlendirilebilmesi ve kullanıcı ihtiyaçlarının karşılanabilmesi açılarından da fayda sağladığını göstermektedir.

Tablo 4.3 devamı

N o	Yazarlar (Tarih)	Çalışmanın yöntemi	Çalışmanın konusu	Çalışmanın içeriği
11	Davies ve Mackenzie (2014)	Londra 2012 organizasyonu üzerine gözlem ve görüşme	Üretim organizasyonu içerisindeki alt sistemlerin hizalı bütünlüklüğü	2012 Londra Olimpiyatları organizasyonu üzerinden projeyi yerine getiren alt sistemlerin birbiri ile projenin ana amaçlarına yönelik olarak ne kadar bütünlüklü içerisinden hareket ettiği ve faaliyetlerini değişime karşı ne kadar başarılı bir biçimde sürdürebildiği sorgulamaktadır.
12	Brady ve Davies (2014)	Londra 2012 Olimpiyat Parkı ve Heathrow Terminali (T5) projeleri üzerinde gözlemler	Strüktürel ve dinamik karmaşıklığın yönetimi için uygulanabilecek yöntemler	Sstrüktürel ve dinamik karmaşa türleri üzerinden bir proje karmaşıklığı çerçevesi oluşturmada ve bu çerçeve Londra 2012 Olimpiyat Parkı ile Heathrow Terminali (T5) projeleri üzerinden değerlendirilmektedir. Değerlendirme sonucunda karmaşıklık çerçevesinin bu iki proje tarafından nasıl başarılı bir şekilde karşılandığına yönelik çıkarımlar yapılmaktadır. İki projenin yönetim biçimlerinde bazı farklılıklar olduğu, fakat temelde şu tür benzerliklerin bulunduğu belirtilmektedir: • Güçlü işveren liderliği ve kabiliyeti • İşbirliktelik • Duyarlı ve esnek olabilmek • Yenilikçi yaklaşımlar • Dijital teknolojilerin kullanımı • Ortaya çıkan üzerinden yaklaşım üretme
13	Balkiz ve Therese (2014)	Literatür verisi	Kuzey Kıbrıs'ın sosyo-kültürel yapısının yapı endüstrisi üzerindeki etkisi	Toplumsal, politik ve tarihsel sebeplerle Kuzey Kıbrıs içerisinde yaşanan sosyo-politik dalgalanmaların inşaat endüstrisine olan etkileri üzerinde durulmaktadır. Yüksek seviyede değişken ve belirsiz bir ortam yaratan bu durumun aslında küçük bir bölgedeki üretimi son derece karmaşık bir yapıya büründürdüğü ve organizasyonların karar verme gücünü zayıflattığı belirtilmektedir.
14	Janipha ve diğer. (2015)	Anket çalışması	Satın alma sürecinde müşteri katılımı	Yapı üretimine ilişkin malzeme satın alımı esnasında müşteri katılımının üretim üzerindeki etkileri incelenmektedir. Anket üzerinden yapılan çalışmada, müşterilerin katılımının memnuniyet, maliyet ve kalite açısından fayda sağladığı belirtilmektedir.
15	Grabher ve Thiel (2015)	2012 Londra Olimpiyat Oyunları organizasyonunun katılımcıları ile görüşmeler	Bir mega-proje içerisindeki işbirlikteliğin organizasyon, katılımcılar ve uzmanlık alanları açısından kattığı değer	2012 Londra Olimpiyat Oyunları gibi tek bir elden yönetilmesi mümkün olmayan büyük bir organizasyonun gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan bilgi, yetenek ve uzmanlık kaynağı aktarımı (mobilizasyonunu) incelenmekte ve bu aktarım çerçevesinde ilerleyen projenin organizasyonun kendisi, organizasyona katılan bireylerin kendi kariyerleri ve uzman toplulukların deneyimi-öğrenimi için ne tür katkılar sağladığı irdelenmektedir.

Tablo 4.3 devamı

N o	Yazarlar (Tarih)	Çalışmanın yöntemi	Çalışmanın konusu	Çalışmanın içeriği
16 17	Kermanshachi ve diğer. (2016a ve 2016b)	Anket çalışması ve Delfi analizi	Yönetim çerçevesi ve stratejileri	Delfi analizleri üzerinden öncelikle karmaşıklığın etkilerinin ağırlıklarını saptanmakta ve sonrasında ise bu bulgular üzerinden yine Delfi analizleri ile hangi karmaşıklık etmenine yönelik hangi yönetim stratejilerinin uygulanabileceği çıkarılmaktadır. Proje yöneticisinden beklenen, yönetilen projenin durumuna göre bu listeden ihtiyaç duyulan bir veya birkaç stratejiyi seçerek uygulamasıdır. Bu çalışmalarda belirlenen bazı strateji alanları şu şekildedir: • Yönetim: Proje ekibi içerisindeki otorite yapısının netleştirilmesi; Yüklenici yönetimi: Yerel danışmanlar ile çalışılması • Yasal: Yasal zorunlulukların ve kısıtlılıkların saptanması • Mali planlama: Kaynaklara yönelik rollerin ve sorumlulukların tanımlanması • Arayüz: Organizasyon ağının haritalandırılması • Kapsam tanımı: İyi tanımlanmış bir değişim yönetiminin oluşturulması, sürecin etkilere karşı esnek bir yapıda olması • Bölge: Lojistik planlarının yapılması • Tasarım ve teknoloji: Bilinen en iyi yöntemlere başvurmak, yenilikleri adapte etmek • Proje kaynakları: Geçici insan kaynağı kullanımından uzak durmak, yerel insan kaynaklarına başvurmak • Kalite: Deneyimli ve güvenilir altyüklenicilere başvurmak • Uygulama hedefleri: Kalite kriterleri belirlemek,
18	Qazi ve Therese (2016)	Anket çalışması	Karmaşıklık-Risk ağının modellenmesi ve yönetilmesi	Proje karmaşıklığına yönelik bir risk ağı modeli oluşturulmaktadır. Bu model ile karmaşıklık etkenleri, karmaşıklık kaynaklı riskler ve proje hedefleri arasındaki ilişkilerin anlaşılması hedeflenmekte ve sonrasında bu karmaşık ilişki ağının nasıl yönetilebileceği üzerinde durulmaktadır. Çalışmada belirtilen "Proje Karmaşıklık ve Risk Yönetimi" (Project Complexity and Risk Management – ProCRiM) içerisinde izlenmesi gereken yol şu şekilde sıralanmaktadır; "durumu kavra", "risk ve karmaşıklık ağını tanımla, analiz et, değerlendir, çözüm üret", "çözümleri uygula", "risk ve karmaşıklık ağını gözlemle".
19	Sohi ve diğer. (2016)	Anket çalışması	Yalın ve çevik üretim kapsamında proje karmaşıklığının azaltılması ve yönetimi	Yalın ve çevik üretim anlayışlarının yapı üretiminde karmaşıklık ile mücadele edilebilmek (karmaşıklığın azaltılması ve yönetilmesi) ve proje performansının geliştirilebilmek konusunda fayda sağlayıp sağlamadığı incelenmekte, yalın ve çevik üretim altında öne sürülen stratejilerin ne kadar etkili olduğu bir anket çalışması üzerinden değerlendirilmektedir.
20	Chapman (2016)	Literatür verisi + bir demiryolu projesinde test etme	Demiryolu mega-projeleri için bir karmaşıklık yönetimi çerçevesi; karmaşıklık, dinamiklik ve belirsizlik yönetimi	Demiryolu mega-projelerinin yönetimi için karmaşıklığın boyutlarının ve stratejilerinin tanımlandığı bir çerçeve ortaya koyulmaktadır. Bu çerçevede belirlenen altı karmaşıklık boyutu iki gruba ayrılmaktadır; projenin kontrolü altında olanlar (görev, yönetim ve teslimat) ve olmayanlar (finans, arazi ve kontekst). Karmaşıklığın projenin tüm yaşam döngüsü boyunca ele alınması gerektiği belirtilmekte, değişimin ve belirsizliklerin yönetimine önem verilmektedir. Bu doğrultuda yönetim stratejiler de iki gruba ayrılmaktadır; projenin yönetim yapısına ve başlangıcına yönelik stratejiler, süreci güvence altında tutan ve proje yönetiminin süreç içerisindeki gelişimini sağlayan stratejiler.

Tablo 4.3 devamı

N o	Yazarlar (Tarih)	Çalışmanın yöntemi	Çalışmanın konusu	Çalışmanın içeriği
21	Eriksson ve diğer. (2017)	138 yapı projesinin verilerinin incelenmesi	Altyapı projelerinde karmaşıklığın yönetimi için esneklik odaklı bir yönetim modeli	Projelerin özgün karmaşık yapısının tespit edilip bu özgünlüğe göre bir proje yönetim anlayışının oluşturulması gerektiği belirtilmekte ve altyapı projelerinin yönetimine ilişkin olarak esneklik anlayışını ön planda tutan bir yönetim modeli sunulmaktadır. Bu modelin proje zamanlaması açısından performans artışı sağlayacağı belirtilmektedir. 138 yapı projesinden elde edilen veriye dayanarak hazırlanan bu model, üç ana olguyu öne çıkarmaktadır; işbirliktelik (collaboration), keşfedici öğrenme (explorative learning) ve uyarlanabilirlik (adaptasyon). Bu üç kavram, birbirini destekleyen ve dolayısıyla birlikte kullanılması gereken yaklaşımlar olarak gösterilmektedir: • İşbirliktelik; birlikte problem çözmeyi ve birlikte gelişmeyi desteklemektedir. • Keşfedici öğrenme; esneklik, risk alma, kapsamlı araştırma ve deneycilik aracılığıyla yeni bilginin oluşumunu sağlayarak yaratıcılığı, yenilikçiliği ve radikal gelişimi desteklemektedir. • Uyarlanabilirlik; öngörülemeyen belirsizliklerden doğan değişime tepki gösterebilmeyi ve adapte olabilmeyi desteklemektedir.
22	Luo ve diğer. (2017)	Sistematiik literatür incelemesi	Yönetim stratejilerinin belirlenmesi	Yapı projelerindeki karmaşıklığa yönelik literatürün incelendiği çalışmada, karmaşıklığa ilişkin iki öne çıkan nokta belirlenmektedir: Yaklaşımlar daha çok niteliksel analizlere dayanmaktadır. Yaklaşımlar daha çok risk yönetimi ve adaptasyon kabiliyetleri üzerinedir.
23	Hietajärvi ve diğer. (2017)	İki altyapı projesi üzerinden gözlem	Bütünleşik organizasyon mekanizması ve bu mekanizmanın zaman içerisindeki evrilmesi	Karmaşık bir projenin yönetiminde organizasyon içerisindeki bütünleşiklik mekanizmasının yapısının ve bu yapının zaman içerisindeki adaptasyon kabiliyetinin önemine dikkat çekilmektedir. Bu doğrultuda iki altyapı projesi (bir tünel inşaatı projesi ve bir demiryolu renovasyonu projesi) üzerinden yapılan çalışmada üç değişim alanına (projenin yaşam döngüsü, beklenmedik olaylar ve proje esnasındaki öğrenme) yönelik ne tür mekanizmaların oluşturulabileceği irdelenmektedir.
24	Saini ve diğer. (2018)	Anket çalışması	Yalın ve çevik üretim kapsamında örtülü bilginin aktarımı ve paylaşımı	Yalın ve çevik üretim anlayışlarının yapı üretiminde birlikte kullanılması gerektiği ve bu anlayış kapsamında örtülü bilginin (tacit knowledge) etkili bir biçimde aktarılabilmesi ve paylaşılabileceği belirtilmektedir. Bu kapsamda hangi faktörlerin kritiklik taşıdığını saptamak amacıyla yalın üretim, çevik üretim ve tedarik zinciri yönetiminde uzman kişiler üzerinden yapılan bir anket çalışması yapılmaktadır. Verilerin analizi ile belirlenen faktörler, önem derecesine göre şu şekilde sıralanmaktadır; güven, motivasyon, liderlik yetileri, iş stratejileri, organizasyon yetileri, bireylerin yetileri, süreç gelişiminin tanımlanabilmesi, bilginin türünün tanımlanabilmesi, bilginin kaynağının tanımlanabilmesi, bilginin alıcısının tanımlanabilmesi.
25	Gao ve diğer. (2018)	Anket çalışması	Kontrat düzenlemeleri ve görev tanımları	Proje karmaşıklığının olumsuz etkileriyle (riskler) mücadele edebilmek için etkili yönetim mekanizmalarının geliştirilmesi gerektiği belirtilmekte ve bu duruma yönelik olarak kontrat düzenlemeleri üzerinde durmaktadır. Kontratlar aracılığıyla sağlanabilecek kontrol, koordinasyon ve adaptasyon işlevlerinin proje uygulayıcılarının tekniksel, organizasyonel ve çevresel karmaşa etkenlerini başarılı bir şekilde yönetebilmesi konusunda ne kadar etkin olduğu irdelenmektedir.

Tablo 4.3 devamı

N o	Yazarlar (Tarih)	Çalışmanın yöntemi	Çalışmanın konusu	Çalışmanın içeriği
26	Shadid (2018)	Anket çalışması ve Delfi analizi	Karmaşık ve dinamik çevreler içerisinde uygulanabilecek bir konsept organizasyon yönetim çerçevesi	Bir "dinamik strateji çerçevesi" sunulmaktadır. Bu konsept çerçeve, yapı endüstrisinde çalışan uzman yöneticiler üzerinden iki aşamalı bir Delfi tekniği ile hazırlanmakta ve karmaşıklığın sebep olduğu belirsizlik, tahmin edilemezlik, düzensizlik, hızlı değişim ve doğrusal olmama gibi sorunlara yönelik stratejileri içermektedir. Bu çerçeve, şu ana başlıkları içermektedir; • Senaryo planlaması; politik, sosyal ekonomik çevrelerin, pazarların, belirsizliklerin, rakiplerin vb. belirlenmesi • Lider merkezli davranış; amaçların, prensiplerin ve vizyonun belirlenmesi, katılımcıların rollerin ve sınırlarının biliniyor olması, güçlü iletişim ve koordinasyon vb. • Kendiliğinden organizasyon; dağınık strüktür, katılımcıların amaçlarının hizalılığı vb. • Aktif tarama; sürecin sürekli takibi • Adaptasyon; değişimlerin erken tespiti ve yorumlanması, öğrenim ve karar alma vb • Sürdürülebilirliğin korunması; kalitenin ve gelişimin devamlılığı vb. • Maliyet kontrolü: Kaynakların ve giderlerin kontrol edilmesi

4.2.3.2 Grup 2 –Yapı üretiminin teknolojik açıdan bütüncül bir biçimde nasıl ele alınabileceğine ilişkin modeller (çerçeveler) sunan çalışmalar

Bu gruba dahil olan 11 adet çalışma incelendiğinde, tariflenen bütüncül tekniksel yaklaşımları tanımlamak amacıyla bazı kavramların öne sürüldüğü görülmektedir. Bunlardan bazıları şunlardır; "Bilgisayarlaştırılmış Yapım" (*Computerized Construction*), "Bilgisayarla Bütünleşik Yapım" (*Computer Integrated Construction*), "Sistemler Bütünleşikliği" (*Systems Integration*), "Akıllı Yapı Üretimi" (*Smart/Intelligent Construction*) ve "Endüstri 4.0". Anlam ve kapsam olarak birbirleriyle büyük ölçüde örtüşen bu kavramlar altında sunulan düşünceler, projenin tüm yaşam döngüsü boyunca sürdürülen saha içerisindeki ve dışarısındaki üretim faaliyetlerinin bilgi ve iletişim sistemlerinin bütüncül kullanımı ile nasıl yarı- veya tam-otonom hale getirilebileceği üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmalar "Tablo 4.4" içerisinde dasunulmaktadır.

Tablo 4.4 Yapım karmaşıklığına yönelik bütüncül tekniksel yaklaşımlar kapsamında incelenen çalışmalar

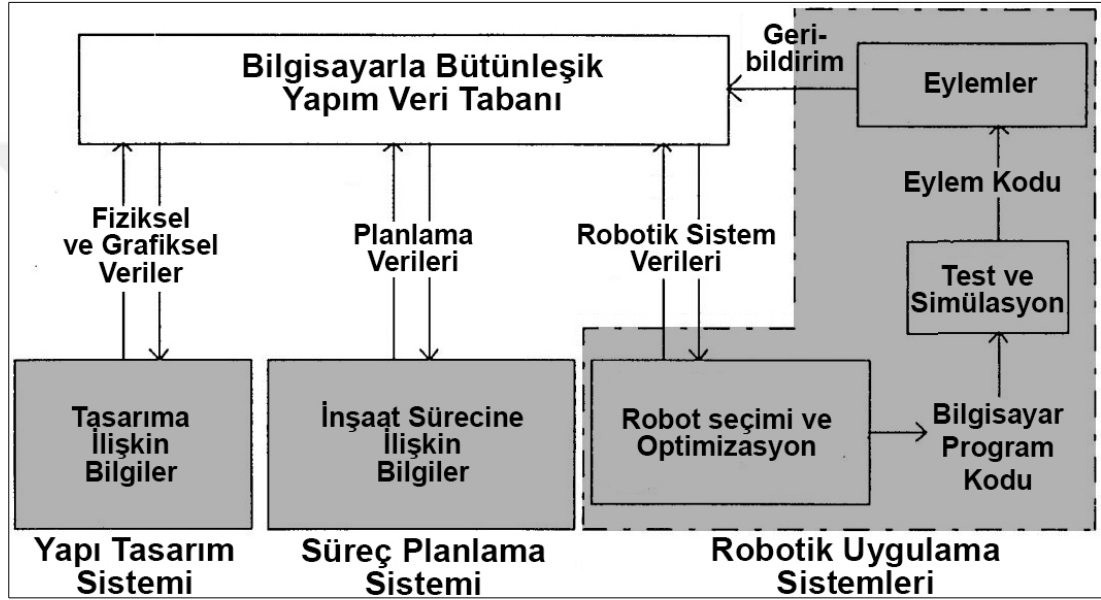
No	Yazar(lar) (Tarih)	Çalışma Konusu
1	William (1986)	Bilgisayarlaştırılmış yapım için izlenebilecek yollar ve kullanılabilecek teknolojiler
2	Howard ve diğer. (1989)	Bilgisayarla bütünleşik yapım için izlenebilecek yollar ve kullanılabilecek teknolojiler
3	Alfares ve Seireg (1996)	Bilgisayar destekli tasarım ve inşaat için bütünleşik bir üretim çerçevesi
4	Jung ve Gibson (1999)	Bilgisayarla bütünleşik yapım doğrultusunda bütünleşiklik
5	Austin ve diğer. (2002)	Sistemler bütünleşikliği için bir yapı üretim çerçevesi
6 7	Shen ve diğer. (2008 ve 2010)	Sistemler bütünleşikliği için bir yapı üretim çerçevesi ve bu doğrultuda kullanılabilecek teknolojiler
8	Bulbul ve diğer. (2009)	Akıllı yapı üretim sistemi (<i>intelligent construction system</i>)
9	Oesterreich ve Teuteberg (2016)	Endüstri 4.0 doğrultusunda kullanılabilecek yapı üretim teknolojileri ve yöntemleri
10	Jäger ve diğer. (2016)	Endüstri 4.0 doğrultusunda kullanılabilecek yapı üretim teknolojileri ve yöntemleri
11	Wu ve Cai (2017)	Akıllı yapı üretimi (<i>smart construction</i>) doğrultusunda akıllı kentlerin inşası

Literatür incelemesinde bu grup altındaki düşüncelere yönelik rastlanılan en eski iki çalışma olan William (1986) *"Future directions for computerized construction research"* ile Howard ve diğer. (1989) *"Computer integration: reducing fragmentation in AEC industry"*, yapı üretiminin gelecekte bilgisayar destekli olarak nasıl bütünleşik ve otomatik olarak yürütülebileceği üzerinde durmaktadır. Bu bağlamda sunulan konseptler; tasarıma ve inşaata ilişkin karar vermenin nasıl desteklenebileceği, üretim sürecine ilişkin verinin nasıl bir araya getirilebileceği, endüstri içerisinde parçalanmış haldeki katılımcıların nasıl bütünleştirilebileceği, iletişimin nasıl güçlendirilebileceği, sürecin tümüne yönelik olarak yarı veya tam otomasyonun nasıl sağlanabileceği üzerinedir.

William (1986), bilgisayarlı yapı üretimi için dört ana alan tanımlamaktadır; proje bütününde veri tabanı ve iletişim sistemleri, bilgi tabanlı (*knowledge-based*) sistemler, simülasyon, robotik sistemler. Veri tabanı ve iletişim sistemleri, tüm bu alanlar içerisinde sistemlerin birleştiricisi konumundadır. Üretime ilişkin tüm bilgi (tasarım, inşaat, maliyet, süreç, vb.) veri tabanı içerisinde toplanmakta ve iletişim sistemleri aracılığıyla proje katılımcıları arasında iki yönlü bir bilgi alışverişi kurulmaktadır. Bilgi tabanlı sistemler, genel olarak bilgiyi işleyen yapay zeka sistemleri üzerinedir. Simülasyon alanı, yapay zeka ile de bağıntılı olarak süper-bilgisayarlar üzerinden üretime ilişkin verinin işleme modellerini ve algoritmalarını incelemektedir. Robotik sistemler, otonom robotların görev tanımları üzerinde durmaktadır. Benzer biçimde Howard ve diğer. (1989) ise, bilgisayarla bütünleşik yapımı desteklemek için dört teknoloji alanı belirlemektedir; mimarlık ve mühendislik faaliyetlerini destekleyen yapay zeka sistemleri, grafiksel ve grafiksel olmayan veriyi kontrol eden veri tabanları, inşaat otomasyonunu destekleyen robotik sistemler ve teknoloji yönetimine ve yayılımına yönelik bilgisayar tabanlı eğitim sistemleri.

Karmaşık yapım sürecine yönelik olarak sunulan bu teknolojileri, Alfares ve Seireg (1996) bir bilgisayar destekli bütünleşik üretim süreci çerçevesi altında toplamaktadır. Bu çerçeve (Şekil 4.4), dört ana bileşenden oluşmaktadır;

bilgisayarla bütünleşik yapı-üretim veri tabanı, yapı tasarım sistemi, inşaat süreci planlama sistemi, robotik-otomatik uygulama sistemi. Ayrıca Alfares ve Seireg bu çerçeve altında gerçekleşen üretimi üç ana sürece ayırmaktadır; bütünleşik tasarım/inşaat planlaması, saha-dışı otomasyon sistemi ve saha-içi otomasyon sistemi. Çerçeve içerisinde görüldüğü gibi, "bilgisayarla bütünleşik yapı-üretim veri tabanı" diğer bileşenler içerisindeki sistemler ile iki yönlü bir iletişim kurarak tüm sistemin bütünleşikliğini sağlamaktadır.



Şekil 4.4 Alfares ve Seireg (1996) tarafından ortaya koyulan bilgisayarla bütünleşik yapım sistemi çerçevesi

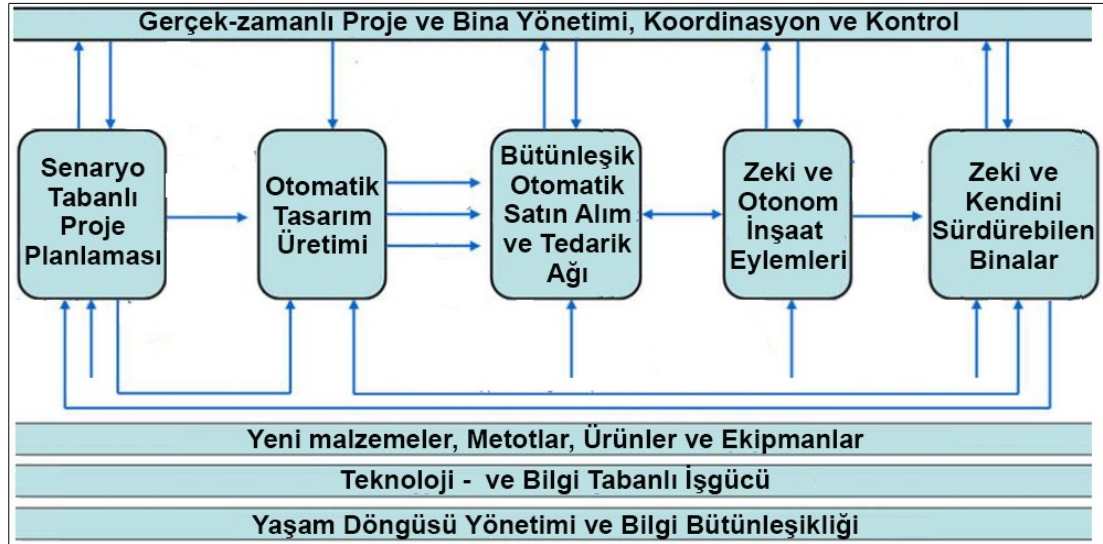
Jung ve Gibson (1999), projenin tüm yaşam döngüsünün bütüncül olarak ele alınmasını sağlayacak olan bilgisayarla bütünleşik yapım yaklaşımının üç farklı boyutta fayda sağlayabileceğini ifade etmektedir:

- Aşamalar arası bütünleşiklik: Projenin tasarım, planlama, yönetim ve inşaat gibi safhalarının dizesel olarak değil, süreç içerisinde bir bütün olarak ele alınabilmesi,
- Disiplinlerarası bütünleşiklik: Proje içerisindeki tüm katılımcıların (mimar, mühendis, yüklenici, işveren vb.) birbiri ile sıkı iletişim kurabilmesi ve ortak

amaçlar doğrultusunda hareket edebilmesi,

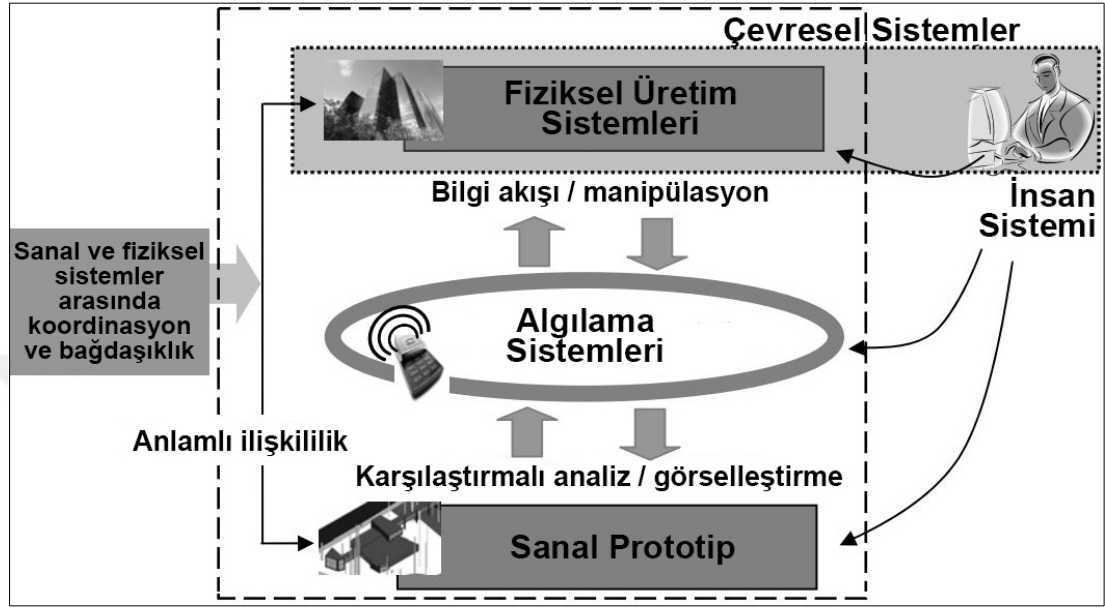
- Zamansal bütünlük: Proje faaliyetlerinin ve sürecin durumunun gerçek zamanlı (*real-time*) olarak tüm katılımcılar tarafından bilinebilmesi.

Süreç içerisindeki sistemlerin bütünlüğü, belirtildiği gibi birçok fayda sağlamaktadır. "Bölüm 3.3.2" içerisinde bahsedilen "*Generic Design and Construction Process Protocol*" modeli de bu tür araçlarla oluşturulmaktaydı. Bunun ötesinde bir başka örnek olarak, "*Fully Integrated and Automated Technology*" (FIATECH) çerçevesi bulunmaktadır. Shen ve diğer. (2008 ve 2010), sistemler bütünlüğü ve işbirliklik üzerine bir inceleme yapmakta ve üretimin iletişim halinde ortak bir çerçeve altında yürütülebilmesini sağlayacak bir veri modellemesinin gerekliliğine dikkat çekmektedir. Bu noktada da FIATECH çerçevesini (Şekil 4.5) ön plana çıkarmaktadır. Yapının tüm yaşam döngüsüne yönelik olarak yüksek otomasyonlu bir bütünlük yönetim modeli sunan bu çerçeve, üretime ve sonrasına ilişkin tüm aşamalarda optimal kararın verilebilmesi için tüm gerekli verinin, bilginin ve deneyimin proje katılımcıları tarafından kesintisiz olarak erişilebilir olmasını hedeflemektedir.



Şekil 4.5 FIATECH'in öne sürdüğü otonom yapım sistemi çerçevesi (Shen ve diğer., 2010)

Bulbul ve diğer. (2009), sistemlerin sistemi yaklaşımı altında bir akıllı yapı üretim sistemi hazırlamaktadır (Şekil 4.6). Bu sistem ile fiziksel, sanal, teknolojik ve insan çevrelerinin etkin bir bütünleşikliği hedeflenmektedir.



Şekil 4.6 Bulbul ve diğer. (2009) tarafından ortaya koyulan akıllı yapı üretim sistemi

Oesterreich ve Teuteberg (2016) ile Jäger ve diğer. (2016), yapı üretiminde enformasyon ve otomasyon teknolojilerinin daha fazla yer bulması gerektiğini belirtmekte ve bu amaca yönelik olarak "Endüstri 4.0" kavramı üzerinden değerlendirmeler yapmaktadır. Jäger ve diğer., bu kavramın bileşenleri olan bulut bilgi işlem (*cloud computing*), siber-fiziksel sistemler (*cyber-physical systems*) ve akıllı fabrikalar (*smart factories*) ile esnek, bireyselleştirilebilir, otomatikleştirilebilir, sürdürülebilir, bütünleşik ve verimli bir üretim sürecinin sağlanabileceğini belirtmektedir. Oesterreich ve Teuteberg, üretimi "Endüstri 4.0" seviyesine taşıyabilecek teknolojileri üç ana grupta derlemektedir:

- Akıllı fabrika: Siber-fiziksel sistemler, radyo frekans tanımlama sistemleri, nesnelerin interneti, otomasyon, modülerlik/prefabrikasyon, eklemeli üretim, ürün yaşam döngüsü yönetimi, robotik sistemler,
- Simülasyon ve modelleme: Simülasyon araçları ve modelleri, BIM ve

arttırılmış sanal gerçeklik,

- Sayısallaştırma ve görselleştirme: Bulut bilişim, büyük veri, sosyal medya ve dijitalleştirme.

Son olarak, Wu ve Cai (2017) akıllı kentlerin inşası için bir akıllı yapı üretim teorisi sunmakta ve bu kapsamda 6 unsur belirlemektedir; açık mimarlık (*open architecture*), birleştirilmiş standart sistemi (*unified standard system*), veri mimarisi (*data architecture*), genel işlevler platformu (*general functional platform*), bütünleşik yer-gök-yüzeyi coğrafya bilgi sistemi (*integrated ground-air-space geographical information system*) ve verimli operasyon yönetim merkezi (*efficient operation command center*). Bu tür bir yapıyı destekleyebilecek teknolojilerin bazıları şu şekilde sıralanmaktadır; BIM, bulut-işlem, büyük veri, nesnelerin interneti, 4D görselleştirme.

4.2.3.3 Grup 3 – Yapı üretimindeki karmaşıklık sorununun üstesinden gelebilmek için geliştirilen teknolojileri ortaya koyan çalışmalar

Bu grup altındaki çalışmalar analiz edilip değerlendirilirken merkez noktasının yapı üretim çerçevelerinde bütünleştirici bileşen olarak gösterilen "bilgi veri tabanı" olması mantıklı olacaktır. Bu noktadan çıkışla, elde edilen literatür verisi içerisinde şu tür sorulara cevap bulunacağı söylenebilir;

- Bilgi veri tabanı için ne tür bir platform kullanılmaktadır ve bu platform ne tür teknolojiler ile desteklenmektedir?
- Veri tabanına bilgi hangi kaynaklardan nasıl elde edilmekte, kimlere nasıl aktarılmaktadır?
- Veri tabanında bilgi hangi safhalarda, hangi amaçlarla, kimlerce, nasıl işlenmektedir?
- İşlenen sanal bilgi, fiziksel üretime (saha-içi ve saha-dışı üretim) nasıl dönüştürülmektedir?

Bir yapı üretim veri tabanının yerine getirmesi gereken temel işlev, yapı üretim faaliyetlerine yönelik bilginin saklanabileceği, işlenebileceği ve paylaşılabileceği merkezi ve ortak bir bilgi strüktürü çerçevesi sağlamaktır (Jiao ve diğer., 2013; Chu ve diğer., 2018). Yapı üretimi, birçok farklı disiplinden uzmanlık alanının bir araya geldiği parçalı bir faaliyettir (Zhu ve diğer., 2005). Tüm süreç ve tüm sistem boyunca bütünleşikliği ve dolayısıyla işbirlikteliği arttıran bu tür veri tabanları, bu parçalı ağ içerisindeki ilişkileri güçlendirilebilmek, mekansal ve zamansal kopuklukları giderebilmek, bilgi ve belge akışlarını belirli bir dil altında kayıt altına alabilmek gibi fırsatlar sunmakta ve böylelikle koordinasyonun arttırılmasını, anlaşmazlıkların azaltılmasını, görev tanımlarının netleştirilmesini sağlamaktadır (Redwood ve diğer., 2017). Ayrıca proje katılımcılarının açık olarak erişebildiği veri tabanı platformu içerisinde neyin, nasıl, kimlerce yürütüldüğü bilinebildiği için bütünleşik, hatalardan arındırılmış, kaliteli bir üretim olanağı da sunulmakta, ve sonuç olarak kullanıcı memnuniyeti, şeffaflık ve soruşturulabilirlik, etkin gözlem, kontrol ve işlem, rekabetçiliğin artışı, maliyet, zamanlama ve kalite açısından performans artışı gibi yönlerden fayda sağlanmaktadır (Doloi, 2014).

Veri tabanı platformlarına yönelik incelenen toplam 15 yayın, Tablo 4.5 içerisinde sıralanmaktadır. 1996 ve 2017 tarihleri arasına yayılan bu yayınların konu içerikleri incelendiğinde 2010'lu yıllara kadar olanların daha çok öncül fikirleri barındıran konsept ağırlıklı çalışmalar olduğu görülmektedir. Tarih olarak ilerledikçe ise hem çalışma sayısının arttığı hem de belirli sistemler üzerinde uzlaşmaya başlandığı gözlenmektedir.

Tablo 4.5 SLİ içerisinde veri tabanı platformlarına yönelik olarak incelenen çalışmalar

No	Yazar(lar) (Tarih)	Veri Tabanı Platformlarına Yönelik Çalışma İçeriği
1	Alshawhi ve Underwood (1996)	Nesne tabanlı analiz doğrultusunda tasarım ve inşaat safhalarının bütünleşikliği
2	Ugwu ve diğer. (2001)	Etmen tabanlı işbirlikçi tasarım (agent based collaborative design) sistemlerinin geliştirilmesi
3	Rosenman ve Wang (2001)	İşbirliktelik ve bütünleşiklik için bir açık CAD (<i>open CAD</i>) sistemi
4	Johnson (2004)	Ürün ve süreç bilgilerinin paylaşıldığı bir proje web sayfası
5	Zhu ve diğer. (2005)	Proje organizasyonunun heterojen yapısının bütünleştirilebilmesi için bir konsept çerçeve
6	Lin (2013)	Katılımcılar arasındaki bilgi akışlarını haritaladılan web tabanlı bir iletişim platformu: NBIM (<i>Network-based Interface Map</i>)
7	Kim ve diğer. (2013)	Yapım sürecinde bilginin edinimine, paylaşımına ve yönetimine yönelik olarak bir mobil işlem platformu
8	Li ve He (2013)	Yapı üretimindeki bilgi akışının desteklenmesine yönelik olarak BIM sistemlerinin kullanımı
9	Jiao ve diğer. (2013)	Büyük verinin (big data) saklanıp, işlenip analiz edilebileceği bir platform olarak BIM sistemleri
10	Miettinen ve Paavola (2014)	BIM sistemlerinin yapı üretim faaliyetlerine ilişkin olarak fayda sağlayabileceği alanlar
11	Doloi (2014)	Yapı üretimi için web tabanlı proje yönetiminin uygulanması ve bu uygulamanın sağlayabileceği faydalar
12	Oh ve diğer. (2015)	Farklı BIM sistemlerinin bütünleşikliği
13	Zhang ve diğer. (2016)	BIM doğrultusunda Çin yapı sektörünün modernleşmesi ve endüstriyelmesi
14	Leviäkangas ve diğer. (2017)	BIM doğrultusunda Avusturalya yapı sektörünün dijitalleşmesi
15	Tah ve diğer. (2017)	Yapılandırılmış çevre modellemesine yönelik olarak BeIM (<i>Built Environment Information Modelling</i>) sistemlerinin kullanımı

Alshawhi ve Underwood (1996) tasarım ve inşaat safhalarına yönelik bilginin bütünleştirilebilmesi için yapı bileşenlerinin nesne tabanlı (*object oriented*) bir analizini yapmaktadır. Ugwu ve diğer. (2001) tasarıma yönelik olarak ortak bir platformun nasıl geliştirilebileceğini ve bu platformlar üzerinde işbirlikteliğin nasıl sağlanabileceğini irdelemektedir. Rosenman ve Wang (2001) etmen tabanlı bir "açık CAD" (*open CAD*) sistemi, Johnson (2004) bir proje web sayfası önermekte, Zhu ve diğer. (2005) ise bir proje katılımcılarını bütünleştiren konsept bir çerçeve ortaya koymaktadır.

Lin (2013), proje katılımcıları arasında sözlü olarak kurulan iletişimin takibinin ve yönetiminin kolaylaştırılabilmesi için web tabanlı bir iletişim platformu ortaya koymaktadır. NBIM (Network-based Interface Map) isimli bu sistem, projenin tüm yaşam döngüsü boyunca katılımcılar arasındaki bilgi akışlarını göstermekte ve haritalandırmaktadır. Ayrıca iletişim bilgilerinin aktarılmasını, saklanması ve güncellenmesini sağlayan entegre bir CNIM (Construction Network-based Interface Management) sistemi de sunulmaktadır.

Kim ve diğer. (2013), bütünleşiklik konusunda mobil cihazlar (akıllı telefonlar, tabletler gibi) üzerinden işlem yapılabilen bir platformun kullanımını öne çıkarmaktadır. Bu tür cihazların sunduğu teknolojiler (kablosuz iletişim, artırılmış gerçeklik, veri tabanları, GPS, dokunmatik ekran vb.), süreç içerisinde bilginin edinimini, paylaşımını ve yönetimini desteklemekte, saha içi takibi, görev yönetimi ve gerçek zamanlı bilgi paylaşımı gibi birçok fayda sağlamaktadır.

Yapı üretim faaliyetlerine ilişkin bilginin ne tür bir platform altında toplanabileceği konusunda son zamanlardaki eğilim ise BIM sistemleri yönündedir. Li ve He (2013) ile Jiao ve diğer. (2013), karmaşık yapı üretim bilgisinin projenin tüm yaşam döngüsü boyunca proje katılımcıları arasında etkin ve isabetli bir biçimde paylaşılabilmesi ve aktarılabilmesi için BIM tabanlı bütünleşik bilgi modelleri önermektedirler. Miettinen ve Paavola (2014), BIM sistemlerini yapı endüstrisinin ütopyası olarak nitelendirmekte ve bu teknolojiyi gelecekte yapı üretiminde bütünleşikliği sağlayabilecek temel araç olarak tanımlamaktadır. BIM teknolojisi birçok farklı yazılım ve araç ile desteklenebilmekte, böylelikle parametrik tasarım, 3-boyutlu görselleştirme, yapı ve süreç bilgisinin oluşturulması, simülasyon üretimi ve süreç takibi gibi işlevler ile yapının tüm yaşam döngüsünün etkin yönetimini sağlayabilmektedir.

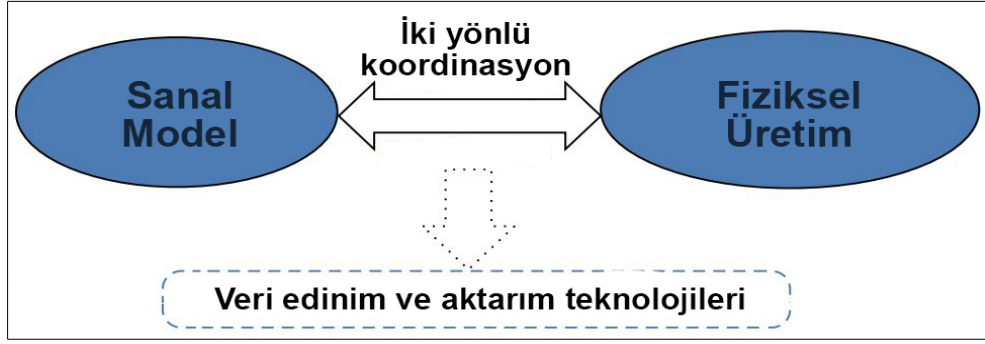
Oh ve diğer. (2015) geliştirilen BIM sistemlerinin işbirliği konusunda fayda sağladığını, fakat tam bir bütünleşiklik için ise farklı BIM sistemlerinin birbiri ile uyum içerisinde çalışması gerektiğini belirtmektedir (bu konuda Tah ve diğer. (2017)

122 farklı BIM sistemi olduğunu belirtmektedir). Farklı proje katılımcılarının farklı tür BIM sistemleri kullanmasından dolayı bu sistemler arasında uyumsuzlukların ve parçalılıkların yaşandığına dikkat çeken Oh ve diğer., çözüm önerisi olarak farklı sistemlerin birbiri ile uyum içerisinde çalışmasını sağlayabilecek birtakım modüller (BIM Modeler, BIM Checker ve BIM Server) ortaya koymaktadır.

BIM teknolojisi, bir işbirlikçilik ve bütünleşiklik aracı olarak tüm bir ülke endüstrisinin performansının artırılabilmesi konusunda da göz önünde bulundurulmaktadır. Zhang ve diğer. (2016) Çin yapı endüstrisinde modern teknolojilerin daha etkin bir biçimde uygulanabilmesinin (özellikle modüler ve endüstriyel üretim yönünde), Leviäkangas ve diğer. (2017) de Avusturalya yapı endüstrisinde dijital sistemlerin kullanımının yaygınlaşabilmesinin (özelikle bilgi-işlem teknolojilerinin) aracılığını yapacak olan temel teknolojinin BIM sistemleri olduğunu belirtmektedir.

Veri tabanı platformuna yönelik son olarak, Tah ve diğer. (2017) BIM sistemlerini coğrafya bilgisi sistemleri ve şehir planlaması sistemleri ile bütünleştiren bir sistem üzerinde durmaktadır. Yapılandırılmış çevrenin tasarımına ve planlamasına yönelik olarak geliştirilen bu platform, BeIM (*Built Environment Information Modelling – Yapılandırılmış Çevre Bilgisi Modellemesi*) sistemidir.

Karmaşık bir sistem olarak nitelendirilen yapı üretim faaliyetinin başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için tüm üretim sürecinin doğru karar alma mekanizmaları ile desteklenmesi, dolayısıyla da belirlenen veri tabanı üzerinden bilgi aktarımının ve işleniminin tüm üretim süreci boyunca sürdürülmesi gerekmektedir. Bu bağlamda gerekli olan ise, veri tabanı üzerindeki sanal bilgi modeli ile fiziksel üretim süreci arasında sürekli ve iki yönlü bir bilgi akışının sağlanması ve de aktarılan bu bilgiler üzerinden etkin bir sanal ve fiziksel üretimin gerçekleştirilmesidir (Şekil 4.7) (Akanmu ve diğer., 2012).



Şekil 4.7 Bütünleşik üretim süreci modeli (Akanmu ve diğer., 2012)

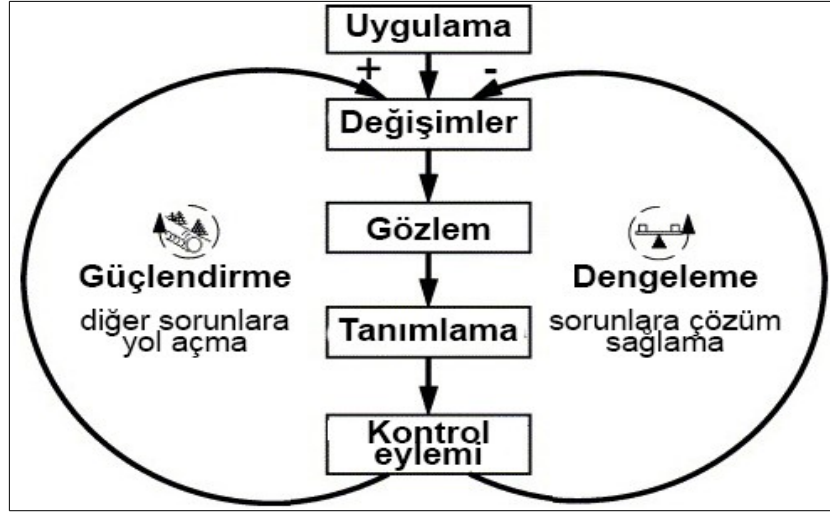
Öncelikle sanal üretim açısından, karmaşık bir proje için tasarımın ve planlamanın sürecin bütününe yayılan eylemler olması gerektiği bağlamında bilginin aktarımının ve işleniminin hangi safhalarda gerçekleştirileceği temelde iki gruba ayrılabilir; inşaat öncesi ve inşaat esnası. Her ne kadar yapı üretim organizasyonları genellikle bu iki safhaya odaklı olsa da, bunların dışında üçüncü olarak ise yapının üretiminin tamamlanmasından sonraki inşaat sonrası safha da bulunmaktadır (Shen ve diğer., 2012). İnşaat öncesi safha genellikle sürecin bütününe kapsayan ana planlamalara yöneliktir; örneğin konsept tasarımlar, malzeme seçimleri, ana süreç planlaması (master scheduling), saha içi düzeninin planlanması, tedarik zincirin planlanması, robotik sistemlerin eylemlerinin planlanması gibi. İnşaat esnasındaki safha ise projenin iç ve dış durum değişimlerinin incelenmesini, sorunların tanımlanmasını ve ilişkin çözümlerin (reaktif ve proaktif) oluşturulmasını kapsamaktadır; örneğin süreç gelişiminin takibi ve analizi, kaynak seviyelendirmesi, ileriye dönük planlamalar (look-ahead scheduling), değişim yönetimi gibi. İnşaat sonrası safha ise yapının kullanımı aşamasındaki ihtiyaçlara yöneliktir; örneğin servis sistemlerinin ve cephe modüllerinin kontrolü gibi.

Belirtilen bu amaçlara yönelik olarak eylemlerin kimlerce nasıl gerçekleştirilebileceği ise şu şekilde sıralanabilir; insanlar aracılığıyla, insanlar ve dijital sistemler işbirlikliğiyle (yarı-otonom olarak) veya dijital sistemlerle (otonom olarak). Dinamiklikler ve belirsizlikler barındıran karmaşık bir yapı projesi, tüm safhalarında çözülmesi gereken yüksek miktarda bilgi (sistem davranışları, sınırlılıklar, etkenler, değişkenler, belirsizlikler) barındırmaktadır (Kim ve Gibson,

2003). Bu yüzden bilginin doğru zamanda doğru biçimde işlenerek doğru yerlere aktarılabilmesi için bilginin hızlı ve isabetli bir şekilde aktarılabilmesi ve değerlendirilebilmesi gerekmektedir. Bunun sağlanabilmesi için gerekli olan ise, bu eylemlerin olabildiğince insanlardan otonom sistemlere devredilmesidir. Örneğin büyük çaplı karmaşık bir projenin tasarımında birçok uzmanlık alanından yüksek miktarda bilgi girdisi bulunmaktadır ve projenin tüm yaşam döngüsünü etkileyecek olan bu safhadaki proje bilgisinin projenin tüm yönleriyle kavranabilmesi dijital sistemlerin desteğini gerektirmektedir (Doloi, 2010).

Benzer biçimde inşaat safhası esnasında sürecin karmaşık yapısından dolayı çeşitli kaynaklardan çeşitli sebeplerle doğan değişimlerin sürekli ve gerçek-zamanlı bir biçimde gözlenmesi, veri toplanması, bu verilerin değerlendirilmesi ve sürecin planlanan dahilinde gerçekleştirilebilmesi veya ortaya çıkan iç ve dış durumlar doğrultusunda geliştirilebilmesi için karar oluşturulması gerekmektedir (Şekil 4.8). Tüm bu süreç esnasında anlık olarak elde edilen bu yığın veri hem oldukça karmaşıktır hem de gereksiz birçok bilgiyi de içerisinde barındırmaktadır. Dolayısıyla sürecin her aşamasında tüm bu verilerin anlamlandırılıp (değişimin sebepleri, parametreleri, neden-sonuç ilişkileri, etki dereceleri, geribildirim biçimleri vs.) bir kararın oluşturulması hem çok zor hem de zaman alıcı olabilmektedir (Motawa ve diğer., 2007). Bu yüzden genellikle insanlar tarafından yürütülen bu eylemlerin de mümkün olduğunca otomatikleştirilmesi gerekmektedir. Bu tür bir gerçek-zamanlı otomasyonun sağlayabilecekleri şu şekilde sıralanmaktadır (Navon ve Goldschmidt, 2003; Leung ve diğer., 2008):

- Üretim sürecine ilişkin performansın değerlendirilmesi,
- Sürece ilişkin sapmaların belirlenmesi ve sürecin olabildiğince istenilen düzeye yaklaştırılması,
- Hataların zamanında tespit edilerek düzeltilmesi ve böylelikle iş tekrarlarının azaltılması,
- Plan değişimlerine yönelik olarak doğru bilgi desteğinin sağlanması.

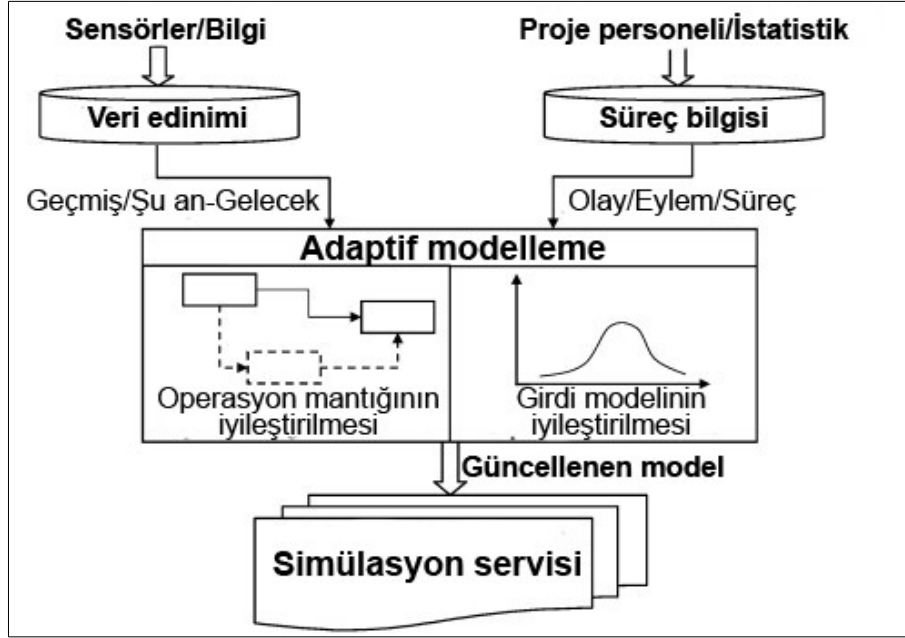


Şekil 4.8 Değişim yönetiminin aşamaları (Motawa ve diğer., 2007)

Bilginin işlenmesi konusunda ise 4-boyutlu dijital sistemler öne çıkmaktadır. Bu tür sistemler, inşaat sürecini zaman boyutu ile birlikte tanımladıkları için özellikle iki-boyutlu sistemlere göre daha doğru karar alınabilmesini sağlamakta ve inşa-edilebilirlik gibi analizlerin yapılabilmesini kolaylaştırmaktadır (Ma ve diğer., 2005). 4D CAD ve BIM gibi bu tür dijital araçlar bilginin işlenme biçimini belirleyen ve hızını destekleyen çeşitli algoritmalar, modüller, simülasyon modelleri, bulut sistemler veya yapay zeka sistemleri ile birlikte kullanılabilir. Tüm bu sistemler, hedeflenen amaçlara yönelik verimli çözümlerin hızlı ve isabetli bir şekilde bulunabilmesini sağlamaktadırlar.

Örnek bir çalışma üzerinden ilerlenecek olursa eğer, Song ve Eldin (2012) tarafından inşaat esnasında ileriye dönük planlamaların nasıl gerçekleştirilebileceğine yönelik olarak bir model sunulmaktadır. Önerilen bu model, dört ana bileşenden oluşmaktadır (Şekil 4.9):

- Sensör sistemleri ile elde edilen gerçek zamanlı veri,
- Proje personeli tarafından elde edilen süreç bilgisi,
- Elde edilen bilgilere göre oluşturulan uyarlanabilir modelleme,
- İleriye yönelik planlama simülasyonu.



Şekil 4.9 Song ve Eldin (2012) tarafından sunulan ileriye dönük planlama modeli

Bu model içerisinde sürece ilişkin veri toplanması konusunda iki tür kaynak gösterilmektedir; sensörler ve insanlar. Otomatikleştirme doğrultusunda insanlardan daha çok öne çıkan sensör sistemleridir. Vähä ve diğer. (2013), veri toplamaya yönelik olarak dört tür sistem tanımlamaktadır;

- Konum belirleme; arazi koordinasyonlarının belirlenmesi gibi amaçlarla takimetre, 3D lazer tarama, GPS, GNSS vb. sistemler ile.
- Takip etme; malzemelerin, araçların veya personelin saha dışındaki ve içindeki hareketliliklerinin takibi, lojistik faaliyetler gibi amaçlarla barkodlama, RF, RFID (radio frequency identification), uydu takibi, kamera gibi sistemler ile.
- Süreç gelişimini izleme; planlanan ile üretilenin karşılaştırılması, sürecin hızının ve durumunun saptanması gibi amaçlarla takip sistemleri ve video-fotoğraf karşılaştıran bilgisayarlı görüntü analiz sistemleri ile.
- Kalite kontrolü; üretilenin istenilen kalite kriterleri ile örtüşüp örtüşmediğini saptamak amacıyla ölçme ve tarama sistemleri ile.

Takip sistemleri ile elde edilen verilerin nasıl işlenebileceği üzerine ise, örneğin Leung ve diğer. (2008) insanların tartışıp karar alabileceği bir platform (Şekil 4.10) sunmaktadır, çünkü karmaşık bir problemin çözülebilmesi uzman insanların karar almasını gerektirebilmektedir. Diğer yandan bu tür faaliyetlerin de otomatikleştirilebilmesi yönünde çalışmalar bulunmaktadır. Yapı üretimi, karmaşık bir sistem olarak "bilinmedik bilinmeyenler" durumu altında yürütülen bir faaliyet olduğu için hem yüksek düzeyde bilgi işlenimini gerektiren hem de "öğrenme kültürü" dahilinde "hatalardan öğrenme" ve "yokla ve öğren" (probe and learn) gibi yaklaşımların uygulanmasını gerektiren bir alandır. Bu duruma yönelik olarak örneğin genetik algoritmalar üzerinden seçim yöntemi ile bilgisayar destekli simülasyonlar üreten ve bu sayede optimum tasarımın veya planlamanın hızlı bir şekilde bulunabilmesini sağlayan araçlar geliştirilmektedir.



Şekil 4.10 İnşa sürecine yönelik işbirliklik platformu (Leung ve diğer., 2008)

Fiziksel üretime yönelik olarak iki grup çalışma olduğu söylenebilir; saha-içi üretim ve saha-dışı üretim. Yapı üretiminin nasıl gerçekleştirilmesi gerektiğine ilişkin sanal olarak işlenen verinin fiziksel olarak başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için

bu alanda da otomasyon ön plandadır. Bu otomasyonu sağlayabilen ise robotik sistemlerdir. Örneğin saha-içi üretime yönelik olarak Kim ve diğer. (2012) arazi çalışmalarına, Davtalab ve diğer. (2018) ise yapının eklemeli üretimine yönelik olarak tasarım-planlama bilgisini otomatik olarak kullanabilen robotik sistemler önermektedir.

Yapı üretim faaliyetlerine ilişkin verinin işlenmesine yönelik olarak incelenen çalışmalar Tablo 4.6 içerisinde sunulmaktadır.

Tablo 4.6 Yapı üretim faaliyetlerine ilişkin verinin işlenmesine yönelik olarak incelenen çalışmalar

No	Yazar(lar) (Tarih)	– Konu: Çalışmanın Özet İçeriği	Veri Tabanı Platformu	Veri Aktarım Biçimi	Veri İşleme Biçimi
1	Leu ve diğer. (2000)	– İnşaat esnasında kaynak seviyelendirmesi: Üretim sürecinde kaynak seviyelendirmesine (resource levelling) yönelik olarak analitik ve sezgisel yöntemlerin karmaşık problemleri etkin bir biçimde çözmekte yetersiz kaldığı belirtilmekte ve optimal sonuçların elde edilebilmesi için genetik algoritmalar önerilmektedir. Amaç, yapım süreci esnasındaki günlük değişimlere karşı karar almayı güçlendirmek ve kaynakların yönetimine ilişkin en uygun çözümleri üretebilmektir.	GARLS (GA-based resource leveling scheduling system)	Veri tabanına kullanıcı tarafından girdi girilerek	Genetik algoritmalar ile interaktif simülasyon üretimi
2	Clayton ve diğer. (2002)	– İnşaat öncesi yapım süreci simülasyonu: Üretilen 3D-Cad modellerinin dört boyutlu (zaman boyutu) olarak hazırlanarak yapının tasarımı ve inşaatı arasındaki ilişkinin kurulmasını sağlayacak yapım simülasyonlarının hazırlanabileceği belirtilmektedir.	4D CAD	Veri tabanına kullanıcı tarafından girdi girilerek	İnteraktif 4D simülasyon üretimi
3	Kim ve Gibson (2003)	– İnşaat öncesi yapım süreci simülasyonu: Yapı üretimine ilişkin simülasyon kullanımının çok az olduğu belirtilmekte ve bunun sebebi de karmaşık bir sürecin simülasyon modelinin maliyetli ve zaman gerektirici olmasına bağlanmaktadır. Bu duruma yönelik olarak, karmaşık sistemleri modellemekte kullanılan özgün durum simülasyonunun (discrete event simulation) interaktif bir arayüz ile hazırlanması önerilmektedir. Amaç, proje yöneticisinin bilgisayar aracılığı ile simülasyonu adım adım projeye ilişkin verileri girerek hazırlayabilmesidir.	-	Veri tabanına kullanıcı tarafından girdi girilerek	İnteraktif özgün durum simülasyonu üretimi
4	Osman ve diğer. (2003)	– İnşaat öncesi saha-içi yerleşim planlaması: Simülasyon sistemleri aracılığı ile saha içi yerleşim planının düzenlenmesi önerilmektedir. İnşaat süreci esnasında sürekli veya geçici olarak var olan servis ve sistemlerin (ofisler, araçlar, park yerleri, atölyeler, depolar vb.) saha içerisinde zaman ve mekan açısından etkin bir biçimde düzenlenmesi projenin başarısı için kilit unsurlardan birisidir. Osman ve diğer., bu planlamanın simülasyonu için CAD sistemlerine entegre olarak kullanılabilecek genetik algoritmalar sunmaktadır.	CAD sistemleri	Veri tabanı üzerindeki verinin otomatik kullanımı	Genetik algoritmalar ile otomatik simülasyon üretimi
5	Navon ve Goldschmidt (2003)	– inşaat esnasında otonom süreç takip sistemleri: Saha-içi üretimin gerçek zamanlı olarak takip ve kontrol edilebilmesine yönelik olarak Otomatik Veri Toplama (Automated Data Collection) sistemi önerilmektedir. Bu tür bir sistemi mümkün kılacak üç teknoloji öne sürülmektedir; RF (Ground-based Radio Frequency system), GPS (Global positioning system) ve RFID (Radio frequency identification).	-	Veri tabanına saha-içi sensörler aracılığıyla otomatik bilgi aktarımı	-

Tablo 4.6 devamı

No	Yazar(lar) (Tarih)	– Konu: Çalışmanın Özet İçeriği	Veri Tabanı Platformu	Veri Aktarım Biçimi	Veri İşleme Biçimi
6	Ma ve diğer. (2005)	– İnşaat öncesi saha-içi yerleşim planlaması: Süreç planlaması, üç boyutlu modelleme, kaynak ve arazi bilgilerini 4-boyutlu bir sistem altında bütünleştiren 4D-ISPS (4D Integrated Site Planning System) yöntemi önerilmektedir. Bu sistem altında bir inşa alanı planlaması görselleştirmesi, simülasyonu ve bilgilerin aktarılabilceği bir iletişim platformu yer almaktadır.	4D-ISPS	Veri tabanı üzerindeki verinin otomatik kullanımı, veri tabanından bilgi paylaşım platformu	Otomatik 4D simülasyon üretimi
7	Alves ve Bártolo (2006)	– İnşaat öncesi/esnası saha çevresindeki yapıların 3B veri çözümlemesi: Mevcut yapıların doğrudan üç boyutlu dijital bir modele dönüştürülebilmesi için insan görüş sürecini taklit eden BioCad sistemi (fotogrametri ve üç boyutlu tarama tekniklerini içeren bir sistem) ortaya koyulmaktadır.	BioCad	Veri tabanına saha-içi sensörler aracılığıyla otomatik bilgi aktarımı	3B verinin otomatik analizi
8	Marasin ve diğer. (2007)	– İnşaat öncesi yapım sürecinin 4D simülasyonu ve sanal gerçeklik desteği: Planlama sürecine yönelik olarak "4-boyutlu görsel planlama/simülasyon" sistemi sunulmaktadır. 3-boyutlu modellere zaman kavramını ekleyerek yapım sürecini simüle edebilen bu sistem, aynı zamanda sanal gerçeklik desteği ile kişilerin model içerisinde gezinebilmesini sağlamaktadır.	4D CAD	Veri tabanına kullanıcı tarafından girdi girilmesi, veri tabanından VR ile bilgi paylaşımı	İnteraktif 4D simülasyon üretimi
9	Motawa ve diğer. (2007)	– İnşaat esnasında değişimin yönetimi: Yapı üretimi esnasında gerçekleşen beklenmedik değişimlerin etkilerini değerlendiren "bulanık mantık tabanlı değişim tahmin modeli" sunulmaktadır. Amaç, değişime ilişkin edinilen bilgi doğrultusunda bu değişikliklerin daha etkin bir şekilde değerlendirilebilmesi ve ileriye yönelik proje senaryolarının hazırlanabilmesidir.	-	Veri tabanına insanlar aracılığıyla değişimin raporlanması	İnteraktif değişim tahmin modeli üretimi
10	Gong ve Caldas (2008)	– İnşaat öncesi/esnası 3B veri çözümlemesi: 3-boyutlu görüntüleme sensörlerinden elde edilen verilerin işlenmesine yönelik algoritmalar incelenmektedir. Bu algoritmalar veri filtreleme, dönüştürme ve ayrıştırma tekniklerini hızlı ve isabetli sonuçlar üretecek biçimde uygulamaktadır.	-	Veri tabanına saha-içi sensörler aracılığıyla otomatik bilgi aktarımı	3B verinin otomatik analizi
11	El-Omari ve Moselhi (2008)	– İnşaat esnasında süreç gelişiminin takibi ve analizi: Saha içi üretim performansının hızlı ve isabetli olarak ölçülüp kontrol edilebilmesi için bir veri toplama-analiz sistemi ortaya koyulmaktadır. 3B lazer tarayıcı (3D laser scanning – LADAR teknolojisi) ile farklı zamanlarda yapılan taramalar karşılaştırılarak sürecin ilerleyiş hızı ölçülebilmekte, fotogrametri (photogrammetry) ile de inşaat sahasına ilişkin objelerin resimleri üzerinden geometrik özellikleri tanımlanabilmektedir. Ortaya koyulan sistem, bu iki teknolojinin bir bileşimidir.	-	Veri tabanına saha-içi sensörler aracılığıyla otomatik bilgi aktarımı	3B verinin otomatik analizi

Tablo 4.6 devamı

No	Yazar(lar) (Tarih)	– Konu: Çalışmanın Özet İçeriği	Veri Tabanı Platformu	Veri Aktarım Biçimi	Veri İşleme Biçimi
12	Leung ve diğer. (2008)	– İnşaat esnasında süreç gelişiminin takibi ve analizi: Sürecin gelişiminin ve kalitesinin anlık olarak takip edilebildiği ve bu veriler üzerinden proje üyelerinin iletişim kurabildiği bir sistem sunulmaktadır. Bu sistem için kablosuz bir ağ sistemi, bir kamera sistemi ve bir web tabanlı iletişim platformu kullanılmaktadır. Bu platform üzerinden ekipler anlık olarak inşaat sahasının resimlerine ve videolarına erişebilmekte, bu bilgiler üzerinden video-konferans yöntemi ile tartışabilmekte ve bilgi alışverişinde bulunabilmektedirler.	Web tabanlı iletişim platformu	Veri tabanına saha-içi sensörler aracılığıyla otomatik bilgi aktarımı, veri tabanı üzerinde bilgi paylaşımı	İnsanlarca süreç analizi
13	Babič ve diğer. (2010)	– inşaat esnasında süreç takibi ve kaynak planlaması: Saha dışı üretim (prefabrikasyon) ile saha içi üretim arasındaki bilgi akışını sağlayabilmek amacıyla BIM tabanlı bir süreç takip ve kaynak planlaması sistemi önerilmektedir. Amaç, saha içerisindeki faaliyetlerin takibi yapılarak saha dışından ihtiyaç duyulan kaynakların zamanında üretilerek inşaat sahasına ulaştırılabilmesini sağlamaktır. BIM, tüm üretim sürecine ilişkin gerekli tüm verileri (modelleme, malzemeler ve bileşenler, planlama, analiz, maliyet değerlendirmesi vs.) barındırabildiği için bu tür bir sistemi geliştirebilme konusunda iyi bir temel sağlamaktadır.	BIM	Veri tabanına saha-içi sensörler aracılığıyla otomatik bilgi aktarımı	Otonom süreç takibi ve kaynak planlaması
14	Doloi (2010)	– İnşaat öncesi optimal tasarımın belirlenmesi: Erken tasarım aşamasında simülasyon tabanlı bir sistem ile farklı tasarım alternatiflerinin olumlu ve olumsuz yönleri karşılaştırılarak optimum tasarımın seçilebilmesi hedeflenmektedir. Sistem içerisinde BSC (Balanced scorecard) ve MCDA (Multi-criteria decision analysis) yöntemleri kullanılmaktadır. Amaç, karmaşık bir projede karar verme aşamasının desteklenmesi, optimal çözüme ilişkin uzlaşmazlıkların giderilmesi ve projenin daha iyi anlaşılması sayesinde yönetiminin desteklenmesidir.	-	Veri tabanı üzerindeki tasarım ve süreç bilgisinin otomatik kullanımı	BSC ve MCDA ile tasarım ve süreç bilgisinin otomatik analizi
15	Shen ve diğer. (2012)	– İnşaat sonrasında yapı (facility) yönetimi ve bakımı: Yapıya ilişkin tasarımından inşaatına kadar elde edilen tüm verinin (malzemeler, bileşenler, ekipmanlar) yapının kullanımı esnasındaki servis ve bakım faaliyetleri (HVAC sistemi, yangın ekipmanları, cephe modülleri vs.) için kullanılmasını hedefleyen etmen tabanlı bir web servisi önerilmektedir.	BIM	Veri tabanı üzerindeki tasarım-süreç bilgisi ve veri tabanına yapının otonom takibi ile aktarılan bilgi	Otonom takip, analiz ve işlem
16	Dong ve diğer. (2012)	– İnşaat esnasında ileriye dönük planlama: Kaynakların sınırlı olduğu karmaşık bir proje için inşaat esnasında nerede, ne zaman, hangi altyüklenici tarafından, hangi malzemeler ile hangi eylemlerin gerçekleştirildiğine göre günlük olarak kaynak ve zaman sınırlılıklarını gözetenek otomatik bir biçimde ileriye dönük planlamalar üretebilecek genetik algoritmalar önerilmektedir. Amaç, zamanlama ve maliyet açısından optimum çözümleri barındıran ileriye dönük planlamaları hazırlayabilmektir.	-	-	Genetik algoritmalar ile otomatik simülasyon üretimi

Tablo 4.6 devamı

No	Yazar(lar) (Tarih)	– Konu: Çalışmanın Özet İçeriği	Veri Tabanı Platformu	Veri Aktarım Biçimi	Veri İşleme Biçimi
17	Kim ve diğer. (2012)	– İnşaat öncesi robotik sistemlerin eylemlerinin planlanması: Otomatik arazi çalışması sistemleri (kazı faaliyetleri vb.) için akıllı navigasyon sistemi sunulmaktadır. Saha içerisindeki eylemlerin nasıl, nerede, ne zaman yapılacağını tanımlayarak verimliliği ve üretkenliği arttıracak olan bu sistem için otomatik plan üretilmesini sağlayan bir algoritma ve bu algoritma sonucunda elde edilen planı test etmesi için bir simülasyon önerilmektedir.	3D CAD	Veri tabanına saha-içi sensörler aracılığıyla otomatik bilgi aktarımı, veri tabanından robotik sistemlere bilgi aktarımı	Sensebug algoritması ile otomatik simülasyon üretimi
18	Song ve Eldin (2012)	– İnşaat esnasında ileriye dönük planlama: Büyük yapı projelerinde süreç esnasında ileriye dönük planlamaların yapılabilmesi amacıyla "gerçek-zamanlı olarak uyarlanabilen takip ve simülasyon sistemi" önerilmektedir. Bu sistem ile süreç sürekli bir biçimde sensörler aracılığıyla takip edilmekte, veriler üzerinden değişimler analiz edilmekte ve elde edilen veriler üzerinden otomatik olarak gerçekleştirilen bir simülasyon üretilmektedir.	Simio (Sim programı)	Veri tabanına saha-içi sensörler aracılığıyla otomatik bilgi aktarımı	Otomatik süreç simülasyonu üretimi
19 20	Akanmu ve diğer. (2012 ve 2015)	– inşaat esnasında otonom süreç takibi: Fiziksel yapı üretimi ile sanal model arasında iki yönlü bir koordinasyonun sağlanabilmesi konusunda siber-fiziksel (cyber-physical) sistemler değerlendirilmektedir. Bu tür sistemlerde, üzerlerine RTLS (Real-time Location Sensing) etiketleri yerleştirilen yapı bileşenlerinin hareketlilikleri ve konumları RFID sistemleri ile tespit edilebilmektedir. Amaç, yapım sürecini gerçek zamanlı olarak takip edip kayıt altına alabilmektir.	-	Veri tabanına siber-fiziksel sistemler aracılığıyla otomatik bilgi aktarımı	Otonom süreç takibi
21	Vähä ve diğer. (2013)	– inşaat esnasında otonom süreç takip sistemi: Prefabrikasyondan saha içi uygulamalara kadar olan sürecin izlenip kontrol edilebilmesi için sensör teknolojileri ile BIM sistemlerinin bütünleşik olarak gerçek zamanlı kullanımı önerilmektedir. Robotik sistemlerin de desteği ile otonom olarak gerçekleştirilebilecek bu sistem ile yapı bileşenlerinin saha dışı üretiminden saha içindeki uygulamasına kadar olan tüm süreç yönetilip, kontrol edilip, raporlanabilmektedir.	BIM	Veri tabanına saha içindeki ve dışındaki sensörler aracılığıyla otomatik bilgi aktarımı	Otonom süreç takibi
22	Wang ve diğer. (2014)	– Süreç boyunca bilginin görselleştirilmesi: Üretilen bilginin inşaat sahasındaki kişi tarafından (proje yöneticisi, işçiler vs.) daha iyi anlaşılabilmesi ve böylelikle iletişimin güçlendirilebilmesi için BIM teknolojisi ile artırılmış gerçeklik teknolojisinin bütünleşik olarak kullanılması önerilmektedir. Bu sayede. BIM üzerinden elde edilen teknik bilgi, doğrudan görüş alanının üzerinde görselleştirilebilmektedir.	BIM	Veri tabanından bilginin AR ile görselleştirilerek aktarımı	-
23	Martínez-Rojas ve diğer. (2015)	– Süreç boyunca bilgi erişimi ve yönetimi: Yapı üretimi için bilgi odaklı olarak fayda sağlayabilecek teknolojiler incelenmektedir.	-	Veri tabanına otomatik bilgi aktarımı	Veritabanı üzerinde otomatik bilgi yönetimi

Tablo 4.6 devamı

No	Yazar(lar) (Tarih)	– Konu: Çalışmanın Özet İçeriği	Veri Tabanı Platformu	Veri Aktarım Biçimi	Veri İşleme Biçimi
24	Abrishami (2016)	– İnşaat öncesinde malzeme seçimi: Konsept tasarımı aşamasında malzeme tercihlerinin belirlenmesi ve alternatiflerin oluşturulması için BIM sistemi ile bütünleşik biçimde çalışarak simülasyonlar üretebilecek bir genetik algoritma çerçevesi sunulmaktadır. Sistem, malzemelere ilişkin maliyet ve performans gibi parametreler üzerinden değerlendirmeler yapmaktadır.	BIM	Veri tabanı üzerindeki bilginin otomatik kullanımı	Genetik algoritmalar ile otomatik simülasyon üretimi
25	Shi ve diğer. (2016)	– süreç boyunca tedarik zincirinin yönetimi: Tedarik zincirinin yönetilmesine (supply chain management) yönelik olarak bilginin gerçek zamanlı olarak paylaşılabilmesi ve iletişimin sağlanabilmesi için mobil internet sistemlerinin kullanımı irdelenmektedir.	Mobil sistemler	Katılımcılar arasında bilgi paylaşımı	-
26	Behnam ve diğer. (2016)	– inşaat esnasında otonom süreç takip sistemi ve web paylaşım platformu: Doğrusal altyapı projelerinde (yol çalışmaları gibi) kullanılmak üzere otomatik süreç takibi için uydu ile uzaktan algılama (satellite remote sensing) sistemi önerilmektedir. Amaç, yüksek kalite uydu resimleri ile farklı konumlarda ilerleyen sürecin otomatik olarak izlenip haritalandırılmasıdır. Yeryüzünden elde edilen veriler ile karşılaştırılıp doğrularak belgelenen bilgiler, sonrasında organizasyon içi iletişim için web tabanlı bir arayüzde görüntülenmektedir.	Web platformu	Veri tabanına uydu takibi aracılığıyla otomatik bilgi aktarımı, veri tabanından bilginin web üzerinde paylaşımı	Süreç takip bilgisinin otomatik haritalandırılması
27	Ko ve diğer. (2016)	– inşaat esnasında otonom süreç takip sistemi: RFID etiketleme teknolojisi ile bütünleşik olarak kullanılan bir "bulut tabanlı malzeme takip sistemi" prototipi sunulmaktadır. Amaç, gerçek zamanlı ve otomatik olarak toplanan verinin bulut üzerinde işlenerek proje katılımcılarına doğru ve hızlı bir biçimde bilgi aktarılmasıdır.	-	Veri tabanına RFID aracılığıyla otomatik bilgi aktarımı	Bulut-işlem ile bilginin otomatik işlenmesi
28	Dave ve diğer. (2016)	– inşaat esnasında ve sonrasında otonom takip sistemi: Yapı bileşenlerine ilişkin bilginin akışını yapım sürecinde ve sonrasında sağlayabilmek için nesnelerin interneti (Internet of Things) teknolojisi öne çıkarılmaktadır.	-	Veri tabanına "nesnelerin interneti" aracılığıyla otomatik bilgi aktarımı	Otonom süreç takibi
29	Redwood ve diğer. (2017)	– Süreç boyunca bilgi erişimi ve yönetimi: Bilgi-iletişim sistemleri ile dijital sistemlerin yayılımının yapı üretimi için sağlayabileceği faydalar üzerinde durulmaktadır.	-	Veri tabanına otomatik bilgi aktarımı	Veritabanı üzerinde otomatik bilgi yönetimi

Tablo 4.6 devamı

No	Yazar(lar) (Tarih)	– Konu: Çalışmanın Özet İçeriği	Veri Tabanı Platformu	Veri Aktarım Biçimi	Veri İşleme Biçimi
30	Zou ve diğer. (2017)	– İnşaat esnasında güvenlik bilgisinin yönetimi: Altyapı faaliyetlerinde güvenlik bilgisinin otonom bir biçimde yönetilebilmesi için MapSafe isimli gerçek zamanlı çalışan bir bulut tabanlı bilgi-iletişim sistemi sunulmaktadır. Kullanıcıların mobil cihazlar ile bilgi girişi yaptığı bu sistemde, güvenlik bilgisi bulut üzerinde işlenip haritalandırılarak bir web platformu üzerinde görselleştirilmektedir.	Mapsafe bulut platformu	Veri tabanına mobil cihazlar aracılığıyla kullanıcılarca bilgi aktarımı, veri tabanından web üzerinde bilginin görüntülenmesi	Bulut-işlem ile bilginin otomatik işlenmesi
31	Pärn ve diğer. (2017)	– İnşaat sonrasında yapı yönetimi: BIM platformu ile yapı yönetimi (facility management) alanının birleştirilmesine yönelik bir irdeleme yapılmaktadır.	BIM	Veri tabanı üzerindeki tasarım-süreç bilgisi ve veri tabanına yapının otonom takibi ile aktarılan bilgi	Otonom takip, analiz ve işlem
32	Ghaffarian Hoseini ve diğer. (2017)	– İnşaat sonrasında yapının enerji etkin yönetimi: BIM altındaki tasarım ve süreç bilgisinden de faydalanarak, yapının kullanım esnasında enerji etkin biçimde yönetilebilmesine yönelik bir yapı yönetim sistemi (BIM-ICKBMS: BIM Integrated Knowledge-based Building Management System) sunulmaktadır.	BIM	Veri tabanı üzerindeki tasarım-süreç bilgisi ve veri tabanına yapının otonom takibi ile aktarılan bilgi	Otonom takip, analiz ve işlem
33	Davtalab ve diğer. (2018)	– İnşaat öncesi robotik sistemlerin eylemlerinin planlanması: 3D-printing yöntemi ile robotik yapı üretimi için bütünleşik BIM platformu ortaya koyulmaktadır. BIM sistemi altında çalışan POCSAC (Planning and Operations Control Software for Automated Construction) platformu, yapı geometrisi, malzeme bilgisi ve robot özelliklerine ilişkin veriyi analiz etmekte ve bu doğrultuda robotik sistemlerin faaliyetlerini planlamaktadır. Amaç, BIM içerisindeki bilgiden faydalanarak sürecin tasarımı ve inşaatı doğru akıcı bir şekilde ilerlemesini sağlamaktır.	BIM ve POCSAC	Veri tabanı üzerindeki bilginin otomatik kullanımı, veri tabanından robotik sistemlere bilgi aktarımı	Veritabanı bilgisinin otomatik analizi
34	Chu ve diğer. (2018)	– Süreç boyunca bilginin görselleştirilmesi: Yapı üretimine ilişkin olarak BIM sistemi içerisindeki bilginin daha etkin ve hatasız bir şekilde insanlara aktarılabilmesi için artırılmış gerçeklik (AR - augmented reality) teknolojisi kullanılmaktadır. Bu kapsamda, mobil BIM sistemleri ile AR teknolojisi bütünleştirilmektedir.	BIM	Veri tabanından bilginin AR ile görselleştirilerek aktarımı	-

4.2.4 SLİ Sonuç Değerlendirmesi

Yapım faaliyetlerinin daha başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için karmaşıklık olgusu ile ilişkili olarak bilimsel literatürde ortaya koyulan stratejileri saptamak amacıyla yürütülen bu tez çalışmasında, SLİ sonucunda tespit edilen yayınlar yönetsel ve tekniksel olarak iki boyutta incelenmiştir. İnceleme doğrultusunda aşağıdaki soruların cevapları aranmaktadır:

- Literatürdeki çalışmalar, hangi düşünce alanlarında kümelenmektedir?
- Çalışmalar, zaman içerisinde hangi yöne doğru evrilmektedir?
- Çalışmalar hangi alanlarda yoğunlaşmakta ve hangi alanlarda boşluklar görülmektedir?
- Gelecekte hangi alanlarda çalışmaların sıklaşacağı beklenebilir?

Yönetsel yaklaşımlar üzerine yapılan çalışmaların odağında, "projenin organizasyon ağının yapısı, yetileri ve süreç içerisindeki evrimi" bulunmaktadır. Yapısal olarak beklenen, organizasyon ağı içerisindeki disiplinlerarası işbirliğinin projenin tüm yaşam döngüsü boyunca bütünlük ve hizalı bir biçimde sürdürülmesidir. Bu kapsamda ürün, süreç ve organizasyonun iyi planlanmış olması, otorite yapısının netliği, ana hedefler ile katılımcıların amaçlarının ve yöntemlerinin uyumluluğu ve iletişimin güçlüğü unsurları öne çıkmaktadır. Yetisel olarak beklenen, organizasyonun bütünlük mekanizmasının ne kadar yalın ve çevik olduğudur. Bu kapsamda basit fakat mükemmel olma, dinamik belirsizliklere karşı duyarlı ve esnek olma, sürecin getirdiklerini keşfedip öğrenerek adapte olma unsurları öne çıkmaktadır. Süreç içerisindeki evrim ise, iç ve dış durumların değişimine ve belirsizliklere karşı organizasyonun verdiği tepki veya uyumdur. Bu bağlamda, yalınlık ve çeviklik organizasyonunun bütünlük mekanizmasının stabilliği ile zaman içerisindeki evrimi arasında bir köprü görevi görmektedir.

Yönetsel yaklaşımlara yönelik çıkarım yapma konusunda endüstri içerisinde faaliyet gösteren uzmanlar ve topluluklar ile anket-görüşme üzerinden veri toplamak

rağbet gören bir yaklaşım olarak gözükmektedir. Bunun yanı sıra olimpiyat organizasyonu ve altyapı-ulaşım projeleri gibi mega ölçekli faaliyetler de karmaşıklığın nasıl yönetildiğini gözlemlemek amacıyla kullanılmaktadır. Son zamanlarda ağırlıklı olarak irdelenen ve gelecekte de daha fazla yer bulması beklenen konu ise "yalınlık ve çeviklik eksenli bütünleşik yönetim çerçevelerinin" oluşturulmasıdır. Mevcut yönetsel bilgi birikimini bir yönetim modeli altında toparlayacak çerçevelere daha fazla ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

Yönetsel açıdan karmaşıklığın bütününe yönelik yürütülen çalışmalarda tanımlanan stratejilerin büyük oranda karmaşıklığın unsurlarına yönelik yapılan çalışmalarda karşılık bulduğu görülmektedir. Ayrıca her ne kadar yönetsel yaklaşımlara SLİ içerisinde tekniksel olanlara kıyasla daha az rastlanılmış olsa da, bahsi geçen her unsurun ayrı birer çalışma alanı olduğu (risk yönetimi, yalın üretim, çevik üretim vb.) ve karmaşıklık kavramından bağımsız olarak da incelendiği bilinmektedir. Bu alandaki çalışmaların içeriğine yönelik gösterilebilecek eksiklik, organizasyon ağıının başarısı için gerekli olan yol haritasının gösterilmiş olması fakat bu haritadaki eylemlerin nasıl ve hangi araçlarla gerçekleştirileceğinin pek tanımlı olmamasıdır. Bu noktadaki boşluğu ise tekniksel yaklaşımlara yönelik çalışmalar doldurmaktadır.

Tekniksel yaklaşımlar altında yapılan çalışmalar kapsam ve amaç açısından farklılaşsa da, ana düşünce olarak belirli bir uzlaşının bulunduğu görülmektedir. Bu uzlaşım iki noktada özetlenebilir. Birincisi, projenin tüm yaşam döngüsüne ilişkin faaliyetlerin iletişimin güçlendirilmiş ve parçalılığın azaltılmış olduğu bütünleşik bir sistemlerin sistemi çerçevesi altında gerçekleştirilmesi gerektiğidir. İkincisi ise, üretim performansının artırılabilmesi amacıyla bu sistemler sistemi altındaki tüm sanal ve fiziksel üretimin olabildiğince otomatikleştirilmesi gerektiğidir.

Yapı üretimine ilişkin olarak hedeflenen bu "otonom sistemler sistemi modeli" için genel kabul görmüş bir tanım bulunmamaktadır ("akıllı yapı üretim sistemi" yönünde olması beklenebilir), fakat bu sistemler sisteminin alt sistemlerinin neler

olması gerektiği, alt sistemlerin hangi işlevleri nasıl ve hangi teknolojilerin desteği ile yerine getirmesi gerektiği, alt sistemlerin arasındaki ilişkilerin nasıl kurulması gerektiği konularında tüm çalışmalar benzer içerikler barındırmaktadır. Bütünleşik bir tasarım/inşaat planlaması dahilinde saha-içi ve saha-dışı otomasyonu hedefleyen bu tür bir sistemin temel bileşenleri şu şekildedir;

- Sanal üretime ilişkin sistemler
 - Veri tabanı platformu (bilgi strüktürü/çerçevesi); açık CAD, 4D CAD, BIM, BeIM
 - Bilgi tabanlı sistemler (bilgiyi işleyen sistemler); süper-bilgisayarlar, mobil cihazlar, bulut-bilişim, yapay zeka sistemleri, simülasyon modelleri ve algoritmaları
 - Veri/bilgi kaynakları; veri tabanları, büyük veri, coğrafya bilgisi (yer ve gökyüzey) sistemleri, şehir planlaması bilgisi vb.
- Fiziksel üretime ilişkin sistemler
 - Saha-içi üretim sistemleri; arazi ve yapıya ilişkin robotik sistemler
 - Saha-dışı üretim sistemleri; prefabrikasyon, modüler üretim vb.
- Sanal ile fiziksel üretim arasındaki iki yönlü iletişimi sağlayan sistemler (siber-fiziksel sistemler)
 - Bilgiyi elde eden sistemler; süreç takip sistemleri (kamera ve uydu sistemleri, RF, RFID, nesnelerin interneti)
 - Bilgiyi ileten sistemler; internet vb.
 - Bilgiyi görselleştiren sistemler; 3D ve 4D görselleştirme, sanal ve artırılmış gerçeklik teknolojileri

Sanal üretime ilişkin olarak merkez noktası, bilgiyi merkezi bir biçimde ortak bir dil altında birleştiren ve biçimlendiren veri tabanı platformudur. Bu noktada, ne tür bir platformun kullanılabileceğine yönelik eğilim BIM sistemleri yönündedir ve yapı üreimine ilişkin diğer sistemler de ağırlıklı olarak bu platform üzerinde çalışabilecek

biçimde geliştirilmektedir. Ayrıca, BIM sistemleri yalnızca bir yapı üretimine ilişkin faaliyetlerin bütünleşikliği konusunda değil, aynı zamanda tüm bir ülkenin yapı endüstrisinin bütünleştirici ve geliştirici aracı olarak ön plana çıkarılmaktadır. Bir başka platform olarak, BeIM sistemleri göze çarpmaktadır. Her ne kadar BeIM platformu daha çok şehir tasarımına ve planlamasına yönelik bir sistem olarak öne çıkarılsa da, şehre ilişkin bilginin de yapı tasarımına ve inşaatına yönelik önemli bir girdi olduğu düşünülürse ileride bu alanda daha fazla çalışma yürütüleceği beklenebilir.

BIM ve BeIM gibi platformlar, yönetsel yaklaşımlar içerisinde öne çıkarılan işbirliktelik, iletişimin güçlülüğü, koordinasyon, dil birliği, bilginin şeffaflığı gibi konularda gerekli olan tekniksel destek için iyi bir zemin oluşturmaktadır. Diğer yandan ise, mevcut durumda bu desteğin kısıtlı düzeyde olduğu da görülmektedir. Bu konuda incelenen çalışmalar üzerinden şu tür saptamalar yapılabilir:

- Bu tür platformlar üzerine yapılan çalışmaların ağırlıklı olarak üretimi gerçekleştirecek olan katılımcıların bütünleşikliği üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Üretimin dış çevresinde yer alan politik, toplumsal, ekonomik ve benzeri unsurlar neredeyse hiç yer bulmamaktadır. Bu durum hedeflenen üretimin otonomluğu ile ilişkilendirilecek olursa, bu çevrelere ilişkin verilerin değerlendirilebilmesi şu an için yalnızca insanlara özgü bir faaliyettir.
- Çalışmaların daha çok üretimin planlama ve inşaat safhalarının nasıl otomatikleştirilebileceği üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Tasarım aşaması mevcut durumda en az irdelenen alandır. İnşaat öncesindeki planlama genellikle mevcut tasarımın inşasının nasıl optimum bir biçimde planlanabileceği üzerinedir. Bu bakımdan, yapının tasarımının oluşturulması da şu an için insan hakimiyetinde bir alandır.
- Veri tabanı platformlarının yasa düzenleyici kurumlar ile ilişkisinin nasıl olması gerektiği incelenen çalışmalar içerisinde pek yer bulmayan bir konudur. Yapı üretiminin endüstri düzeyinde parçalı ve dağınık topluluklardan meydana gelen bir faaliyet ağı düşünüldüğünde, BIM

platformları bu durumun aksi yönünde merkezileştirme yönündeki araçlardır. Bu bağlamda bilginin açıklığı-kapalılığı, kim tarafından erişilebileceği, kimin kullanımına açık olduğu gibi konuların daha fazla araştırılması gerekmektedir.

Sanal üretim konusunda, sürecin nasıl otonom olarak sürdürülebileceğine ilişkin çalışmaların yoğunlaştığı görülmektedir. "Süreç nasıl gerçek-zamanlı olarak takip edilebilir" ve "süreç verisi nasıl analiz edilip anlamlandırılabilir" soruları üzerine teknolojiler genişlemektedir.

Fiziksel üretim konusunda SLİ içerisinde saha-içi robotik sistemlere yönelik çok fazla çalışmaya rastlanmadı, fakat bu tür sistemler Bölüm 2 içerisinde de anlatıldığı üzere yaygın olmasa da mevcuttur. İleride daha fazla yaygınlaşması beklenebilecek bu robotik sistemler, bütünleşiklik çerçevesindeki çalışmalarda daha çok BIM platformları ile entegrasyonu üzerinden incelenmektedir. Saha-dışı üretime yönelik olarak ise, daha çok saha-içine olan kaynak aktarımının bilgi-iletişim sistemleri üzerinden uygun zamanlama ile tedariki üzerinde durulmaktadır.

Son olarak, hem yönetsel hem de tekniksel yaklaşımlar içerisinde üretim organizasyonunun veya sisteminin hem planlamasına hem de sürecine ilişkin karmaşıklığın gerekleri doğrultusunda düşünceler öne sürülmektedir. Diğer yandan ise bazı farklılıklar da bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Yönetimsel yaklaşımlar daha çok niteliksel verilere dayanmakta ve organizasyonun nasıl davranışlar göstermesi gerektiğine ilişkin genel kavramlardan bahsetmektedir. Tekniksel yaklaşımlar ise her bir eylemin nasıl ve hangi araçlarla gerçekleştirilebileceğine ilişkin olarak detaylara inebilmektedir.
- Yönetimsel yaklaşımlar daha çok mevcut durumdaki olanaklar dahilinde üretimin başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için üretim organizasyonunun nasıl hareket etmesi gerektiği üzerinde dururken, tekniksel yaklaşımlar ise

daha çok gelecekte daha başarılı bir üretim için hangi yönde ve hangi çerçevede teknolojilerin ilerlemelerin sağlanması gerektiği üzerinde durmaktadır.

- Yönetimsel yaklaşımlar politik, toplumsal, ekonomik, iş ve müşteri gibi çevreleri de göz önünde bulundururken, tekniksel yaklaşımlar ise daha ziyade üretim çevrelerine odaklanmaktadır.
- Yönetimsel yaklaşımlar üretim süreci esnasındaki insan faaliyetlerini ve ilişkilerini önemli bir etken olarak göz önünde bulundururken, tekniksel yaklaşımlar insanları olabildiğince üretim sürecinden arındırmayı amaçlamaktadır.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇ

Tez kapsamında, yapı endüstrisinin üretimin etkinliğine ilişkin sorunları karmaşıklığı ile bağdaştırılmakta ve bu bağlamda karmaşık sistemler yaklaşımı dahilinde yapı projelerinin karmaşıklığı ele alınmaktadır. Bu karmaşıklığın etkileri ve sebepleri sorgulanmakta ve nasıl üstesinden gelinebileceği üzerinde durulmaktadır. Tez kapsamında, sistematik bir literatür incelemesi yürütülerek yapı projelerinde karmaşıklığa yönelik yönetsel ve tekniksel çözümler/stratejiler saptanmıştır. Tez çalışmasının sonuçları ve gelecekte yapılabilecek bilimsel çalışmalara ilişkin öneriler aşağıda sunulmaktadır.

Yapı endüstrisi, özellikle 1990'lı yıllardan itibaren hazırlanan endüstri raporlarından da izlenebileceği gibi sahip olduğu kaynakları üretime ne kadar etkin bir biçimde dönüştürebildiği konusunda sorgulanmaktadır. Yapı projelerinin ürün ölçeği, malzeme, bileşen ve sistem çeşitliliği, sürecinde bulunan katılımcı ve disiplin sayısı gibi yönlerden zorlu bir süreç olduğu açıktır, fakat aynı zamanda bu projelere ilişkin binlerce yıllık köklü deneyimin bu zorluk ile başa edebilme konusunda yetersiz kalması da ilgi çekicidir. Yapı endüstrisinin üretim etkinliğine yönelik başarısı iki ana noktada eleştirilmektedir: Birincisi, yapı endüstrisi üretkenlik ve verimlilik açısından genel ekonomik üretim ortamlarının altında, imalat endüstrilerinin ise çok daha altında bir seviyede kalmaktadır; ikincisi ve aynı zamanda birincinin de sebeplerinden birisi olarak gösterilebilecek durum ise, yapı endüstrisinin bilgi-iletişim sistemleri ve robotik sistemler gibi çağın ileri üretim konusunda getirdiği en önemli olanakları uyarlayabilme konusunda en yetersiz sektörlerden birisi konumunda olmasıdır. Bu durum, elbette ki endüstrinin yapı projelerine özgü zorluklarla mücadele edebilme kabiliyetini de azaltmaktadır.

Yapı endüstrisinin teknolojik gelişmeler ile son yüzyıldaki ilişkisine göz atıldığında, endüstrinin çağ içerisinde yaşanan sıçramaların bir sürükleyicisi değil takipçisi olduğu görülmektedir. İmalat endüstrilerinin yapı endüstrisinden daha

yüksek seviyede bir üretim etkinliği yakalayabilmesini sağlayan temel faktör, üretim otomasyonu konusunda sağladıkları başarıdır. Üretimin her aşamasının (tasarımından üretilip sonuçlandırılmasına kadar) daha az maliyet ve zaman ile daha kaliteli olarak yürütülebilmesini sağlayan ve insan iş gücünü de en aza indirmeyi hedefleyen otomasyon sistemleri, modern çağın sağladığı bilimsel ve teknolojik imkanları kullanarak imalat endüstrilerince öncü bir biçimde geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Yapı endüstrisi, bu açıdan modern çağın gerisinde kaldığının farkında olarak kitlesel üretim devriminden bu yana endüstrileşme doğrultusunda saha-içi ve saha-dışı faaliyetlerinin otomasyonunu arttırmak amacıyla takipçiliğini sürdürmekte, fakat kendi yenilikçi çözümlerini üretebilmekte yetersiz kaldığı gibi çözüm uyarlayabilme ve uyarlayabildiği çözümleri yaygınlaştırabilme konularında da yavaş kalmaktadır. Yapı üretimine yönelik olarak 1960'lardan bu yana bilgisayar destekli teknolojiler, 1980'lerden bu yana da robotik sistemler kullanılmaktadır, fakat bu iki alanın da etkin ve yaygın kullanımı belirtildiği üzere son derece sınırlıdır. Bu durum, yapı endüstrisinin geleneksel yöntemlere ve insan işgücüne bağlı, üretim becerisi düşük bir sektör olarak gösterilmesine sebep olmaktadır.

Endüstrinin hem bu zorlu yapısının hem de bu zorlu yapıya çözüm üretmek konusunda sınırlı kalmasının sebebi olarak gösterilen ise, yapı üretiminin ürün, süreç ve endüstri düzeylerindeki kendisine özgü karmaşıklık halidir. Yapı projelerinde bu özgün karmaşıklık, çağın ivmeli gelişimine bağlı olarak da sürekli bir artış halindedir. Hem otomotiv ve elektrik-elektronik gibi öncü endüstrilerin üretim etkinliğini çıkardığı seviye, hem de özellikle bilgi ve iletişim sistemleri ile birlikte toplumun değişiminin hızlanması, beklentileri kalite, maliyet, süre ve işlevsellik gibi yönlerden arttırmaktadır. Bu beklentiler doğrultusunda hem ürünler (daha ileri teknolojiye hale gelmekte), hem süreç (uzmanlıklar derinleşmekte ve çeşitlenmekte), hem de endüstri (toplumsal, politik ve ekonomik çevrelerin hızlı, belirsiz ve karmaşık değişimi) giderek daha da karmaşılaşmaktadır. Belirtilen tüm bu sebepler, çağın durumu ve gerekleri doğrultusunda yapı endüstrisinin ve yapı projelerinin özgün karmaşık doğasının iyi anlaşılmasını ve bu özgünlüğe yönelik çözümlerin getirilmesini gerektirmektedir.

Tez kapsamında yapı projelerinde karmaşık sistemler yaklaşımına dayanan stratejileri belirlemek amacıyla yürütülen Sistematik Literatür İncelemesi - SLİ çalışması, temelde iki alan üzerinden ilerlemektedir; yönetsel ve tekniksel. Yönetsel yaklaşımlar projenin organizasyon boyutuna, tekniksel yaklaşımlar ise teknolojik boyutuna yöneliktir. Bu iki alanda ileri sürülen çözümler/stratejiler kapsam ve yöntem açısından farklılaşabilse de, karmaşıklığın unsurları gereğince temel düşünce biçimi açısından örtüştükleri görülmektedir. Ana amaç, karmaşıklığın anlaşılabilir kesintisiz bir bütünlüğün (aşamalar arası, disiplinler arası, zamansal ve mekansal) sağlanması ve bu bütünlük içerisinde başarımın artırılmasıdır. Ayrıca bu iki alanda yapılan çalışmalarda yapısal karmaşıklığın yönetsel ve tekniksel açıdan tanımlanması gerektiği, projenin iç ve dış durumunun karmaşık bir projenin gereği olarak evrileceği ve bu yönde önlemlerin alınması gerektiği ortak olarak dile getirilmektedir.

Yönetsel yaklaşımlar proje yönetimine ilişkin köklü bir bilgi birikimine dayanmakta, stratejileri oluşturmak amacıyla uygulanan projeler ve proje katılımcıları üzerinden veri toplanmaktadır. Bu bakımdan günümüz koşullarına uyarlanabilir çözümler ortaya koymaktadır. Odağında "insanların işbirlikliliği" olan bu tür yaklaşımlar üzerine yapılan çalışmalarda, "projenin organizasyon ağının yapısı, yetileri ve süreç içerisindeki evrilişi" ön plandadır. Yapısal karmaşıklık organizasyonun ağının iyi tanımlanmış olması üzerinden ele alınmaktadır ve bu bağlamda "disiplinlerarası bütünlük, işbirliklilik, süreç boyunca katılımcılık ve amaçların hizalılığı" öne çıkarılmaktadır. Tanımlanan bu organizasyon da olabildiğince yalınlaştırılması hedeflenmektedir. Dinamik belirsizlikler ise risk yönetimi ve çevik üretimin bir karışımı olarak ele alınmaktadır.

Tekniksel yaklaşımlar ise bilgisayar destekli sistemlerin gelecekte sağlayabileceği uçsuz olanaklar üzerinde durmakta ve insanlardan arındırılmış otomatik bir bütünlük hedeflemektedir. Bu doğrultuda uygulanabilecek sistemler sistemi çerçeveleri ile ilişkin teknolojiler irdelenmektedir. Yapısal karmaşıklığı bu sistemler sistemi altında modelleyen bu tür yaklaşımlar, dinamik belirsizlikleri de süreç

boyunca gerçek-zamanlı olarak uyum içinde çalışan siber-fiziksel üretim sistemler aracılığıyla ele almaktadır. Bu bağlamda yapay zeka sistemleri, simülasyonlar, bilgi-iletişim sistemleri ve saha içi robotik sistemler gibi sanal ve fiziksel üretime ilişkin veriyi anlık olarak dönüştürebilecek ve böylelikle de karmaşıklığın tüm bileşenlerinin üstesinden gelebilecek sistemler ön plandadır.

Tez kapsamında konu alanına yönelik yapılan irdelemeler ve SLİ çalışmasının sonucunda yapılan değerlendirmelere dayanarak gelecekte yapılabilecek bilimsel çalışmalar için öneriler ise aşağıda sunulmaktadır:

- Karmaşıklık düzeyi üzerinden üretilen stratejilerin çalışmalar içerisinde yer almadığı görülmektedir. Bu yönde, genel çerçeveler yerine doğrudan projenin özgün yapısına göre stratejilerin oluşturulmasını sağlayacak çalışmalar yürütülebilir.
- Yönetimsel yaklaşımlar günümüze, teknikseller geleceğe yöneliktir. Bu bakımdan, bu kopukluğun giderilmesi amacıyla bu yaklaşımların nasıl bir araya getirilebileceği üzerinde durulabilir.

KAYNAKLAR

- Abrishami, S. (2016). Conceptual design automation: Consideration of building materials impact at early stages of AEC design. *Advances in Civil, Architectural, Structural and Constructional Engineering: Proceedings of the International Conference on Civil, Architectural, Structural and Constructional Engineering*, Dong-A University, Busan, Güney Kore, Ağustos 21-23, 2015 (263).
- Akanmu, A. A., Anumba, C. J., ve Messner, J. I. (2012). An RTLS-based approach to cyber-physical systems integration in design and construction. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 8(12), 596845.
- Akanmu, A., ve Anumba, C. J. (2015). Cyber-physical systems integration of building information models and the physical construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 22(5), 516-535.
- Alfares, M., ve Seireg, A. (1996). An integrated system for computer-aided design and construction of reinforced concrete buildings using modular forms. *Automation in construction*, 5(4), 323-341.
- Alshaw, M., ve Underwood, J. (1996). Applying object-oriented analysis to the integration of design and construction. *Automation in construction*, 5(2), 105-121.
- Alves, N. M., ve Bártolo, P. J. (2006). Integrated computational tools for virtual and physical automatic construction. *Automation in Construction*, 15(3), 257-271.
- Aparicio, J., Lovell, C. K., ve Pastor, J. T. (Ed.). (2016). *Advances in Efficiency and Productivity*. Cham: Springer International Publishing.
- Apis Cor. (2018). *Company presentation*. [Online Broşür] 1 Aralık 2018, <http://apis-cor.com>.

APM (2017). 1 Aralık 2018, <https://www.apm.org.uk>

Atkinson, R., Crawford, L., ve Ward, S. (2006). Fundamental uncertainties in projects and the scope of project management. *International journal of project management*, 24(8), 687-698.

Austin, S., Newton, A., Steele, J. ve Waskett, P. (2002). Modelling and managing project complexity. *International Journal of project management*, 20(3), 191-198.

Axelrod, R. M. (1997). *The complexity of cooperation: Agent-based models of competition and collaboration*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Azim, S., Gale, A., Lawlor-Wright, T., Kirkham, R., Khan, A. ve Alam, M. (2010). The importance of soft skills in complex projects. *International Journal of Managing Projects in Business*, 3(3), 387-401.

Aziz, R. F., ve Hafez, S. M. (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), 679-695.

Babič, N. Č., Podbreznik, P., ve Rebolj, D. (2010). Integrating resource production and construction using BIM. *Automation in Construction*, 19(5), 539-543.

Baccarini, D. (1996). The concept of project complexity—a review. *International journal of project management*, 14(4), 201-204.

Bakhshi, J., Ireland, V. ve Gorod, A. (2016). Clarifying the project complexity construct: Past, present and future. *International Journal of Project Management*, 34(7), 1199-1213.

- Balaguer, C., ve Abderrahim, M. (2008). Trends in robotics and automation in construction. *Robotics and Automation in Construction*. 1 Aralık 2018, <https://www.intechopen.com>.
- Baldwin, J. (1997). *BuckyWorks: Buckminster Fuller's ideas for today*. New York: John Wiley & Sons.
- Balkiz, Y., ve Therese, L. W. (2014). Small but Complex: The Construction Industry in North Cyprus. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 119, 466-474.
- Ballard, G. ve Howell, G. (1998). What kind of production is construction. *Proc. 6 th Annual Conf. Int'l. Group for Lean Construction* (13-15).
- Barnett, E., ve Gosselin, C. (2015). Large-scale 3D printing with a cable-suspended robot. *Additive Manufacturing*, 7, 27-44.
- Beckerman, L. P. (2000). Application of complex systems science to systems engineering. *Systems engineering*, 3(2), 96-102.
- Behnam, A., Wickramasinghe, D. C., Ghaffar, M. A. A., Vu, T. T., Tang, Y. H., ve Isa, H. B. M. (2016). Automated progress monitoring system for linear infrastructure projects using satellite remote sensing. *Automation in Construction*, 68, 114-127.
- Benbya, H., ve McKelvey, B. (2006a). *Using coevolutionary and complexity theories to improve IS alignment: a multi-level approach*. *Journal of Information technology*, 21(4), 284-298.
- Benbya, H., ve McKelvey, B. (2006b). Toward a complexity theory of information systems development. *Information Technology & People*, 19(1), 12-34.

- Benham-Hutchins, M., ve Clancy, T. R. (2010). Social networks as embedded complex adaptive systems. *Journal of Nursing Administration*, 40(9), 352-356.
- Bergdoll, B., Christensen, P., Christensen, P. H., ve Oshima, K. (2008). *Home delivery: fabricating the modern dwelling*. New York: The Museum of Modern Art.
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business horizons*, 55(2), 155-162.
- Bertelle, C., Duchamp, G. H., ve Kadri-Dahmani, H. (Ed.). (2008). *Complex systems and self-organization modelling*. Berlin Heidelberg: Springer Science & Business Media.
- Bertelsen, S. (2003a). Complexity–Construction in a new Perspective. *IGLC-11*, Blacksburg, Virginia.
- Bertelsen, S. (2003b). Construction as a complex system. *Proceedings for the 11th annual conference of the International Group for Lean Construction* (11-23).
- Bertelsen, S. (2004). Construction management in a complexity perspective. *1st International SCRI Symposium*, Salford, UK.
- Bertelsen, S., Henrich, G., Koskela, L., ve Rooke, J. (2007). Construction physics. *15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction IGLC 15*, Temmuz 2007, Michigan State University, East Lansing.
- Bertelsen, S., ve Koskela, L. (2003). Avoiding and managing chaos in projects. *Proceedings of IGLC (11)*.

- Bertelsen, S., ve Sacks, R. (2007). Towards a New Understanding of the Construction Industry and the Nature of its Production. *15th Conference of the International Group for Lean Construction* (46-56). Michigan State University, East Lansing, Michigan.
- Björnfor, A., ve Sardén, Y. (2006). Prefabrication: a lean strategy for value generation in construction. *Annual Conference of the International Group for Lean Construction: 25/07/2006-27/07/2006* (265-277). Catholic University of Chile, School of Engineering.
- Bock, T. (2015). The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. *Automation in Construction*, 59, 113-121.
- Bock, T., ve Linner, T. (2015a). *Robot Oriented Design*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Bock, T., ve Linner, T. (2015b). *Robotic Industrialization*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Bock, T., ve Linner, T. (2016a). *Construction Robots (3): Elementary Technologies and Single-task Construction Robots*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Bock, T., ve Linner, T. (2016b). *Site Automation*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Bogg, J., ve Geyer, R. (Ed.). (2007). *Complexity, science and society*. Abingdon: Radcliffe Publishing.
- Bogue, R. (2013). 3D printing: the dawn of a new era in manufacturing?. *Assembly Automation*, 33(4), 307-311.

- Bosch-Rekveldt, M., Jongkind, Y., Mooi, H., Bakker, H. ve Verbraeck, A. (2011). Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework. *International Journal of Project Management*, 29(6), 728-739.
- Botchkarev, A., ve Finnigan, P. (2014). *Complexity in the Context of Systems Approach to Project Management*. arXiv preprint arXiv:1412.1027.
- Boulding, K. E. (1956). General systems theory—the skeleton of science. *Management science*, 2(3), 197-208.
- Brady, T., Davies, A., ve Gann, D. (2005). Can integrated solutions business models work in construction?. *Building Research & Information*, 33(6), 571-579.
- Brady, T., Davies, A., ve Nightingale, P. (2012). Dealing with uncertainty in complex projects: revisiting Klein and Meckling. *International Journal of Managing Projects in Business*, 5(4), 718-736.
- Brady, T., ve Davies, A. (2014). Managing structural and dynamic complexity: A tale of two projects. *Project Management Journal*, 45(4), 21-38.
- Bulbul, T., Anumba, C. J., ve Messner, J. (2009). A system of systems approach to intelligent construction systems. *Computing in Civil Engineering* İçinde (22-32).
- Burns, T. E., ve Stalker, G. M. (1961). *The management of innovation*. Oxford: Oxford University Press.
- Cable, V., Fallon, M., ve Higgins, D. (2013). *Construction 2025*. HM Government: London, UK, 80. 1 Aralık 2018, <https://assets.publishing.service.gov.uk>.

- Calvano, C. N., ve John, P. (2004). Systems engineering in an age of complexity. *Systems Engineering*, 7(1), 25-34.
- Campbell, I., Bourell, D., ve Gibson, I. (2012). Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age. *Rapid prototyping journal*, 18(4), 255-258.
- Caneparo, L., ve Cerrato, A. (2016). *Digital fabrication in architecture, engineering and construction*. 1 Aralık 2018, <https://www.springer.com>.
- Carbone, C., ve Mohamed, B. E. (2017). An Open-Source Model of Collaboration and Customization in Architecture. *Managing Complexity İçinde* (41-57). 1 Aralık 2018, <https://www.springer.com>.
- Castro-Lacouture, D. (2009). Construction automation. *Springer handbook of automation İçinde* (1063-1078). Berlin Heidelberg: Springer.
- Chapman, R. J. (2016). A framework for examining the dimensions and characteristics of complexity inherent within rail megaprojects. *International Journal of Project Management*, 34(6), 937-956.
- Christensen C. M. (1999). The evolution of innovation. Dorf R. O. (Ed.). *The technology management handbook*. İçinde (3. Bölüm). USA: CRC Press.
- Chu, M., Matthews, J., ve Love, P. E. (2018). Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study. *Automation in Construction*, 85, 305-316.
- Cicmil, S., ve Marshall, D. (2005). Insights into collaboration at the project level: complexity, social interaction and procurement mechanisms. *Building Research & Information*, 33(6), 523-535.

- Clayton, M. J., Warden, R. B., ve Parker, T. W. (2002). Virtual construction of architecture using 3D CAD and simulation. *Automation in Construction*, 11(2), 227-235.
- Clift, T. B. ve Vandenbosch, M. B. (1999). Project complexity and efforts to reduce product development cycle time. *Journal of Business Research*, 45(2), 187-198.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., ve Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Berlin Heidelberg: Springer Science & Business Media.
- Contourcrafting. (2018). 1 Aralık 2018, <https://www.contourcrafting.com>.
- Cousineau, L., ve Miura, N. (1998). *Construction robots: the search for new building technology in Japan*. Reston, Virginia: ASCE Publications.
- Cox, R., ve Goodman, C. S. (1956). Marketing of housebuilding materials. *Journal of Marketing*, 21(1), 36-61.
- Dao, B. P. (2016). *Exploring and Measuring Project Complexity*. Doktora Tezi. Texas A&M University, Texas.
- Dave, B., Kubler, S., Främpling, K., ve Koskela, L. (2016). Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards. *Automation in construction*, 61, 86-97.
- Davies, A., ve Mackenzie, I. (2014). Project complexity and systems integration: Constructing the London 2012 Olympics and Paralympics Games. *International Journal of Project Management*, 32(5), 773-790.

- Davtalab, O., Kazemian, A., ve Khoshnevis, B. (2018). Perspectives on a BIM-integrated software platform for robotic construction through Contour Crafting. *Automation in Construction*, 89, 13-23.
- De Beer, N. (2006). Advances in three dimensional printing-state of the art and future perspectives. *Journal for New Generation Sciences*, 4(1), 21-49.
- De Meyer, A., Loch, C. H., ve Pich, M. T. (2002). Managing project uncertainty: from variation to chaos. *MIT Sloan Management Review*, 43(2), 60.
- Doloi, H. (2010). Benchmarking a new design management system using process simulation approach. *Construction Innovation*, 10(1), 42-59.
- Doloi, H. (2014). Rationalizing the implementation of web-based project management systems in construction projects using PLS-SEM. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(7), 04014026.
- Dong, N., Ge, D., Fischer, M., ve Haddad, Z. (2012). A genetic algorithm-based method for look-ahead scheduling in the finishing phase of construction projects. *Advanced Engineering Informatics*, 26(4), 737-748.
- Dvir, D., Lipovetsky, S., Shenhar, A., ve Tishler, A. (1998). In search of project classification: a non-universal approach to project success factors. *Research policy*, 27(9), 915-935.
- Dubois, A., ve Gadde, L. E. (2002). The construction industry as a loosely coupled system: implications for productivity and innovation. *Construction Management & Economics*, 20(7), 621-631.
- Eastman, C. M., Eastman, C., Teicholz, P., ve Sacks, R. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers,*

engineers and contractors. New Jersey: John Wiley & Sons.

Edmonds, B. M. (1999). *Syntactic measures of complexity*. Manchester, UK: University of Manchester.

Egan J. (1994). *Rethinking Construction*. 1 Aralık 2018, <http://constructingexcellence.org.uk>

Eisenhardt, K. M., ve Tabrizi, B. N. (1995). Accelerating adaptive processes: Product innovation in the global computer industry. *Administrative science quarterly*, 84-110.

El-Omari, S., ve Moselhi, O. (2008). Integrating 3D laser scanning and photogrammetry for progress measurement of construction work. *Automation in construction*, 18(1), 1-9.

Eriksson, P. E., Larsson, J., ve Pesämaa, O. (2017). Managing complex projects in the infrastructure sector—A structural equation model for flexibility-focused project management. *International Journal of Project Management*, 35(8), 1512-1523.

Farashahi, M., Hafsi, T., ve Molz, R. (2005). Institutionalized norms of conducting research and social realities: a research synthesis of empirical works from 1983 to 2002. *International Journal of Management Reviews*, 7(1), 1-24.

Favari, E. (2012). Reducing complexity in urban infrastructure projects. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 53, 9-15.

Fried, H. O., Lovell, C. K., ve Schmidt, S. S. (Eds.). (2008). *The measurement of productive efficiency and productivity growth*. Oxford: Oxford University Press.

Fuller, R. B. (1999). *Your private sky: R. Buckminster Fuller: the art of design science*. Berlin, Heidelberg: Springer Science & Business Media.

Gaddis, P. O. (1959). *The project manager*. Boston: Harvard University.

Gao, N., Chen, Y., Wang, W., ve Wang, Y. (2018). Addressing Project Complexity: The Role of Contractual Functions. *Journal of Management in Engineering*, 34(3), 04018011.

Geraldi, J. G., & Adlbrecht, G. (2007). On faith, fact, and interaction in projects. *Project Management Journal*, 38(1), 32-43.

Geraldi, J., Maylor, H. ve Williams, T. (2011). Now, let's make it really complex (complicated) A systematic review of the complexities of projects. *International Journal of Operations & Production Management*, 31(9), 966-990.

GhaffarianHoseini, A., Zhang, T., Nwadigo, O., GhaffarianHoseini, A., Naismith, N., Tookey, J., ve Raahemifar, K. (2017). Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 935-949.

Gibson, I. Stucker, ve Rosen, D. (2010). *Additive Manufacturing Technologies*. 1 Aralık 2018, <https://www.springer.com>.

Gidado, K. I. (1996). Project complexity: The focal point of construction production planning. *Construction Management & Economics*, 14(3), 213-225.

Giezen, M. (2012). Keeping it simple? A case study into the advantages and disadvantages of reducing complexity in mega project planning. *International Journal of Project Management*, 30(7), 781-790.

- Giordano, N. (2012). *College Physics: Reasoning and Relationships*. Boston, Massachusetts: Cengage Learning.
- Gleick, J. (2011). *Chaos: Making a new science (Enhanced edition)*. New York: Open Road Media.
- Gong, J., ve Caldas, C. H. (2008). Data processing for real-time construction site spatial modeling. *Automation in Construction*, 17(5), 526-535.
- Grabher, G., ve Thiel, J. (2015). Projects, people, professions: Trajectories of learning through a mega-event (the London 2012 case). *Geoforum*, 65, 328-337.
- Grant, R. M. (2003). Strategic planning in a turbulent environment: Evidence from the oil majors. *Strategic management journal*, 24(6), 491-517.
- Green, S. D. (2001). Towards an integrated script for risk and value management. *Project management*, 7(1), 52-58.
- Guba, E. G. ve Lincoln, Y. S. (1994). Competing paradigms in qualitative research. *Handbook of qualitative research*, 2(163-194), 105.
- Gul, S. ve Khan, S. (2011). Revisiting project complexity: Towards a comprehensive model of project complexity. *2nd International Conference on Construction and Project Management*. Singapore, IACSIT Press. IPEDR (15) (148-155).
- Gupta, A. K., ve Arora, S. K. (2009). *Industrial automation and robotics*. New Delhi: Laxmi Publications.
- Gupta, A. K., ve Wilemon, D. L. (1990). Accelerating the development of technology-based new products. *California management review*, 32(2), 24-44.

- Hass, K. B. (2009). *Managing complex projects: A new model*. Vienna: Management Concepts Inc..
- He, Q., Luo, L., Hu, Y., ve Chan, A. P. (2015). Measuring the complexity of mega construction projects in China—A fuzzy analytic network process analysis. *International Journal of Project Management*, 33(3), 549-563.
- Hetland, P. (1997). Exploring the value of project complexity—beyond lump sum contracting. *Managing Risks in Projects: Proceedings of the IPMA Symposium on Project Management 1997*, Helsinki, Finland, 17-19 Eylül, 1997 (149). Taylor & Francis.
- Hietajärvi, A. M., Aaltonen, K., ve Haapasalo, H. (2017). Managing integration in infrastructure alliance projects: Dynamics of integration mechanisms. *International Journal of Managing Projects in Business*, 10(1), 5-31.
- Higgins JPT, Green S (Ed.). (2011). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.1.0*. The Cochrane Collaboration, 2011. 1 Aralık 2018, <https://www.handbook.cochrane.org>.
- Howard, H. C., Levitt, R., Paulson, B. C., Pohl, J. G., ve Tatum, C. B. (1989). Computer integration: reducing fragmentation in AEC industry. *Journal of computing in civil engineering*, 3(1), 18-32.
- Höök, M., ve Stehn, L. (2008). Applicability of lean principles and practices in industrialized housing production. *Construction management and Economics*, 26(10), 1091-1100.
- Hu, Y., Chan, A. P., Le, Y., ve Jin, R. Z. (2013). From construction megaproject management to complex project management: Bibliographic analysis. *Journal of management in engineering*, 31(4), 04014052.

IAAC (2018). *Minibuilders*. 1 Aralık 2018, <http://robots.iaac.net>

ICCPM (2013). *Complex Project Management Global Perspectives and the Strategic Agenda to 2025*. The Task Force Report.

ICCPM (2017). 1 Aralık 2018, <https://iccpm.com>.

IFR (2012). *History of industrial robots*. [Online Broşür] 1 Aralık 2018, <https://ifr.org>.

IFR (2016). *Executive Summary World Robotics 2016*. [Online Broşür] 1 Aralık 2018, <https://ifr.org>.

Imperiale, A. (2012). *An American Wartime Dream: The Packaged House System Of Konrad Wachsmann And Walter Gropius*. Temple University.

Inhabitat (2018). *Get a Free Vintage Prefab*. 1 Aralık 2018, <https://inhabitat.com>.

IPMA (2017). 1 Aralık 2018, <http://www.ipma.world>.

ISO. (2018). *31000:2009 Risk management - Principles and guidelines*. 1 Aralık 2018, <https://www.iso.org>.

Jaafari, A. (2001). Management of risks, uncertainties and opportunities on projects: time for a fundamental shift. *International journal of project management*, 19(2), 89-101.

Jaafari, A. (2003). Project management in the age of complexity and change. *Project management journal*, 34(4), 47-57.

- Jaeger, G. (2014). What in the (quantum) world is macroscopic?. *American Journal of Physics*, 82, 896-905.
- Jäger, J., Schöllhammer, O., Lickefett, M., ve Bauernhansl, T. (2016). Advanced complexity management strategic recommendations of handling the “Industrie 4.0” complexity for small and medium enterprises. *Procedia CIRP*, 57, 116-121.
- Janipha, N. A. I., Ahmad, N., ve Ismail, F. (2015). Clients’ Involvement in Purchasing Process for Quality Construction Environment. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 168, 30-40.
- Jarkas, A. M. (2017). Contractors’ Perspective of Construction Project Complexity: Definitions, Principles, and Relevant Contributors. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 143(4), 04017007.
- Jensen, T. C., Bekdik, B., ve Thuesen, C. (2014). Understanding complex construction systems through modularity. *Proceedings of the 7th World Conference on Mass Customization, Personalization, and Co-Creation (MCPC 2014)*, Aalborg, Denmark, Şubat 4-7, 2014 (541-555).
- Jiao, Y., Wang, Y., Zhang, S., Li, Y., Yang, B., ve Yuan, L. (2013). A cloud approach to unified lifecycle data management in architecture, engineering, construction and facilities management: Integrating BIMs and SNS. *Advanced Engineering Informatics*, 27(2), 173-188.
- Johnson, D. (2004). Selection and Implementation of Web-based Project Management and Technical Collaboration Systems for Port Development Use. *Ports 2004: Port Development in the Changing World* İçinde (1-11).
- Jung, Y., ve Gibson, G. E. (1999). Planning for computer integrated construction. *Journal of computing in civil engineering*, 13(4), 217-225.

- Kaneko, K., ve Tsuda, I. (2011). *Complex systems: chaos and beyond: a constructive approach with applications in life sciences*. Berlin: Springer Science & Business Media.
- Kauffman, S. (1996). *At home in the universe: The search for the laws of self-organization and complexity*. Oxford: Oxford University Press.
- Kensek, K., ve Noble, D. (2014). *Building information modeling: BIM in current and future practice*. John Wiley & Sons.
- Kermanshachi, S., Dao, B., Shane, J., ve Anderson, S. (2016a). Project Complexity Indicators and Management Strategies—A Delphi Study. *Procedia Engineering*, 145, 587-594.
- Kermanshachi, S., Dao, B., Shane, J., ve Anderson, S. (2016b). An empirical study into identifying project complexity management strategies. *Procedia Engineering*, 145, 603-610.
- Khoshevis, B. (1996). *U.S. Patent No. 5,529,471*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Khoshnevis, B. (2004). Automated construction by contour crafting—related robotics and information technologies. *Automation in construction*, 13(1), 5-19.
- Kieran, S., ve Timberlake, J. (2004). *Refabricating architecture: How manufacturing methodologies are poised to transform building construction*. New York: McGraw-Hill.
- Kieran, S., ve Timberlake, J. (2011). *Cellophane House: KieranTimberlake*. Philadelphia: KieranTimberlake.

- Kietzmann, J., Pitt, L., ve Berthon, P. (2015). Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. *Business Horizons*, 58(2), 209-215.
- Killam, L. (2013). *Research terminology simplified: Paradigms, axiology, ontology, epistemology and methodology*. 1 Aralık 2018, <http://books.google.com>.
- Kim, C., Park, T., Lim, H., ve Kim, H. (2013). On-site construction management using mobile computing technology. *Automation in construction*, 35, 415-423.
- Kim, K. J., ve Gibson Jr, G. E. (2003). Interactive simulation modeling for heavy construction operations. *Automation in Construction*, 12(1), 97-109.
- Kim, S. K., Seo, J., ve Russell, J. S. (2012). Intelligent navigation strategies for an automated earthwork system. *Automation in Construction*, 21, 132-147.
- Kitchenham, B., Pretorius, R., Budgen, D., Brereton, O. P., Turner, M., Niazi, M., ve Linkman, S. (2010). Systematic literature reviews in software engineering—a tertiary study. *Information and Software Technology*, 52(8), 792-805.
- Knoben, J., ve Oerlemans, L. A. (2006). Proximity and inter-organizational collaboration: A literature review. *International Journal of Management Reviews*, 8(2), 71-89.
- Ko, H. S., Azambuja, M., ve Lee, H. F. (2016). Cloud-based materials tracking system prototype integrated with radio frequency identification tagging technology. *Automation in Construction*, 63, 144-154.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (72). Stanford, CA: Stanford university.

- Koskela, L., Howell, G., Ballard, G., ve Tommelein, I. (2002). The foundations of lean construction. *Design and construction: Building in value*, 211-226.
- Koskela, L. J., ve Howell, G. (2002). The underlying theory of project management is obsolete. *Proceedings of the PMI Research Conference* İçinde (293-302). PMI.
- Krinner, M., Elezi, F., Tommelein, I. D., ve Lindemann, U. (2011). Managing complexity in lean construction design—using the MDM methodology to create organizational modularity. *DSM 2011: Proceedings of the 13th International DSM Conference* İçinde (377-390).
- Kurtz, C. F. ve Snowden, D. J. (2003). The new dynamics of strategy: Sense-making in a complex and complicated world. *IBM systems journal*, 42(3), 462-483.
- Latham S. M. (1994) *Constructing the Team*. 1 Aralık 2018, <http://constructingexcellence.org.uk>
- Laufer, A., Denker, G. R., ve Shenhar, A. J. (1996). Simultaneous management: the key to excellence in capital projects. *International Journal of Project Management*, 14(4), 189-199.
- Leach, L. P. (1999). Critical chain project management improves project performance. *Project Management Journal*, 30, 39-51.
- Lehtiranta, L. (2011). Relational risk management in construction projects: modeling the complexity. *Leadership and Management in Engineering*, 11(2), 141-154.
- Leu, S. S., Yang, C. H., ve Huang, J. C. (2000). Resource leveling in construction by genetic algorithm-based optimization and its decision support system application. *Automation in construction*, 10(1), 27-41.

- Leung, S. W., Mak, S., ve Lee, B. L. (2008). Using a real-time integrated communication system to monitor the progress and quality of construction works. *Automation in construction*, 17(6), 749-757.
- Leviäkangas, P., Paik, S. M., ve Moon, S. (2017). Keeping up with the pace of digitization: The case of the Australian construction industry. *Technology in Society*, 50, 33-43.
- Lewin, R. (1999). *Complexity: Life at the edge of chaos*. Chicago: University of Chicago Press.
- Li, Z., ve He, D. (2013). Discussion of a Method of Collaborative Construction Project Information Management Based on BIM. *ICCREM 2013: Construction and Operation in the Context of Sustainability* İçinde (492-498).
- Lin, Y. C. (2013). Construction network-based interface management system. *Automation in Construction*, 30, 228-241.
- Lin, Z. (2011). Nakagin capsule tower: Revisiting the future of the recent past. *Journal of architectural education*, 65(1), 13-32.
- Linner, T. (2013). *Automated and Robotic Construction: Integrated Automated Construction Sites*. Doktora Tezi. Technische Universität München, Münih.
- Little, T. (2005). Context-adaptive agility: managing complexity and uncertainty. *IEEE software*, 22(3), 28-35.
- Loch, C. H., Terwiesch, C., ve Thomke, S. (2001). Parallel and sequential testing of design alternatives. *Management Science*, 47(5), 663-678.

- Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the atmospheric sciences*, 20(2), 130-141.
- Lorenz, E. N. (1995). *The essence of chaos*. USA: University of Washington Press.
- Love, P. E., Holt, G. D., Shen, L. Y., Li, H., ve Irani, Z. (2002). Using systems dynamics to better understand change and rework in construction project management systems. *International journal of project management*, 20(6), 425-436.
- Lu, Y., Luo, L., Wang, H., Le, Y., ve Shi, Q. (2015). Measurement model of project complexity for large-scale projects from task and organization perspective. *International Journal of Project Management*, 33(3), 610-622.
- Luo, L., He, Q., Jaselskis, E. J., ve Xie, J. (2017). Construction Project Complexity: Research Trends and Implications. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(7), 04017019.
- Ma, Z., Shen, Q., ve Zhang, J. (2005). Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects. *Automation in construction*, 14(3), 369-381.
- Maeda, J. (1994). Development and Application of the SMART System. *Automation and Robotics in Construction XI İçinde* (457-464).
- Manson, S. M. (2001). Simplifying complexity: a review of complexity theory. *Geoforum*, 32(3), 405-414.
- Manyika, J., Ramaswamy, S., Khanna, S., Sarrazin, H., Pinkus, G., Sethupathy, G., ve Yaffe, A. (2015). *Digital America: A tale of the haves and have-mores*. McKinsey Global Institute.

- Marasin, R., Dean, J., & Dawood, N. (2007). Application of visualisation tools in project management in construction industry: Innovation and challenges. *Computing in Civil Engineering* İçinde (91-102).
- Marle, F. ve Vidal, L. A. (2016). *Managing Complex, High Risk Projects*. 1 Aralık 2018, <https://www.springer.com>.
- Martínez-Rojas, M., Marín, N., ve Vila, M. A. (2015). The role of information technologies to address data handling in construction project management. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(4), 04015064.
- Maurer, M. (2017). *Complexity Management in Engineering Design—a Primer*. 1 Aralık 2018, <https://www.springer.com>.
- Maylor, H., Vidgen, R. ve Carver, S. (2008). Managerial complexity in project-based operations: A grounded model and its implications for practice. *Project Management Journal*, 39(S1).
- McKelvey, B. (2004). Toward a complexity science of entrepreneurship. *Journal of Business Venturing*, 19(3), 313-341.
- McKinsey Global Institute. (2017). Reinventing construction: A route to higher productivity. 1 Aralık 2018, <https://www.mckinsey.com>.
- Memari, A. M., Huelman, P. H., Iulo, L. D., Laquatra, J., Martin, C., McCoy, A., ... ve Williamson, T. (2014). Residential building construction: State-of-the-art review. *Journal of Architectural Engineering*, 20(4), B4014005.
- Miettinen, R., ve Paavola, S. (2014). Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in construction*, 43, 84-91.

- Mintzberg, H. (1979). An emerging strategy of "direct" research. *Administrative science quarterly*, 24(4), 582-589.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour*. New York: Oxford University Press.
- Morris, P. W. (1997). *The management of projects*. Londra: Thomas Telford.
- Motawa, I. A., Anumba, C. J., Lee, S., ve Peña-Mora, F. (2007). An integrated system for change management in construction. *Automation in construction*, 16(3), 368-377.
- Nam, C. H. ve Tatum, C. B. (1988). Major characteristics of constructed products and resulting limitations of construction technology. *Construction management and economics*, 6(2), 133-147.
- National Audit Office (2001). *Modernising Construction*. 1 Aralık 2018, <https://www.nao.org.uk>.
- National Platform (2008). *ICT and Automation (ICTA) Scoping Study Research report* 1 Aralık 2018, <https://www.arup.com>.
- Navon, R., ve Goldschmidt, E. (2003). Monitoring labor inputs: automated-data-collection model and enabling technologies. *Automation in Construction*, 12(2), 185-199.
- Ngowi, A. B., Pienaar, E., Talukhaba, A., ve Mbachu, J. (2005). The globalisation of the construction industry—a review. *Building and Environment*, 40(1), 135-141.
- Nguyen, A. T., Nguyen, L. D., Le-Hoai, L., ve Dang, C. N. (2015). Quantifying the complexity of transportation projects using the fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Project Management*, 33(6), 1364-1376.

- Ochieng, E. G., Hughes, L., Ruan, X., Price, A. D., ve Egbu, C. O. (2013). *Mapping and simplifying construction project delivery*. Loughborough University Institutional Repository. 1 Aralık 2018, <https://dspace.lboro.ac.uk>.
- Oesterreich, T. D., ve Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121-139.
- Oh, M., Lee, J., Hong, S. W., ve Jeong, Y. (2015). Integrated system for BIM-based collaborative design. *Automation in construction*, 58, 196-206.
- Osman, H. M., Georgy, M. E., ve Ibrahim, M. E. (2003). A hybrid CAD-based construction site layout planning system using genetic algorithms. *Automation in construction*, 12(6), 749-764.
- Pachon, A. G. (2012). Construction Site Automation: guidelines for analyzing its feasibility, benefits and drawbacks. *Advanced Construction and Building Technology for Society*, 38.
- Parris, D. L., ve Peachey, J. W. (2013). A systematic literature review of servant leadership theory in organizational contexts. *Journal of business ethics*, 113(3), 377-393.
- Pärn, E. A., Edwards, D. J., ve Sing, M. C. P. (2017). The building information modelling trajectory in facilities management: A review. *Automation in Construction*, 75, 45-55.
- Pegna, J. (1997). Exploratory investigation of solid freeform construction. *Automation in construction*, 5(5), 427-437.

- Perkins, I., ve Skitmore, M. (2015). Three-dimensional printing in the construction industry: A review. *International Journal of Construction Management*, 15(1), 1-9.
- Perminova, O., Gustafsson, M. ve Wikström, K. (2008). Defining uncertainty in projects—a new perspective. *International Journal of Project Management*, 26(1), 73-79.
- Pich, M. T., Loch, C. H., ve Meyer, A. D. (2002). On uncertainty, ambiguity, and complexity in project management. *Management science*, 48(8), 1008-1023.
- Pittaway, L., Robertson, M., Munir, K., Denyer, D., ve Neely, A. (2004). Networking and innovation: a systematic review of the evidence. *International journal of management reviews*, 5(3-4), 137-168.
- PMI (2017). 1 Aalık 2018, <https://www.pmi.org>
- Qazi, A., Quigley, J., Dickson, A., ve Kirytopoulos, K. (2016). Project Complexity and Risk Management (ProCRiM): Towards modelling project complexity driven risk paths in construction projects. *International Journal of Project Management*, 34(7), 1183-1198.
- Qing-hua, H., Lan, L., Jian, W., Yong-kui, L., ve Lei, Z. (2012). Using Analytic Network Process to analyze influencing factors of project complexity. *In Management Science and Engineering (ICMSE)*, 2012 International Conference (1781-1786). IEEE.
- Qureshi, S. M., ve Kang, C. (2015). Analysing the organizational factors of project complexity using structural equation modelling. *International Journal of Project Management*, 33(1), 165-176.

- Redwood, J., Thelning, S., Elmualim, A., ve Pullen, S. (2017). The proliferation of ICT and digital technology systems and their influence on the dynamic capabilities of construction firms. *Procedia Engineering*, 180, 804-811.
- Remington, K. ve Pollack, J. (2007). *Tools for complex projects*. Gower Publishing, Ltd..
- Remington, K., Zolin, R. ve Turner, R. (2009). A model of project complexity: distinguishing dimensions of complexity from severity. *Proceedings of the 9th International Research Network of Project Management Conference*. IRNOP.
- Ribbers, P. M., & Schoo, K. C. (2002). Program management and complexity of ERP implementations. *Engineering Management Journal*, 14(2), 45-52.
- Rihani, S. (2002). *Complex systems theory and development practice: Understanding non-linear realities*. Londra: Zed Books.
- Rose, K. H. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*—Fifth Edition. Project management journal, 44(3).
- Rosenman, M., ve Wang, F. (2001). A component agent based open CAD system for collaborative design. *Automation in Construction*, 10(4), 383-397.
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., ve Owen, R. (2010). Interaction of lean and building information modeling in construction. *Journal of construction engineering and management*, 136(9), 968-980.
- Saidi, K. S., Bock, T., ve Georgoulas, C. (2016). Robotics in construction. *Springer handbook of robotics* İçinde (1493-1520). 1 Aralık 2018, <https://www.springer.com>.

- Saini, M., Arif, M., ve Kulonda, D. J. (2018). Critical factors for transferring and sharing tacit knowledge within lean and agile construction processes. *Construction Innovation*, 18(1), 64-89.
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A., ve Minkarah, I. (2006). Lean construction: From theory to implementation. *Journal of management in engineering*, 22(4), 168-175.
- Saurin, T. A., Rooke, J., ve Koskela, L. (2013). A complex systems theory perspective of lean production. *International Journal of Production Research*, 51(19), 5824-5838.
- Schlundwein, S. L. ve Ison, R. (2004). Human knowing and perceived complexity: implications for systems practice. *Emergence: Complexity and Organization*, 6(3), 27-32.
- Schrader, S., Riggs, W. M., ve Smith, R. P. (1993). Choice over uncertainty and ambiguity in technical problem solving. *Journal of Engineering and Technology Management*, 10(1-2), 73-99.
- Schramm, F. K., Rodrigues, A. A., ve Formoso, C. T. (2006). The role of production system design in the management of complex projects. *14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Santiago, Chile, Pontificia Universidad Catolica de Chile.
- Scott, A. C. (2007). *The nonlinear universe: chaos, emergence, life*. Berlin, Heidelberg: Springer Science & Business Media.
- Shadid, W. K. (2018). A framework for managing organizations in complex environments. *Construction Management and Economics*, 36(4), 182-202.

- Shen, W., Hao, Q., Mak, H., Neelamkavil, J., Xie, H., ve Dickinson, J. (2008). Systems integration and collaboration in construction: A review. *In Computer Supported Cooperative Work in Design, 2008. CSCWD 2008. 12th International Conference on* (11-22). IEEE.
- Shen, W., Hao, Q., Mak, H., Neelamkavil, J., Xie, H., Dickinson, J., ... ve Xue, H. (2010). Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review. *Advanced Engineering Informatics*, 24(2), 196-207.
- Shen, W., Hao, Q., ve Xue, Y. (2012). A loosely coupled system integration approach for decision support in facility management and maintenance. *Automation in construction*, 25, 41-48.
- Shenhar, A. J. (1998). From theory to practice: Toward a typology of project-management styles. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 45(1), 33-48.
- Shenhar, A. J. (2001). One size does not fit all projects: Exploring classical contingency domains. *Management Science*, 47(3), 394-414.
- Shenhar, A. J. ve Dvir, D. (1996). Toward a typological theory of project management. *Research policy*, 25(4), 607-632.
- Shenhar, A. J. ve Dvir, D. (2007). *Reinventing project management: the diamond approach to successful growth and innovation*. Boston, Massachusetts: Harvard Business Review Press.
- Shi, Q., Ding, X., Zuo, J., ve Zillante, G. (2016). Mobile Internet based construction supply chain management: A critical review. *Automation in Construction*, 72, 143-154.

- Sinha, S., Kumar, B., ve Thomson, A. (2006). Measuring project complexity: a project manager's tool. *Architectural Engineering and Design Management*, 2(3), 187-202.
- Skeat W. W. (2013). *An Etymological Dictionary of the English Language*. Mineola, NY: Dover Publications.
- Snowden, D. (2002). Complex acts of knowing: paradox and descriptive self-awareness. *Journal of knowledge management*, 6(2), 100-111.
- Snowden, D. J. ve Boone, M. E. (2007). A leader's framework for decision making. *Harvard business review*, 85(11), 68.
- Sohi, A. J., Hertogh, M., Bosch-Rekveltdt, M., ve Blom, R. (2016). Does lean & agile project management help coping with project complexity?. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 226, 252-259.
- Song, L., ve Eldin, N. N. (2012). Adaptive real-time tracking and simulation of heavy construction operations for look-ahead scheduling. *Automation in Construction*, 27, 32-39.
- Söderlund, J. (2004). Building theories of project management: past research, questions for the future. *International journal of project management*, 22(3), 183-191.
- Stalk Jr, G., ve Hout, T. M. (1990). Competing against time. *Research-Technology Management*, 33(2), 19-24.
- Stevenson, A. (Ed.). (2010). *Oxford dictionary of English*. USA: Oxford University Press.

- Stewart, I. (1997). *Does God play dice?: The new mathematics of chaos*. Londra: Penguin.
- Strevens, M. (2009). *Bigger than chaos: Understanding complexity through probability*. USA: Harvard University Press.
- Tah, J. H. M., Oti, A. H., ve Abanda, F. H. (2017). A state-of-the-art review of built environment information modelling (BeIM). *Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal*, 9(1), 1638-1654.
- Tatikonda, M. V. ve Rosenthal, S. R. (2000). Technology novelty, project complexity, and product development project execution success: a deeper look at task uncertainty in product innovation. *IEEE Transactions on engineering management*, 47(1), 74-87.
- TED (2010). *Eric Berlow: Simplifying complexity*. [Video Dosyası] 1 Aralık 2018, <https://youtu.be/UB2iYzKeej8..>
- TDK (bt). 1 Aralık 2018, <http://www.tdk.gov.tr/>
- Terano, T. (2008). Beyond the KISS principle for agent-based social simulation. *Journal of Socio-informatics*, 1(1), 175-187.
- Thomke, S. H. (1998). Managing experimentation in the design of new products. *Management Science*, 44(6), 743-762.
- Thomke, S., ve Reinertsen, D. (1998). Agile product development: Managing development flexibility in uncertain environments. *California management review*, 41(1), 8-30.

- Tranfield, D., Denyer, D., ve Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, 14(3), 207-222.
- Turner, J. R. (2008). *Handbook of project-based management*. 1 Aralık 2018, <https://scholar.google.com>
- Turner, J. R. ve Cochrane, R. A. (1993). Goals-and-methods matrix: coping with projects with ill defined goals and/or methods of achieving them. *International Journal of project management*, 11(2), 93-102.
- Turner, M., Kitchenham, B., Brereton, P., Charters, S., ve Budgen, D. (2010). Does the technology acceptance model predict actual use? A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 52(5), 463-479.
- Ugwu, O. O., Anumba, C. J., ve Thorpe, A. (2001). Ontology development for agent-based collaborative design. *Engineering Construction and Architectural Management*, 8(3), 211-224.
- Uihlein, M. S. (2013). State of integration: Investigation of integration in the A/E/C community. *Journal of Architectural Engineering*, 20(2), 05013004.
- Uihlein, M. S. (2014). Structural integration in practice: Constructing a framework from the experiences of structural engineers. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 141(3), 04014010.
- Vähä, P., Heikkilä, T., Kilpeläinen, P., Järviluoma, M., ve Gambao, E. (2013). Extending automation of building construction—Survey on potential sensor technologies and robotic applications. *Automation in Construction*, 36, 168-178.

- Vidal, L. A., ve Marle, F. (2008). Understanding project complexity: implications on project management. *Kybernetes*, 37(8), 1094-1110.
- Vidal, L. A., Marle, F., ve Bocquet, J. C. (2011a). Using a Delphi process and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the complexity of projects. *Expert systems with applications*, 38(5), 5388-5405.
- Vidal, L. A., Marle, F., ve Bocquet, J. C. (2011b). Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Project Management*, 29(6), 718-727.
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General system theory*. New York, 41973(1968), 40.
- Vrijhoef, R., ve Koskela, L. (2005). Revisiting the three peculiarities of production in construction. *Proceedings of 13th International Group for Lean Construction Conference* İçinde (19-27).
- Waldrop, M. M. (1993). *Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos*. New York: Simon and Schuster Paperbacks.
- Wang, X., Truijens, M., Hou, L., Wang, Y., ve Zhou, Y. (2014). Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. *Automation in Construction*, 40, 96-105.
- Ward, S. ve Chapman, C. (2003). Transforming project risk management into project uncertainty management. *International journal of project management*, 21(2), 97-105.
- Webster, M. (1984). *Merriam Webster's Dictionary of Synonyms*. 1 Aralık 2018, <https://books.google.com/>

- Whitty, S. J. ve Maylor, H. (2009). And then came complex project management (revised). *International Journal of Project Management*, 27(3), 304-310.
- William C, I. (1986). Future directions for computerized construction research. *Journal of Construction Engineering and Management*, 112(3), 326-345.
- Williams, T. M. (1999). The need for new paradigms for complex projects. *International journal of project management*, 17(5), 269-273.
- Williams, T. (2005). Assessing and moving on from the dominant project management discourse in the light of project overruns. *IEEE Transactions on engineering management*, 52(4), 497-508.
- Winch, G. (1989). The construction firm and the construction project: a transaction cost approach. *Construction Management and Economics*, 7(4), 331-345.
- Winch, G., Usmani, A., ve Edkins, A. (1998). Towards total project quality: a gap analysis approach. *Construction Management & Economics*, 16(2), 193-207.
- Wolfe, T., ve Garfield, L. (1989). "A New Standard for Living": The Lustron House, 1946-1950. *Perspectives in Vernacular Architecture*, 3, 51-61.
- Wood, H. (2010). *Modelling project complexity at the pre construction stage*. Doktora Tezi. University of Brighton, Eastbourne and Hastings.
- Wood, H., ve Ashton, P. (2009). *Factors of complexity in construction projects*. 1 Aralık 2018, <https://scholar.google.com>.
- Wood, H. ve Ashton, P. (2010). *Modeling project complexity*. 1 Aralık 2018, <https://scholar.google.com>

- Wood, H. L., ve Gidado, K. (2008). An overview of complexity theory and its application to the construction industry. *24th Annual ARCOM Conference*. Cardiff, UK: Association of Researchers in Construction Management.
- Wood, H., Piroozfar, A., ve Farr, E. R. (2013). *Understanding complexity in the AEC industry*. 1 Aralık 2018, <https://scholar.google.com>
- Wu, Y., ve Cai, J. (2017) Research on New-Type Smart City in China Based on Smart Construction Theory. *ICCREM 2017* İçinde (347-354).
- Xia, B., ve Chan, A. P. (2012). Measuring complexity for building projects: a Delphi study. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(1), 7-24.
- Xia, W. ve Lee, G. (2004). Grasping the complexity of IS development projects. *Communications of the ACM*, 47(5), 68-74.
- Xia, W. ve Lee, G. (2005). Complexity of information systems development projects: conceptualization and measurement development. *Journal of management information systems*, 22(1), 45-83.
- Yoshida, T. (2006). A short history of construction robots research & development in a japanese company. *Proceedings of the international symposium on automation and robotics in construction* İçinde (188-193).
- Zhang, J., Long, Y., Lv, S., ve Xiang, Y. (2016). BIM-enabled Modular and Industrialized Construction in China. *Procedia Engineering*, 145, 1456-1461.
- Zhu, Y., Chen, S. C., ve Shyu, M. L. (2005). A Hybrid Integration Strategy: Community Specific, Context-Mediated and Process-Oriented. *Computing in Civil Engineering* İçinde (1-9).

Zou, P. X., Lun, P., Cipolla, D., ve Mohamed, S. (2017). Cloud-based safety information and communication system in infrastructure construction. *Safety science*, 98, 50-69.

