

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPI ELEMANLARININ ÜRETİMİNDE KULLANILAN YERİNDE YAPIM
TEKNİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN MODEL ÖNERİSİ**

DOKTORA TEZİ

Kevser COŞKUN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

MAYIS 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPI ELEMANLARININ ÜRETİMİNDE KULLANILAN YERİNDE YAPIM
TEKNİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN MODEL ÖNERİSİ**

DOKTORA TEZİ

**Kevser COŞKUN
(502052603)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Y. Doç. Dr. M. Cem ALTUN

MAYIS 2013

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502052603 numaralı Doktora Öğrencisi **Kevser COŞKUN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YAPI ELEMANLARININ ÜRETİMİNDE KULLANILAN YERİNDE YAPIM TEKNİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN MODEL ÖNERİSİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Y. Doç. Dr. M. Cem ALTUN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hakkı ÖNEL**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hakan YAMAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Y. Doç. Dr. Erkan AVLAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Y. Doç. Dr. İkbâl ÇETİNER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **27 Aralık 2012**
Savunma Tarihi : **10 Mayıs 2013**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bilgi, deneyim ve akademisyen kişiliği ile akademik hayatımda örnek aldığım değerli tez danışmanım Y. Doç. Dr. M. Cem ALTUN'a teşekkür ederim.

Mayıs 2013

Kevser COŞKUN
(Y. Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	3
1.2 Kapsam.....	3
1.3 Yöntem	5
2. YAPI ELEMANLARININ ÜRETİMİNDE KULLANILAN YERİNDE	
YAPIM TEKNİKLERİ	7
2.1 Yapı Elemanları.....	7
2.1.1 Yapı elemanları sistemleri	8
2.1.2 Yapı elemanları alt bileşenleri	9
2.1.2.1 Gövde bileşeni	12
2.1.2.2 Yalıtım bileşeni	16
2.1.2.3 Kaplama bileşeni	23
2.2 Yapım Girdileri	29
2.2.1 İşçilik.....	29
2.2.2 Malzeme	33
2.2.3 Araç	36
2.3 Yerinde Yapım Teknikleri	41
2.3.1 Yerinde biçim oluşturan malzeme ve sistemlerin uygulanması.....	44
2.3.2 Önceden biçim verilmiş malzeme ve sistemlerin uygulanması	45
2.3.2.1 Yerinde birleşim	46
2.3.2.2 Hazır bağlantı parçaları ile birleşim	49
2.3.2.3 Geçme sistem ile birleşim	54
2.4 Yapım Sürecinde Problemler	54
2.5 Bölüm Sonuçları.....	60
3. YERİNDE YAPIM TEKNİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN	
MODEL ÖNERİSİ GELİŞTİRME SÜRECİ.....	63
3.1 Mühendislik Problemlerinin Çözüm Yöntemleri	63
3.2 TRIZ Yaklaşımı.....	67
3.2.1 TRIZ Mühendislik Parametreleri	73
3.2.2 TRIZ Yaratıcı Prensipleri.....	74
3.2.3 TRIZ Çelişkiler Matrisi.....	81
3.2.4 TRIZ uygulama alanları	82
3.3 TRIZ'ın Yerinde Yapım Sürecine Uyarlanması	83

3.3.1 TRIZ Mühendislik Parametreleri'nin ve Yaratıcı Prensipleri'nin uyarlanması	83
3.3.1.1 Yerinde yapım sürecinde TRIZ Mühendislik Parametreleri	84
3.3.1.2 Yerinde yapım sürecinde TRIZ Yaratıcı Prensipleri	93
3.3.1.3 TRIZ Mühendislik Parametreleri'nin ve Yaratıcı Prensipleri'nin yerinde yapım sürecine uyarlanmasının değerlendirilmesi	106
3.3.2 Yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesinde TRIZ'in yerinde yapım sürecine uyarlanmasında belirlenen eksikliklerin giderilmesi	108
3.4 Süreç İyileştirme Yaklaşımları	113
3.5 Altı Sigma Yaklaşımı	122
3.5.1 Sigma seviyesi	126
3.5.2 Altı Sigma ve değişkenlik	128
3.5.3 Altı Sigma süreç modelleri	130
3.6 Yerinde Yapım Tekniklerinin İyileştirilmesinde TRIZ ve Altı Sigma Yaklaşımlarının Birlikte Kullanılması	135
3.7 Bölüm Sonuçları	138
4. YERİNDE YAPIM SÜRECİNDE YERİNDE YAPIM TEKNİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN MODEL ÖNERİSİ	141
4.1 Modelin Dayandığı Kabuller	141
4.2 Modelin Uygulama Adımları	142
4.3 Bölüm Sonuçları	156
5. İYİLEŞTİRME MODEL ÖNERİSİNİN TUĞLA ÖRME DUVAR YAPIM İŞİNDE UYGULANMASI	159
5.1 Modelin Uygulanması	159
5.1.1 Problemin analizi - A1	159
5.1.1.1 Yapım işinin sunulması - A11	160
5.1.1.2 İyileştirilecek projenin belirlenmesi - A12	160
5.1.1.3 Mevcut durum analizi - A13	161
5.1.1.4 Ölçüm sistemleri analizi - A14	163
5.1.1.5 Süreç yeterlilik analizi - A15	168
5.1.2 Çelişkilerin belirlenmesi - A2	170
5.1.3 Çözümün planlanması - A3	170
5.1.4 Yapımın iyileştirilmesi - A4	174
5.1.4.1 İdeal çözümün planlanması - A41	174
5.1.4.2 Faktörlerin analizi - A42	175
5.1.4.3 Deney tasarımı - A43	176
5.1.5 İyileştirilmiş yapımın kontrolü - A5	178
5.1.5.1 İyileştirilmiş uygulama - A51	179
5.1.5.2 Süreç yeterlilik analizi - A52	181
5.1.5.3 Projenin kapatılması - A53	182
5.2 Bölüm Sonuçları	183
6. SONUÇLAR	187
KAYNAKLAR	191
EKLER	197
ÖZ GEÇMİŞ	211

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
bk.	: Bakınız
BMC	: British Motor Corporation (Britanya Motor Kuruluşu)
Böl.	: Bölüm
BPI	: Business Process Improvement (İş Süreçlerinin İyileştirilmesi)
BPM	: Business Process Management (İş Süreçlerinin Yönetimi)
BPMN	: Business Process Modeling and Notation (İş Süreci Modelleme Notasyonu)
CEO	: Chief Executive Officer (En üst düzey yönetici, yönetim kurulu başkanının sonra genel müdürden önce gelen kişi)
CMMI	: Capability Maturity Model Integration (Yetenek Olgunluk Model Entegrasyonu)
CQI	: Continuous Quality Improvement (Sürekli Kalite İyileştirme)
CTQ	: Critical to Quality - Tree (Kritik Kalite Faktörleri)
DFSS	: Design for Six Sigma (Altı Sigma Tasarımı)
DK	: Yapı elemanının dış kaplama bileşeni
DMAIC	: Define - Measure - Analysis - Improve - Control (Tanımlama - Ölçme - Analiz - İyileştirme - Kontrol)
DMADV	: Define - Measure - Analysis - Design - Verify (Tanımlama - Ölçme - Analiz - Tasarım - Doğrulama)
DOE	: Design of Experiments (Deney Tasarımı)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
EPDM	: Etilen Propilen
EPS	: Expanded Polystyrene (Genleştirilmiş polistren sert köpük)
FMEA	: Failures Modes and Effects Analysis (Hata Türü Etki Analizi)
G	: Yapı elemanının gövde bileşeni
Gage R&R	: Gage Reproducibility & Repeatability (Ölçüm Yeniden Üretilirlik & Tekrarlanabilirlik)
HF	: Harmful Function (Zararlı Etki)
IBM	: International Business Machines (Uluslararası İş Makineleri)
IDEFØ	: Integrated Definition For Function Modeling (İşlev Modellemede Bütünleşik Tanımlama)
IFR	: Ideal Final Result (İdeal Nihai Sonuç)
ISO	: International Organization of Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
İK	: Yapı elemanının iç kaplama bileşeni
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
Ko	: Merdiven yapı elemanında korkuluk bileşeni
Kü	: Merdiven yapı elemanında küpeşte bileşeni
LSL	: Lower Specification Level (Alt Spesifikasyon Seviyesi)
MATLAB	: MATrix LABoratory (Matris Laboratuvarı)

MICT	: A Model Proposal for Improving In-Situ Construction Techniques (Yerinde Yapım Tekniklerinin İyileştirilmesi İçin Model Önerisi)
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Araştırmaları Merkezi)
NIST	: National Institute of Standards and Technology (Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü)
No.	: Numara
OSB	: Oriented Strand Board (Yönlendirilmiş Yonga Levha)
PDCA	: Plan - Do - Check - Action (Planla - Uygula - Kontrol et - Önlem al)
PE	: Polietilen
PPM	: Part Per Million (1 milyonda hata adedi)
PS	: Polistren
PU	: Poliüretan
PVA	: Polivinil Asetat
PVC	: Polivinil Klorür
R&D	: Research & Develop (Araştırma ve Geliştirme)
RUP	: Rational Unified Process (Rasyonel Birleşik Süreç)
s.	: Sayfa
SIPOC	: Supplier - Input - Process - Output - Customer (Tedarikçi - Girdi - Süreç - Çıktı - Müşteri)
SSCB	: Sovyet Sosyalist Cumhuriyetleri Birliği
STS	: Çatı yapı elemanında su toplama sistemi
SUS	: Çatı yapı elemanında su uzaklaştırma sistemi
TQM	: Total Quality Management (Toplam Kalite Yönetimi)
TS	: Türk Standartları
TRIZ	:Theoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch (Theory of Inventive Problem Solving - Yaratıcı Problem Çözme Teorisi)
UF	: Useful Function (Yararlı Etki)
USA	: United States of America (Amerika Birleşik Devletleri)
USL	: Upper Spesification Level (Üst Spesifikasyon Seviyesi)
vb.	: Ve başkası, ve başkaları, ve benzeri, ve benzerleri, ve bunun gibi
vd.	: Ve devamı, ve diğerleri
XPS	: Extruded Polystyrene (Eksrüde polistren sert köpük)
Y	: Yapı elemanının yalıtım bileşeni

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı işçilik hiyerarşisi.....	32
Çizelge 2.2: Yapım işlerine göre Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın sunduğu işçilikler.....	32
Çizelge 2.3: Araçları kullanan işçilikler.....	33
Çizelge 2.4: Yapı elemanlarından beklenen performans gereksinimleri.....	55
Çizelge 3.1: Yaratıcılık seviyelerine göre süreç adımlarında yapılan çalışmalar	69
Çizelge 3.2: Patentlerin yaratıcılık seviyeleri ile çözüme ulaşmakta yapılan deneme-yanılma sayısı ilişkisi.....	70
Çizelge 3.3: TRIZ Mühendislik Parametreleri	73
Çizelge 3.4: TRIZ Yaratıcı Prensipleri.....	74
Çizelge 3.5: Yerinde yapım sürecine uyarlaması yapılan 40 Yaratıcı Prensip tanımı.....	105
Çizelge 3.6: Yaratıcı Prensipler'in yerinde yapım sürecinde kullanılan tanımları..	107
Çizelge 3.7: Yerinde yapım sürecinde açıklamalı Yaratıcı Prensip tanımları.....	107
Çizelge 3.8: TRIZ Çelişkiler Matrisi ile çözüm önerilerinin belirlenmesi.....	110
Çizelge 3.9: Süreç iyileştirme yaklaşımları	120
Çizelge 3.10: Sigma seviyesi ile hata adedi - başarı oranı ilişkisi.....	127
Çizelge 3.11: Altı Sigma kalite kontrol araç ve teknikleri	132
Çizelge 5.1: İşçilik bilgileri.....	161
Çizelge 5.2: Mevcut yapıma ilişkin süreç haritası.....	162
Çizelge 5.3: Operatör A ve Operatör B tarafından yapılan ölçümlerin sonuçları ..	165
Çizelge 5.4: A,B,C,D,E,F duvarlarının ölçüm sonuçları.....	167
Çizelge 5.5: TRIZ Çelişkiler Matrisi ile çözüm önerilerinin belirlenmesi.....	171
Çizelge 5.6: Deney faktörlerinin alt ve üst limit düzeyleri.....	176
Çizelge 5.7: İyileştirilmiş uygulamada yapılan uzaklık ölçüm sonuçları.....	181
Çizelge A.1: Fotoğraf listesi	198
Çizelge C.1: TRIZ Çelişkiler Matrisi	203
Çizelge E.1: Sigma seviyesine göre hata adedi ve başarı yüzdesi değerleri	210

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Tezin çalışma yönteminin sunulması.	6
Şekil 2.1: Yapı elemanları katmanlaşma modeli.	11
Şekil 2.2: (a) Gazbeton örme sistem dış duvar. (b) Tuğla örme sistem dış duvar.	12
Şekil 2.3: Alüminyum kutu profil ve hafif çelik C profil iskelet sistem iç bölme duvar uygulaması.....	13
Şekil 2.4: Çelik kiriş üzeri trapez levha uygulaması	14
Şekil 2.5: (a) Kalıp içinde alker duvar uygulaması. (b) Kalıp içinde betonarme duvar uygulaması.....	15
Şekil 2.6: (a) Kiriş donatılarının yerleştirilmesi. (b) Betonun dökülmesi	15
Şekil 2.7: Betonarme merdiven uygulaması.....	16
Şekil 2.8: Örme sistem ve dökme sistem duvarda boşluk oluşturma	16
Şekil 2.9: EPS levhaların serbest dizilerek uygulanması.	17
Şekil 2.10: Duvar ve döşeme yüzeyinde sürülerek uygulanan su yalıtımı	19
Şekil 2.11: Polietilen folyo uygulaması.	22
Şekil 2.12: Saz çatı kaplaması	26
Şekil 2.13: Epoksi döşeme kaplama uygulaması.....	28
Şekil 2.14: Biçimlerine göre yapı malzemeleri.	34
Şekil 2.15: İnşaat makineleri	39
Şekil 2.16: Diğer amaçlı inşaat makineleri.....	40
Şekil 2.17: Alçı sıvanın mala ile duvar yüzeyine sürülmesi.....	44
Şekil 2.18: (a) Kalıp içine dökülen alkerin sıkıştırılması. (b) Betonun kalıp içine dökülmesi.....	45
Şekil 2.19: (a) Polietilen su yalıtım örtüsünün yüzeye serilmesi. (b) Çakılın sıkıştırılmış zemin üzerine serbest dökülmesi.	45
Şekil 2.20: Harç ile bims blok ve seramik karo uygulaması.	46
Şekil 2.21: Kenetleme ile metal çatı kaplama levha uygulaması.	47
Şekil 2.22: Bakır boru lehimleme uygulaması.	48
Şekil 2.23: Kaynaklı çelik profil birleşimleri.	49
Şekil 2.24: Duvar, çatı ve zemine oturan döşemede şalümo alevi uygulaması.....	49
Şekil 2.25: Donatı demirlerinin tel ile birleşimi	50
Şekil 2.26: Ahşabın ahşap ve betonarme yüzey ile çivili birleşimi.....	51
Şekil 2.27: (a) Kiremit altı su yalıtım örtüsünün zımba ile yüzeye tespiti. (b) Metal çatı kaplama altı buhar dengeleyicinin zımba ile tespiti..	51
Şekil 2.28: Seramik cephe kaplama ve metal çatı kaplama levhasının vida ile tespiti.	51
Şekil 2.29: Civata / somun ile kolon - kiriş birleşimi ve ankraj bulonu ile radyetemel - kolon birleşimi.	52
Şekil 2.30: Beton blok gövde ve beton blok kaplamanın tel kenet ile birleşimi	53
Şekil 2.31: Geçme sistem ile limon kiriş - basamak ve XPS ısı yalıtım levhalarının birleşimi.....	54
Şekil 2.32: Beton pompa operatörü kontrolünde beton dökümü.....	56

Şekil 2.33: Hatalı ve doğru işçilik ile bitümlü su yalıtım örtüsü uygulaması.....	58
Şekil 3.1: Disiplinler arası mühendislik alanları dağılımı	64
Şekil 3.2: Ahşap pano cephe ve çatı kaplama uygulaması	109
Şekil 3.3: Yerinde yapım probleminin ortadan kaldırılması ile mevcut yerinde yapım tekniğinde iyileştirmenin gerçekleştirilmesi.	113
Şekil 3.4: Hedefte normal dağılım grafiği.	129
Şekil 3.5: Hedeften $\pm 1.5 \sigma$ kayan normal dağılım grafiği.	129
Şekil 3.6: DMAIC süreç adımları	131
Şekil 3.7: DMADV süreç adımları.	131
Şekil 3.8: Yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesinde DMAIC süreç adımlarından faydalanılması.	137
Şekil 3.9: Yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesini amaçlayan model önerisinde TRIZ ve Altı Sigma yaklaşımlarının birlikte kullanılması....	137
Şekil 4.1: Yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesi için sunulan model önerisi akış şeması.....	143
Şekil 4.2: İyileştirme model önerisi akış şemasının ayrıntılı sunumu	144
Şekil 4.3: İşlev Modellemede Bütünleşik Tanımlama Yöntemi (IDEFØ).....	145
Şekil 4.4: Model süreç adımlarının IDEF A0 diyagramı ile sunulması.....	147
Şekil 4.5: Problemin analizi süreç adımlarının IDEF A1 diyagramı ile sunulması.	148
Şekil 4.6: Yapımın iyileştirilmesi süreç adımlarının IDEF A4 diyagramı ile sunulması.....	152
Şekil 4.7: İyileştirilmiş yapımın kontrolü süreç adımlarının IDEF A5 diyagramı ile sunulması	155
Şekil 5.1: Uygulamanın gerçekleştiği spor kompleks binası şantiyesi	160
Şekil 5.2: Yüzey düzgünlüğü problemi için Sebep Sonuç Diyagramı	163
Şekil 5.3: Düşey hat üzerindeki 15 noktanın karşı duvardan dijital lazer ile ölçümü	164
Şekil 5.4: Operatör A ve Operatör B ölçüm sonuçlarının Gage R&R analizi (X bar: Ortalamadaki değişim, R chart: Alt gruplar arasındaki değişim)	165
Şekil 5.5: Duvar yüzeyinde belirlenen üç düşey hat üzerinde etiketlenen ölçüm noktaları.	166
Şekil 5.6: Duvarcı ustası 1, duvarcı ustası 2 ve duvarcı ustası 3'ün işçiliklerinin Gage R&R analizi.....	168
Şekil 5.7: Duvarcı ustası 2'nin mevcut yapım işinin süreç yeterlilik grafiği	169
Şekil 5.8: 2 seviyeli 2 faktörlü Tam Faktöriyel Deney Tasarımı.....	176
Şekil 5.9: Tam Faktöriyel Deney Tasarımı'nın "Faktöriyel" çalışma sayfası.....	176
Şekil 5.10: Faktör düzeylerine ait sonuçlar ile İki-Yönlü ANOVA analizi.....	177
Şekil 5.11: Temel Etkiler Grafiği	177
Şekil 5.12: Alan tipi grafik ile faktörlerin kombinasyon değerleri.....	178
Şekil 5.13: Duvar başlangıç noktasında düşey ipin şakulüne alınması	179
Şekil 5.14: (a) Her tuğla sırasında yatay ip hizalaması. (b) Harcın tuğla düşey yüzeyinin iki kenarına uygulanması	179
Şekil 5.15: Duvarcı ustası 2 tarafından örülen tuğla duvar.....	180
Şekil 5.16: (a) Duvar yüzeyi üzerinde belirlenen üç düşey hat. (b) Uzaklık ölçümünün yapılması.....	180
Şekil 5.17: İyileştirilmiş sürecin süreç yeterlilik grafiği.....	181

YAPI ELEMANLARININ ÜRETİMİNDE KULLANILAN YERİNDE YAPIM TEKNİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN MODEL ÖNERİSİ

ÖZET

Küreselleşen dünya çok hızlı değişim ve gelişim süreci içindedir. Artan yoğun rekabet koşulları, bilgi, teknoloji, iletişim ve haberleşme alanlarındaki hızlı ilerlemeler, yeni açılan pazarlar, müşteri çeşitliliği ve müşteri beklentilerindeki değişiklikler, inşaat sektörünü de bu gelişimin içinde olmaya mecbur kılmıştır.

İnşaat sektörünü diğer endüstrileşmiş sektörlerden ayıran belirgin özellikler vardır. Çoğunlukla girdileri ve çıktıları farklı olan tek defalık üretim olması; proje ve yapım sürelerinin her üretimde farklılık göstermesi; değişkenlerin çokluğuna bağlı olarak geri beslemenin zorluğu; zihinsel güç, fiziksel güç ve bilgi, beceri, birikim ile insan faktörünün tüm süreç içerisinde etkin bir rol oynaması; ilgili ekipler arasındaki iletişim ve koordinasyonun süreç boyunca devamlılığının sağlanması gerekliliği; çoklu değişkenler ile maliyetin belirlenmesindeki zorluklar ve farklılıklar; müşteri çeşitliliği ve sürekli değişen müşteri memnuniyeti; süreçte yer alan aktörlerin farklı eğitim düzeylerine sahip olmaları, aralarında yaşanan iletişim kopukluğu; karmaşık, uzun süreli yapılarda görev, yetki ve sorumlulukların belirlenme güçlüğü; endüstrileşme düzeyinde standardizasyon yapılamaması; süreçte kalite kontrol güçlüğü; istatistik anlayışının olmaması, inşaat sektörünü diğer endüstrileşmiş sektörlerden ayıran önemli farklılıklardır. Kalite kavramının özellikle ürün ölçeğinde düşünülmesi, süreç ölçeğinde sağlanması gereken kalitenin bütünün dışında bırakılması, inşaat sektöründeki bir diğer önemli sorundur.

Belirli düzeyde bitmişliğe sahip ürünler ile yapım eyleminin tamamının yapım yerinde gerçekleşmesi sonucunda endüstrileşme, standardizasyon ve kalite kontrolün sağlanmasında karşılaşılan güçlükler, kültüre bağlı yerel yapım uygulamalarının nesilden nesile aktarılacak kullanılması, yerinde yapımı ön üretimli yapımdan ayıran iki önemli yapım özelliğidir.

Çalışma kapsamında, yüzyıllardır gelişen malzeme ve araç teknolojisine uyum sağlayarak günümüze kadar gelen yerinde yapım uygulamalarının, yerinde yapım teknikleri ile yapı elemanları üretiminde olumlu yönleri korunmaya çalışılırken, tespit edilen olumsuzlukların iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Yapım uygulamalarında tespit edilen olumsuzluk, problem olarak ele alınmıştır. Problemin çözülerek ortadan kaldırılması ile mevcut yapımdaki olumsuzluk veya olumsuzluklar giderilecek, yerinde yapımda iyileşme sağlanmış olacaktır.

Sistemik ve analitik düşünceye dayanan yaratıcı problem çözme yaklaşımı olan TRIZ, mühendislik parametreleri ve yaratıcı çözüm önerileri ile yerinde yapım sektörüne uyarlanmıştır.

Yapım işinde problemin ortaya konulması, nedenlerinin incelenmesi, sunulan çözüm önerileri ile gerçekleştirilen iyileştirmenin kontrolü amacıyla, istatistiksel araç ve yöntemlerin de çalışma kapsamında kullanılması gerekliliği tespit edilmiştir. Ürünlerin, hizmetlerin ve süreçlerin iyileştirilmesinde istatistiksel araç ve yöntemleri

kullanarak, hata oranının en aza indirilmesiyle mevcut kalite düzeyini en üst seviyeye çıkarmayı hedefleyen Altı Sigma yaklaşımı, DMAIC süreç modeli ve uygulama adımları incelenmiştir. Problemin en etkin sebebinin ortaya konulması, problemlili sürecin performansının ölçülmesi, TRIZ'in sunduğu çözüm önerileri ile iyileştirmede deney tasarımının planlanması ile son adım olarak elde edilen iyileştirmenin kontrolünün ve devamlılığının sağlanması aşamalarında Altı Sigma yaklaşımından faydalanılmıştır.

Çalışma kapsamında, TRIZ ve Altı Sigma yaklaşımlarının birlikte kullanılması ile süreç iyileştirme model önerisi sunulmuştur. Model, tüm yerinde yapım tekniklerini içeren mevcut yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesi çalışmasıdır. Modelin geçerli olduğu ürün düzeyi ile ilgili üst ölçek yapı elemanları, alt ölçek yapı elemanları alt bileşenleridir. Modelin amacı, inşaat sektöründe yerinde yapım uygulamaları ile yapı elemanları üretiminde ilgili firma tarafından sunulan veya kalite, süre, maliyet kontrol faktörleri altında yapımda verimliliğin artırılması en genel amacı ile uzmanlar tarafından tespit edilen mevcut yapımdaki problemleri işçilik, malzeme, araç yapım girdilerini kullanarak ortadan kaldırarak iyileştirmektir. İyileştirme model önerisi aşağıdaki süreç adımlarından oluşmaktadır:

- Problemin analizi
- Çelişkilerin belirlenmesi
- Çözümün planlanması
- Yapımın iyileştirilmesi
- İyileştirilmiş yapımın kontrolü

İyileştirme model önerisi, süreç modelleme anlatım teknikleri araçlarından IDEF0 modeli ile sunulmuştur. Süreç kapsamındaki girdiler, çıktılar, işlevler / eylemler arası ilişkiler, karşılıklı etkileşimler, işlevler / eylemler ile ilgili hedef ve sınırlamalar, kavramsal olarak farklı düzeylerdeki işlevleri ifade eden hiyerarşik kutular ile gösterilmektedir.

Sunulan model önerisi, İstanbul ilinin Pendik ilçesinde, bir spor kompleks bina şantiyesinde, tuğla örme iç duvar yapım işinin iyileştirilmesi çalışması ile şantiyede uygulanmıştır.

Endüstrileşmiş alanlarda yaygın olarak kullanılan istatistiksel araçlar ve teknikler, tek defalık üretime dayanan yerinde yapım uygulamalarında daha sınırlı kalmakla birlikte öncelikle problemlili mevcut durumun süreç performansının tespit edilmesi ve iyileştirmenin gerçekleştirildiğinin onaylanması aşamalarında ayrı bir önem taşımaktadır. Ölçülemeyen bir durumun iyileştirilemeyeceği esasına dayanarak tespit edilen problemlilerin ölçülebilir hale getirilmesi, önemli bir süreç adımıdır. İyileştirilecek projenin iyileştirme imkân ve kabiliyetlerine uygun olması açısından problemin en etkin sebebinin en doğru biçimde ortaya konulması, iyileştirme çalışmasının başlangıç adımıdır.

Yerinde yapım uygulamalarında yapımın tek defalık üretim olması, yerel kaynakların kullanılması, işçilik el becerisi ve hünerinin yapım kalitesi üzerindeki etkisinin yüksek olması ve tüm yapımın pek çok değişkenle birlikte yapım yerinde gerçekleşmesi gibi yerinde yapıma özgü karakteristik özellikler, ulaşılmak istenilen iyileştirme seviyesini endüstrileşmiş alanlarda elde edilen iyileştirme seviyelerinden farklı kılmaktadır.

Değişkenliğin kontrol altına alınması, tüm ürün ve süreçlerde sıfır hataya ulaşmanın en önemli noktasıdır. Yerinde yapım üretiminde yapımı etkileyen pek çok girdi ile her an değişebilen yapım şartları, değişkenler üzerindeki etkiyi artırmakta ve kontrol edilebilirliklerini güçleştirmektedir.

TRIZ'in yerinde yapım teknikleri ile yapım sürecine uyarlanabilir ve Altı Sigma'nın iyileştirme çalışmasında kullanılabilir olduğu görülmüştür. Sunulan model önerisi ile problemin ortaya çıktığı mevcut yapımın süreç performansı ölçülebilmekte, tespit edilen çelişkilerin çözümünde işçilik, malzeme ve araç girdileri ile çözüm önerileri analiz edilerek ideal çözüme varılmakta, ideal çözüm üzerinden tam faktöriyel deney tasarımı uygulanmakta, elde edilen değerler ile iyileştirilmiş yapım uygulaması elde edilmekte, iyileştirme sonucu elde edilen sürecin performansının tekrar ölçülmesi ile iyileştirmenin gerçekleştirildiği onaylanmaktadır.

Çalışmanın devamında TRIZ ve Altı Sigma yaklaşımlarının birlikte kullanılması ile sunulan iyileştirme model önerisinin, farklı yapım teknikleri ile yapı elemanları ve yapı elemanları alt bileşenleri üretiminde yerinde yapım uygulama çalışmalarına devam edilmesi, iyileştirme seviyelerinin yükseltilmesi için yapılabilecekler üzerinde genel sonuçlara ulaşılması hedeflenmektedir.

A MODEL PROPOSAL FOR IMPROVING IN-SITU CONSTRUCTION TECHNIQUES USED IN BUILDING ELEMENTS CONSTRUCTION

SUMMARY

Globalized world is within a period of rapid change and evolution. Increased competition; dynamic evolutions in science, technology and communication fields; new markets; large variety of customers and changes in the customers' expectations forced construction industry to be within this evolution.

There are some major distinctions that separate construction industry from other industrialized sectors. Being a one-time production in general where inputs and outputs are varying; change of design and construction schedules in production of each building; difficulties in feed-back processes due to large number of variables; important involvement of man-power within whole processes both in terms of mental and physical power and in terms of knowledge, skills and experiences; the need for continuous communication and coordination among participants during the whole process; difficulties and differences in cost estimation due to multiple variables; variety of customers and continuously changing customer satisfaction; differences between the participants in terms of their education levels and difficulties in communication due to this, the lack of standardization of the level of industrialization; difficulties of quality control in the process, and lack of statistical approaches are the important differences separating construction sector from other industrialized sectors. Considering only product quality and omitting process quality out of the whole is another difference and a problem as well.

Difficulties in achieving industrialization, standardisation and quality control due to erection of building at construction site with products of varying completeness and use of culture-related local construction techniques by passing them from generation to generation are the two important characteristics separating in-situ construction from prefabrication.

Building elements are building parts that have primary functions according to their location as external walls, windows and doors, floors, roof, stairs and internal subdivisions. In this study, it is aimed to propose a model for improving the deficiencies of in-situ construction techniques that are reached and used today by adapting themselves to the evolutions in material and tool technologies, while preserving their positive characteristics. In this context, present methods used in improving processes were analysed and according to the results of case studies, TRIZ, a creative problem solving approach based on systematic and analytical thinking, were adapted to in-situ construction with its technical conflicts and creative solution alternatives.

Statistical methods and tools were examined for determining approaches that can be used in defining problems of the construction works, analyzing their reasons, and evaluating the improvements achieved by the proposed solutions. Consequently, Six Sigma, a method aiming to improve the quality of products, services and processes to

their maximum state by using statistical tools and methods, were adapted and used in the following stages: identification of the most influential reason of the problem, measuring the performance of the current process determined, planning both the solution proposals generated by TRIZ and the experiments that will be designed, and finally controlling the improvement and providing its continuity.

It was aimed to cover all current in-situ construction techniques with the process improvement model proposed by using TRIZ and Six Sigma methods together. The model is applicable to building elements at the top level, and components of building elements at the bottom level. The objective of the model is to improve the efficiency of in-situ construction techniques used or served by the associated firms in terms of quality, time and cost by improving workmanship, material and tools as the inputs, for the problems that are defined by experts. The improvement model proposed consists of following stages:

- Analyzing the problem
- Determining contradictions
- Planning the solution
- Improving the construction
- Controlling the improved construction

The proposed improvement model is presented by IDEFØ, a process analysis and representation tool. It considers inputs, outputs, tools and restrictions of the processes and considers the interrelations between processes as well.

The proposed model has been applied in improvement work with brick bonded wall construction at construction site of a sport centre building located on Pendik / Istanbul. Even tough the use of statistical methods and techniques that are common in industrialised fields is limited in in-situ construction that is usually a one-time production, it has a specific importance initially in determining the process performance of the problem area, and in controlling the proposed improvement. Depending on the fact that any condition that can not be measured can not be improved, converting the problems determined into measurable problems is one of the important steps. In addition, in terms of the appropriateness of the project that will be improved to the improvement capabilities and possibilities, determining the most influential reason of the problem with a great accuracy is the starting step of the improvement work.

In in-situ construction, due to its specific characteristics such as being a one-time production, use of local resources, the great effects of skills and talents of workmen on construction quality, and execution of most construction-related activities at the construction site with many affecting variables, the target improvement level differs from that of industrialised fields.

Controlling variables is one of the important steps in achieving zero defect. However, in in-situ construction, various inputs affecting construction and rapidly changing construction conditions affect variables and make it hard to control them.

It was observed that TRIZ can be applicable and Six Sigma is usable to the in-situ construction techniques. With the proposed model performance of the process determined to have problems can be measured; for the contradictions determined, solution alternatives generated by improving workmanship, material and tools are

analysed and the ideal solution is determined; full factorial experiment design is applied by basing on ideal solution; by the values achieved the improved technique is formed, and by re-measurement of the performance of process, the improvement is verified.

As further studies, it is planned to continue to the applications of the proposed model, generated by using TRIZ and Six Sigma approaches together, to different construction techniques and to in-situ construction of different building elements and their components. In addition, drawing conclusions on strategies to increase the improvement levels are also planned.

1. GİRİŞ

Yapım proje, finansman, bilgi, iletişim, yönetim, çevresel etmen, araç, işçilik, malzeme girdileri ile mimari ürün (bina) elde etmeye yönelik üretim sürecidir. Bina olarak adlandırılan sonuç ürünün ortaya çıkması için uygulanan yöntemleri, eylemleri ve süreçleri kapsar. 20.yy'den itibaren nüfus artışına paralel olarak artan konut gereksinimi ve değişen kullanıcı gereksinimleri, geliştirilen yeni malzeme ve sistemlerle birlikte sadece konut üretiminde değil, aynı zamanda sayısı giderek artan kullanıcıların her türlü gereksinimine yanıt verecek olan bina üretimlerindeki yapım tekniklerini de etkilemiştir. Yüzyıllar boyunca kullanılan bilgi birikim aktarımı ve deneme yanılma yolu ile belirli bir olgunluğa erişen yapım teknikleri, zaman içerisinde teknolojik gelişmelere bağlı olarak olumlu yönleri korunarak ilerlemiş, tespit edilen olumsuz yönleri ise giderilerek yeni teknolojiler üretilmiştir. Teknoloji ile birlikte gelişim süreci günümüzde de devam etmektedir. İnşaat sektörü de tüm değişkenlere etkili çözümler sunarak, hızla değişen ve gelişen devrimin içerisinde yer almak durumundadır. İş akışlarının optimizasyonu, rekabet gücü, personelin motivasyonu, müşteri memnuniyetinin sağlanması, bina üretiminin oluşumuna katkıda bulunan tüm girdilerin ve sürecin etkili koordinasyonu, sistemli bir yaklaşımı ve kalite anlayışını beraberinde getirmektedir.

Bir yapı üretim sisteminin amacı, verimliliğin artırılması ve maliyetlerin azaltılmasıdır. Kalite, maliyet ve süre, yapım verimliliğini etkileyen üç temel faktördür. Yapım sonucu elde edilen en üst ürün ölçeği olan bina taşıyıcı sistem, servis sistemleri ve yapı elemanları sistemlerinin oluşturduğu bir sistemler bütünüdür. Farklı bitmişlik düzeyindeki malzeme, bileşen ve sistemlerin çeşitli teknikler ile bir araya getirilmesi sonucu elde edilir. Performans ve kalite yaklaşımlarının yaygın olarak ürün ölçeğinde ele alınması, sürecin ise göz ardı edilmesi, verimlilik ve kalite yaklaşımlarındaki en önemli eksikliklerdir. Oysaki üründen beklenen performansların yerine getirilmesi, yapım süreci performanslarının doğal bir sonucudur. Süreç performansının ve verimliliğinin artırılması, ürün performansının da artışını beraberinde getirecektir.

Yapım eylemi iş gücü tarafından yapım araçlarının kullanılması ile yerinde biçim oluşturan ya da önceden biçim verilmiş malzemelerin, sistemlerin çeşitli yöntemlerle bir araya getirilmesi sonucunda gerçekleşir. Diğer bir deyişle işçilik, malzeme ve araç yapım süreci boyunca doğrudan üretimi gerçekleştiren yapım girdileridir. Yapı üretiminin tamamının belirli düzeyde bitmişliğe sahip ürünler ile yapım yerinde gerçekleşmesine yönelik uygulanan tekniklerin tümü yerinde yapım teknikleridir. Yüzyıllardır süregelen, teknolojik gelişmelere bağlı olarak gelişen, gerekli durumlarda değişim gösteren işçilik emeğinin yoğun olduğu uygulamalardır. Süreçteki olumlu özelliklerin korunması ile birlikte olumsuzlukların tespit edilerek ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Yapım uygulamalarındaki olumsuzluklar, problem olarak ele alınmıştır. Yapım sürecinde oluşan problemler işçilik, malzeme, araç, uygulama, çevresel etmen, proje, finansman, bilgi / teknoloji, program, iletişim, yönetim veya kontrol / denetim kaynaklı olabilir. Sıralanan faktörler birbiriyle ilişkilidir. Faktörlerdeki problemlerin sadece biri veya birden fazlasının bir araya gelmesi, yapım verimliliğini olumsuz yönde etkiler. İşçilik, malzeme ve araç kaynaklı problemler, diğer faktörlerin etkisi altında olmakla birlikte doğrudan üretimin gerçekleşmesini etkileyen yapım problemleridir. Problemin çözülerek ortadan kaldırılması ile yapımda tespit edilen olumsuzluk giderilecek, mevcut yapım iyileştirilmiş, hatta geliştirilmiş olacaktır.

Problemlerin çözümü, iyileştirmenin elde edilmesi, sistemli ve analitik yaklaşımların kullanılmasını zorunlu kılar. Problemin ortaya konulması, nedenlerinin incelenmesi, probleme yol açan etkin sebebin bulunması, sunulan çözüm önerileri ile gerçekleştirilen iyileştirmenin kontrolü / denetlenmesi amacıyla, istatistiksel araç ve yöntemler kullanılmalıdır. Bu amaçla yapımda ele alınan problemler, ölçülebilir ifadelerle sunulmalı, ölçülmeli, sayısal veriler ile ortaya konulmalıdır.

Ürünlerin, hizmetlerin, süreçlerin iyileştirilmesinde yaratıcı, analitik ve sistemli bir yaklaşım ile istatistiksel araç ve yöntemlerin kullanılması, tanımlı bir yol haritasının diğer bir deyişle model önerisinin oluşturulması; mevcut yerinde yapım problemlerinin çözülerek ortadan kaldırılmasını, sonuç olarak daha yüksek kalite, daha kısa süre, daha az maliyet parametrelerinin optimizasyonu ile mevcut yapımın verimliliğinin artırılmasını sağlayacaktır.

1.1 Amaç

Yüzyıllar boyunca kullanılan bilgi birikimin aktarımı ve deneme yanılma yolu ile belirli bir olgunluğa erişen, teknolojik gelişmelere bağlı olarak ilerleyen yerinde yapım tekniklerinin olumlu yönleri korunarak sürdürülmeli, tespit edilen olumsuzluklar ortadan kaldırılarak mevcut yapım iyileştirilmelidir.

Çalışmanın amacı, yapı elemanlarının ve yapı elemanları alt bileşenlerinin üretiminde kullanılan yerinde yapım tekniklerinde tespit edilen olumsuzlukların ortadan kaldırılması sonucunda problemlili mevcut yapımın iyileştirilmesidir.

Mevcut yapıdaki problemin analiz edilmesi ile probleme yol açan etkin sebebin belirlenmesi, etkin sebebin ortadan kaldırılması amacıyla çözüm öneri / önerileri sonucunda ideal çözüme ulaşılması, ideal çözümün planlanması ile iyileştirmeye götürecek faktörlerin tespit edilmesi, iyileştirmenin tasarlanması, son adım olarak iyileştirmenin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğinin denetlenmesi, diğer bir deyişle kontrol edilmesi süreç aşamalarından oluşan model önerisi ile mevcut yapım tekniklerinin olumlu yönleri korunacak, tespit edilen problemin giderilmesi ile mevcut yapımın iyileştirilmesine çalışılacaktır.

1.2 Kapsam

Çalışma, belirli düzeyde bitmişliğe sahip ürün ve sistemler ile yapım eyleminin tamamının binanın var olacağı yerde (şantiye) gerçekleştirildiği yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesi çalışmasıdır.

Çalışmanın ürün ölçeği farklı malzeme, bileşen ve sistemlerin bir araya gelmesi ile eylem alanları oluşturan, çoğunlukla oluşturdıkları somut sınırlar ile mekan tanımlayan ve belirli bir öncelikli işlev üstlenen yapı parçaları olan yapı elemanları ve yapı elemanları alt bileşenleridir. Çalışma kapsamında, yapı elemanları altı başlık altında ele alınmıştır: i) dış duvarlar, ii) duvar boşlukları, iii) çatılar, iv) döşemeler, v) iç bölmeler, vi) merdivenler. Temeller, çalışma kapsamında taşıyıcı sistemin zemine yük aktaran yapı parçası olarak kabul edilerek yapı elemanları sistemleri dışında tutulmuştur. Yapı elemanları için gövde, yalıtım ve kaplama bileşenlerinden oluşan genel bir katmanlaşma modeli tanımlanmıştır. Merdiven sistemlerinde güvenlik amaçlı kullanılan korkuluk ve küpeşte; çatı sistemlerinde suyun toplanması,

binadan uzaklaştırılması amaçlı kullanılan su toplama ve su uzaklaştırma sistemleri, ilgili yapı elemanları için geçerli olan diğer alt bileşenlerdir.

Yapı elemanları ve yapı elemanları alt bileşenleri, yerinde yapım teknikleri ile malzeme ve sistemlerin bir araya getirilme yöntemlerine göre ele alınmıştır. Malzeme ve sistemlerin bir araya getirilme yöntemleri en genel anlamda, yerinde biçim oluşturan malzemeler ve sistemler ile önceden biçimlendirilmiş malzemeler ve sistemler için olmak üzere iki grup altında incelenmiş, uygulama yöntemleri açıklanmıştır.

Bilgi, proje, yönetim, iletişim, kontrol / denetim, süre, maliyet, çevresel etmen, işçilik, malzeme, araç yapım girdileri içinden doğrudan yapımı gerçekleştiren, üretim girdileri olan işçilik, malzeme, araç yapım girdileri ile gerçekleştirilen yapım sürecinde tespit edilen olumsuzluklar problem olarak kabul edilmiştir. Yerinde yapım tekniklerinin olumlu yönleri korunarak sürdürülmeli iken tespit edilen problemlerin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Problemin çözümü ile olumsuzlukların giderilmesi sonucunda mevcut yapımda iyileştirme gerçekleştirilmiş olacaktır. “Mimarlık, inşaat, yapım” anahtar kelimeleri ile mühendislik problemlerinin çözüm yöntemleri içinde, mühendisliğin her alanında ve mühendislik dışı pek çok alanda kullanılan, yaratıcı problem çözme teorisi olan TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) incelenerek yerinde yapım alanına uyarlanmıştır. Mevcut süreçlerdeki hata oranının en aza indirilmesi ile mükemmellik seviyesine ulaşılmasını hedefleyen Altı Sigma yaklaşımı ve Altı Sigma’nın süreç iyileştirme modeli olan DMAIC süreç adımları incelenmiştir. TRIZ ve Altı Sigma yaklaşımlarının birlikte kullanılması ile yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesini amaçlayan esnek, yaratıcı, analitik, sistematik ve kullanılan istatistiksel araçlar, teknikler ile ölçüm temeline dayanan iyileştirme model önerisi oluşturulmuştur. Model önerisi, işlevsel modelleme yöntemi olan IDEFØ süreç anlatım tekniği ile sunulmuştur.

Model önerisi, yapı elemanları ve yapı elemanları alt bileşenlerinin çalışma kapsamında açıklanan ve örneklendirilen yerinde yapım teknikleri ile üretiminde tespit edilen problemlerin ortadan kaldırılması sonucunda mevcut yerinde yapımın iyileştirilmesi çalışmalarını kapsamaktadır. Model önerisi kapsamında problem, ilgili firma ve uygulayıcıları tarafından doğrudan sunulabileceği gibi uzman ekip tarafından da ilgili yapım işindeki problem belirlenebilir. Model önerisinde yapım

sürecinin geleneksel girdileri olan ve aynı zamanda doğrudan üretimi gerçekleştiren işçilik, malzeme, araç girdileri kontrol edilebilen süreç değişkenleri olarak seçilmiştir. Verimliliği etkileyen kalite, süre ve maliyet yapım girdileri, kontrol faktörleri olarak belirlenmiştir.

Tuğla örme yapı sistemi ile düşey iç bölme sistemlerinden biri olan iç duvarda gövde alt bileşen uygulaması ile sunulan iyileştirme model önerisinin yapım yerinde uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulama kapsamında problem, ilgili firmanın şantiye şefi tarafından tespit edilerek net bir biçimde ortaya konulmuştur. Mevcut durum analizi sonucunda işçilik yapım girdisi kaynaklı olduğu tespit edilen tuğlalar ile örülen duvar gövdesindeki yüzey düzgünlüğü problemi, kalite ve süre kontrol faktörleri altında ele alınarak iyileştirme elde edilmiştir.

1.3 Yöntem

Çalışma kapsamında, yerli ve yabancı kaynaklar araştırılmıştır. Problem çözme, süreç iyileştirme, TRIZ ve Altı Sigma yaklaşımları, uygulamalarına ilişkin kitaplar, uluslararası yayınlar incelenmiştir.

Yapı elemanlarının ve alt bileşenlerinin işçilik, malzeme, araç yapım girdileri ile malzeme ve sistemlerin bir araya getirilme yöntemlerine göre üretilmesi, kaynak araştırması ve ağırlıklı olarak yerinde yapım gözlemlerinde edinilen uygulama bilgileri ile açıklanmış ve fotoğraflanmıştır (Bk. Ek A).

2007 - 2012 yılları arasında, İstanbul ili ölçeğinde, farklı semtlerde yer alan çok sayıda şantiyede yapı elemanları yapım süreçleri yapım yerinde gözlemlenmiştir. Yerinde gözlem çalışmaları ile uygulamalarda karşılaşılan problemler izlenmiştir. Uygulamayı gerçekleştiren düz işçi, usta, ustabaşı; uygulamaları takip edip denetleyen mimar ve inşaat mühendisleri; firma yöneticileri ile yüz yüze görüşmeler yapılmıştır.

TRIZ'in yerinde yapım alanına uyarlanabilirliğinin belirlenmesi için Mühendislik Parametreleri'nin ve Yaratıcı Prensipler'in İngilizce karşılıklarından çevirileri, yerinde yapım alanında anlaşılabilirliği, kullanılabilirliği üzerine öğretim üyeleri ve yardımcıları ile yüz yüze görüşme yöntemi ile anket çalışması yapılmıştır. Şantiye gözlemlerindeki edinimler ile birlikte Mühendislik Parametreleri'ne ve Yaratıcı Prensipler'e ilişkin açıklamalar yapılarak yerinde yapım örnekleri verilmiştir. TRIZ 39 Mühendislik Parametresi ve 40 Yaratıcı Prensip'in anlam ve açıklamalarına

2. YAPI ELEMANLARININ ÜRETİMİNDE KULLANILAN YERİNDE YAPIM TEKNİKLERİ

Bölüm kapsamında yapı elemanları, yapı elemanlarını oluşturan alt bileşenler, doğrudan yapımın gerçekleşmesine yönelik yapım süreci girdileri, yerinde yapım teknikleri, yerinde yapım teknikleri ile yapı elemanları ve yapı elemanları alt bileşenlerinin elde edilme (üretileme) yöntemleri, yapı elemanları ve yapı elemanları alt bileşenlerinin yerinde yapım teknikleri ile elde edilme sürecinde karşılaşılan yapım problemleri ele alınmaktadır.

2.1 Yapı Elemanları

Fiziksel boyutu ile yapı bir sistem olarak emniyetle ayakta durabilme, gerekli servisleri sağlayabilme, bir örtü olarak dışa ve içe süzme işlevlerine göre analiz edilerek alt sistemlerine ayrılabilir. Bu görüş çerçevesinde, yapının fiziksel boyutu ile ilgili işlevine göre üç alt sistemden söz edilebilir [1]:

- Strüktürel alt sistem
- Servisler alt sistemi
- Temel elemanlar alt sistemi

Temel elemanlar alt sistemi, yapı elemanları sistemleridir.

Tez çalışmasında yapı elemanları çeşitli yapı malzemelerinin, bileşenlerinin bir araya getirilmesi ile oluşturulan, bulundukları yere göre belirli bir öncelikli amaca yönelik olarak belirli bir temel işlevi üstlenen bina parçaları olarak ele alınmaktadır. Binanın fiziksel, somut öğeleridir (Altun, M. C. “Yapı Bilgisine Giriş” ders notları¹, 2010).

Yapılan çalışma yapı elemanları sınıflandırma çalışması değildir. Yapı elemanları üretiminde kullanılan yerinde yapım teknikleri ile yapı elemanları ve yapı elemanları alt bileşenlerinin yapımı / üretimi ele alınmıştır.

¹ İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Mimarlıkta Yapı ve Yapım Teknolojileri Çalışma Grubu.

2.1.1 Yapı elemanları sistemleri

Yapı elemanlarının temel işlevleri, ikincil işlevleri, binadaki konumlanışları belirtildikten sonra Bölüm 2.1.2’de alt bileşenleri ile yapı elemanlarının yapım yerinde üretim yöntemleri açıklanmaktadır.

Tez kapsamında yapı elemanları sistemleri, altı ana başlık altında ele alınmaktadır²:

- Dış duvar sistemleri
- Duvar boşluk sistemleri
- Çatı sistemleri
- Döşeme sistemleri
- İç bölme sistemleri
- Düşey sirkülasyon sistemleri³

Dış duvar sistemlerinin temel işlevi, dış ortam (doğal çevre) ile iç ortamları (yapma çevre) ayırmak ve sınır oluşturmaktır. Dış ortam ile iç mekanlar arasında geçişi kontrol etmek (gün ışığının alınması vb.) veya tamamen geçirimsizlik sağlamak (su geçirimsizliği vb.), dış duvarların ikincil işlevidir. Bina dış kabuğunda, düşey veya düşeye yakın konumlanan yapı elemanıdır.

Duvar boşlukları, pencere ve kapılardır. Temel işlevleri; dış ortam ile iç ortam, iç ortam ile iç ortam arasında ilişki kurmaktır. Duvar boşlukları, dış duvar ve düşey iç bölme yapı elemanlarında düşey veya düşeye yakın konumlanır. Pencere ve kapılar için diğer yapı elemanlarında olduğu gibi bir katmanlaşma modelinden söz edemeyiz. Doğrama sistemleri için öncelikle boşluk oluşturulmaktadır. Boşluk, döşemeler arası olabileceği gibi duvar yapı elemanı kesiti içinde de yer alabilir. Duvar içinde boşluğun oluşturulması yerinde yapım tekniklerine göre yine üç yapı sistemi ile gerçekleştirilmektedir (Bk. s. 16). Oluşturulan boşluk görsel ilişki kurmak, gün ışığı almak ve hava, su, toz, ses, koku geçirimsizliği sağlamak amacıyla, sabit veya hareketli doğrama sistemi içinde yer alan saydam (cam) ya da yarı saydam (akrilik cam, polikarbonat) yüzey ile doldurulur.

² Türkeri, A. N., Kuş, H., Tavl, A., Altun, M. C. ve Çetiner, İ. “Yapı ve Yapım Yöntemleri”, “Building Construction Methods” ders notları, 2007-2011. İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Mimarlıkta Yapı ve Yapım Teknolojileri Çalışma Grubu.

³ Düşey sirkülasyon sistemlerinden mimari elemanlar olan merdivenler ve rampalar ele alınmaktadır.

Çatılar, bina dış kabuğunun yatay veya düşeye yakın elemanıdır⁴. Temel işlevi, dış ortam ile iç ortamı ayırmak ve sınır oluşturmaktır. Su geçirimsizliği, güneş ışınlarını geçirimsizliğinin sağlanması, çatıların ikincil işlevidir.

Döşemeler, binada yatay konumlanan yapı elemanıdır. Kullanıcı eylemleri için eylem düzlemi oluşturmak, döşemelerin temel işlevidir. Konumuna göre dış ortam ile iç ortamı ayırmak ve sınır oluşturmak; iç ortam ile iç ortamı ayırmak, tamamen geçirimsizlik sağlamak (su geçirimsizliği vb.), geçişi azaltmak veya kontrol etmek (ısı kontrolü, ses kontrolü vb.), döşemelerin ikincil işlevleridir.

İç bölme sistemleri, iç ortam ile iç ortamı ayıran / bölen yapı elemanıdır. İkincil işlevleri ise tamamen geçirimsizlik sağlamak (su geçirimsizliği vb.), geçişi azaltmak veya kontrol etmektir (ısı kontrolü, ses kontrolü, gürültü kontrolü vb.). Binada düşey ya da yatay olarak konumlanır. Duvarlar, paravanlar vb. düşey iç bölme elemanlarıdır; asma tavan ve yükseltilmiş döşemeler, yatay iç bölme elemanlarıdır.

Farklı kotlardaki eylem düzlemleri arasında ilişki kurmak ve ulaşılabilirlik sağlamak, merdivenlerin ve rampaların temel işlevidir. Binada eğimli olarak konumlanırlar.

Temeller, bina alt sistemlerinden taşıyıcı sistemin (strüktürel alt sistem), binanın tüm yükünü zemine aktaran elemanları olarak kabul edilerek, yapı elemanları sistemlerine dahil edilmemiştir.

2.1.2 Yapı elemanları alt bileşenleri

Bölüm kapsamında dış duvar sistemleri, duvar boşluk sistemleri, döşeme sistemleri, çatı sistemleri, iç bölme sistemleri ve merdivenler:

- Katmanlaşma yapısına
- Katmanlaşma yapısını oluşturan bileşenlerin malzeme ve sistemler ile yapım yerinde bir araya getirilme yöntemlerine

göre ele alınmaktadır.

Yapı elemanları için temel görev üstlenen üç alt bileşenden oluşan katmanlaşma modelinden söz edebiliriz (Şekil 2.1):

⁴ Binanın dış duvar elemanı ile birlikte kabuk görevi de görebilir.

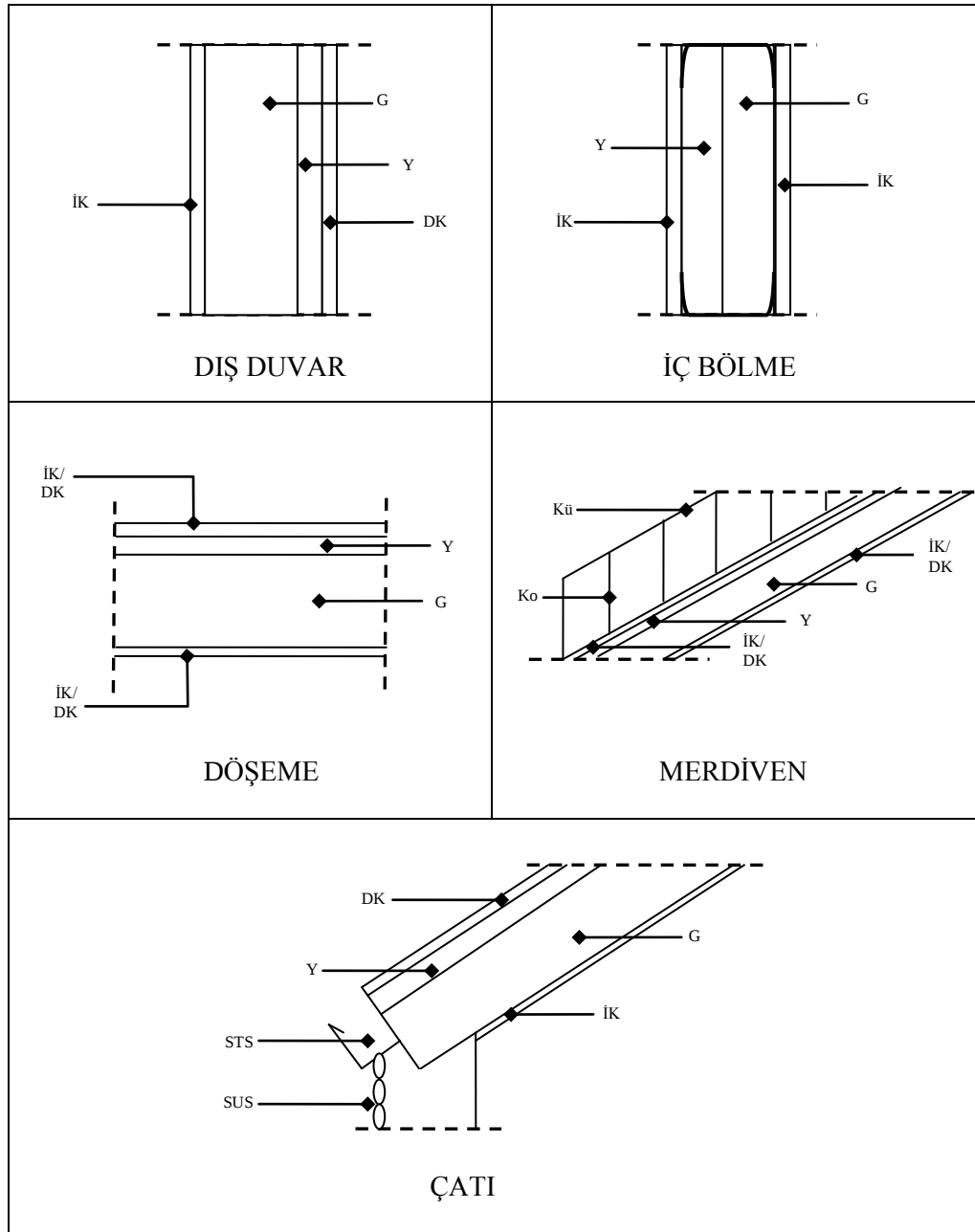
- Gövde
- Yalıtım
- Kaplama

Gövde, yapı elemanının taşıyıcı bileşenidir. Dış çevresel etmenlere (su, kar, dolu, yağmur, ısı, nem, ses, yangın, rüzgar vb.), iç çevresel etmenlere (ısı, su, nem, buhar, ses, yangın, hava vb.) karşı kullanıcılar için gerekli iç iklimsel konfor koşullarının yerine getirilmesini sağlayan bileşen, yalıtım bileşenidir. Çevresel etmenlere bağlı olarak geçirimsizlik sağlamak veya etmenleri kontrol etmek, yüzey düzgünlüğü elde etmek, görsel etki yaratmak amacıyla uygulanan iç ve dış yüzey bitirmeleri ise kaplama bileşenidir.

Çatı sistemlerinde, suyun binaya zarar vermeyecek şekilde toplanması ve en kısa yoldan, hızlı, güvenli bir şekilde binadan uzaklaştırılması görevini üstlenen su toplama ve uzaklaştırma sistemleri; merdiven sistemlerinde çıkış ve inişlerde kullanıcı güvenliğini sağlayan korkuluk ve küpeşte, katmanlaşma modelinde tanımlanan dört alt bileşen dışındaki diğer bileşenler olarak ilgili yapı elemanı sisteminde yer almaktadır.

Şekil 2.1’de sunulan yapı elemanları katmanlaşma modelinde alt bileşenler için aşağıda yer alan kısaltmalar kullanılmıştır:

- G : Gövde
- Y : Yalıtım
- İK : İç Kaplama
- DK : Dış Kaplama
- Ko : Korkuluk
- Kü : Küpeşte
- STS : Su Toplama Sistemi
- SUS : Su Uzaklaştırma Sistemi



Şekil 2.1: Yapı elemanları katmanlaşma modeli.

Bölüm kapsamında açıklanan uygulamalar yerli kaynaklardan [2, 3, 4, 6, 7, 8], yabancı kaynaktan [5], ders notlarından⁵ ve ağırlıklı olarak yerinde yapım gözlem çalışmalarından edinilen bilgiler ışığında sunulmuştur. Yapı elemanları ve alt bileşenlerinin yerinde yapım teknikleri ile üretiminin yapım yerinde gözlem çalışmaları:

⁵ Türkeri, A. N., Kuş, H., Tavil, A., Altun, M. C. ve Çetiner, İ. “Yapı ve Yapım Yöntemleri”, “Building Construction Methods” ders notları, 2007-2011. İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Mimarlıkta Yapı ve Yapım Teknolojileri Çalışma Grubu.

Altun, M. C. “Yapı ve Yapım Yöntemleri” ders notları, 2004. İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Mimarlıkta Yapı ve Yapım Teknolojileri Çalışma Grubu.

- Tez çalışması kapsamında 2007 - 2012 tarihleri arasında İstanbul ilinde yapılan şantiye gözlemleri
- 2007 - 2011 yılları arasında İTÜ Mimarlık Bölümü, “Yapı ve Yapım Yöntemleri” ve “Building Construction Methods” dersleri kapsamında davet edilen firmalar tarafından uygulanan yapım gözlemleri

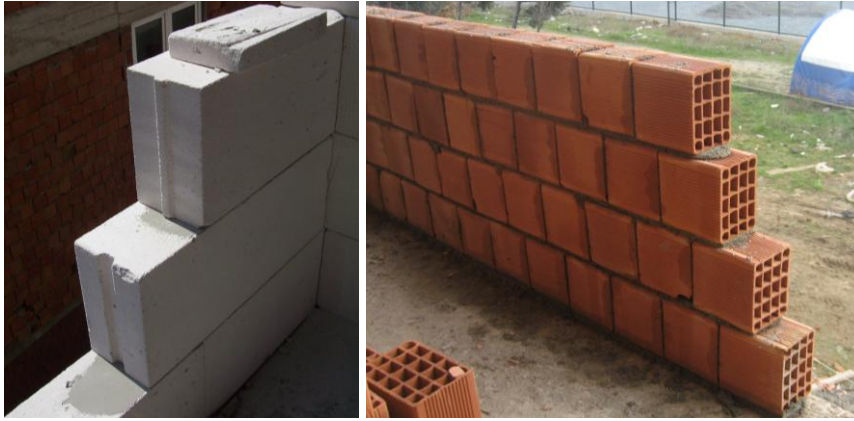
ile gerçekleştirilmiştir.

2.1.2.1 Gövde bileşeni

Yerinde yapım tekniklerine göre dış duvar, döşeme, çatı, merdiven ve iç bölme sistemlerinde yapı elemanı gövde bileşeni: örme sistem, iskelet sistem, dökme sistem olarak üç farklı yapı sistemi ile üretilmektedir⁶. Duvar boşlukları olan kapılar ve pencereler için boşluğun oluşturulması, yine üç yapı sistemi içinde gerçekleştirilir.

Örme sistem

Dış duvarlar ve iç bölme duvarlarında tuğla, briket, taş blok, kerpiç blok, beton blok, bims blok ve gazbeton blokların yapım yerinde, harç veya kendi özel yapıştırıcıları ile şaşırtmalı derz sistemine göre örülmesidir (Şekil 2.2). Cam tuğla ise donatılı, şaşırtmasız derz sistemi ile uygulanır.



Şekil 2.2: (a) Gazbeton örme sistem dış duvar [2]. (b) Tuğla örme sistem dış duvar⁷.

Kemer, tonoz, kubbe formlu döşeme ve çatılarda taş, tuğla, kerpiç blokların üst üste kayarak binme yöntemine göre harç kullanılarak örülmesi ile örme sistem döşeme, çatı elde edilir. Kemer, kubbe ve tonozların tepe noktalarında yer alan kilittaşı örme sistemi kilitleyerek üstüne gelen yükleri yanındaki bloklara aktarır.

⁶ Yapı elemanı gövde bileşeninin bir diğer yapı sistemi olan panel sistem, ön üretimli yapım sistemi olduğundan yerinde yapım tekniklerinin dışında yer almaktadır.

⁷ Kaynak verilmeyen fotoğraflar Kevser Coşkun tarafından çekilmiştir (Bk. Ek A).

İskelet sistem

Taşıyıcı gövdenin metal (çelik, alüminyum) profiller ve ahşap (geleneksel ahşap, lamine ahşap) çubuklar ya da bileşenler ile oluşturulması, iskelet diğer bir deyişle çubuk sistem yapımıdır. Dış duvar ve iç duvarlarda çelik, alüminyum, dökme ya da hafif çelik profiller (Şekil 2.3) veya ahşap dikmeler, ahşap kadronlar ile iskelet sistem oluşturulur. Ahşap kadronlar ve dikmeler çivi, vida, plakalı çivi, civata / somun vb. hazır bağlantı parçaları ile ya da geçmeli sistem (gerekli ise tutkal ya da hazır bağlantı elemanı ile birlikte) ile birleştirilir. Metal profiller ise civata / somun, perçin veya kaynak ile sabitlenir.



Şekil 2.3: Alüminyum kutu profil ve hafif çelik C profil iskelet sistem iç bölme duvar uygulaması.

Ana kirişler arası çelik ya da ahşap tali kirişler ile döşemenin oluşturulması, çubuk sistem olarak iskelet sistem yapımıdır. Tali kirişlerin geçtiği açıklık, kirişler üzeri veya arası kurulacak olan döşeme yüzey kaplama elemanına bağlı olarak belirlenir. Geçilen açıklığa göre tali kirişlerin boyutları tespit edilir. Geleneksel ahşap yapılarda taşıyıcı ahşap kirişler, boyutlarına bağlı olarak belirli aralıklarla, dikmeler üzerine oturan taban kirişlerine tespit edilir. Döşeme kiriş açıklığına bağlı olarak rabita adı verilen döşeme tahtası veya daha büyük boyutlu ahşap paneller çakılarak yüzey oluşturulur. Lamine ahşap kirişler ile çelik yapılardaki gibi büyük açıklıklar geçilmektedir. Lamba - zıvana ile geçmeli sistem birleşim ya da çivi, civata / somun, vida, plaka çivi, metal levha gibi hazır bağlantı elemanları ile ahşap birleşimler gerçekleştirilir.

Çelik ana kirişler arasında veya üzerinde çelik tali kirişler üzeri döşeme yüzeyi ile oluşturulan döşemeler, çelik iskelet yapımıdır. Tali kirişlerin boyutları, döşeme

yüzeyini oluşturacak olan yüzey bileşenine göre belirlenir. Yaygın olarak kullanılan döşeme sistemi, trapez kesitli saç levha üzerine çelik donatı yerleştirilip (Şekil 2.4) beton dökülmesi uygulamasıdır. Bulon, perçin, kaynak ile çelik kiriş - kolon, kiriş-kiriş birleşimleri yapılır. Döşeme kirişleri altına kalıp koyulup, kirişler arası donatı yerleştirilip beton dökülerek, çelik - beton (karma sistem) döşeme elde edilir. Çelik kirişler üzeri ahşap levha uygulaması ile de döşeme yüzey kaplaması oluşturulur.



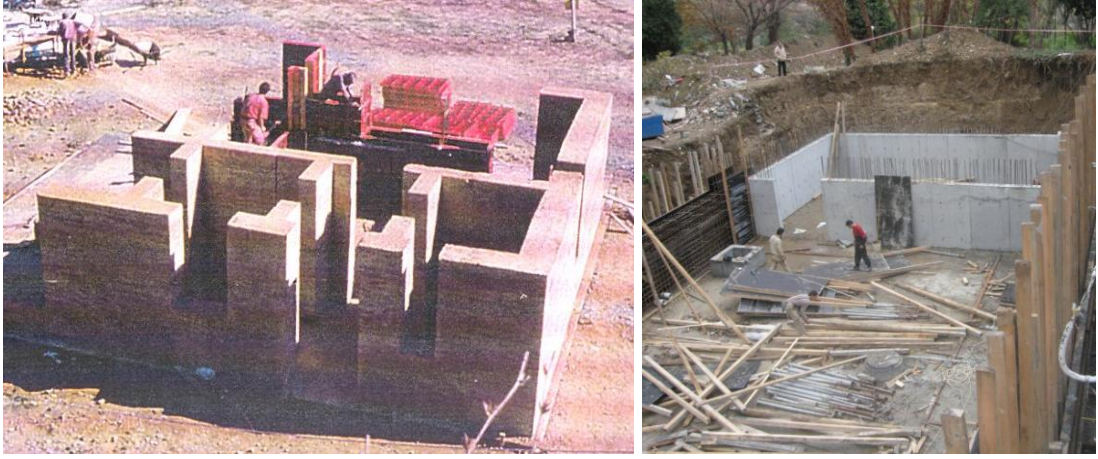
Şekil 2.4: Çelik kiriş üzeri trapez levha uygulaması.

Düz veya eğrisel formlu eğilmeye çalışan ahşap, çelik, betonarme ana ve tali kirişlerin taşıyıcılığı ile oluşturulan çatı sistemi, iskelet sistem / çubuk sistem ile üretimdir. Sundurma, beşik, kırma çatı sistemlerinde geleneksel ahşap bileşenler ile oturtma ve asma çatı sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Civata / somun, perçin, plaka çivili vb. birleşimler ile oluşturulmuş lamine ahşap kirişler ile geleneksel ahşap sistemlere göre çok daha büyük açıklıklar geçilir. Çelik kirişler, civata / somun, perçin ve kaynaklı birleşimler ile tespit edilir.

Bir veya merdiven genişliğine bağlı olarak daha fazla sayıdaki çelik veya ahşap kirişler ile boyuna doğrultuda yük aktaran merdiven yapımı da çubuk sistem olarak iskelet yapımdır.

Dökme sistem

Kalıp kurulduktan sonra donatı yerleştirilip beton dökülmesi ile elde edilen betonarme perde duvarlar ve kalıp içerisine dökülen alçı katkılı kerpiç hamurun (alker) tokmaklanması ile elde edilen alker duvarlar, dökme sistem dış ve iç duvarlardır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: (a) Kalıp içinde alker duvar uygulaması [9]. (b) Kalıp içinde betonarme duvar uygulaması.

Düz, eğimli veya her türlü eğrisel formda hazırlanan kalıp içerisine donatı yerleştirilip beton dökülmesi ile elde edilen betonarme çatı sistemi, dökme sistem üretimdir.

Hazırlanan kiriş donatılarının kurulan kalıp içine yerleştirilip [Şekil 2.6 (a)], donatı bağlantıları tamamlandıktan sonra kalıp içine beton dökülerek [Şekil 2.6 (b)] elde edilen betonarme döşemeler ile yüzeysel bir döşeme düzlemi üretilir. Kirişler arası (ana kiriş - ana kiriş, ana kiriş - tali kiriş, tali kiriş - tali kiriş) geçilen açıklığa bağlı olarak döşemenin yüksekliği hesaplanır.



Şekil 2.6: (a) Kiriş donatılarının yerleştirilmesi. (b) Betonunun dökülmesi.

Düz kollu, kısmen dönele ve dönele formlarda kalıp kurulduktan sonra donatı yerleştirilip beton dökülerek elde edilen betonarme merdivenler de dökme sistem yapımıdır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Betonarme merdiven uygulaması.

Yerinde yapım teknikleri ile pencere ve kapılar için duvar yapı elemanında boşluk oluşturulması örme sistem içinde boşluk, iskelet sistem içinde boşluk, dökme sistem içinde boşluk olmak üzere üç farklı sistemle uygulanmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8: Örme sistem ve dökme sistem duvarda boşluk oluşturma.

2.1.2.2 Yalıtım bileşeni

Isı, su, nem, buhar, ses, yangın, rüzgar, hava etmenlerine bağlı olarak iç mekanlarda, kullanıcıların konforu için gerekli iç iklimsel konfor koşullarının sağlanması amacıyla yapı elemanına bağlı olarak gövdenin dışında, ortasında veya iç yüzeyinde yalıtım malzemeleri kullanılır. Yerli kaynaklardan [3, 4, 7, 8], ders notlarından⁸ ve yerinde yapım gözlem çalışmalarından edinilen bilgiler ışığında yalıtım malzemeleri, işlevlerine bağlı olarak yerinde yapım tekniklerine göre ele alınmaktadır.

⁸ Altun, M. C. “Yapı ve Yapım Yöntemleri” ders notları, 2004. İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Mimarlıkta Yapı ve Yapım Teknolojileri Çalışma Grubu.

Isı yalıtımı

Isı yalıtım malzemelerinin kökenlerine, biçimlerine göre uygulanma yöntemleri sunulmaktadır:

Levha halinde ısı yalıtım malzemeleri: Ahşap talaş levha, cam köpüğü, XPS, EPS, bazı kompozit türleri, alçı köpüğü, çimentolu genişletilmiş polistren köpük, perlitli pişmiş toprak levha vb. ısı yalıtım malzemeleri; gazbeton, tuğla ve betonarme yüzeylere çimento harcı ile yapıştırılarak uygulanır, bitüm ile astarlanan yüzeye doğrudan yapıştırılır veya iki yüzey arasında serbest halde sıkıştırarak yerleşir. Kalınlığı 5 cm olan XPS, EPS levhalar, dış yüzeye çimento bazlı ısı yalıtım yapıştırıcısı ile yapıştırılır, plastik çivili ısı yalıtım dübeli ile yüzeye tespit edilir. Bodrum perde duvarında su yalıtım katmanı üzerine 170°C'ye kadar ısıtılan asfalt yüzeye sürülerek uygulanır. XPS levha, EPS levha, aralarında boşluk kalmaksızın yerleştirilip yapıştırılarak uygulanır. EPS levhalar, su yalıtım örtüsü uygulanmış perde duvar ile koruyucu tuğla duvar arasına serbest halde dizilir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9: EPS levhaların serbest dizilerek uygulanması.

Zemine oturan döşeme üzerine yüzeyi düzgün XPS levhalar (aynı şekilde EPS levha) serbest olarak dizilerek uygulanır. 6 - 8 - 10 cm kalınlığındaki EPS levhalar çatı arası döşemelerde serbest olarak serilir. Dilatasyon boşlukları, iki taşıyıcı sistem arasında bırakılan titreşim önleyici boşluklar, serbest bırakılan EPS, XPS levhalar ile doldurulur. Ahşap talaş levha, iki yüzü ahşap talaş levha, ortası genişletilmiş polistren köpük gibi ısı yalıtım malzemeleri, kalıp içine yerleştirildiklerinde, dökülen betona yapışmakta, açıkta kalan dış yüzeyleri kolayca sıvanabilmektedir. Genleştirilmiş polistren köpük, poliüretan gibi genelde düşük yoğunluklu, nispeten rijit ısı yalıtım malzemeleri, yüzeyleri astarlandıktan sonra çivilenebilecek nitelikteki dış duvarlara geniş başlı çiviler yardımıyla tespit edilir.

Şilte halinde ısı yalıtım malzemeleri: Yeterli rijitliğe sahip olmayan ve kendi kendini ayakta tutamayan cam yünü, taş yünü ısı yalıtım malzemeleri, duvar gövdesine taşıtılan ızgara aralarına, çatı mertekleri arasına sıkıştırılarak, soğuk çatılarda ise betonarme döşeme üzerine serilerek uygulanır.

Çatılarda, buhar difüzyon direncine göre uygulanan buhar tutucu üzerindeki mevcut asfalt soğuyup katılaşmadan cam yünü veya taş yünü levhalar döşenerek iyice yapıştırılır. Üzerinde gezilmeyen çatı aralarında, betonarme döşeme üzerinde, 6cm, 8cm veya 10cm kalınlığındaki şilte halindeki cam yünü, taş yünü serbest şekilde serilerek döşenir.

Taş yünü ısı yalıtım levhası (3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 cm), dış duvara dıştan, kendi levha yapıştırıcısı ile yapıştırılır, çelik çivili ısı yalıtım dübeli ile yüzeye tespit edilir. Levha üzerine 1. kat ısı yalıtım sıvası uygulanır, üzerine sıva filesi yerleştirilip 2. kat ısı yalıtım sıvası yapılır. Sıvalı veya sıvasız duvar yüzeyine 5 cm kalınlığındaki bakalitli ve silikonlu esnek levhalara aralık kalmayacak şekilde serbestçe yerleştirilir, önüne ikinci duvar gövdesi örülür.

Yerinde köpük oluşturan ısı yalıtım malzemeleri: Bir yüzeye veya sınırlandırılmış bir hacime, püskürtülerek uygulanan poliüretan sertleşerek bulunduğu hacmi doldurarak şekil alır.

Harca katılan ısı yalıtım malzemeleri: Genellikle granül halindeki ısı tutucu malzemeler (ponza, genleştirilmiş perlit, vermikülit, kil ve mantar vb.) bir bağlayıcı veya çimento harcına katılarak sıva halinde mala ile yüzeye sürülerek uygulanır.

Dolgu (dökme) olarak kullanılan ısı yalıtım malzemeleri: Lifsel, talaşimsı ve granül haldeki ısı tutucu malzemeler sınırlanmış bir boşluğa serbest halde dökülerek uygulanır.

Blok halinde örülen ısı yalıtım malzemeleri: Tuğla, gazbeton gibi blokların, yatay ve düşey derzlerde ısı köprüsü oluşturmayacak şekilde örülmesi ile ısı tutuculuk performansı sağlanmış olunur.

Yalıtım sıva harcı: Kuru olarak hazırlanmış torbalar üzerinde yazılı kullanma talimatına göre karışım suyu ile karıştırılarak hazırlanan ısı yalıtım sıva harcı, m²'ye 5 kg kullanılacak şekilde yüzeye mala ile uygulanır.

Su yalıtımı

Su yalıtım malzemeleri su geçirimsiz katkı maddeleri, sıvı su yalıtım malzemeleri, örtü veya pestil su yalıtım malzemeleri, su yalıtım bantları ve macunlar - fitiller olarak beş grup altında uygulanma yöntemleri ile sunulmaktadır:

Su geçirimsiz katkı maddeleri: Su geçirimsiz şap, beton veya betonarme elde edilmesinde, beton bünyesindeki çimento ağırlığına belli bir oranda, karma suyuna su geçirimsiz katkı maddeleri katılır. İki farklı uygulama yöntemi vardır. Su geçirimsizliği sağlayan katkı maddelerinin betonarme perde duvar ve radyetemel beton karışımına katılmasıyla, beton kütesinin su geçirimsizliği sağlanır. Diğer bir uygulama yöntemi ise katkı maddelerinin eklendiği çimento veya sıva harcı ile dış yüzeyin su geçirimsiz hale getirilmesidir. Rijit su yalıtımı olarak adlandırılır.

Sıvı su yalıtım malzemeleri: Bitüm ve zift, belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp yumuşatılarak yüksek yapışma özelliği kazanır. Rulo ile sürülerek duvar veya döşeme yüzeyine uygulanırlar. Bitüm emülsiyon ve solüsyonlarının yanı sıra, PVA emülsiyonlar ile akrilik emülsiyonlar, herhangi bir ısıtma işlemine gerek kalmadan, ortam sıcaklığında, rulo ile yüzeye sürülerek (Şekil 2.10) veya havasız tabanca ile yüzeye püskürtülerek uygulanır. Sürülerek uygulamada, aderans köprüsü oluşturacak şekilde ilk kat inceltilerek, diğer iki katı inceltilmeden yüzey kaplanır.



Şekil 2.10: Duvar ve döşeme yüzeyinde sürülerek uygulanan su yalıtımı.

Taş ve tuğla örme sistem bodrum duvarlarında yatay bir hat üzerinde sık aralıklarla duvara açılan deliklere şişeler içinde silikatlı çözeltilerin emdirilmesi de bir başka sıvı su yalıtım uygulama yöntemidir.

Örtü veya pestil su yalıtım malzemeleri: Perde duvar, döşeme ve çatılarda uygulanır. Yaygın olarak kullanılan örtü veya pestil su yalıtım malzemelerinin uygulanma yöntemleri aşağıda sunulmaktadır:

- Polimer bitümlü örtü: Birbiri üzerine en az 10 cm bindirilerek ek yerlerinin altından 10 cm aralıklarla geniş başlı galvanizli çiviler ile kaplama tahtasına çakılarak sabitlenir.
- Plastomer esaslı polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtü: Şalümo alevi ile plastomer esaslı polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtüyü alevlendirmeden, birbiri üzerine en az 10 cm bindirilerek, ek yerlerinin altından 10 cm aralıklarla geniş başlı galvanizli çiviler ile çakılır.
- Mineral kaplı polimer bitümlü örtü: 3,3 mm kalınlığında bir yüzü mineral kaplı plastomer veya elastomer esaslı polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtü, ek yerlerinden en az 10cm bindirmeli olarak şalümo alevi ile ısıtılarak yapıştırılır.
- PVC esaslı jeomembran su yalıtımı: Temel ve çatıda yalıtım uygulanacak olan beton yüzey iyice temizlenir. 1,5 - 2 - 2,5 mm kalınlıktaki jeomembran su yalıtımı birbiri üzerine en az 10 cm bindirmeli olarak ısıtılma kaynağıyla yapıştırılır.
- EPDM esaslı jeomembran su yalıtımı: Kauçuk kökenli su ve nem yalıtım örtüsüdür. 1 - 1,5 - 2 mm kalınlığındaki EPDM esaslı jeomembranın bir yüzü PE veya polyester keçe kaplıdır. Birbiri üzerine en az 10 cm bindirmeli olarak, sıcak hava kaynağı ile ısıtılarak uygulanır.
- Elastomer esaslı EPDM sızdırmazlık membranı: 1 - 1,2 - 1,5 - 2 mm kalınlığında, her iki kenarı PE kaplıdır. Yukarıda açıklandığı gibi uygulanır.

Su yalıtım bantları: Farklı zamanlarda beton dökülen betonarme perde duvarlarda, su tutucu bantlar ile ek yerlerinin su geçirimsizliği sağlanmaktadır. Beton dökülmeden önce su tutucu bant, çift başlı çivi ile kalıba içten çakılır, bantın yarısına kadar beton dökülür, iş derzi oluştuktan sonra ikinci parti betonun dökümü tamamlanır. Su tutucu bant betonun dışında kalır. Diğer uygulama yönteminde ise su tutucu bantlar, betonun arasında kalır. Düz, oluklu, trapez kesitli, alüminyum levha, elyafli çimento levha, galvanizli sac, oluklu bitümlü levha vb. çatı kaplama malzemelerinin kaplanmasında, çapı 6 - 10 mm kesitindeki polietilen sentetik reçine esaslı

termoplastik bant macunu bindirme yerlerine yerleştirilerek, kaplama malzemelerinin sıkıca birbirine bastırılması ile uygulanır.

Macunlar - fitiller: Prefabrike yapı sistemi ile üretilen dış duvar ve çatılarda bileşenlerin yerlerine takılması ve eklenmesi sırasında panel aralıklarının su ve hava geçirimsizliğinin sağlanması amacıyla kullanılırlar. Bitüm - kauçuk esaslı macunlar, sıcak olarak 40 mm, soğuk olarak 5 - 10 mm derz genişliğine kadar düşey derzlerde; silikon esaslı macunlar, genleşme derzlerinde ve perde duvar panelleri arasında; akrilik bazlı macunlar beton, hafif beton, sıva, kagir duvar, asbestli çimento ve alçı levhaların yalıtımında; poliüretan bazlı macunlar, prefabrike elemanların birleşim derzlerinde; polisülfid (thiokol) esaslı macunlar, ağır prefabrike panoların derzlerinde kullanılır.

Buhar yalıtımı

Yapı elemanında buhar nedeniyle oluşabilecek zararlardan korunmanın bir yolu, eleman katmanlaşmasının su buharının yoğuşmadan geçebilmesine izin verecek şekilde tasarlanması, diğer yolu ise bitümlü örtü, PVC örtü, polietilen örtü, plastomer esaslı cam tülü taşıyıcılı polimer bitümlü gibi buhar kesici malzemeler ile elemanın sıcak yüzeyinden su buharının eleman bünyesine girişinin engellenmesidir. Dıştan ısı yalıtım uygulaması ile duvar gövdesinin sıcak kalması sağlanmakta ve yoğuşma problemi beklenmemektedir. İçten ısı yalıtım uygulanmasında, ısı yalıtım malzemesi açık gözenekli ise ısı yalıtım malzemesinin sıcak tarafına buhar kesici folyo (alüminyum folyo, polietilen folyo vb.) yerleştirilmelidir. Isı yalıtım malzemesi XPS gibi kapalı gözenekli, buhar geçirmez ise yalıtım malzemesi ek yerlerinin buhara karşı yalıtılması durumunda, buhar kesici malzeme kullanılmasına gerek duyulmaz.

Ses yalıtımı

Dış ortamdan iç ortama ve iç ortamlar arası ses geçişlerinin ve döşemelerde darbe sesinin önlenmesi amacıyla uygulanır. Açık gözenekli ve lifli yapıda olan cam yünü ve taş yünü, ses yalıtımı amacıyla da kullanılmaktadır. Cam köpüğü, polistren köpük, mantar ve gazbeton bünye yapısı hücreli, ses emici malzemelerdir. Döşemelerde yüzer şap uygulaması, polietilen köpük, cam keçesi ve darbe etkisini söndürecek döşeme kaplamalarının kullanılması, darbe sesine karşı alınan önlemlerdir. Asansör boşluğunda ve merdivenlerde oluşan darbe seslerini önlemek amacıyla EPS levhalar, harçla yapıştırılarak uygulanmaktadır.

Hava geçirimsizlik

Örme ve dökme yapı sistemi ile taşıyıcı gövdesi oluşturulan dış duvarlarda belirli genişlikte gövde kütlesi ile hava geçirimsizliği sağlanabilmektedir. Çatılarda ve çok tabakalı duvarlarda, kaplamanın ahşap veya metal konstrüksiyona taşındığı sistemlerde, konstrüksiyonun oluşturduğu boşluğun sebep olacağı hava geçişinin önlenmesi amacıyla kraft kağıdı yapıştırılarak veya PVC ve polietilen örtü konstrüksiyon ile tutturularak uygulanır.

Ayırıcı ve koruyucu katmanlar

Yaygın olarak kullanılan ayırıcı ve koruyucu katman uygulamaları aşağıda sunulmaktadır.

Polietilen folyo: Rulo halinde serbest olarak serilerek uygulanır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: Polietilen folyo uygulaması.

Bitümlü karton: Ek yerleri en az 10 cm bindirmeli olacak şekilde serilir. Galvanizli iri başlı özel bitümlü karton çivisi ile çakılarak tespit edilir.

Geotekstil keçe: Ek yerleri 10 cm bindirmeli olacak şekilde serilerek uygulanır.

Çakıl: Asfaltlanan çakıl katmanı serbest olarak serilir, üzerine çakılın kalan kısmı serbest olarak dökülür.

Yangın yalıtımı

Cam yünü ve taş yünü, yangına dayanıklı yalıtım malzemeleri olarak duvar, döşeme ve çatılarda kullanılır. Çelik taşıyıcılar, lifli çimento levha veya alçı plak levhalar ile kaplanarak yangına karşı yalıtılmalıdır.

2.1.2.3 Kaplama bileşeni

Kaplama malzemeleri dış çevresel etmenlere (ısı, su, rüzgar, ses, yangın, güneş ışını) bağlı olarak dış yüzey kaplama malzemeleri ve iç çevresel etmenlere (ısı, nem, buhar, hava, ses, yangın) bağlı olarak iç yüzey kaplama malzemeleridir. Çevresel etmenlere karşı geçirimsizlik sağlamak veya etmenleri kontrol etmek, yüzey düzgünlüğü sağlamak, görsel etki yaratmak işlevlerini yerine getirmektedir. Sıva, boya gibi yerinde biçim oluşturan malzemeler veya lifli beton levha, metal panel gibi biçimlendirilmiş malzemelerdir.

Yerli kaynaklardan [2, 3, 4, 6, 7], ders notlarından (Altun, M. C. “Yapı ve Yapım Yöntemleri” ders notları⁹, 2004) ve yerinde yapım gözlem çalışmalarından edinilen bilgiler ışığında kaplama malzemeleri; “duvar ve çatı kaplamaları”, “döşeme ve merdiven kaplamaları” olarak yerinde yapım tekniklerine göre ele alınmaktadır.

Duvar ve çatı kaplama malzemeleri

Duvar ve çatı kaplama malzemeleri uygulama yöntemlerine göre sunulmaktadır.

Sıva: Dış duvar gövdesi üzerine mala ile sürülerek veya basınçlı sıva makinesi ile püskürtülerek uygulanır. Yüksek çimento dozajlı kaba sıva üzerine düşük çimento dozajlı ince sıva katmanlarından oluşur. Gerekli görüldüğü hallerde, ince sıva uygulamasından önce, ince sıvanın aderansını kuvvetlendirmek amacıyla astar (altlık) uygulanır. Mevcut taşıyıcı üzerine 1,5 x 2 cm bağdadi çıtaların çivi ile tespit edilip üzerine alçı harcıyla 1,5 cm kalınlığında temel harç tabakası, üzerine 1,5 cm’lik kırıtkı alçı harcı ile kaba sıva ve üzerine 0,5 cm kalınlığında ince sıva uygulaması, bağdadi sıva uygulamasıdır. Sıvanın bir diğer uygulama şekli püskürtme (spritz) sıva uygulamasıdır. Hazırlanan serpm harcı ortalama 3 mm kalınlıkta olacak şekilde, püskürtme aleti ile yüzeyi temizlenmiş sıva üzerine püskürtülerek uygulanır.

Cam mozaik: Cam, akrilik veya seramikten üretilir. Duvara gelecek yüzlerinden seyrek bir plastik dokumaya yapıştırılmış olarak üretilen cam mozaikler, ince sıva üzerine sürülmüş olan çimento hamuru üzerine bastırılarak kaplanır. Diğer uygulama yöntemi olarak, ön yüzlerinden kağıda yapıştırılan mozaikler, arka yüzlerinden harçla duvar yüzeyine yapıştırılır. Harç sertleştikten sonra ön yüzeydeki kağıt ıslatılarak yüzeyden ayrılır. Dış ve iç cephe duvar kaplamasıdır.

⁹ İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Mimarlıkta Yapı ve Yapım Teknolojileri Çalışma Grubu.

Duvar kağıdı: İç duvar kaplama malzemesi olarak sıvalı, badanasız, badanalı, yağlı boyalı duvarlara yapıştırılarak uygulanır. Duvar yüzeyi tozlardan çapaklardan temizlenir, gerekiyorsa zımpara ile zımparalanır.

Ahşap: Ahşap cephe kaplamaları, kaplamaların kullanılma yönüne göre kendine zıt yöndeki ahşap konstrüksiyon üzerine çivi veya ahşap vidası ile tespit edilir.

Örme taş veya tuğla: Harçla duvar yüzeyine yapıştırılarak uygulanır.

Seramik, granit karo ve levhalar: Özel yapıştırma harcı ile yüzeye yapıştırılarak uygulanır. Diğer uygulama yöntemi duvar gövdesi üzerine kurulan konstrüksiyona hazır bağlantı elemanları (klips) ile tespit şeklindedir.

Karo mozaik seramik kaplama: Çimento harç ile 2 mm'lik kaba sıva üzerine ortalama 5mm kalınlığında çimento macunu sürülür, kurumadan karolar yapıştırılır. Bir gün sonra üzerindeki kağıt ıslatılarak çıkarılır, derz araları doldurulur.

Cam, emaye vb. mozaik kaplama: Ortalama 2 cm kalınlığındaki kaba sıva üzerine ortalama 0,8 mm kalınlığında ince sıva yapılır, gerekli görülürse ıslatılır. Mozaik yapraklarının üzerine çimento hamuru sürülerek sıva yüzüne yapıştırılır. Üzerindeki kağıtlar çıkarılır, derzler çimento macunu ile doldurulur. Tüm yüzey bol su ile yıkanır üç gün sonra tuz ruhu karıştırılmış su ile temizlenir, tekrar bol su ile yıkanır, bezle kurulur.

Taş levha: 1 - 2 kat yüksekliğe kadar duvar cephesine harçla yapıştırılabilir. Daha yüksek kotlarda, konstrüksiyon üzerine kenetlerle veya klisplerle tespit edilir.

Pişmiş toprak levha: Duvar gövdesi üzerine kurulan konstrüksiyon üzerine klipsler ile sabitlenir.

Kayrak, arduvaz: Çatı ve duvar kaplama malzemesi olarak kullanılan başkalaşmış taşlardır. Tuğla veya bims blok üzerine kaba sıva harcı ile yapıştırılır. Çatıda ise kadronlar üzerine metal levha ile çivilenir.

Lifli beton levha: Genellikle çatı kaplama malzemesi olarak kullanılan düz veya oluklu levhalar, duvar gövdesi üzerindeki ahşap konstrüksiyona çakılarak uygulanır.

Kompozit alüminyum levha: Duvar ve çatı konstrüksiyonu üzerine vidalanarak tespit edilir.

Kontrplak levha: Ahşap veya çelik konstrüksiyon üzerine vidalanır. Üzeri film kaplı olabilir veya boyanabilir.

Oluklu alüminyum panel / çelik panel: Oluklu formundan dolayı kendi kendini taşır, altlık yüzeyine gerek olmadan duvar ve çatı konstrüksiyonu üzerine vidalanır.

Kompakt laminat levha: Ahşap veya metal, duvar ve çatı konstrüksiyonu üzerine çivi veya vida ile tespit edilir.

Kiremit: Ahşap çatı kadronları üzerine kiremit bağlama kanallarından birer sıra atlanarak galvanizli tel ile bağlanır, galvanizli çivi ile çakılır. Marsilya, Akdeniz tipi kiremitler dışındaki diğer kiremit tipleri şaşırtmasız dizilerek sabitlenir.

Renkli ve renksiz beton kiremit: Her bir kiremit, çivi deliklerinden galvanizli çivi ile kiremit altı tahtasına çakılır.

Metal kiremit: Levha halinde üretilen çatı kaplama malzemesidir. Levha alnından galvanizli çivi ile çatı kadronlarına çakılarak monte edilir.

Çinko, bakır, düz alüminyum levha kaplama: Çinko levha (0,5 mm), bakır levha (0,5 - 1 mm), alüminyum levha (0,7 mm) genişliğine göre ikinci sınıf çam keresteden konik kadronlar (5 x 5 cm) kaplama tahtası üzerine sabitlenir. Metal veya ahşap konstrüksiyon üzerine ahşap kaplama ile yüzey oluşturulur. Rulo halindeki metal levha, açma makinesi ile uygulama yerinde düzeltilir, askı kenedinin çivilenmesi ile tespit edilir. Profillendirilmiş metal levhalar ise birbirlerine geçme sistem ile bağlanır, profildeki bağlantı parçası ile ahşap yüzey üzerine vidalanır.

Kurşun levha kaplama: Betonarme çatı üzerine samanlı çamur harcı ile 5 cm kalınlığında sıva yapıldıktan sonra kurşun levhalar galvanizli çivi ile tespit edilir.

Trapezoidal alüminyum levha: 0,5 - 1,2 mm kalınlığındaki trapezoidal alüminyum levha, mevcut ahşap, çelik, betonarme kiriş veya aşıklar üzerine bindirmeli olarak yerleştirilir. Alüminyum pop perçin ile perçinlenir. Enine, boyuna binilerle alüminyum trifon rondela altı ve perçin delikleri silikonlanır.

Oluklu galvanizli saç levha: Ahşap kadronların üzerine galvanizli çivi ile sabitlenir. Enden 10 cm, boydan 15 cm bindirilen oluklu levhalar, matkapla delindikten sonra, madeni pul ve lastik conta kullanılarak en az 6,5 cm'lik kepli trifon vidalarla vidalanır.

Galvanizli düz saç levha: Saç levhaların her iki uç ve ortasına gelecek şekilde 5 x 5 cm ahşap kadronlar çivi ile altlık yüzeyine tespit edilir. Galvanizli saç levhalar enden 10 cm, boydan 15 cm bindirilerek lastik conta, madeni pul, galvanizli çivi, vida veya kroşe ile kadronlara sabitlenir.

Oluklu bitümlü levha: Hakim rüzgar yönüne ters yönden başlanarak birbiri üzerine bindirilerek uygulanır. Mahyaya paralel her yatay sırada, düşey bindirmelerin bir alt, bir üst sıradaki levhaların ortasına gelecek şekilde şaşırtılarak levha uç bindirmelerde, her olukta bir levha ortalarında iki olukta bir olmak üzere oluk tepelerinden plastik rondelalı galvanizli çivi ile levha başına en az 20 adet çivi gelecek şekilde çakılarak tespit edilir. Eğim derecesine göre oluk bindirme ölçüsü değişir. Eğimi %10'dan az olan çatılarda uygulanmaz. Saçak uçlarında en fazla 10 cm serbest çıkma yapılabilir.

Saz, kamış: 30 - 40 cm'lik saz, kamış; çatı aşıklarına, çatı kadronlarına galvanize tel ile bağlanarak uygulanır, üzerine file geçirilir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Saz çatı kaplaması.

Toprak: Çatı kirişlerine çivi ile tespit edilen ahşap kaplama tahtası üzerine, kilce zengin kumlu ve kireç katılmış olan toprak serilir, loğ taşı ile stabilize edilir.

Bitkilendirilmiş çatı: Çatı taşıyıcı gövdesi üzerinde su yalıtım uygulamasının ardından bitki köklerinin su yalıtım malzemesine zarar vermemesi amacıyla kök tutucu tabaka yerleştirilir. Su yalıtım malzemesi bitki köklerine karşı dayanıklı ise kök tutucu katmana gerek duyulmaz. Çürümeye dayanıklı özel keçeler, kök tutucu ve su yalıtım örtüsünü mekanik etkilere karşı korur. Filtre ve drenaj tabakası üzeri toprak muadili (eş değer), mineralli bitki taşıyıcı tabaka (zincolit, zinco-sistem) doldurulur, uygun bitki ekilir.

Güneş kollektörü (fotovoltaik panel): Duvar ve çatı konstrüksiyonu üzerine özel bağlantı profil ve parçaları ile tespit edilir.

Döşeme ve merdiven kaplama malzemeleri

Döşeme ve merdiven kaplama malzemeleri uygulama yöntemlerine göre ele alınmıştır.

Ahşap parke: Lata üzeri uygulanabilir veya yüzeye yapıştırılabilir. Beton zemin üzerine çam keresteden kadronlar tespit edilip araları curufla doldurulur. Bir yüzeyi rendeli tahtalar, şişmeyi karşılayacak kadar aralıkla çakılır. Ahşap parkeler tahta döşemeye gizli olarak tespit edilir. Diğer uygulama yönteminde ahşap parkeler, düzeltme şapı üzerine özel tutkal ile istenilen desende yapıştırılır.

Seramik: Özel seramik yapıştırma harcı ile yüzeye yapıştırılarak uygulanır.

Yapay ve doğal taş karo: Harç ile yapıştırılarak uygulanır.

Blok taş ve taş plak: Döşeme kaplaması olarak kum içine serbest yerleştirilip tokmaklanır ve serbest olarak dökülen kum, derz aralarını sıkıştırarak taş ve plakları sabitler.

Seramik karo, sırlı ve sırsız porselen (granit) karo: Mevcut şap yüzey üzerine seramik yapıştırıcısı sürülür, özel tarak ile yivlendirilir, belirlenen derz aralıkları ile yer karoları yerleştirilip tokmalanır. İstenilen renkteki derz dolgu malzemesi ile derz araları doldurulur.

Terrazo karo plak (Karosiman): Düzeltme betonu üzeri temizlenip ıslatıldıktan sonra 1,5 - 2,5 cm kalınlığındaki çimento harcı üzerine terrazo karo plaklar en fazla 2 mm'lik aralıklarla döşenir. Derzleri mil kumu çimento dozlu şerbetle doldurulur.

Karo mozaik seramik kaplama: Düzeltme betonu temizlenip ıslatıldıktan sonra ortalama 1,5 cm kalınlığındaki çimento harcı üzerine çimento serpilerek nemlendirilir. Karolar seramik aralıklarına eşit aralıkla döşenir. Bir gün sonra üzerindeki kağıt ıslatılarak çıkarılır, derz araları doldurulur.

Mozaik merdiven basamağı kaplaması: Mevcut beton basamaklar iyice temizlenip ıslatıldıktan sonra projesine uygun şekilde kalıp yapılır. Mozaik harcı ile 2 cm kalacak şekilde mozaik dökülür, silinip perdahlanır. Uygulama düz işçi, mozaik ustası ve dülger ustası tarafından gerçekleştirilir.

Cam mozaik, cam parke, cam blok: Döşeme kaplama malzemesi olarak harç ile yapıştırılır veya konstrüksiyon ile tespit edilir. Cam parke, cam blok, merdiven basamak yüzeyi olarak metal konstrüksiyona sabitlenir.

Cam, emaye vb. mozaik kaplama: Duvar kaplama uygulaması gibidir (Bk. s. 24).

Mermer, andezit plak kaplama: Düzeltme betonu temizlenip ıslatılır, 3 cm kalınlığında çimento harç uygulanır. Mermer kaplama harç ile yapıştırılır. En çok 2 mm bırakılan derzler, çimento şerbeti ile doldurulur. Mevcut beton basamaklar temizlenip ıslatılır, 3 cm kalınlığında mermer / traverten levha ile basamak, 2 cm kalınlığında mermer / traverten levha ile rıht ayrı ayrı yekpare şekilde hazırlanıp harçla yapıştırılır.

Epoksi kaplama: Astarlanan düzeltme şapı veya kendiliğinden yerleşen beton üzerine rulo fırça ile sürülerek uygulanır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13: Epoksi döşeme kaplama uygulaması.

PVC, kauçuk, linolyum: Karo veya rulo halindeki PVC ile kauçuk döşeme kaplama malzemesi, kendi özel yapıştırıcısı ile düzeltme şapı üzerine yapıştırılır veya kaynaklı birleşim tekniği ile uygulanır. Linolyum, döşeme yüzeyine yapıştırılarak sabitlenir.

PVC esaslı yer döşeme kaplaması: Mevcut beton, mozaik yüzeylerin üzeri süpürülür, vakumla temizlenir, varsa kaplama ve eski harç pürüzleri kazınır. Poliakrilat esaslı sentetik reçineli astar, yüzeye sürülür. Sentetik katkı maddeli zemin düzleme macunu ile kaplama yüzeyi düzgünleştirilir. PVC özel yapıştırıcı sürülerek 1,5 - 2 - 3 mm kalınlığındaki PVC esaslı döşeme kaplama malzemesi serilip yapıştırılır. Ek yerlerinden sıcak kaynak ile birleştirilir.

Metal plak: Döşeme kaplaması olan font plak ve çelik saç plaklardır. Harçla tespit edilir veya konstrüksiyon ile sabitlenirler.

Tekstil yer döşeme kaplaması (halı, keçe kaplama): Doğal ve yapay liflerden dokunmamış halı ve keçeler, düzgün ahşap, beton, şap vb. yüzeyler üzerine özel yapıştırıcısı ile yapıştırılarak uygulanır. Bir diğer uygulama yöntemi, konstrüksiyon ile gerdirilerek tespit şeklindedir. Dokunmuş olan halılar, düzeltme şapı üzerine yapıştırıcı ile sabitlenir.

2.2 Yapım Girdileri

Yapım, yapı olarak adlandırılan sonuç ürünün ortaya çıkması ve oluşması için uygulanan veya yararlanılan eylemleri, süreçleri kapsar. Ürünü ortaya çıkaran eylemler ve eylemlerin birbirleriyle ilişkisidir [10].

Yapım süreci proje, finansman, bilgi, iletişim, yönetim, çevresel etmenler, işçilik, araç ve malzeme yapım girdilerinin uygulanan işlem ve tekniklerle dönüşüme uğrayarak mimari ürünün elde edildiği süreçtir. Tez kapsamında doğrudan yapım işlerine yönelik olan işçilik, malzeme (gereç) ve araç yapım girdileri ile yerinde yapım süreci ele alınmaktadır.

2.2.1 İşçilik

4857 sayılı İş Kanunu'nun 2. maddesinde işçi, bir iş sözleşmesine dayanarak çalışan kişi olarak tanımlanmaktadır [11]. Bir kimsenin bu kanuna göre işçi sayılabilmesi için aşağıda açıklanan koşulları yerine getirmiş olması gerekmektedir [12]:

- İş ilişkisi, bir iş sözleşmesine dayanmalıdır.
- Kişi, herhangi bir işte çalışmalıdır.
- İş, işverenin işyerinde yapılmalıdır.
- İş, bir ücret karşılığı olmalıdır.
- Kişi, yabancı uyruklu olmamalıdır.

İş, genel anlamı ile ekonomik değer taşıyan bütün çalışmaları kapsar. Bir işte çalışmak, işçinin esas eylemidir. Kanunda geçen herhangi bir işin, bedeni veya fikri iş olarak bir ayrıma bağlı kalması gerekmez.

4857 sayılı Kanun'un 10. maddesinde, işçi sayılan kimselerin yapmış oldukları işler, süreksiz işler ve sürekli işler olarak iki gruba ayrılmıştır. Nitelikleri bakımından en çok 30 iş günü süren işler, süreksiz iş; nitelikleri bakımından 30 iş gününden fazla süren işler, sürekli iş olarak tanımlanmıştır. İş günü ayırımında esas alınan ölçü, işin niteliği bakımından bitirilmesi gereken süredir. Niteliği bakımından en çok 30 iş gününde bitmesi gereken iş, daha fazla sürede bitmiş olsa bile, bu iş yine de süreksiz iş olarak kabul edilmektedir. Aynı şekilde niteliği itibariyle 30 iş gününden fazla sürede bitecek olup da 30 iş gününden az sürede bitirilen iş, sürekli iş sayılmaktadır. Herhangi bir nedenle çalışılmayan günler, 30 günlük sürenin belirlenmesinde dikkate alınmamaktadır [12].

Yukarıda tanımlanan koşulları göz önüne alarak işçiyi, bir iş sözleşmesine bağlı olarak, işverenin işyerinde, belirli bir ücret karşılığında, herhangi bir işte çalışan kişi olarak tanımlayabiliriz.

Bir ürün veya hizmet üretmek için harcanan insan emeği işçiliktir. Çalışmada ele alınan işçilik, yapım işlerinde yer alan her çeşit işçiliği kapsamaktadır. 3308 sayılı Mesleki Eğitim Kanunu¹⁰'nun 3. maddesinde aday çırak, çırak, kalfa, usta, usta öğreticisi, beden işçisinin (bina işçisi) işçilik tanımları yapılmıştır [13].

Aday çırak: Çıraklığa başlama yaşını doldurmamış ve çıraklık döneminden önce kendisine işyeri ortamı tanıtılan, sanat ve mesleğinin ön bilgileri verilen kişidir.

Çırak: Çıraklık sözleşmesi esaslarına göre, bir meslek alanında mesleğin gerektirdiği bilgi, beceri ve iş alışkanlıklarını iş içerisinde geliştiren kişidir. Çırak olabilmek için aranan koşullar: i) 14 yaşını doldurmuş, 19 yaşından gün almamış olmak, ii) en az ilköğretim okulu mezunu olmak, iii) bünyesi ve sağlık durumu, gireceği mesleğin gerektirdiği işleri yapmaya uygun olmaktır (3. Kısım, 1. Bölüm, 10. madde). Ağır, tehlikeli veya özellik gerektiren mesleklere alınacak çırakların öğrenim ve yaş durumu, ilgili kuruluşların görüşü alınarak Bakanlık tarafından belirlenir. Çıraklığa mesleğin özelliğine göre, Bakanlık tarafından tespit edilen (14. madde), bir aydan az, üç aydan fazla olmayan bir deneme dönemi ile başlanır. Aday çırak ve çırak, öğrenci konumunda olup öğrencilik haklarından yararlanır. İşyerinde çalışan işçi sayısına dahil edilmezler (11. madde).

¹⁰ Kanunun adı “Çıraklık ve Meslek Eğitim Kanunu” iken 26.6.2001 tarihli ve 4702 sayılı Kanun’un 22. maddesi ile “Mesleki Eğitim Kanunu” olarak değiştirilmiş ve metne işlenmiştir.

Kalfa: Bir mesleğin gerektirdiği bilgi, beceri, iş alışkanlıklarını kazanmış, ilgili iş ve işlemleri kabul edilebilir standartlarda yapabilen kişidir. Kalfa adayının mesleği ile ilgili bilgi, beceri ve iş alışkanlıklarına, iş hayatı boyunca kabul edilebilir seviyede sahip olup olmadığı, kalfalık sınavı ile tespit edilir (16. madde). Kalfalık belgesi bulunmayanlar kalfa ünvanı ile çalışamaz ve çalıştırılmaz (17. madde).

Usta: Bir mesleğin gerektirdiği bilgi, beceri, iş alışkanlıklarını kazanmış ve bunları mal ve hizmet üretiminde iş hayatınca kabul edilebilecek standartlarda uygulayabilen, üretimi planlayabilen, üretim sırasında karşılaşılabilecek problemleri çözümleyebilen, düşüncelerini yazılı, sözlü ve resim yolu ile açıklayabilen, üretimle ilgili pratik hesaplamaları yapabilen kişidir.

Usta öğretici: Ustalık yeterliliğini kazanmış, aday çırak, çırak, kalfa ile mesleki ve teknik eğitim okul ve kurum öğrencilerinin işyerindeki eğitiminden sorumlu, mesleki eğitim tekniklerini bilen ve uygulayan kişidir.

İşletmenin genel çalışma prensipleri doğrultusunda, araç, gereç ve ekipmanları etkin bir şekilde kullanarak, işçi sağlığı, iş güvenliği ve çevre koruma düzenlemelerine, mesleğin verimlilik ve kalite gereklerine uygun olarak, taşıma, kaldırma, istifleme, kürekleme, kazma ve benzeri işleri kol gücü ile kazma, kürek, el arabası gibi basit işçilik aletlerini gerekli yerlerde kullanarak çalışan kişiler, bina işçisi olarak tanımlanmaktadır [14].

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, işçilikleri poz numaralarına göre birim saat üzerinden rayiçle (piyasa fiyatı) listelemektedir (Çizelge 2.1). 2011 yılına ait (01.01.2011) birim fiyatlar dikkate alınarak işçilik hiyerarşisini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Formen¹¹
- Birinci sınıf usta
- İkinci sınıf usta
- Erbap işçi
- Çavuş
- Birinci sınıf usta yardımcısı
- İkinci sınıf usta yardımcısı

¹¹ İşveren tarafından işçilerin başına getirilmiş, denetim, yönetim görevi verilmiş yetkili kişi, ustabaşı.

▪Düz işçi

▪Çırak

Çizelge 2.1: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı işçilik hiyerarşisi [6, 15].

Poz No	Tanımı	Ölçü Birimi	Rayiç (TL)
01.409	Formen	Sa	7,80
01.501	Düz işçi (inşaat işçisi)	Sa	3,80
01.502	Erbap işçi	Sa	4,10
01.503	Çırak	Sa	3,75
01.504	Çavuş	Sa	4,00
01.507	Birinci sınıf usta	Sa	5,30
01.507/1	Birinci sınıf usta yardımcısı	Sa	4,00
01.508	İkinci sınıf usta	Sa	5,04
01.508/1	İkinci sınıf usta yardımcısı	Sa	3,90

Çizelge 2.2: Yapım işlerine göre Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın sunduğu işçilikler [6, 15].

Poz No	İşçilik Tanımı	Poz No.	İşçilik Tanımı
01.001	Taşçı ustası	01.022	Cam ustası
01.002	Karo kaplama ustası	01.023	Boya ustası
01.003	Fayans kaplama ustası	01.024	Badana ustası
01.004	Seramik kaplama ustası	01.025	Döşeme ustası
01.005	Mermer kaplama ustası	01.026	Teneke ustası
01.006	Mermer yonucu ustası	01.027	Torna ustası
01.007	Mozaikçi ustası *	01.028	Muşamba ustası
01.008	Doğramacı ustası	01.029	Cila ustası *
01.009	Marangoz ustası *	01.030	Buvazör (iksa işleri yapar)
01.010	Yalıtımcı ustası *	01.031	Bakır ustası
01.011	Lağımçı (ateşleme ustası)	01.032	Alüminyum ustası
01.012	Sıvacı ustası *	01.033	Alçı levha ustası *
01.013	Duvarcı ustası	01.034	Alçı blok ustası *
01.014	Kaldırım ustası	01.222	Boru ustası *
01.015	Beton ustası	01.512	Pist beton kaplama ustası
01.016	Kiremit ustası	01.518	Elektrik ustası *
01.017	Dülger ustası	01.521	Tesisat ustası *
01.018	Sıcak demir ustası *		
01.019	Soğuk demir ustası *		
01.020	Alçı işleri ustası *		
01.021	Kaynak ustası		

“01-İşçilik” başlığı altında, yapım işlerine göre ayrılan işçilikler, Çizelge 2.2’de sunulmaktadır. “ * ” işareti ile belirtilen yapım işlerinde, ustalıklar ile birlikte usta yardımcılıkları da yer almaktadır. “01-İşçilik” listesinde, araçları kullanan kişiler de işçilik başlığı altında tanımlanmıştır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3: Araçları kullanan işçilikler [15].

Poz No.	İşçilik Tanımı
01.401	Şoför
01.401/1	Ağır kamyon şoförü
01.402	Tamirci baş makinist
01.403	Makinist
01.404	Operatör makinist
01.405	Makinist yardımcısı
01.406	Operatör yardımcısı
01.407	Şoför yardımcısı
01.408	Yağcı
01.509	Pulverizatör operatörü (püskürteç operatörü)
01.510	Torkret (marpuçla beton tatbik eder)
01.513	Baş sondör
01.514	Sondör (sondaj makinesi operatörü)
01.515	Pompa teknisyeni

Tez çalışması kapsamında, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın kullandığı işçilik hiyerarşisi ve yapım işlerine göre tanımlanan işçilikler esas alınmıştır.

2.2.2 Malzeme

Genel olarak malzeme bir tasarımın bünyesine giren, o tasarımın yapım ve kullanım süreci içindeki biçimlenişini sağlayan, tasarımı kullanan insanın sağlık ve konforunu düzenleyen her tür işlenmemiş, yarı veya tam işlenmiş maddelerdir [3]. Bir yapının ortaya çıkarılmasında kullanılan doğal veya yapay ürünlerdir.

Yukarıdaki tanımdan yola çıkarak yapı malzemesini, yapı elemanlarının oluşturulmasında kullanılan doğal, az işlenmiş veya işlenmiş ürünler olarak tanımlayabiliriz.

Kökenlerine göre malzemeler silisyum, kalsiyum ve çeşitli mineral esaslı taş, suni taş, pişmiş toprak, cam, metal gibi inorganik malzemeler ile hidrojen, karbon ve azot esaslı ahşap, bitüm - katran, plastik gibi organik malzemeler olarak iki grup altında toplanmaktadır [3].

Yapım yerinde, sıvı / kıvamlı karışım olarak hazırlanan veya sahip olduğu hali ile kullanılan, belirli bir geometrik formu olmayan, sürülerek (boya, astar vb.), püskürtülerek (sıva, poliüretan köpük vb.) veya dökülerek (beton vb.) uygulanan malzemeler, yerinde biçim oluşturan malzemelerdir. Önceden biçimlendirilmiş malzemeler, atölye veya fabrikada belirli ölçü ve formlarda üretilen malzemelerdir. Biçimlendirilmiş malzemeleri: birim (beton blok, seramik levha vb.), profil (demir profil, ahşap profil vb.), levha (alçı plak levha, alüminyum levha vb.), panel (beton

panel, kompozit panel vb.) ve örtü / şilte (PVC örtü, cam yünü şilte vb.) biçim ve formlarda ele alabiliriz (Şekil 2.14).

Üretim yöntemine göre malzemeler doğal malzemeler (işlenmemiş malzemeler), yapay malzemeler (işlenmiş malzemeler) ve geri kazanılmış (dönüştürülmüş) malzemelerdir. Kum, çakıl, tomruk gibi doğada olduğu haliyle yapımda kullanılan malzemeler, doğal malzemelerdir. Fabrika veya atölyede işlenme durumuna göre kereste, çimento, kireç gibi az işlenmiş; tuğla, metal profil gibi işlenmiş malzemeler yapay malzemelerdir. Ham madde gibi kullanılarak yeni bir maddeye dönüşen malzemeler ise geri kazanılmış malzemelerdir. Yapımda kullanılan geri kazanılmış malzemeler; kağıt, karton, cam, metal ve plastiklerdir.

BİÇİMLENDİRİLMİŞ MALZEMELER	BİRİM				
	PROFİL				
	ÖRTÜ / ŞİLTE				
	LEVHA				
	PANEL				
BİÇİMLENDİRİLMEMİŞ MALZEMELER					

Şekil 2.14: Biçimlerine göre yapı malzemeleri.

Yapımda kullanılan malzemeler köken gruplarına göre aşağıda sunulmaktadır:

Doğal taş yapı malzemeleri: Doğal taşlar oluşumlarına göre püskürük külteler (granit, perlit, bazalt vb.), tortul külteler [kum, çakıl, gre (kumtaşı), traverten, yoğun kalker, alçıtaşı (jips), küfeki vb.] ve başkalaşmış kültelerdir (arduvaz, mermer vb.).

Agrega yapı malzemeleri: Dere kumu ve çakılı, deniz kumu ve çakılı, doğal taşlardan geriye kalan en sağlam minerallerdir. Suni agregalar ise kırmataş (mıcır), yüksek fırın cürufu kömür atığı, asbest tuğla kırığı, ahşap ve metal talaşdır.

Bağlayıcı yapı malzemeleri: Alçı, hava kireci havada katılaşma özelliği gösteren; su kireci, puzolan, çimento havada ve suda katılaşma özelliği gösteren bağlayıcılardır.

Pişmiş toprak yapı malzemeleri: Tuğla, kiremit, künk, çanak çömlek sırlanmamış gözenekli; fayans, dekorlu seramikler sırlanmış gözenekli; kumtaşı ve porselen gözeneksiz pişmiş toprak malzemelerdir.

Cam yapı malzemeleri: Cam tipleri, üretim teknolojilerine bağlı olarak çok çeşitlidir. Berrak cam, telli cam, temperli cam, kumlama cam, buzlu cam, asitlendirilmiş cam, renkli cam (standart renkli, spektral seçici renkli), yansıtıcı kaplamalı (reflektif) cam, Low-e kaplamalı cam, lamine (tabakalı) cam vb.

Metal yapı malzemeleri: Yapıda en yaygın kullanılan metaller; demir, çelik, bakır, alüminyum, çinko, kurşun ve kromdur.

Ahşap yapı malzemeleri: Doğal ahşap ağaç türüne göre iğne yapraklı (çam, köknar, ladin gibi yapraklarını dökmeyen açık tohumlu) ve geniş yapraklı (kayın, meşe, kavak, gürgen, dişbudak, ıhlamur, kestane gibi yapraklarını döken kapalı tohumlu) ağaçlardır. Doğal ahşap, ahşabın sertliğine ve reçineli oluşuna göre sert ağaç (meşe, dişbudak, kayın, gürgen, kestane, ceviz), yumuşak ağaç (kavak, kızılğaç, ıhlamur) ve çıralı ağaç (çam, ladin) olarak da sınıflandırılmaktadır. Suni ahşap malzemeleri: prese kaplama (kaplama, kontrplak prese kaplama), prese aglomere (talaş, lif, yonga levha) ve prese masif (yoğunlaştırılmış ve emprenye edilmiş ahşap, tutkallı lamine ahşap) olarak üç grup halinde üretilmektedir.

Bitüm ve katran esaslı yapı malzemeleri: Doğal bitüm (asfaltgiller), petrol bitümleri, maden kömürü katranı olarak üç gruba ayrılmaktadır. Katı, yarı katı, sıvı, dolgulu ve donatılı bitüm, katran esaslı olarak yapıda kullanılırlar.

Plastik yapı malzemeleri: Yaygın kullanılan plastik yapı malzemeleri; PVC, poliüretan, polistren, polyester, epoksi, naylon, polietilen, polipropilen, ABS¹², teflon, melamin karışımlarıdır.

Boya yapı malzemeleri: Bünyesinde yer alan bağlayıcı maddelere göre boya yapı malzemeleri; badana (sulu), yağlı boya (yağlı), plastik boya (plastik reçineli), vernik (doğal reçineli) ve ciladır (ispirtolu).

Kompozit yapı malzemeleri: Yapı malzemelerinin bir arada üretilmesi ile elde edilen taneciklerle donatılı (beton, harç), liflerle donatılı (cam lifi, karbon lifi, taş yünü vb.) veya tabakalı (metal tabakalı levha, alçı karton plak, çimento ahşap talaş levha vb.) malzemelerdir.

Yukarıda sunulan yapı malzemelerini yapımda taşıyıcı sistem malzemeleri, duvar gövde malzemeleri, çatı gövde malzemeleri, döşeme gövde malzemeleri, merdiven gövde malzemeleri, duvar kaplama malzemeleri, çatı kaplama malzemeleri, döşeme kaplama malzemeleri, merdiven kaplama malzemeleri, doğrama malzemeleri, birleştirme / bağlantı malzemeleri, süsleme / bezeme malzemeleri, tesisat malzemeleri, yalıtım malzemeleri ve dolgu malzemeleri olarak işlevlendirebiliriz.

Yapımda kullanılan malzemelerin malzeme özelliklerinin bilinmesi, tasarım aşamasından başlayarak yapım aşaması, kullanım aşaması, bakım-onarım aşaması ve geri dönüşüm aşamalarında bina yaşam döngüsü boyunca önemlidir. Malzeme özellikleri, malzemelerin birbirleri ile, diğer malzeme ve sistemlerle bir araya gelişlerini, kısaca uygulama yöntemlerini de belirlemektedir.

2.2.3 Araç

Yapım araçları yapımda yer alan iş, imalat ve inşaatın yürütülmesinde kullanılan el aletleri ve iş makineleridir. El aletleri daha küçük kapsamlı, az karmaşık yapım işlerinde kullanılan, harcanan zamanı ve emeği azaltarak işin kalitesinin artmasında önemli rol oynayan, kas gücü (kol gücü) ile veya enerji kaynağı ile çalışan aletlerdir.

Kol gücü ile çalışan el aletleri kullanma amaçlarına göre listelenmiştir:

- Kesme aletleri: Seramik, granit kesme aletleri, karo, tuğla, kiremit, gazbeton blok kesme aleti, demir kesme makası, testere, kesme kateri

¹² Akrilonitril Bütadien Stiren; kalıp yolu ile üretilen ürünlerde çok yaygın olarak kullanılan çok dayanıklı bir polimerdir.

- Sökme, çıkartma aletleri: Keser, keski, sökü demiri, boru kesme aparatı, kerpeten, anahtar, kurbağacık, tornavida, pense, levye
- Kırma aletleri: Balyoz, keser
- Yontma aletleri: Keski, yontma çekici, skarpela, keser
- Delme aletleri: Granit, seramik, tuğla delme pançları, kanal kateri
- Bükme aletleri: Kerpeten, kurbağacık
- Sıkıştırma aletleri: Anahtar, tornavida, kurbağacık, mengene ve işkenceler, çekirmeler
- Düzeltilme aletleri: Derz malası, seramik malası, sıva malası, mantolama malası, epoksi zımpara malası, dil malası, tamir malası, derz tabancası, derz temizleyicisi, fayans tıraşı, levha rendesi, çırpı ipi, duvarcı ipi, derz artışı, master, ıspatula, çapak alma ve raspalama setleri, torna tırtırları ve katerleri
- Sürme aletleri: Fırça, rulo, mala
- Yerleştirme, tespit aletleri (vurucu aletler): Çekiç, tokmak, balyoz
- Karıştırma aletleri: Alçı, boya ve harç karıştırıcı, kürek, el mikseri
- Ayrıcı ve süzücü aletler: Elek, filtre
- Taşıma aletleri: Hortum (suyun taşınması), kürek, el arabası
- Ölçme aletleri: Çelik metre, master, su terazisi, şakul, mikrometre, kumpas, komparatör, mihengir, sirkometre, dinamometre, gönye, lazerli uzaklık ölçer, lazerli eğim ölçer, dijital ölçüm aletleri, markalama sistemleri, tork anahtarı
- Destekleyici ve yardımcı araçlar: Payanda, kuşaklama, iskele, iş masası, merdiven

Pek çok el aleti birden fazla kullanım amacına sahiptir. Örneğin, donatı telinin kerpeten ile bükülmesi, büküldükten sonra yine kerpeten ile kesilmesi; anahtar ile birleşimin sıkıştırılması, sıkıştırılan birleşimin sökülmesi vb.

Yapımda kullanılan el aletlerinin bir bölümü enerji kaynağı ile çalışan el aletleridir. Enerji kaynağı ile çalışan el aletlerini:

- Matkaplar ve vidalama makineleri
- Çivi çakma makineleri

- Somun sıkma makineleri, darbeli somun sıkma makinesi
- Mıknatıslı delme sehpası
- Diş açma makinesi
- Mikserler
- Kırıcı ve deliciler
- Planyalar
- Elektro tilki kuyruğu testeresi, hassas kesme testeresi, daire testereler, deкупaj testeresi
- Beton taşıyıcılar, taşlama makineleri, bileyciler
- Beton vibratörü
- Zımpara makineleri
- Saç kesme makineleri, ahşap kesme makinesi
- Germe ve çekme makinesi
- Tıraşlama freze
- Presli kalıplar
- Lehim tabancası vd.

olarak sıralayabiliriz.

İnşaat yerinin hafriyatı, sıkıştırılması, malzemelerin taşınması, kaldırılması, hazırlanması vb. yapım işlerinde *iş makineleri* kullanılır.

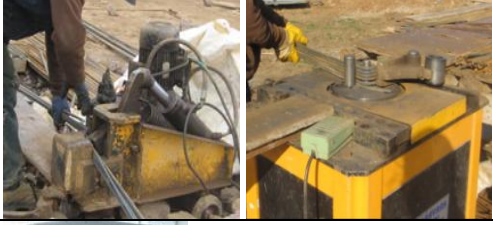
Yapım araçları, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Birim Fiyat Kitabı'nda, "İnşaat Makine ve Araçları" başlığı altında 03 numaralı tabloda yer almaktadır [15].

İş makinelerini yapım işlerine göre altı temel başlık altında sınıflandırabiliriz: i) hafriyat makineleri, ii) sıkıştırma makineleri, iii) kırma / eleme / yıkama araç ve tesisleri, iv) beton hazırlık ve uygulama makineleri, v) kaldırma makineleri, vi) diğer amaçlı makineler.

İnşaat Makine ve Araçları listesi ile yukarıdaki genel sınıflandırma bir araya getirilerek hazırlanan inşaat makineleri için Şekil 2.15 ve Şekil 2.16'da örnekler sunulmaktadır.

DELİCİ/KAZICI MAKİNELER		
		Eksvatör ve dragline tipi makineler Motor greyder Kompresör Temel sondaj makinesi
YÜKLEME MAKİNELERİ		
		Eksvatör ve dragline Traskavatör (yükleyici) Loder
TAŞIMA MAKİNELERİ		
		Traktör buldozer Traktör skreyper Traktör ripper Damperli kamyon Lastik tekerlekli traktör
SIKIŞTIRMA MAKİNELERİ		
		Motorlu kompaktör (titreşimli darbeli) Titreşimli silindir Komple keçi ayağı silindir Demir merdaneli silindir Lastik tekerlekli silindir (kendinden yürür) Çekilir tip lastik tekerlekli silindir
KIRMA/ELEME/YIKAMA MAKİNE VE TESİSLERİ		
		Taş kırma makinesi Eleme makinesi Küçük eleme tesisi Büyük eleme tesisi Yıkama tesisi Agrega serme makinesi Agrega yıkama makinesi
BETON HAZIRLIK/UYGULAMA		
		Otomatik beton santrali Transmikser Beton pompası Mikser
KALDIRMA MAKİNELERİ		
		Kule vinç, mobil vinç, teleskopik vinç, portal vinç Maçuna (kömürlü yüzer vinç) Bardör (köprü vinç) Forklift Asansör Makara

Şekil 2.15: İnşaat makineleri.

DİĞER AMAÇLI MAKİNELER	
	Derz kesme makinesi
	Demir kesme makinesi Demir bükme makinesi
	Freze tezgahı
	Bileme makinesi
	Beton, harç karıştırıcısı Beton pompalayıcısı
	Beton boşaltma makinesi Beton tesviye makinesi (helikopter)
	Püskürtme beton (shotcrete) kompresörü
	Kaynak makinesi

Şekil 2.16: Diğer amaçlı inşaat makineleri.

Doğrudan yapım işine katılmayan ancak şantiyede yapımın gerçekleşmesi için su, elektrik vb. kaynakların sağlanması amacıyla kullanılan araçları da yapım çalışmalarının yürütülmesinde yardımcı araçlar olarak ele alabiliriz¹³.

2.3 Yerinde Yapım Teknikleri

Foster (1996), binayı insanın birincil fiziksel gereksinimleriyle birlikte duygusal ve sosyal gereksinimlerini karşılamak üzere kurulu bir kabuk olarak tanımlamakta, tüm gereksinimlerin karşılanmasını bina teknolojisi ve yapım teknikleri ile ilişkilendirmektedir. Binalar yukarıda sayılan gereksinimleri, başarılı tasarımın yanı sıra etkin bir yapım ile yerine getirebilecektir [16]. Chudley ve Greeno (1999), yapım alanını fabrika olarak tanımlayarak bina yapımını geçici bir fabrika ile gerçekleştirilen üretim olarak ele almışlardır [17].

Bina elde etme, bina kurma eylemi yapım olarak tanımlanmaktadır. Bina olarak adlandırılan sonuç ürünün ortaya çıkması / oluşması için uygulanan ve yararlanılan teknikleri / yöntemleri, eylemleri ve süreçleri kapsar. Malzeme, araç, işçilik, proje, finansman, bilgi, iletişim, yönetim ve çevresel etmen girdileri ile bina elde etmeye yönelik üretim sürecidir. Bina bir üründür. Yapım ise belirli bir süreçte ürünü ortaya çıkaran eylemler ve eylemler arası ilişkilerdir.

Yerli ve yabancı kaynaklarda yer alan tanımlardan yola çıkarak yapım tekniği:

- Sistemin gerçekleşmesini sağlayan farklı malzeme, teknik gereksinimler ile süreçlerini kullanarak çeşitli biçimlerde binaları inşa etme yolları
- Kullanılan teknik, malzeme, kullanıcı istek ve gereksinimleri, maliyet ve tasarımcının tercihleri doğrultusunda gelişen, birtakım girdileri ürüne dönüştürmeyi sağlayan yöntemlerin tümü

olarak tanımlanabilir [2].

Endüstri Devrimi ile birlikte yeni malzemelerin, yeni tekniklerin ortaya çıkması ve aynı zamanda artan kullanıcı gereksinimleri ile yapım tekniklerinde çeşitlilik görülmeye başlanmıştır. Chandler (1987), bina teknolojilerinin toplumdan

¹³ Özkan (1976), yapımda kullanılan iş araçlarını şantiyede gerçekleşen tüm yapım işlerine göre “Tablo 5.08 Araçlar Fesatası” başlığı altında, “güç ve kaynak sağlama araçları” sınıfına dahil etmiştir [1].

soyutlanamayacağını vurgulamaktadır [18]. Değişen ve gelişen teknoloji ile birlikte yapım tekniklerinin olumlu yönleri korunarak ilerlemiş, tespit edilen olumsuz yönleri giderilerek yeni teknolojiler üretilmiştir.

Yapım teknikleri, yerinde yapım ve ön üretimli yapım olarak iki ana grup altında incelenmektedir. Sadece yapım eylemlerinin gerçekleştiği yere bağlı olarak yapılan bir ayırım değil, aynı zamanda yapım teknolojisi, endüstrileşme ve prefabrikasyon düzeyi ile yakından ilgili üretim yöntemidir.

Yerinde yapım çeşitli düzeylerde bitmişliği olan malzeme, bileşen ve sistemlerle tüm yapım işlerinin şantiyede diğer bir deyişle binanın inşa edileceği yerde gerçekleştirilmesidir. Yapı bileşeni veya yapı elemanının üretilceği yerden farklı bir yerde, fabrika, atölye veya şantiyenin herhangi bir yerinde üretildiği, sadece montajının yapım yerinde gerçekleştiği yapım ise ön üretimli yapım (prefabrikasyon)dır. Bir bölümü ön üretimli bileşen / eleman ve sistemler ile bir bölümü yerinde üretim olmak üzere her iki yapım tekniği (ön üretim + yerinde yapım) birlikte de uygulanabilir.

Yerinde yapım çevresel malzemelerle, sınırlı sayıda hazır bileşene, çoğunlukla yerinde üretime dayanan, el emeğinin yoğun olduğu yapım yöntemlerinin karakterize ettiği sistemlerdir. Nitelikli iş gücü oranı oldukça yüksektir. İşçilik kalitesinin uygulama kalitesi üzerinde büyük etkisi vardır. Üretimin önemli bir bölümü şantiyede, yapım yerinde gerçekleşir.

Yerinde yapımı yapım işlerinin yerine getirilmesinde etkin yöntemlerin kullanıldığı, endüstrileşme seviyesinin yüksek olduğu, şantiyede yapımın en aza indirildiği (sadece montaj aşamasının şantiyede gerçekleştirilmesi) ön üretimli yapımdan ayıran belirgin yapım özellikleri bulunmaktadır:

- Tek defalık üretim olması
- Belirli seviyede bitmişlik düzeyine sahip malzeme ve sistemler ile tüm yapımın, yapım yerinde gerçekleşmesi
- Emek yoğun uygulamalar, kol gücü ağırlıklı araçlar ile endüstrileşmenin belirli düzeyde kullanılması
- Endüstrileşme düzeyinde standardizasyon yapılamaması
- Süreçte kalite kontrol güçlüğü

Yukarıdaki yapım özelliklerine bağlı olarak, yerinde yapım tekniklerinin olumlu yönleri korunarak sürdürülmeli, diğer taraftan tespit edilen olumsuzlukların giderilmesi için çalışılmalıdır.

Yerinde yapım teknikleri ile yüzyıllardır kullanılarak günümüze ulaşan geleneksel yapımın olumlu yönleri korunmalı ve günümüz koşullarına uyarlanmalıdır. Yerinde yapım tekniklerinde malzeme ve araç teknolojisinde yapılan gelişmeler üzerinde ise çalışılması gerekliliği vardır.

İnsanların barınma gereksinimi ile başlayarak zaman içerisinde çevresel etkiler ve yaşam koşullarına bağlı olarak artan, değişen istek ve gereksinimlerin karşılanmasına yönelik olarak teknolojik gelişmelere dayalı, değişik bakış açıları ile farklı kişiler tarafından yapım teknikleri sınıflandırmaları yapılmıştır.

Yapılan sınıflandırmaların genel özelliği, yapı üretim sistemi veya bazı değişkenlerine belirli bir bakış açısı üzerinden tümü kapsayan bir açıklık getirmesidir. Buna karşılık tümün tek açıdan incelenmesi, sınıflandırmaların kısır yönüdür. Birçok yaklaşımda bu eksikliğin giderilmesi amacıyla sınıflandırma kuramına aykırı olarak, sınıflandırmanın kapsadığı alanın dışındaki bilgiler de kapsam içine alınmaktadır [1].

Farklı bakış açılarından yararlanarak yerli ve yabancı kaynaklarda yapılan sınıflandırmaları göz önüne alarak yapım teknikleri [1, 16, 19, 20]:

- Gelenekselden çağdaşa uygulanan tekniklere
- Taşıyıcı sisteme
- Yapımda kullanılan temel malzemeye
- Malzeme ve sistemlerin bir araya getirilme yöntemine
- Yapımda kullanılan ürünlerin bitmişlik düzeyine
- Üretimde yer alan işlemlere
- Üretimin büyüklüğüne
- Sistemin pazarlama şekline
- Yapımın gerçekleştiği yere

göre sınıflandırılmıştır.

Tez çalışması yapım yerinde, yapımın gerçekleşmesini esas aldığından tez kapsamında yerinde yapım teknikleri, uygulama yöntemlerine göre diğer bir deyişle malzeme ve sistemlerin bir araya getirilme yöntemlerine göre ele alınmaktadır. Açıklanan uygulamalar, yerli kaynaklardan [2, 3, 4, 6, 7, 8], ağırlıklı olarak İTÜ Mimarlık Bölümü “Yapı ve Yapım Yöntemleri” ve “Building Construction Methods” dersleri kapsamında davet edilen firmalar tarafından uygulanan yapıların gözlemlerinden (2007 - 2011) ve İstanbul ilinde yapılan şantiye gözlemlerinden (2007 - 2012) edinilen bilgiler ışığında sunulmuştur.

Yapım işi, malzeme ve sistemlerin çeşitli tekniklerle bir araya getirilmesi sonucunda gerçekleşir. Malzeme ve sistemlerin bir araya getirilme yöntemlerini en genel anlamda yerinde biçim oluşturan malzeme ve sistemlerin uygulanması ile önceden biçim verilmiş malzeme ve sistemlerin uygulanması olmak üzere iki grup altında inceleyebiliriz (Altun, M. C. “Yapı ve Yapım Yöntemleri” ders notları¹⁴, 2004).

2.3.1 Yerinde biçim oluşturan malzeme ve sistemlerin uygulanması

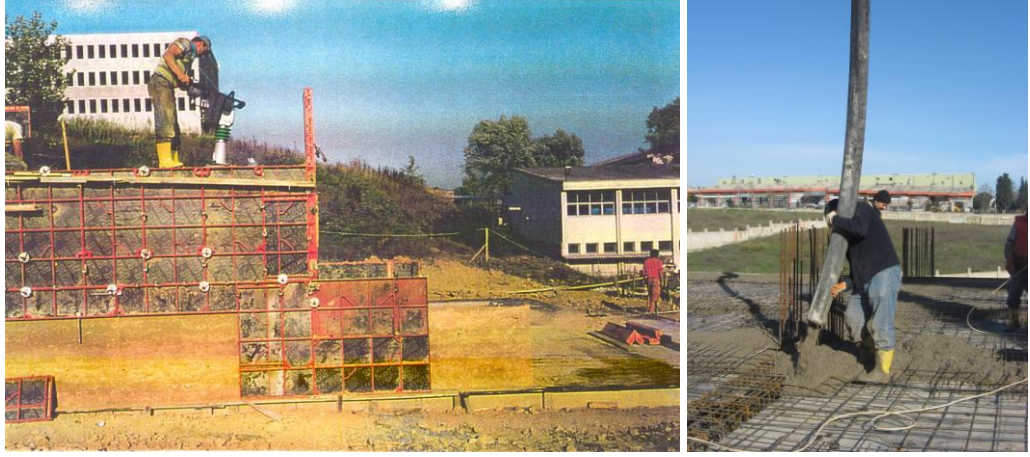
Yerinde biçim oluşturan malzemeler ve sistemler, sıvı / kıvamlı malzemeler ve sistemlerdir. Yüzeye sürülerek, yüzeye püskürtülerek ya da kalıp içerisine dökülerek uygulanırlar. Sıva, mala ile (Şekil 2.17); boya, bitüm emülsiyon, astar, rulo ya da fırça ile; epoksi, rulo ya da fırça ile yüzeye sürülür.



Şekil 2.17: Alçı sıvanın mala ile duvar yüzeyine sürülmesi.

Sıva ve beton yüzeye püskürtülerek (shotcrete tekniği) de uygulanır. Bir diğer uygulama yöntemi, betonun ve alkerin kurulan kalıp içine dökülmesi uygulamasıdır (Şekil 2.18).

¹⁴ İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Mimarlıkta Yapı ve Yapım Teknolojileri Çalışma Grubu.



Şekil 2.18: (a) Kalıp içine dökülen alkerin sıkıştırılması [9]. (b) Betonun kalıp içine dökülmesi.

2.3.2 Önceden biçim verilmiş malzeme ve sistemlerin uygulanması

Önceden biçim verilmiş malzemeler ve sistemler, katı malzemeler ve sistemlerdir. Serbest olarak uygulanır veya birleşim yöntemi ile tespit edilir. Serbest uygulama, yüzeye serbest serme / dökme yöntemi ile veya iki eleman arasına dökme / doldurma yöntemi ile gerçekleşir.

Cam yünü yalıtım malzemesinin betonarme döşeme üzerine serilmesi, düzeltilmiş ve sıkıştırılmış zemin üzerine blokaj uygulaması, teras çatı üzeri çakıl kaplama uygulaması, grobeton dökülmeden önce sıkıştırılmış zemin üzerine yüksek yoğunluklu polietilen su ve nem yalıtım örtüsü uygulaması vb. malzemenin serbest olarak serilmesi veya dökülmesi uygulamasıdır (Şekil 2.19). Diğer bir serbest uygulama yöntemi döşeme, çatı ve dış duvarlarda iki eleman arası boşluğa diğer malzemenin dökülmesi veya doldurulması uygulamasıdır.



Şekil 2.19: (a) Polietilen su yalıtım örtüsünün yüzeye serbest serilmesi. (b) Çakılın sıkıştırılmış zemin üzerine serbest dökülmesi.

Önceden biçim verilmiş malzemeler ve sistemler:

- Yerinde birleşim
- Hazır bağlantı parçaları ile birleşim
- Geçme sistem ile birleşim

olarak üç farklı birleşim yöntemi ile uygulanır.

2.3.2.1 Yerinde birleşim

Yapım yerinde gerçekleştirilen ıslak veya kuru birleşimlerdir. Uygulamadan sonra tekrar sökülemeyen, ayrılmayan sabit birleşimler elde edilir. Yerinde birleşim uygulamaları aşağıda sıralanmaktadır:

- Harç ile birleşim
- Tutkal ile birleşim
- Kenetleme ile birleşim
- Lehim ile birleşim
- Kaynak ile birleşim
- Şalümo alevi ile birleşim

Harç ile birleşim

Tuğla, bims blok, beton blok vb. yapı malzemelerinin çimento harç veya özel harç ile örülmesi; seramik, granit, mermer gibi kaplama malzemelerinin harç ile duvar, döşeme ve merdiven yüzeylerine yapıştırılması; sert levha halindeki (EPS levha, XPS levha vb.) ısı yalıtım malzemelerinin harç ile duvar, çatı ve döşeme yüzeylerine yapıştırılması uygulamalarıdır (Şekil 2.20).



Şekil 2.20: Harç ile bims blok ve seramik karo uygulaması [2].

Harcın özelliklerini artırmak amacıyla gerek görüldüğü durumlarda akrilik emülsiyonlar, epoksi emülsiyonlar katkı maddesi olarak harcın bileşimine katılır.

Tutkal ile birleşim

Tutkal, aynı ya da ayrı cins iki malzemeyi adezyon yoluyla birbirine yapıştırmak için kullanılan yapıştırıcıdır. Tutkal yüzeye iyice yayılmalı ve yüzeyi ıslatmalıdır. Tek bileşenli [PVA - polivinil asetat tutkalı, PU - poliüretan tutkalı, siyano akrilat tutkalı (Japon tutkalı), PS - polistren tutkalı ve selülozik tutkal] ve çift bileşenli (UF - üre formaldehit, epoksi, tanin reçine, polyester reçine vb.) polimer tutkallar kullanılmaktadır [4].

Kenetleme ile birleşim

Saç ve benzeri metallerin el ile veya makinede katlanarak birleştirilmesi, kenetleme uygulamasıdır. Klipsler ile alt yüzeye sabitlenen, uçlarından profillendirilmiş metal levhalar, profilleri ile birbirine geçirilir, sıkıştırılarak kenetlenir (Şekil 2.21).

Tek kenet, çift kenet, özel kenet olarak üç farklı şekilde uygulanır. Birleştirilecek kenarlardan biri 180° katlanıp diğer kenar 90° bükülerek birbirinin içine geçirilip sıkıştırılması, tek kenet; tek kenedin yeterli olmadığı durumlarda kenet yerinin çift katlanması, çift kenet; gerekli hallerde ise özel detaylar ile özel kenet uygulaması gerçekleşir [21].

Metal yüzey delinmeden montaj gerçekleşir, kenetli birleşim sayesinde su sızdırmazlığı sağlanmış olur.



Şekil 2.21: Kenetleme ile metal çatı kaplama levha uygulaması [2].

Lehim ile birleşim

Kurşun ve kalay alaşımının ısı enerjisi yardımıyla erimesi yolu ile ana metal ile ilave metale akıtılması uygulamasıdır. %36 kurşun, %67 kalay alaşımı yumuşak lehimdir (adi lehim). Basınca dayanıklı hale getirmek için alaşıma antimon, bakır bazen de çinko katılır ve sert lehim adını alır. Birbirinden farklı ergime sıcaklıklarına sahip metallerin kaynak yerine lehim ile birleştirilmesi daha uygun bir seçimdir. Yapıda bakır tesisat borularının bağlanmasında ve çinko tenekeçilik işlerinde yaygın kullanıma sahiptir.

Lehimlenecek metal yüzeyler boya, pas ve yağdan temizlenmelidir. Lehimlenecek parçalar büyük boyutlu ise uygulama öncesinde ısıtılmalıdır [9]. Lehimleme işlemi el aletleri ile (havya veya lehim tabancası) yapım yerinde veya otomatik makinelerle bir üretim bandında seri olarak yapılır (Şekil 2.22).



Şekil 2.22: Bakır boru lehimleme uygulaması [22].

Kaynak ile birleşim

Aynı veya benzer alaşımlı metallerin ısı etkisi altında birleştirilmesi işlemidir. Ergitme ve basınç kaynağı olarak iki ayrı teknik ile uygulanmaktadır [23]. Metallerin ergime noktasına kadar ısı derecesinin yükseltilmesi ile yapılan kaynak, ergitme kaynağıdır. Isı derecesi, metallerde plastik kıvam seviyesinde kalmış ise kaynak türü basınç kaynağıdır. Ergitme kaynağında ısı kaynağı olarak elektrik arkı kaynağı veya oksijen kaynağı kullanılır. Elektrik arkı, birleştirilecek parçaların oluşturduğu esas malzeme ile elektrot arasında gerçekleşir (Şekil 2.23). Elektrik arkı kaynağı olarak elektrot yerine özlü teller de kullanılabilir. Basınç kaynağı yönteminde, birleştirilecek parçaları oluşturan metal, elektrik akımına gösterdiği direnç ile kızıl dereceye kadar ısınarak plastik kıvama gelir ve ısınan parçalar uygulanan basınç ile birbirine kaynayarak birleşir.



Şekil 2.23: Kaynaklı çelik profil birleşimleri.

Şalümo alevi ile birleşim

Düşey ve yatay yüzeylerde, su yalıtım örtülerinin polietilen film kaplı yüzeylerinin şalümo alevi ile ısıtılarak hem alt yüzeyle (beton, betonarme) hem de birbirleriyle birleştirilmesi uygulamasıdır (Şekil 2.24). Şalümo alevi ile ısıtılarak erime kıvamına geçen yüzeyin üzerinden mala ile bastırılarak yüzeye iyice yapışması sağlanır. Yapışmanın sağlanamaması durumunda şalümo alevi ile tekrar ısıtma işleminden önce membranın soğuması beklenmelidir.



Şekil 2.24: Duvar, çatı ve zemine oturan döşemede şalümo alevi uygulaması.

2.3.2.2 Hazır bağlantı parçaları ile birleşim

Belirli formları ve boyutları olan parçalarla gerçekleştirilen mekanik birleşimlerdir. Kullanılan birleşim tekniğine göre sabit veya sökülebilir birleşim elde edilir.

Yapımda kullanılan hazır bağlantı parçaları:

- Tel
- Çivi
- Vida

- Civata / somun
- Perçin
- Kenet
- Plaka çivi
- Kama

Tel ile birleşim

Birden fazla malzemenin kerpeten kullanılarak tel ile bükülerek birleştirilmesi uygulamasıdır. Donatı demirlerinin birbirleri ile bağlanması en yaygın tel ile birleşim uygulama örneğidir (Şekil 2.25).



Şekil 2.25: Donatı demirlerinin tel ile birleşimi.

Çivi ile birleşim

Kullanım amacına göre değişik başlık, çap ve boyda üretilen çiviler farklı malzemelerin tespitinde kullanılır (Şekil 2.26). Ahşap elemanı betona tespit için çelikten beton çivisi, camın ahşap pencere doğramasına tespitinde ince ve başsız cam çivisi, beton dökümü için kalıp yapımında kolay sökülebilen çift başlı çivi, çok daha kuvvetli bir tespit gerektiğinde dönerek ilerleyen burgulu çivi, çivi başının görünmemesi istenildiğinde tel çivi, çatı kaplama uygulamalarında şapkalı (contalı) çatı kaplama çivisi kullanılmaktadır. Genellikle yüksek karbonlu demirden yapılan çiviler yüksek dayanım ve sertlik gerektiren uygulamalarda, düşük karbonlu demirden yapılan çiviler ise düşük dayanım gerektiren ahşap birleşimlerde kullanılır. Korozyona karşı galvanize demir, bakır ve alüminyum çiviler kullanılmalıdır [4].



Şekil 2.26: Ahşabın ahşap ve betonarme yüzey ile çivili birleşimi.

Zımba ile su yalıtım örtülerinin alt yüzeye birleşimi de basınç uygulayarak yapılan bir diğer uygulamadır (Şekil 2.27).



Şekil 2.27: (a) Kiremit altı su yalıtım örtüsünün zımba ile yüzeye tespiti [24].
(b) Metal çatı kaplama altı buhar dengeleyicinin zımba ile tespiti.

Vida ile birleşim

Silindirik gövdeleri özel profil dişlerle şekillendirilmiş, tahrip etmeden sökülebilir birleşim tekniğidir (Şekil 2.28). Gerekli hallerde vidanın sağlam tutturulması için duvar, tavan, panel, kirişlerde matkap ile delik açılıp dübel yerleştirildikten sonra vida uygulaması yapılır.



Şekil 2.28: Seramik cephe kaplama ve metal çatı kaplama levhasının vida ile tespiti.

Civata / somun ile birleşim

Ahşap / ahşap, metal / metal, ahşap / metal, ahşap / beton (ankraj bulonu), metal / beton (ankraj bulonu) birleşimlerinde kullanılan sökülebilir birleşim tekniğidir. Kullanım yerine bağlı şekil ve malzemeden seçilir. Altıgen başlıklı, kısmen veya tamamen dişli silindirik gövde (civata), civatanın ucuna geçirilen yivli parça (somon) ve somun sıkıştırılmadan önce yerleştirilen puldan (rondela) oluşur. Birleştirilecek elemanların üzerinde çap, sayı ve yeri hesaplarla belirlenmiş olan civata delikleri fabrika veya atölyede açılır. Uygulama sırasında birleştirilecek olan parçalarda açılan delikler çakıştırılır ve civata deliğe yerleştirilir. Civatanın açıkta kalan ucuna pul, sonrasında somun yerleştirilerek sıkılır. Çekme kuvveti değerine göre gerekli durumlarda somun sayısı birden fazla olabilir. Çelik taşıyıcı sistem iskelet yapımında, kolon birleşimlerinde, kiriş birleşimlerinde, kolon-kiriş birleşimlerinde yaygın olarak kullanılır (Şekil 2.29).



Şekil 2.29: Civata / somun ile kolon - kiriş birleşimi ve ankraj bulonu ile radyetemel - kolon birleşimi.

Perçin ile birleşim

Bir tarafından yuvarlak veya gömme başlıklı çelik silindirik gövdeden oluşmaktadır. Birleştirilecek olan parçalar arası delikten geçirilip, başlıksız tarafının dövülmesi ile oluşturulan perçin başı ile sökülemeyen bir birleşim elde edilir. Özel bir çekiç veya perçin tabancası ile uygulanır. Kaynak tekniğinin gelişmesi sonucunda perçinin kullanım alanları azalmış olsa da kaynaklanamayan metallerin birleşiminde kullanılmaktadır. Çelik taşıyıcı sistem iskelet yapımında, kolon birleşimlerinde, kiriş birleşimlerinde, kolon-kiriş birleşimlerinde, hafif çelik iç bölme sistem galvanizli U ve C çelik profil birleşimlerinde, çelik levha - ahşap eleman birleşimlerinde kullanılmaktadır.

Kenet ile birleşim

Kagir yapı malzemelerinin birbirine bağlanması ve tespitinde kullanılan metal birleşim elemanlarıdır (Şekil 2.30). Masif bir duvara doğal veya yapay taş bağlantısında, hava tabakalı duvarların birbirine bağlanmasında, plaka halindeki büyük kaplamaların duvar gövdesine bağlanmasında ve asılmasında, eski binalarda taş kornişlerin duvar gövdesine bağlantısında kullanılır. Çimento harcı ya da epoksi, polyester gibi kuvvetli yapıştırıcılar ile kenetler tespit edilir [4].



Şekil 2.30: Beton blok gövde ve beton blok kaplamanın tel kenet ile birleşimi.

Plaka çivi ile birleşim

Metal bir plakanın kesilmesi, kesilen parçaların döndürülerek çivi haline getirilmesi ile oluşturulan sabit birleşim tekniğidir. Çivileri plakaya göre tek taraflı olanlar, ahşap birleşimlerin her iki yüzünde; çivileri plakaya göre iki taraflı olanlar, birleştirilecek olan elemanlar arasında preslenerek kullanılır [4].

Kama ile birleşim

Ahşap elemanları birleştirmek veya sıkıştırmak için kullanılan konik ahşap takozlar veya özel metal parçalardır. Özellikle ahşap kafes sistemlerdeki ek ve düğüm noktalarında çekme, basınç kuvvetlerinin iletilmesinde, kamanın kendisi kesme kuvveti olarak bağlama görevini yerine getirir. Kamalı birleşimlerde her ahşap ya da metal kamanın ileteceği yük belirli olduğundan, gelen yükün bir kamanın taşıyacağı yüke bölünmesiyle kama sayısı bulunur. Ahşabın cinsine ve niteliğine göre kama aralıkları belirlenir. Ahşap kamalarda, kama kesitinin yarısı ahşap elemanın birisine, diğer yarısı diğer ahşap elemana oturtulur ve blonlanarak sıkıştırılır. Metal kamalarda yuva açılmasına gerek yoktur. Metal kama, birleştirilecek iki ahşap elemanın arasına presle sıkıştırılarak yerleştirilir [4].

2.3.2.3 Geçme sistem ile birleşim

Malzemeye negatif / pozitif biçim verilerek birleşim gerçekleştirilir. Ahşap elemanlarda yaygın kullanılan bir birleşim tekniğidir. Lamba - zıvanalı birleşim, kınışlı birleşim, çıtalı kınışlı birleşim, kavelalı birleşim ve kırlangıç tekniği ile birleşim en yaygın kullanılan geçmeli birleşim teknikleridir. Birleşimden önce tutkal sürülmesi veya birleşimden sonra çivi, vida uygulaması ile ek birleşimler de yapılabilir. Döşemelerde ve çatılarda XPS ısı yalıtım levhalarının geçmeli sistem ile serbest döşenmesi de yaygın bir uygulamadır (Şekil 2.31).



Şekil 2.31: Geçme sistem ile limon kiriş - basamak ve XPS ısı yalıtım levhalarının birleşimi.

2.4 Yapım Sürecinde Problemler

Yapım süreci, pek çok ülkede araştırma projelerinin ve programlarının hedefi olmaya başlamıştır. Amaç, yapım sürecinde iyileştirmeyi ve beraberinde yapımda rekabetçiliği artırmaktır. Pek çok araştırmacı, yapım sektöründeki yenilik seviyesinin düşük düzeyde olduğu konusunda hem fikirdir. Aralarında etkili bir iletişim sağlanmadığı sürece tasarım ve yapımın birbirinden ayrılması, sektörün proje temelli olmasının iletişimde problemlere yol açması, yapım sürecinde karşılaşılan başlıca sorunlardır. Yapım sürecinde problemlere yol açan özellikler aşağıda sıralanmaktadır [25]:

- Projelerdeki aktör sayısının çok olması
- Proje ekiplerinin değişmesi
- Süreçlerdeki katı ve kesin bölünmeler
- Sektörün iş yapılanması ve sözleşmeler

Problemlerin nasıl çözülebileceğine ilişkin yabancı kaynaklarda çeşitli düşünceler vardır. Bunlardan biri, farklı aktörler arasındaki iletişimin, işbirliğinin sağlanmasıdır. Diğer ise daha da önemli olup uzun dönem perspektifte yenilik yapma gereksinimine götürecek olan ileri teknoloji ve yeteneğe dayanan rekabetçiliğin uygulanmasıdır. Yükleniciler, malzeme tedarikçileri günümüzde yapım sürecinin daha çok içindedirler. Malzemelerin, ürünlerin, sistemlerin nasıl performans göstereceklerine ilişkin bilgiler sunulmasının, tasarımcılar için de yenilik çabalarını destekleyeceği belirtilmektedir [25].

Tez kapsamında 2007 - 2012 yılları arasında yapı elemanları ve yapı elemanları alt bileşenleri yapım süreçleri, yapım yerinde gözlemlenmiştir. Yapım uygulamasının gerçekleşmesini sağlayan işçilik, malzeme, araç girdileri ile yapım yerinde uygulanan yerinde yapım teknikleri izlenmiştir. Yapı elemanlarının, bina alt sistemlerinden biri olarak kendilerinden beklenen hedefleri yerine getirmeleri için kendilerinin ve alt bileşenlerinin belirli davranışları, diğer bir deyişle performansları göstermesi gereklidir. Taşıyıcılık performansı başta olmak üzere kullanıcılar için gerekli konfor koşullarının sağlanması amacıyla yapı elemanlarının yerine getirmek zorunda oldukları performans gereksinimlerini işlevsellik ile ilgili gereksinimler ve görsellik ile ilgili gereksinimler olarak iki grup altında sıralayabiliriz (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4: Yapı elemanlarından beklenen performans gereksinimleri [1 No’lu kaynaktan faydalanılmıştır].

PERFORMANS GEREKSİNİMLERİ
İŞLEVSELLİK İLE İLGİLİ GEREKSİNİMLER
▪Taşıyıcılık ile ilgili performans
▪Isıl performans
▪Su ve nem ile ilgili performans
▪Ses / işitsel konfor ile ilgili performans
▪Görsel konfor ile ilgili performans
▪Güneş ışınlamı ile ilgili performans
▪Hareketler ile ilgili performans
▪Dayanıklılık ile ilgili performans
▪Yangın ile ilgili performans
▪Elektrik ile ilgili performans
▪Hava kalitesi ile ilgili performans
▪Hava hareketi ile ilgili performans
▪Toz ve uçan şeylerin geçirimsizliği ile ilgili performans
▪Biyolojik etkilere dayanım ile ilgili performans
▪Hijyen ile ilgili performans
▪Ulaşım / sirkülasyon ile ilgili performans
▪Güvenlik ile ilgili performans
GÖRSELLİK İLE İLGİLİ GEREKSİNİMLER
▪Görsel etki / estetik ile ilgili performans
▪Görsel ilişki kurulması ile ilgili performans
▪Mahremiyet ile ilgili performans

Ürün olarak ortaya çıkan yapı elemanı performansı, yapım süreci performansının bir sonucudur. Sadece sonuç ürüne odaklanmak değil, ürünün elde edildiği yapım sürecinin, işçilik, malzeme, araç girdilerini kullanarak yapım uygulamaları ile ele alınması, çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

İşçilerin, malzemeleri gerekli yapım araçlarını kullanarak uygun teknik ve yöntemlerle bir araya getirmesi ile yapım eylemi gerçekleşir. İşçilik kalitesi, malzemeler ve malzemelerin kullanımı, araçların kullanımı, uygulanan yöntemler sürecin performansını ve sonuç ürün olan yapı elemanının performansını ortaya koymaktadır. İşçilik, malzeme ve araçların performansları, uygulamayı ve dolayısıyla yapımın performansını belirlemektedir. Yerinde yapım sürecinde işçilik, malzeme ve araç yapım girdilerinin analizi Ek B’de sunulmaktadır (Bk. s. 200).

İşçilik, malzeme ve araç performansları kendi içsel etmenlerinin yanı sıra çevresel etmenlerin de etkisi altındadır. Örneğin -5°C sıcaklık altında uygulama yapan işçinin performansı havanın düşük sıcaklığından etkilenecektir. Hava sıcaklığı ile birlikte işçinin el becerisi, deneyimi, kol gücü, yaşı, psikolojik durumu vb. işçilik performansını belirleyecektir. Malzeme performansı, malzemenin teknik özelliklerine bağlıdır. Malzemenin kalifiye işçilik ile uygulanması diğer bir deyişle işçilik kalitesi malzeme performansını ortaya koyacaktır. Araçların performansı kendi mekanik özelliklerine bağlıdır. Malzemede olduğu gibi araçların kullanımı da işçilik kalitesi ile doğrudan ilişkilidir. Araçların otomasyon seviyesine bağlı olarak karmaşıklık derecesinin artması, ilgili operatör tarafından kullanılmasını zorunlu kılmaktadır (Şekil 2.32).



Şekil 2.32: Beton pompa operatörü kontrolünde beton dökümü.

Beton dökümü sırasında beton pompa operatörünün mobil veya sabit beton pompa makinesini kullanma deneyimi, beton dökülürken beton pompasını tutan işçinin çalışmasını kolaylaştıracak, diğer taraftan pompanın kalıptan kalıba yer değiştirmesi sırasındaki durdurma ve başlatma komutu ile malzemenin etkin kullanımını sağlamış olacaktır.

İşçilik, malzeme ve araç performansı, performansları birbirlerine bağlı olan yapım girdileridir. Kaliteli bir malzeme, kalitesiz işçilik, yeterli olmayan araç kullanımı ile sağlanması gereken performansları yerine getiremeyecektir. Kaliteli malzemenin kalitesiz işçilik ile uygulanması, uygulama için gerekli araçların kullanılmaması, hızlı uygulamanın uygulama kalitesine etkisi, işçilik kalitesi ne kadar iyi olursa olsun kullanılan malzeme ve araçların özelliği vb. örnekler yapım uygulamalarının verimliliğini etkilemektedir. Ürün performansı, süreç performansının doğal sonucudur. İşçilik, malzeme, araç girdileri ile yapım süreci performansı ve ürün performansı ilişkisini bir yapım örneği ile açıklayacak olursak:

Betonarme perde duvar yapı elemanın üzerinde bitümlü su yalıtım örtüsü uygulamasını ele alalım. Yalıtım ustası, su yalıtım örtüsünü malzeme üzerinde işaretlenen ek yerlerinden bindirmeli olarak iki kat halinde uygulamalıdır. Yeterli miktardaki şalümo alevini, su yalıtım örtüsünün ek yerine yeterli sürede tutarak ısıttığı malzemeyi ilk kat uygulamasında temizlenmiş, çapaklarından arındırılmış betonarme yüzeye, ikinci kat uygulamada ilk kat su yalıtım örtüsü üzerine şaşırtmalı olarak yapıştıracak, mala ile üzerinden geçerek iyice yapışmasını sağlayacaktır. Alevi, su yalıtım örtüsü üzerine tutma süresi, su yalıtım örtüsünü ısıtma miktarı, malzemenin alttaki yüzeye ve birbirleriyle yapışarak birleşimini etkileyecektir. İşçinin alevi yoğun tutarak gereğinden fazla uygulaması durumunda malzeme gereğinden fazla ısınarak eriyecek, dayanımını kaybedecektir (Şekil 2.33).

İşçilik, malzeme ve araç kalitesinin yüksek olması durumunda uygulama kalitesi de artacaktır. Malzemenin etkin kullanılması ile maliyet planlamasına uyulmuş olunacak, hatalı uygulama durumundaysa malzeme kaybı ile malzeme maliyeti artmış olacaktır. Uygulamanın planlanan sürede bitirilmemesi durumunda, iş planının dışına çıkmış olacak ve de işçilik maliyeti artacaktır. Yapım hızı arttığında ise işçilik kalitesinden ödün verilmeden uygulamanın gerçekleştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.33: Hatalı ve doğru işçilik ile bitümlü su yalıtım örtüsü uygulaması.

Baytop'un 2001 yılında yayınlanan, iki buçuk yıllık şantiye gezilerinde yaptığı gözlemlerini derlediği "İnşaat Uygulamalarında Yanlışlar Doğrular" adlı kitabında yurt içi ve yurt dışındaki farklı yapım işlerinde tespit ettiği hatalar yer almaktadır [26]. İşçilik, malzeme ve araç kaynaklı olma durumuna göre yapım hataları incelendiğinde kitapta yer alan yapım hatalarının:

- %52'si işçilik
- %38'i malzeme
- %10'u araç

kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

Ashford (1989), yapım yerinde gerçekleştirilen yapım işlerinin kalite yönetiminin üç aşamada gerçekleştirildiğini belirtmektedir [27]:

- Ne yapılacağının planlanması
- İşin yerine getirilmesi
- İşin planlanan şekilde gerçekleştirildiğinin kontrolü ve onaylanması

İnşaat süreci boyunca uluslararası standartlara, kodlara, şartnamelere uygun malzemeler ve ekipmanlar, konusunda uzman personel tarafından kullanılır, monte edilir ve bakımı yapılırsa süreç sonunda ortaya çıkan ürün de istenilen kalitede olacaktır.

Ülkemizde, mal veya hizmet alımları ile yapım işlerinin ihaleleri 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu'na göre yürütülmektedir. Yapılan ihaleler sonucunda hazırlanan

sözleşmelere, sözleşmelerin yapılması ve uygulanmasında uyulacak şartları belirleyen teknik ve idari şartnamelere uyulması esastır [28].

Yapım işlerine yönelik şartnamelerin, el kitaplarının, iş talimatlarının hazırlanması, yapımda uygulanmasının sağlanması, kalite raporları ve şartnameler ile kalite yönetiminin sağlanması açısından çok önemlidir.

Ülkemizde, her yıla ait yapım işlerinin birim fiyatlarının tespitinde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı tarafından hazırlanan İnşaat Birim Fiyat Analizleri kitabı kullanılmaktadır [6, 7, 15]. İnşaat birim fiyatlarının tespiti yönünden ortalama bir değer mahiyetinde olup, kesin bir ücret veya fiyat niteliğinde değildir. Yapım işleri poz numaraları ile işçilik, malzeme, araç tanımlarına göre birim fiyat üzerinden ücretlendirilmekte ve yapım işinin uygulaması tanımlanmaktadır. Ancak, yapım yerinde gerçekleştirilen her tür uygulamaya yanıt vermesi konusunda ve teknolojik gelişmelere bağlı güncellemelerin yapılması konusunda yetersiz kalmaktadır.

Yapım mimari ürün olan binanın elde edilmesine yönelik eylemler, işlemler ve aralarındaki ilişkiler bütünüdür. 5 yıl süren yerinde yapım gözlem çalışmalarından da edinilen tespitler ile yapım sürecinde meydana gelen problemleri:

- İşçilik
- Malzeme
- Araç
- Uygulama
- Çevresel etmen
- Proje
- Finansman
- Bilgi / teknoloji
- Program
- İletişim
- Yönetim
- Kontrol / denetim

kaynaklı problemler olarak ele alabiliriz. İşçilik, malzeme, araç ve uygulama kaynaklı problemler, diğer faktörlerin etkisi altında olmakla birlikte doğrudan üretimin gerçekleşmesine yönelik problemlerdir.

Yukarıda sıralanan faktörlerden sadece biri veya birden fazlasının bir araya gelmesi sonucunda yapım sürecinde olumsuzluklar ortaya çıkmakta; kalite, süre, maliyet olarak yapımı ve dolayısıyla yapım verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

Yapım uygulamalarında olumsuzluklar varsa tespit edilmeli ve giderilmelidir Yapım sürecindeki olumsuzluklar çalışma kapsamında problem olarak ele alınmaktadır. Problemin tespit edilip giderilmesi sonucunda, mevcut yapım iyileştirilecek ve hatta geliştirilecek, sonuç olarak mevcut yapımın verimliliği:

- Daha kısa sürede
- Daha yüksek kalitede
- En uygun maliyette

elde edilmesi ile artırılabacaktır.

2.5 Bölüm Sonuçları

Bölüm kapsamında doğrudan yapım işinin gerçekleşmesine yönelik olan işçilik, malzeme, araç yapım girdileri ile yapı elemanları, yapı elemanları alt bileşenlerinin üretiminde kullanılan yerinde yapım teknikleri ve yapım sürecinde oluşan problemler ele alınmıştır.

Yerinde biçim oluşturan malzemelerin, sistemlerin ve önceden biçim verilmiş malzemelerin, sistemlerin çeşitli yöntemlerle bir araya getirilmesi ile oluşturulan yapı elemanları, mekanı fiziksel anlamda sınırlayan somut yapı parçalarıdır: Dış duvarlar, duvar boşlukları (pencereler, kapılar), çatılar, döşemeler, merdivenler, iç bölme elemanları. Yapı elemanları için gövde, yalıtımlar ve kaplamalardan oluşan bir katmanlaşma modeli sunulmuştur.

Fiilen sahada bir üretimin yapılabilmesi, üretim faktörlerinin bir araya getirilmesi ile gerçekleşir. Geleneksel yapım girdileri olan işçilik, malzeme ve araçlar yapı üretiminde doğrudan yapımı gerçekleştiren üretim faktörleridir.

Yapım işlerine göre tanımlanan işçilikler için bilgi, birikim ve el becerisine göre, çıraklık ile başlayıp ustabaşılık ile biten işçilik hiyerarşiji esas alınmıştır. Yapı

malzemeleri yapı elemanlarının oluşturulmasında kullanılan doğal, az işlenmiş veya işlenmiş; biçimlendirilmiş ya da biçimlendirilmemiş; inorganik veya organik kökenli ürünlerdir. Yapımda yer alan iş, imalat ve inşaatın yürütülmesinde el aletleri ve makineler kullanılır. Kol gücü ve enerji kaynağı ile çalışan el aletleri, harcanan zamanı ve emeği azaltarak işin kalitesinin artmasında önemli rol oynar. El aletleri, daha küçük kapsamlı, az karmaşık yapım işlerinde kullanılır. İnşaat yerinin hafriyatı, sıkıştırılması, malzemelerin kırılması, elenmesi, malzemelerin / bileşenlerin hazırlanması, kesilmesi, bükülmesi, taşınması, kaldırılması vb. yapım işlerinde iş makineleri kullanılır.

Yapım üretim girdilerinin mimari ürünlere dönüştürüldüğü süreç, süreç içinde yer alan eylemler ve aralarındaki ilişkiler bütünüdür. Yapım sürecinde oluşan işçilik kaynaklı, malzeme kaynaklı, araç kaynaklı, uygulama kaynaklı, çevresel etmen kaynaklı, proje kaynaklı, finansman kaynaklı, bilgi / teknoloji kaynaklı, program kaynaklı, iletişim kaynaklı, yönetim kaynaklı, kontrol / denetim kaynaklı problemlerden işçilik, malzeme, araç ve uygulama kaynaklı olanlar doğrudan üretimin gerçekleşmesini etkileyen problemlerdir. Süreçteki olumsuzlukların giderilmesi başta üretim faktörleri olan işçilik, malzeme, araç girdileri ve bu girdiler ile gerçekleşen yapım eylemlerinin uygulama adımlarındaki çözümleri sonucunda gerçekleştirilecektir.

Kalite, süre, maliyet kontrol faktörleri altında işçilik, malzeme, araç kaynaklı yapım problemlerinin çözümü, yapımda verimliliği artıracaktır. Nitelikli, projeyi doğru okuyan, doğru uygulayan kalifiye işçilik kullanılması ve işçilerin bu anlamda eğitilmesi önemlidir. İnşaat yöneticisinden, yüklenicilere, şantiye şefine, ustabaşından düz işçiye kadar iş gücü arasında iletişim sağlanmalıdır. Yapımda kullanılacak araçların periyodik bakımı, onarımı, kullanılma biçimlerinin ve yerlerinin organizasyonu, maliyetlerinin izlenmesi, verimliliklerinin takibi gereklidir. Yapıma uygun teknolojiye sahip nitelikli araç ve ekipmanların kullanımı sağlanmalıdır. Malzemelerin temininden önce pazar araştırması yapılması, şartnamelere uygun, gerekli ürün özelliklerine sahip, doğru ve kaliteli malzemelerin seçilmesi, numuneler üzerinden gerekli kontrollerin yapılması, şantiyeye getirilen malzemenin nitelik ve niceliklerine ilişkin etkin kontrolün yapılması, envanterinin düzenli tutulması gerekmektedir. Doğru planlama ile malzemelerin etkin kullanımı sağlanmalı ve kayıplar önlenmeli veya en aza indirilmelidir.

Daha kısa sürede, daha az maliyetle, daha yüksek kalitede yerinde yapımın gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Yüzyıllardır süregelen geleneksel yapım, günümüz koşullarına uyarlanmalı; malzeme teknolojisindeki, araç teknolojisindeki gelişmeler üzerinde çalışılmalıdır. Yerinde yapım tekniklerinin olumlu yönlerinin korunarak sürdürülmeli, tespit edilen olumsuzluklar giderilmelidir. Yerinde yapım teknikleri ile yapı elemanları ve alt bileşenlerinin üretiminde ilgili yapım işi süreci boyunca belirlenen problemin ortaya konulması, incelenmesi, çözümün elde edilmesi ve çözümün uygulanması ile yerinde yapım uygulamasındaki problemin ortadan kaldırılması gerekmektedir.

3. YERİNDE YAPIM TEKNİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN MODEL ÖNERİSİ GELİŞTİRME SÜRECİ

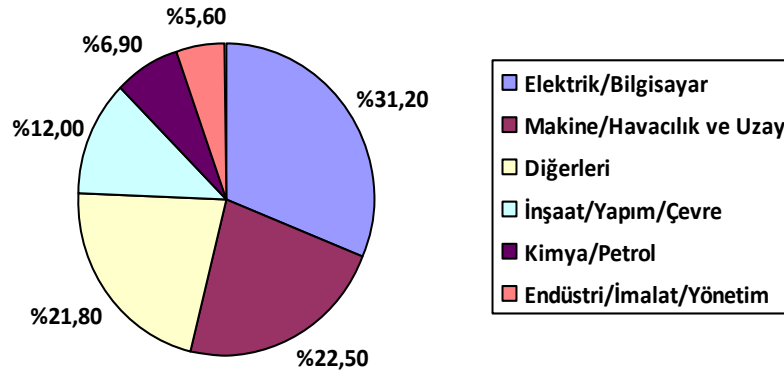
Yapım sürecinde işçilik, malzeme, araç kaynaklı yapım problemlerinin kalite, süre, maliyet kontrol faktörleri altında ortadan kaldırılması amacıyla “mimarlık, inşaat, yapım” anahtar kelimelerinden yola çıkarak mühendislik problemleri çözüm yöntemleri araştırılmıştır. Yerinde yapım sürecinde tespit edilen problemlerin çözüm yöntemi olarak seçilen TRIZ, detaylı ele alınmış, yerinde yapım sürecine uyarlanmıştır. Problemin analiz edilmesi, problemin ortadan kaldırılması ile iyileştirmenin elde edilmesi, problemin ortadan kaldırıldığı kontrolü ile iyileştirmenin gerçekleştirildiğinin onaylanması noktalarında “analiz, iyileştirme, kontrol” anahtar kelimeleri ölçüm temeline dayanan, istatistiksel araçları ve teknikleri kullanarak mevcut süreçlerde en az hata adedinin elde edilmesi sonucunda, mevcut süreçlerin iyileştirilmesini ya da mevcut süreçlerin yeniden tasarlamasını hedefleyen, etkin bir kalite kontrol aracı ve performans iyileştirme tekniği olan Altı Sigma yaklaşımının incelenmesine yönlendirmiştir. İyileştirme model önerisinin geliştirilmesinde, Altı Sigma’nın iyileştirmeyi amaçlayan DMAIC süreç modelinden, süreç adımlarından ve ilgili süreç adımlarında kullandığı istatistiksel araçlardan, tekniklerden faydalanılmıştır. Bölüm kapsamında TRIZ ve Altı Sigma yaklaşımlarının birlikte kullanılması ile yerinde yapım tekniklerinde tespit edilen problemin ortadan kaldırılması sonucunda mevcut yerinde yapım tekniğinin iyileştirilmesini amaçlayan model önerisi geliştirme süreci açıklanmaktadır.

3.1 Mühendislik Problemlerinin Çözüm Yöntemleri

Süreç iyileştirme çalışması, süreçte tespit edilen problemin ortadan kaldırılması ile gerçekleşir. Problem en genel anlamı ile bilimsel yöntemlerle çözülmesi gereken sorudur. Yerinde yapım tekniklerinde tespit edilen problemlerin çözümünde “mimarlık, inşaat, yapım” anahtar kelimelerinden yola çıkılmıştır. Yapım, yabancı kaynaklarda “civil engineering”, “construction engineering” ve “architectural engineering” alanlarında karşımıza çıkmaktadır.

İlgili bölümde, mühendislik alanlarından yola çıkarak problemlerin çözümünde izlenen yöntemlere ulaşılmaya çalışılmıştır.

Günümüzde 20'nin üzerinde mühendislik disiplini bulunmaktadır [29]. Mühendislik, doğası gereği çok disiplinli çalışan alanlardır [30]. Şekil 3.1'de 2004 yılında yapılan araştırmaya göre disiplinler arası mühendislik bölümlerinin dağılımı görülmektedir [29]. Disiplinler arası mühendislik alanları içinde inşaat / yapım / çevre mühendisliği, %12'lik paya sahiptir. Makine / havacılık ve uzay mühendisliği, kimya / petrol mühendisliği, endüstri / imalat / yönetim mühendisliği ve diğer mühendislik alanları¹⁵, disiplinler arası mühendisliklerdir.



Şekil 3.1: Disiplinler arası mühendislik alanları dağılımı.

Brockman (2009), en yaygın mühendislik disiplinlerini havacılık ve uzay mühendisliği, ziraat mühendisliği, bio mühendislik, kimya mühendisliği, inşaat mühendisliği, bilgisayar ve yazılım mühendisliği, elektrik mühendisliği, çevre mühendisliği, endüstri mühendisliği, imalat mühendisliği, malzeme mühendisliği, makine mühendisliği, maden mühendisliği, nükleer mühendislik, petrol mühendisliği, mimari mühendislik ve diğer mühendislik alanları (seramik, yapım, jeoloji, metalurji, okyanus mühendisliği vb.) olarak sıralamaktadır [30]. Şüphesiz ki Brockman'ın "Introduction to Engineering: Modeling and Problem Solving" başlıklı kitabındaki Mimari Mühendislik kavramı ilginizi çekmektedir. Mimar mühendisler, mühendislik prensiplerini binaların ve diğer yapıların yapım, planlama ve tasarımına uygular. Mimar mühendisler, makine mühendisliği, elektrik mühendisliği gibi diğer alanlardaki mühendisler ve mimarlar ile birlikte:

¹⁵ "Diğerleri" kategorisi; zirai, biyomedikal, seramik, malzeme, metalurji, maden, nükleer, güvenlik ve okyanus bilimleri mühendisliklerini içermektedir.

- Binaların strüktürel bütünlenmesi
- Isıtma, soğutma, havalandırma sistemlerinin tasarım ve analizi
- Sıhhi tesisat, yangın korunumu, elektrik sistemlerinin etkin tasarımı
- Ses ve aydınlatma planlaması
- Enerji korunumu alanları

odaklı çalışırlar [30].

İnşaat mühendisliğı en eski mühendislik alanıdır. Karada, denizde veya havada, insanların yapı gereksinmelerini karşılamak amacıyla planlama, tasarım, yapım, işletme ve bakım adımlarını içermektedir. Eide vd. (2008), inşaat mühendisliğı içinde yapıma ilişkin iki özel mühendislik belirtmektedirler. Strüktürel mühendisler, matematik modelleme, bilgisayar simülasyon programları gibi özel araçların kullanımı ile köprülerin, binaların, tünellerin, tüm strüktürlerin tasarımını yapan kişilerdir. Bir diğör özel alan ise pek çok mühendislik ile disiplinler arası ilişkiye sahip olan yapım mühendisliğıdir. Yapım mühendisleri, yapımın başlangıcından müşteri için kullanılır hale gelmesine kadar yapım ile ilgili her faaliyetten sorumlu olan kişilerdir [29].

Mühendislik problemlerinin çözümünde, yabancı kaynakların araştırılması sonucunda aşağıdaki çözüm yöntemlerine ulaşılmıştır:

- Georg Pólya Yöntemi
- Mühendislik Yöntemi (The Engineering Method)
- Sistemli Öğrenilmiş Problem Çözme Yaklaşımı (Disiplined Learned Problem Solving Approach)
- Yaratıcı Problem Çözme Teorisi (TRIZ - Theory of Inventive Problem Solving)

Matematikçi Georg Pólya, 1945 yılında yayınladığı “How to Solve It” başlıklı kitabında, sekiz adımdan oluşan mühendislik problemleri çözüm stratejisi tanımlamıştır. Sürdürülen çalışmaları ile sunulan strateji, ilgili adımlarında teorik formüllerin, deneysel modellerin, istatistiksel araçların, tekniklerin (histogram vb.), yazılım ve programların (örneğin MATLAB) kullanılması ile geliştirilmiştir [30]:

- “Yapabilirim” motivasyonu ile başla
- Tanımla
- Araştır
- Planla
- Uygula
- Kontrol et
- Genelle
- Sonuçları göster

Mühendislik Yöntemi, altı temel süreç adımından oluşmaktadır [31]:

- Problemi anlamak
- Veri toplamak ve doğrulamak
- Uygun teori veya prensibi seçmek
- Hipotezler (varsayım) kurmak
- Problemi çözmek
- Sonuçları doğrulamak ve kontrol etmek

Problem çözme yaklaşımında vurgulanmak istenilen en önemli nokta, problem çözümünün yeni problemlere yol açmamasıdır. Sistemli Öğrenilmiş Problem Çözme Yaklaşımı, süreç içerisinde mühendislik problemlerini ortadan kaldırmaya yönelik olarak beş adımdan oluşan problem çözüm yöntemi sunmaktadır [32]:

- Problemin gerçekten oluştuğunun doğrulanması
- Çözölmeye çalışılan problemin doğru ifade edilmesi
- Problemin özelliklerini açıklayan kavramsal varsayımların geliştirilmesi
- Varsayımın test edilmesi
- Başka bir problem yaratmadan problemi ortadan kaldırmak için çözüm önerilmesi

Mühendislik problemlerini ortadan kaldırmayı amaçlayan bir diğer problem çözüm yöntemi TRIZ'dir. Yaratıcı Problem Çözme Teorisi mantık ve bilgiye dayanan, yaratıcılığın sistematik bir şekilde ortaya çıkarılması için kullanılan analitik problem çözme tekniğidir. TRIZ, dört adımda problem çözümü sunmaktadır [33]:

- Problemin tanımlanması
- Problemin genel TRIZ problemleriyle karşılaştırılması ve eşleştirilmesi
- Çelişki çiftine karşılık gelen genel TRIZ çözümünün bulunması
- Probleme ilişkin ideal çözümün geliştirilmesi

Diğer mühendislik problemleri çözüm yöntemlerine göre:

- Analitik ve sistematik bir yaklaşım olması
- Problem çözümünde esneklik getirmesi
- Problem çözümünde yaratıcılık temeline dayanması
- Problem çözücüyü tanımlı bir yol haritası sunması
- Mimarlık alanına ve inşaat sektörüne daha yakın olması

nedenleri ile tez kapsamında TRIZ yaklaşımı, yerinde yapım uygulamalarında tespit edilen problemlerin giderilmesinde, problem çözüm yöntemi olarak seçilmiştir.

3.2 TRIZ Yaklaşımı

TRIZ, 1946 yılında bilimde yaratıcılık temeline dayanarak Sovyet Genrich Saulovich Altshuller tarafından binlerce patentin incelenmesi ve ortak özelliklerine göre sınıflandırılması ile geliştirilmiştir [34]. Buluş sahiplerinin yeniliklerin temelinde yatan bu ortak özellikleri öğrenebilmesi, bilinçli bir şekilde ve sistematik olarak yeni teknolojilerin geliştirilmesinde kullanabilmesi fikri Stalin dönemi'nde uygun görülmemiş, Altshuller, 1950 - 1954 yılları arasında dört yıl süren bir tutukluluk yaşamıştır. Tutuklu bulunduğu dönemde ve sonrasında çok sayıda bilim adamı, mühendis ile patent çalışmalarına devam etmiştir [35]. 1956 yılında Altshuller, Shapiro ile birlikte “Yenilikçi Yaratıcılığın Psikolojisi¹⁶” başlıklı ilk

¹⁶ G. Altshuller, R. Shapiro: The Psychology of Inventive Creativity - Journal “Psychological Questions”, Moscow, 6'1956 (in Russian), [36].

makalesini yayınlamıştır. İlk 20 yaratıcı prensibi içeren “İcat Nasıl Öğrenilir¹⁷” başlıklı ilk kitabı ise 1961’de basılmıştır. 1969’da yaratıcı problemlerin çözümünün ilk algoritmasını, geliştirdiği 40 Yaratıcı Prensip ile “Yaratıcılık İçin Algoritma¹⁸” başlıklı kitabında yazmıştır. 1970 - 1980 yılları arasında SSCB’de çok sayıda TRIZ okulu açılmıştır. 1980 yılında ilk TRIZ konferansı Petrozavodsk’da düzenlenmiştir. 1989 yılında Altshuller başkanlığında “The Russian TRIZ Association” kurulmuştur [37]. Altshuller ve meslektaşları tarafından çalışılmaları devam eden TRIZ, 1990’lı yıllardan sonra USA, Japonya ve Batı Avrupa’ya yayılmıştır [34]. 1991 yılından itibaren çok sayıda TRIZ uzmanı yurt dışı seyahatlere başlamış, USA’ya göç etmiş, bireysel olarak gittikleri yerlerde TRIZ’in gelişimini başlatmış, uluslararası ortaklar bularak TRIZ şirketleri kurmuşlardır. Günümüzde TRIZ üzerine eğitimler veren, danışmanlık yapan, yazılım araçları sunan çok sayıda danışmanlıklar ve firmalar bulunmaktadır. Trizjournal.com, TRIZ uygulamaları ve gelişimi üzerine dünya çapında en önemli bilgi paylaşım ve yayılım kaynağı olmuştur [37]. TRIZ, günümüzde Ford, Procter & Gamble, Mitsubishi gibi 500’den fazla şirket tarafından uygulanmaktadır [35].

Patent incelemeleri sonucunda tespit edilen buluş prensiplerini temel alan TRIZ, problem çözerken yaratıcılık ile yenilikler yapmaya yönlendirir.

Altshuller ve ekibinin geliştirdiği yaratıcılık seviyelerine göre süreç adımları, süreç adımlarında yaratıcılık seviyelerinin sahip olduğu karakteristik özellikler Çizelge 3.1’de sunulmaktadır. “A, B, C, D, F” sürecin farklı aşamalarını, “1, 2, 3, 4, 5” sürecin yaratıcılık seviyelerini ifade etmektedir. Her süreç adımı, 5 ayrı yaratıcılık seviyesi için çalıştırılabilir [38].

Yaratıcılık seviyelerinin karakteristik özellikleri aşağıda sıralanmaktadır:

1. Seviye: Diğer nesneleri dikkate almadan var olan bir nesnenin kullanılması
2. Seviye: Çeşitli nesneler üzerinden birinin seçilmesi
3. Seviye: Seçilen nesnede kısmi değişikliklerin yapılması

¹⁷ How to Learn to Invent

¹⁸ Algorithm for Inventing

4. Seviye: Yeni bir nesnenin geliştirilmesi ya da seçilen nesnenin tamamen değiştirilmesi

5. Seviye: Tamamen yeni sistemlerinin geliştirilmesi

Çizelge 3.1: Yaratıcılık seviyelerine göre süreç adımlarında yapılan çalışmalar [38].

Yaratıcılık seviyesi	İşin seçilmesi	Araştırma konseptinin seçilmesi	Verilerin toplanması	Fikir araştırması	Fikrin bulunması	Pratik uygulama
	A	B	C	D	E	F
1	var olan işin kullanılması	var olan araştırma konseptinin kullanılması	var olan verinin kullanılması	var olan çözümün kullanılması	hazır tasarımın kullanılması	var olan tasarımın üretilmesi
2	çeşitli işler içinden birinin seçilmesi	çeşitli konseptler içinden birinin seçilmesi	çeşitli kaynaklardan veri toplama	çeşitli fikirler içinden birinin seçilmesi	çeşitli tasarımlar içinden birinin seçilmesi	var olan tasarımın değişikliğinin yapılması
3	özgün işin değişikliği	yeni iş için uygun araştırma konseptinde değişiklik	yeni iş için bir araya getirilen verilerde değişiklik	var olan çözümde değişiklik	var olan tasarımda değişiklik	tasarımı yeni bir yöntem içinde kullanma
4	yeni işin bulunması	yeni araştırma konsepti bulma	yeni işle ilişkili yeni verileri bir araya getirme	yeni çözüm bulma	yeni tasarım geliştirme	yeni tasarımı kullanma
5	yeni problem bulma	yeni yöntem bulma	yeni problemle ilişkili yeni verileri bir araya getirme	yeni konsept bulma	yeni yapısal konseptler geliştirme	yeni konseptin uygulandığı tüm sistemleri değiştirme

1965 - 1969 yılları arasında 14 grup altında analiz edilen patentlerin %32'sinin 1.seviye, %45'inin 2.seviye, %19'unun 3.seviye, %4'ünün altı 4.seviye ve %0,3'ünün altı 5.seviye yaratıcılıkta olduğu tespit edilmiştir. Her mühendisin sahip olduğu bilgi ve deneyim ile etkin çözüme ulaşabildikleri 1. seviye ve 2. seviye yaratıcılık buluşların %77'sini oluşturmaktadır. Diğer taraftan 5. seviye yaratıcılık yeni buluşların kullanımını gerekli kılmaktadır. Günümüzdeki yaratıcılık oranı 3. seviye ve 5. seviye ortasında yer almaktadır. Tüm patentler içinde 1/4'den daha az bir orana sahip olmakla birlikte teknolojiye nicel değişiklikler bu aralıkta yer alan patentler ile elde edilmektedir [38].

Süreç adımlarından D aşaması olan fikrin bulunması aşamasında, her mühendis için yaratıcılık seviyelerine göre çözüme ulaşmakta yapılan deneme - yanılma sayısı

1. seviye yaratıcılık için 1 - 10 arası iken 5. seviye yaratıcılık için 10.000 - 100.000 arası ve daha fazlasıdır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2: Patentlerin yaratıcılık seviyeleri ile çözüme ulaşmakta yapılan deneme-yanılma sayısı ilişkisi [38].

Yaratıcılık seviyesi	Deneme - yanılma sayısı
1	1 - 10
2	10 - 100
3	100 - 1000
4	1000 - 10.000
5	10.000 - 100.000

1. seviye yaratıcılık için problem ve çözümü bir meslek alanı içinde mevcuttur.
2. seviye yaratıcılık için problem ve çözümü bir endüstri alanı içinde mevcuttur.
3. seviye yaratıcılık için problem ve çözümü bir bilim dalı içinde mevcuttur.
4. seviye yaratıcılık için problem ve çözümü problemin ortaya çıktığı bilimin sınırları dışında mevcuttur. 5. seviye yaratıcılık için problem ve çözümü çağdaş bilimin sınırları dışında mevcuttur.

Patent ve teknik bilgi, TRIZ'in en önemli kaynağı olmuştur. 2000 yılına kadar TRIZ uzmanları tarafından dünya genelinde yaklaşık 2 milyon patent incelenmiştir. Dünyadaki tüm patentlerin yaklaşık %10'una karşılık gelmektedir [34]. Günümüzde ise incelenen patent sayısı 3 milyonun üzerindedir [39].

Problem, mevcut durum ile arzu edilen durum arasında çözülmesi gereken boşluktur. Problem çözümü, arzu edilen duruma ulaşmak için mevcut durumun tek ya da çok aşamalı dönüşümüdür. Problem, çözümü bilinen problem (alışılmış) ve çözümü bilinmeyen (alışılmış dışı) problemler olarak iki gruba ayrılabilir. Mevcut diğer alanlardaki benzer çözümler ile çözüme ulaşılan problemlerin aksine çözümü bilinmeyen problemler yaratıcı problemlerdir [34]. Altshuller, yaratıcı problemi çözümün diğer bir problemin ortaya çıkmasını sağlaması olarak tanımlamıştır.

1956'da yayınlanan yenilikçi yaratıcı teorinin geliştirilmesindeki problemi tartıştığı ilk makalesinde, böyle bir gelişim için aşağıda yer alan fikirleri önermiştir [36]:

- Problemlerin çözümündeki anahtar, sistem içindeki çelişkilerin tespit edilip ortadan kaldırılmasında yatmaktadır.
- Problemlerin çözümündeki taktik ve yöntemler önemli buluşların analiz edilmesi ile yaratılabilir

- Problem çözme stratejisi, teknik sistemlerdeki gelişmenin kuralları tarafından desteklenmelidir.

Savransky (2000), TRIZ'i:

- İnsan odaklı
- Bilgiye dayanan
- Sistematik
- Yaratıcı problem çözme yaklaşımı

olarak tanımlamaktadır [34].

TRIZ yaklaşımı, dört temel paradigma ile diğer yenilik ve problem çözme stratejilerinden ayrılmaktadır [40]:

- Çelişkiler
- İdeallik
- Fonksiyonellik
- Kaynakların kullanımı

Problem çözümünde geliştirilen çözüm yolları çelişkileri yaratır. Örneğin, yapım uygulama hızının artması, uygulama hassaslığının azalmasına yol açabilir. Diğer taraftan çelişkiler aynı zamanda yaratıcılığın da temelini oluştururlar. TRIZ'e göre problemin en etkili yaratıcı çözümü, çelişkileri ortadan kaldıran çözümdür [34].

Patentler üzerinde çalışırken Altshuller, sistemlerin sürekli olarak idealliğe ulaşma eğilimde olduğunu belirtmiştir. Problem çözümleri İdeal Nihai Sonuç (IFR¹⁹) üzerinde düşünmeye, çözüm bulmaya zorlar. Problem çözümleri mevcut durumdan başlama şeklindeki geleneksel düşünce tarzından çıkartarak IFR'den başlamaya teşvik eder [40].

İdeallik, çözümün tüm yararlı etkilerinin tüm zararlı etkilerine oranıdır (3.1). Yararlı etkiler, sistemin çalışmasına değerli katkılar sağlayan etkilerin toplamıdır. Zararlı etkiler, tüm giderler ve tüm zararlardır (3.2). Giderler maliyet, harcanan enerji, yayılan gürültü vb.; zararlar ise her türlü atık ve kirliliktir [34].

¹⁹ Ideal Final Result

$$İdeallik = \sum UF / \sum HF \quad (3.1)$$

$$İdeallik = \sum \text{Yararlar} / \left(\sum \text{Giderler} + \sum \text{Zararlar} \right) \quad (3.2)$$

UF: Yararlı etki²⁰

HF: Zararlı etki²¹

TRIZ sistem içindeki pozitif, negatif tüm ilişkilerin grafikleştirilmesini, daha da önemlisi bir sistem içindeki ve çevresindeki zararlı, etkili ve uzantılı çelişkilerin tanımlanması anlamına gelen fonksiyon analizlerinin kullanılmasını vurgular.

Fonksiyonel analiz sürecinde sistemin faydalı fonksiyonları ile sisteme engel olan tüm zararlı fonksiyonları ilişkilendirilmektedir. TRIZ fonksiyonel analizi, problemin görsel şemaya dönüştürülmesi, etkileşen bileşenler arasındaki tüm ilişkilerin ortaya konulması ile tanımlanmasıdır. İdeal çözüm fonksiyonel olmalıdır. Etkin kaynak kullanımı ile ortaya konmalıdır. Bu yönü ile fonksiyon analizleri problemin tanımlanması aşamasında güçlü bir araçtır [40].

TRIZ terminolojisinde kaynak, sistem içerisinde maksimum seviyede kullanılmayan herhangi bir şey olarak tanımlanır. TRIZ, sistem içindeki veya çevresindeki olası maksimum potansiyelleri kullanmayan her şeyi agresif bir şekilde koalamayı talep eder. Bu tür kaynakların keşfedilmesi bir sistemin tasarımı için gerekli olan fırsatların ortaya çıkarılmasını sağlar. Sadece pozitif kaynaklar değil negatif kaynaklar da araştırılmalıdır. Negatif olarak görülen kaynaklar sistem içerisinde pozitif etkiye dönüştürülebilir [40].

Genellikle çözümü için üzerinde çalışılan problem gerçek problem değildir. Gerçek problemin tanımlanabilmesi için sistemdeki çelişkiler belirlenmeli, çelişkileri ortadan kaldıran çözümler ile ideal çözüme ulaşılmaktadır. İdeal çözüm ile ortadan kaldırılan çelişkiler sonucunda problemin çözümü elde edilmektedir.

²⁰ Useful Function

²¹ Harmful Function

3.2.1 TRIZ Mühendislik Parametreleri

Çelişkiler, teknik bir sistemin bir karakteristiğinin ya da parametresinin iyileştirilmesi istenirken aynı süreçte ya da sistemdeki diğer bir karakteristiğinin veya parametresinin kötüleşmesiyle ortaya çıkan sorunlardır. Yaratıcılığın temelini oluştururlar. Patent incelemeleri sonucunda 39 teknik çelişki belirlenmiş ve “39 Mühendislik Parametresi” olarak adlandırılmıştır (Çizelge 3.3). Problemin teknik çelişkisi, iyileşen Mühendislik Parametresi karşısında kötüleşen Mühendislik Parametresi olarak tanımlanır.

Çizelge 3.3: TRIZ Mühendislik Parametreleri [38].

Parametre	39 Mühendislik Parametresi
1	Hareket halindeki nesnenin ağırlığı
2	Durağan haldeki nesnenin ağırlığı
3	Hareket halindeki nesnenin uzunluğu
4	Durağan haldeki nesnenin uzunluğu
5	Hareket halindeki nesnenin alanı
6	Durağan haldeki nesnenin alanı
7	Hareket halindeki nesnenin hacmi
8	Durağan haldeki nesnenin hacmi
9	Hız
10	Kuvvet
11	Gerilme / basınç
12	Şekil
13	Nesnenin dengesi, istikrarlı olması
14	Dayanım
15	Hareket halindeki nesnenin eylem süresi
16	Durağan haldeki nesnenin eylem süresi
17	Sıcaklık
18	Aydınlık
19	Hareket halindeki nesnenin harcadığı enerji
20	Durağan haldeki nesnenin harcadığı enerji
21	Güç
22	Enerji kaybı
23	Madde kaybı
24	Enformasyon kaybı
25	Zaman kaybı
26	Madde miktarı
27	Güvenilirlik
28	Ölçüm hassaslığı, doğruluğu
29	Üretim hassaslığı
30	Dışarıdan nesneye etki eden zararlı unsurlar
31	Nesneden kaynaklanan zararlı unsurlar
32	Üretilebilirlik
33	Kullanım kolaylığı
34	Onarım edilebilirlik / tamir edilebilirlik
35	Uyarlanabilirlik
36	Araç karmaşıklığı
37	Kontrol karmaşıklığı
38	Otomasyon seviyesi
39	Verimlilik

3.2.2 TRIZ Yaratıcı Prensipleri

Altshuller ve ekibi tarafından incelenen patentler sonucunda, teknik çelişkilerin çözümü için çözüm önerileri geliştirilmiş ve “Yaratıcı Prensipler” olarak adlandırılmıştır. Yaratıcı Prensipler problemin çözümüne yönelik olarak mühendise yaratıcı, patentleşebilir çözüm elde etmek için yol gösterecek olan çözüm önerileridir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4: TRIZ Yaratıcı Prensipleri [38].

Prensip	40 Yaratıcı Prensip
1	Bölümlere ayırma
2	Çıkartma
3	Kısmi / bölgesel kalite
4	Asimetri
5	Birleştirme
6	Genelleme
7	İç içe geçme
8	Karşı ağırlık
9	Başlangıçta karşı hareket
10	Başlangıçta hareket
11	Önceden önlem alma
12	Eşit potansiyellik
13	Ters yoldan yap
14	Küresellik
15	Dinamizm
16	Kısmi ya da gereğinden fazla hareket
17	Yeni bir boyuta geçiş
18	Mekanik titreşim
19	Periyodik hareket
20	Faydalı hareketin devamlılığı
21	Acele etme, hızlı hareket, es geçme
22	Zararı yarara dönüştürme
23	Geri besleme
24	Aracı kullanma
25	Kendi kendine hizmet
26	Kopyalama
27	Tasarruf ederek değiştirme
28	Mekanik sistemin yerine koyma
29	Pnömatik ya da hidrolik yapılar
30	Esnek örtüler ya da ince filmler
31	Gözenekli malzemeler
32	Renk değişikliği
33	Homojenlik
34	Devre dışı bırakma ve yeniden ele alma
35	Parametrelerin değişikliği
36	Hal geçişleri, faz dönüşümleri
37	Isıl genleşme
38	Hızlandırılmış oksitlenme
39	Eylemsiz / durgun çevre / ortam
40	Kompozit malzemeler

Altshuller ve ekibi tarafından 40 Yaratıcı Prensip için incelenen patentler üzerinden örnekler verilerek detaylı prensip açıklamaları yapılmıştır [38].

Yaratıcı Prensipler'in daha iyi anlaşılması amacıyla her Yaratıcı Prensipten için yapılan açıklamalar aşağıda sunulmaktadır²² [38]:

1. Prensipten: Bölümlere ayırma (segmentation)

- Nesnenin bağımsız parçalara ayrılması
- Nesnenin kolayca kurulabilmesi ve sökülebilmesi için bölümlere ayrılması
- Nesnedeki parça ya da bölüm sayısının artırılması

2. Prensipten: Çıkartma (extraction)

- Nesnedeki sorun çıkaran parçanın çıkarılması
- Sadece gerekli parça ya da özelliğinin nesneden çıkarılması

3. Prensipten: Kısmi / bölgesel kalite (local quality)

- Nesnenin ya da dış çevrenin tekli yapıdan çoklu yapıya dönüştürülmesi
- Nesnenin farklı parçalarının farklı işlevleri yerine getirmesi
- Nesnenin her bir parçasının işlevi için uygun duruma getirilmesi

4. Prensipten: Asimetri (asymmetry)

- Nesnenin şeklinin simetrik formdan asimetrik forma getirilmesi
- Nesne her zaman asimetrik ise asimetriklik derecesinin artırılması

5. Prensipten: Birleştirme (consolidation)

- Paralel işlerin / işlemlerin yapılması için özdeş veya benzer nesne ya da nesne parçalarının mekansal olarak bir araya getirilmesi
- Paralel işlerin / işlemlerin zamansal olarak bir araya getirilmesi

6. Prensipten: Genelleme (universality)

- Nesnenin veya nesnenin bir parçasının diğer nesne ya da parçaların işlevlerini yerine getirmesi ile onlara olan gereksinimin ortadan kalkması

²² Devam eden yıllarda diğer araştırmacılar tarafından Alsthuller ve ekibinin yaptığı açıklamalar esas alınarak 40 Yaratıcı Prensipten için açıklamalar yapılmaya devam etmiştir. Tez çalışmasında, Shulyak ve Rodman tarafından çevirisi yapılan [38] no'lu kaynakta yer alan prensipten açıklamaları esas alınmıştır (çevirideki özgün prensipten başlıkları parantez içinde yazılarak).

7. Prensip: İç içe geçme [nesting (matrioshka)]

- Nesnenin sıra ile diğerlerinin içine yerleştirilmesi
- Nesnenin başka bir nesnedeki boşluğun içine geçmesi

8. Prensip: Karşı ağırlık (counterweight)

- Nesnenin ağırlığının kaldırma gücüne sahip bir başka nesne ile karşılanması
- Nesnenin ağırlığının dış çevreden aerodinamik ya da hidrodinamik kuvvet ile destek alınarak karşılanması

9. Prensip: Başlangıçta karşı hareket (prior counteraction)

- Aşırı ve istenmeyen etkileri karşılamak için nesnede bu etkileri kontrol edebilecek karşıt önlemin önceden oluşturulması

10. Prensip: Başlangıçta hareket (prior action)

- Tamamen ya da kısmen nesnedeki gerekli değişikliklerin önceden yapılması
- Kullanımına acilen gereksinim duyulacağı durumlar için nesnelerin önceden olmaları gereken yere yerleştirilmesi

11. Prensip: Önceden önlem alma (cushion in advance)

- Düşük güvenilirliğe sahip bir nesne için önlemlerin önceden alınması

12. Prensip: Eşit potansiyellik (equipotentiality)

- Nesnenin kaldırılmasına ya da alçaltılmasına gerek duyulmayacak şekilde çalışma koşullarının değiştirilmesi

13. Prensip: Ters yoldan yap (do it in reverse)

- Problemin yönlendirdiği bir eylem yerine karşıt eylemin uygulanması
- Nesnenin ya da dış çevrenin sabit parçalarının hareketli hale getirilmesi
- Nesnenin ters düz edilmesi, tersine çevrilmesi

14. Prensip: Küresellik (spheroidality)

- Düz parçaların yerine eğrisel parçaların, düz yüzeylerin yerine küresel yüzeylerin ve top şeklinde kübik şekillerin kullanılması
- Silindirlerin, yuvarlakların ve spirallerin kullanılması

- Doğrusal hareketler yerine merkezkaç kuvvetinden yararlanarak döner hareketlerin kullanılması

15. Prensip: Dinamizm (Dynamicity)

- Bir nesnenin ya da dış çevrenin karakteristik özelliklerinin, işlemlerin her safhasında optimum performansı sağlayacak duruma getirilmesi
- Nesne hareketli değilse hareketli duruma getirilmesi, nesnenin değiştirilebilir duruma getirilmesi
- Nesnenin birbirlerine göre konumlarını değiştirme kabiliyetlerine sahip elemanlara bölünmesi

16. Prensip: Kısmi ya da gereğinden fazla hareket (partial or excessive action)

- İstenilen etkinin %100'ünün verilen yöntemle başarılması mümkün değilse, aynı yöntemin bir parça azının veya bir parça fazlasının kullanılması ile başarılması

17. Prensip: Yeni bir boyuta geçiş (transition into a new dimension)

- Nesnelerin bir boyutlu hareket veya yerleşimlerinin iki boyutlu, iki boyutlu hareket ya da yerleşimlerinin üç boyutlu vb. hale getirilmesi
- Nesnelerin çoklu seviyeli yapılarının kullanılması
- Nesnenin ya da alanın bir tarafı üzerine eğilmesi
- Verilen yüzeyin karşıt kenarının kullanılması
- Bir nesnenin ters yüzeyi üzerine ya da komşu alanları üzerine optik hatların planlanması

18. Prensip: Mekanik titreşim (mechanical vibration)

- Salınımın, dalgalanımın kullanılması
- Salınım, dalgalanım varsa sıklık derecesinin artırılması
- Titreşimin sıklığının kullanılması
- Elektromanyetik alan ile birlikte ultrasonik titreşimlerin kullanılması

19. Prensip: Periyodik hareket (periodic action)

- Sürekli eylemler yerine periyodik eylemlerin kullanılması

- Eylem sürekli periyodik ise periyodik eylemin sıklık derecesinin değiştirilmesi
- Başka bir eylemin gerçekleşmesini sağlamak için etki eden kuvvetler arasında duraklamaların kullanılması

20. Prensip: Faydalı hareketin devamlılığı (continuity of useful action)

- Kopma olmadan, ara vermeden eylemin sürekliliğinin sağlanması. Nesnenin bütün parçalarının sürekli olarak tam kapasite ile çalışmasının sağlanması
- Gereksiz ve ara eylemlerin, işlerin kaldırılması
- “Geri ve ileri” hareket yerine döner hareket kullanılması

21. Prensip: Acele etme, hızlı hareket, es geçme (rushing through)

- Zararlı ve tehlikeli işlerin, eylemlerin hızla yürütülmesi

22. Prensip: Zararı yarara dönüştürme (convert harm into benefit)

- Zararlı etmenlerin, özellikle de çevre ve ortamın zararlı etkilerinin, olumlu bir etki yaratmak için kullanılması
- Zararlı etmenin, bir diğer zararlı etmenle birleştirilerek ortadan kaldırılması
- Zararlı işin, eylemin zararlılık derecesinin artırılması ile zararlı olmaktan çıkartılması

23. Prensip: Geri besleme (feedback)

- Bir sürecin ya da eylemin geliştirilmesi için geri beslemenin kullanılması
- Geri beslemenin mevcut durumda kullanılıyor olması durumunda büyüklüğünün veya etkisinin artırılması

24. Prensip: Aracı kullanma (mediator)

- Bir eylemi, işi sürdürmek ya da aktarmak için aracı kullanılması
- Bir nesnenin geçici olarak, kolayca ayrılabilir şekilde bir diğeri ile birleştirilmesi

25. Prensip: Kendi kendine hizmet (self-service)

- Kendi kendine hizmetin tanıtımı
- Kendi kendine hizmet sürekli varsa değiştirilmesi

26. Prensip: Kopyalama (copying)

- Kırılgan, özgün ya da işlemler / eylemler sırasında güvenilir olmayan nesneler yerine basit ve ucuz kopyalarının kullanılması
- Görünür optik kopya kullanıldı ise kızılötesi ya da ultraviyole kopyaları ile değiştirilmesi
- Nesne (ya da nesneler sisteminin) görsel örneği ile değiştirilmesi

27. Prensip: Tasarruf ederek değiştirme (dispose)

- Pahalı bir nesnenin kullanım ömrü gibi belirli özelliklerini kapsayan ucuz olan diğer nesne ile değiştirilmesi

28. Prensip: Mekanik sistemin yerine koyma (replacement of mechanical system)

- Mekanik sistemler yerine optik, akustik, ısı, duyumsal ya da kokusal sistemlerin kullanılması
- Nesne ile etkileşim için elektronik, manyetik ya da elektromanyetik alanların kullanılması
- Durağanlığın yerine hareketliliğin, sabitliğin yerine zaman içinde değişkenliğin, rastlantısallığın yerine yapılandırılmışlığın kullanılması
- Ferromanyetik parçacıklarla ilgili alanların kullanılması

29. Prensip: Pnömatik ya da hidrolik yapılar (pneumatic or hydraulic constructions)

- Nesnede katı parçalar yerine gaz ya da sıvı parçaların kullanılması

30. Prensip: Esnek örtüler ya da ince filmler (flexible membranes or thin films)

- Geleneksel yapıların yerine esnek örtülerin ya da ince filmlerin kullanılması
- Esnek örtüler ya da ince filmler ile nesnenin dış çevreden izole edilmesi

31. Prensip: Gözenekli malzemeler (porous materials)

- Nesnelerin gözenekli hale getirilmesi ya da nesnelere gözenekli elemanlar eklenmesi (astar, kaplama vb.)
- Eğer nesne gözenekli ise bu gözeneklerin kullanılması ile yararlı bir işlev sağlanması

32. PrensiP: Renk değişikliği (changing the color)

- Nesnenin veya çevresinin renginin değiştirilmesi
- Nesnenin ya da çevresinin saydamlık derecesinin değiştirilmesi
- Görölmesi zor nesne ya da sürecin gözlemlenmesi için renk katkılarının kullanılması
- Renk katkıları sürekli kullanıyor ise ışıklı, parlak izlerin kullanılması

33. PrensiP: Homojenlik (homogeneity)

- Nesnelerin aynı malzemeden (ya da benzer özelliğe sahip malzemeden) yapılmış ana nesne ile etkileşim içinde bulunmasının sağlanması

34. PrensiP: Devre dışı bırakma ve yeniden ele alma (rejecting and regenerating parts)

- Bir nesnenin işlevini tamamlamış veya kullanışsız, faydasız kısımlarının uzaklaştırılması (atılması, dağıtılması, buharlaşırılması vb.) ya da çalışması sırasında değiştirilmesi
- İşlemler, eylemler sırasında kullanılan parçaların yeniden sürece katılması

35. PrensiP: Parametrelerin değişikliği (transformation of properties)

- Sistemin fiziksel durumunun değiştirilmesi
- Yoğunluğun değiştirilmesi
- Esneklik derecesinin değiştirilmesi
- Sıcaklığın ya da hacmin değiştirilmesi

36. PrensiP: Hal geçişleri / faz dönüşümleri (phase transitions)

- Hal geçişleri, faz dönüşümleri sırasında oluşan bir etkinin kullanılması (hacim değişikliği, ısı tutuculuğu vb.)

37. PrensiP: Isıl genleşme (thermal expansion)

- Sıcaklıklarını değiştirerek malzemelerin ısı genleşme özelliklerinin kullanılması
- Farklı ısı genleşme katsayılarına sahip çeşitli malzemelerin kullanılması

38. Prensip: Hızlandırılmış oksitlenme (accelerated oxidation)

- Ortam havasının oksijenle zenginleştirilmiş hava ile değiştirilmesi
- Oksijenle zenginleştirilmiş havanın saf oksijenle değiştirilmesi
- Saf oksijenin iyonikleştirilmiş oksijenle değiştirilmesi
- İyonikleştirilmiş oksijenin ozonlu oksijenle değiştirilmesi
- Ozonlu oksijenin ozonla değiştirilmesi
- Ozonun singlet oksijenle²³ değiştirilmesi

39. Prensip: Eylemsiz / durgun çevre / çevre (inert environment)

- Normal çevrenin durağan hale getirilmesi
- Bir nesneye tarafsız ya da durağan (nötr) parçalar eklenmesi
- Sürecin boşlukta uygulanması, yerine getirilmesi

(38.Prensipde yer alan açıklamaların tem tersi geçerlidir)

40. Prensip: Kompozit malzemeler (composite materials)

- Tek çeşit malzeme yerine kompozit malzemelerin kullanılması

3.2.3 TRIZ Çelişkiler Matrisi

Altshuller, dünya genelinde 400.000'den fazla patent incelemesini kendisi yaparak 40 Yaratıcı Prensip ile Çelişkiler Matrisi'ni yaratmıştır [34]. Altshuller ve ekibi, problemi çözmek için kullanılacak çözüm öneri veya önerilerini belirlemek amacıyla Çelişkiler Matrisi oluşturmuşlardır. İyileşen özellikler, Çelişkiler Matrisi'nin x ekseninde; iyileşen özellik karşısında kötüleşen özellikler, Çelişkiler Matrisi'nin y ekseninde yer almakta ve x eksenini ile y ekseninin keşişiminde problem çözücüyü problemin çözümüne götürecek olan Yaratıcı Prensip / Prensipler listelenmektedir. Çelişkiler Matrisi, TRIZ'in kullandığı en önemli araçtır. Mühendislik alanlarında oluşabilecek 1248 adet çelişkinin çözümünü içermektedir (Bk. Çizelge C.1, s.203).

²³ Singlet oksijende reaktivite çok yüksektir. Aldığı enerjiyi çevreye dalga enerjisi şeklinde verip yeniden oksijene dönebilir. Oksijenden daha hızlı bir biyolojik moleküldür.

3.2.4 TRIZ uygulama alanları

Mühendislik alanlarında uygulanmaya başlanan TRIZ pazarlama, satış, reklam, eğitim, iş yönetimi, kalite yönetimi, finans sektörü gibi mühendislik dışı pek çok alanda da uyarlanmış ve uygulanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmalarda, genel olarak 39 Mühendislik Parametresi korunarak 40 Yaratıcı Prensip'in ilgili alana yönelik olarak örneklendirildiği görülmektedir. Çalışmaların bir bölümünde, 40 Yaratıcı Prensip'in bir bölümünün aynı amaca hizmet ettiği ve bu nedenle kendi aralarında gruplandırıldığı, çok az sayıda çalışmada ise ilgili alana yönelik Mühendislik Parametreleri'nin ve Yaratıcı Prensipler'in (teknik çelişki ve çözüm önerisi sayısı oldukça az tutulmuştur) sıfırdan belirlendiği ve yeni bir Çelişkiler Matrisi oluşturulduğu görülmüştür.

Ürün patenti alma, yeni süreçlerin gelişimi, üretim kontrolü, ekipman tasarımı TRIZ ile elde edilen sonuçlardır. 3M, BAE Systems, Boeing Corporation, Chrysler, Dow Chemical, Dupont, IBM, Intel, Johnson & Johnson, Kodak, Nestle, OTIS Elevators, NISYS, Whirlpool, Saipem and BTicino, Allied Signal (Honeywell), Amoca, Ford, GM, Hewlett-Packard, Hitachi, Honeywell, Intel, LG Electronics, Lockheed Martin, Motorola, Kimberly - Clark, McDonnell Douglas, NASA, Panasonic, Peugeot, Procter & Gamble, Samsung, Rockwell, Siemens, Shell, Rohm and Hass, Rolls Royce, Toyota, United Technologies, Visteon, Xerox, dünyada TRIZ'i kullanan şirketlerdir [41]. Arçelik, Kale, Silverline, Vitra, Viko, BMC ve AGT, Türkiye'de TRIZ yöntemini kullanan firmalardan örneklerdir [42].

Tate ve Domb (1997) tarafından her Yaratıcı Prensip, uygulama amacına göre açıklanmış ve örnekler ile anlaşılır hale getirilmeye çalışılmıştır [43]. Rantanen ve Domb (2008), prensip açıklamalarını şekiller üzerinden örnekler ile detaylı olarak vermişlerdir [35]. Devamında yapılan çalışmalarda da prensiplerin amaçlarına bağlı kalınarak, ilgili alana göre yorumlamaları yapılmış ve ilgili alanda verilen örneklerle desteklenmiştir. Yabancı kaynak araştırması ile 40 Yaratıcı Prensip'in uyarlandığı mühendislik alanlarındaki çalışmalar aşağıda sunulmaktadır [44]:

- Mimarlık [45]
- Bilgisayar yazılımı [46, 47, 48]
- Biyoloji [49]

- Kimya [50, 51, 52]
- İnşaat sektöründe yapım [53]
- Elektrik elektronik [54, 55]
- İş yönetimi [56]
- Kalite yönetimi [57]
- Müşteri memnuniyetinin artırılması ve kalite yönetimi [58]
- Ekoloji ve sürdürülebilirlik [59]

Mann ve Catháin tarafından 2001 yılında 40 yaratıcı çözümün mimarlık alanına uyarlanması yapılmıştır [45]. Yapım örnekleri içermekle birlikte genel olarak mimarlıkta tasarım aşamasına yönelik olarak 40 Yaratıcı Prensip'e ilişkin örnekler sunulmuştur. Teplitskiy ve Kourmaev, 2005 yılında genel anlamda inşaat sektöründe yapıma yönelik olarak 40 Yaratıcı Prensip'i örneklendirmişlerdir [53]. Her türlü inşaat uygulamasını içeren (alt yapı, üst yapı) yapım örnekleri, pek çok prensip için patent örnekleri ile birlikte açıklanmıştır.

3.3 TRIZ'in Yerinde Yapım Sürecine Uyarlanması

Mühendisliğin her alanında ve diğer pek çok sektörde kullanılan TRIZ'in, mimarlığa ve inşaat sektöründe yerinde yapım teknikleri ile yerinde yapım sürecine uyarlama çalışması iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, TRIZ mühendislik parametreleri ve TRIZ Yaratıcı Prensipleri'nin yerinde yapım alanına uyarlanması çalışması yapılmıştır. Yerinde yapım uygulaması ile uyarlanan TRIZ Mühendislik Parametreleri ve TRIZ Yaratıcı Prensipleri kullanılmıştır. İkinci aşamada, problem çözme adımları ile TRIZ'in yerinde yapım sürecine uyarlanmasında belirlenen eksikliklerin giderilmesine çalışılmıştır.

3.3.1 TRIZ Mühendislik Parametreleri'nin ve Yaratıcı Prensipleri'nin uyarlanması

Mevcut TRIZ'in Mühendislik Parametreleri ve Yaratıcı Prensipleri'nin mimarlık alanında yerinde yapıma yönelik uyarlama çalışması, akademik ortamda öğretim üyeleri ve yardımcıları ile yüz yüze görüşülerek yapılan anket çalışması (Bk. Ek D, s. 205) ile başlamıştır. Özellikle TRIZ terminolojisine bağlı kalınmış, Mühendislik

Parametreleri ve Yaratıcı Prensipler, özgün kelime anlamları üzerinden Türkçeye çevrilmiş ve yapım örnekleri verilmiştir. Çalışmanın devamında 39 Mühendislik Parametresi ve 40 Yaratıcı Prensip için işçilik, malzeme, araç yapım girdileri kullanılarak yerinde yapım teknikleri ile yapım sürecinde açıklamaları yapılmış ve yerinde yapım örnekleri verilmiştir.

Çalışmanın son adımında TRIZ problem çözme yöntemi, problemin tanımlanması, teknik çelişkilerin belirlenmesi, Çelişkiler Matrisi kullanılarak çözüm önerilerinin tespit edilmesi ve çözüm önerilerine göre çözümlerin sunulması adımları ile örnek bir yerinde yapım işi üzerinde yapım yerinde uygulanmıştır.

3.3.1.1 Yerinde yapım sürecinde TRIZ Mühendislik Parametreleri

Yerinde yapım sürecinde TRIZ Mühendislik Parametreleri'nin uyarlanması çalışmasında, parametrelerin özgün kelime anlamlarına bağlı kalınmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, İngilizce karşılıkları parantez içinde yazılmıştır. TRIZ parametrelerindeki “object”in kelime anlamı “nesne” olarak ele alınmıştır. Parametrelerin yerinde yapım alanına uyarlanan açıklamaları yapılmıştır. Her parametre için işçilik, malzeme, araç yapım girdilerini ve yapım sürecini kapsayacak şekilde yerinde yapım örnekleri verilmiştir.

Mühendislik Parametreleri'nin yerinde yapım alanındaki açıklamaları ve yapım örnekleri aşağıda sunulmaktadır:

1. Parametre: Hareket halindeki nesnenin ağırlığı (weight of a mobile object)

Malzemelerin, araçların işçiler tarafından veya araçlar ile taşınırken, uygulama yerlerine yerleştirilirken, montaja hazır hale getirilirken hareket halindeki ağırlığı ile işçilerin uygulama yerinde uygulama süresince oluşturdukları ağırlıktır.

Yapım örneği: Uygulama yerine taşınan trapez levha ağırlığı, C profiller üzerine monte edilmeye hazırlanılan alçı plak levha ağırlığı, beton bloğun taşınırkenki ağırlığı, döşeme taşıyıcı kirişleri üzerinde trapez levha montajı yapan işçilerin trapez levha üzerindeki ağırlıkları vb.

2. Parametre: Durağan haldeki nesnenin ağırlığı (weight of a stationary object)

Montajı yapılan veya mevcut yerinde sabit halde bulunan malzeme, bileşen, yapı parçası ya da araçların ağırlığıdır.

Yapım örneği: Montajı yapılan beton cephe panelinin çelik profillere aktardığı ağırlık, kolon ve kirişin döşemeye etki eden ağırlığı vb.

3. Parametre: Hareket halindeki nesnenin uzunluğu (length of a mobile object)

Malzemelerin, araçların işçiler tarafından veya araçlar ile taşınırken, uygulama yerlerine yerleştirilirken, montaja hazır hale getirilirken hareket halindeki uzunluğudur.

Yapım örneği: Uygulama yerine taşınan demir kutu profil uzunluğu, vinç ile uygulama yerine taşınan çatı panelinin uzunluğu, çelik kirişin monte edilirkenki uzunluğu (taşınırkenki vinç seçimi), yüksek katlı binada gazbeton blok ile duvar örme uygulamasında duvarın düşey şakulünün kontrol edilmesinde kullanılan çırpı ipinin uzunluğu vb.

4. Parametre: Durağan haldeki nesnenin uzunluğu (length of a stationary object)

Montajı yapılan veya mevcut yerinde sabit halde bulunan malzeme, bileşen, yapı elemanı ya da kullanılan araçların uzunluğudur.

Yapım örneği: Monte edilen malzemelerin en ve boy uzunlukları, binanın arsa üzerindeki aplikasyonu, kule vincin yüksekliği vb.

5. Parametre: Hareket halindeki nesnenin alanı (area of a mobile object)

Malzemelerin, araçların işçiler tarafından veya araçlar ile taşınırken uygulama yerlerine yerleştirilirken montaja hazır hale getirilirken hareket halindeki alanıdır.

Yapım örneği: Cephe panelinin taşınırken ve monte edilirkenki alanı, alana bağlı olarak malzeme nakliye aracının boyutları, hareketli vinç manevra alanı vb.

6. Parametre: Durağan haldeki nesnenin alanı (area of a stationary object)

Montajı yapılan veya mevcut yerinde sabit halde bulunan malzeme, bileşen, yapı elemanı ya da araçların alanıdır.

Yapım örneği: Malzeme metraj alanı, arsa alanı, teras çatıda eğim verilmesi gereken maksimum yüzey alanı, bina aplikasyon alanı vb.

7. Parametre: Hareket halindeki nesnenin hacmi (volume of a mobile object)

Malzemelerin taşınmaları ve uygulanmaları durumundaki hacimleridir.

Yapım örneği: Transmikserden kalıp içerisine dökülen beton hacmi, duvar yüzeyine sürülen sıva hacmi vb.

8. Parametre: Durağan haldeki nesnenin hacmi (volume of a stationary object)

Uygulaması yapılan veya mevcut yerinde sabit halde bulunan malzeme, bileşen, eleman hacmidir.

Yapım örneği: Döşeme üzerine dökülen düzeltme şapının hacmi, epoksi karışım içindeki malzeme oranları, yapı kullanım hacmini azaltan duvar hacimleri vb.

9. Parametre: Hız (speed)

İşçilik, malzeme ve araçlara yönelik olarak yapılan işin ve uygulamanın birim zamandaki karşılığıdır.

Yapım örneği: Yüzeye uygulanan püskürtme sıva makinesi uygulama hızı, şantiye alanına beton taşınırken nakliye süresi, dış duvar yüzeyinde metal levha montaj hızı vb.

10. Parametre: Kuvvet (force)

Bir etki yaratabilen her tür güç, dayanıklı olma durumu, durgunluğu harekete veya hareketi durgun bir duruma çeviren etken, direnci kıran ya da direnç doğuran özellik ve sağlamlıktır.

Yapım örneği: Hilti kullanan işçinin uyguladığı kuvvet, işçinin fiziksel gücü, kurulan kalıbın beton yüküne karşı dayanıklı olma durumu vb.

11. Parametre: Gerilme / basınç (tension / pressure)

Gerilme, bir yapı ögesine gelen normal kuvvetin, kendisini taşıyan alana bölünmesi ile elde edilen değerdir²⁴. Basınç herhangi bir kuvvetin, ona engel olan yüzey üzerinde yaptığı zorlama, bir cismi kısaltmaya çalışan kuvvettir²⁵.

Yapım örneği: Betonun kalıba dökülürken uyguladığı basınç vb.

12. Parametre: Şekil (shape)

Malzeme ve araçların, yapı elemanlarının, mekanların biçimleri olarak ele alınmaktadır.

²⁴ , ¹⁹ Hasol, D. (2001). Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü (10. bs.). İstanbul: YEM Yayın [60].

Yapım örneği: Püskürtülen betonun iyi pompalanabilmesi için beton karışım içinde yuvarlak şekilli agrega kullanılması, yapım süresini ve işçiliği uzatan eğrisel perde duvar kalıbının en kesiti dar düz kalıplar ile oluşturulması vb.

13. Parametre: Nesnenin dengesi / istikrarlı olması (stability of composition)

Malzeme, eleman ve bileşenlerin uygulama sırasında ve uygulama sonrasında dengede olma (stabil olma) durumu, değişik koşullar altında bulundukları durumun değişmemesi halidir.

Yapım örneği: Ters çatı uygulamasında seçilen ısı yalıtım malzemesinin uygulama süresince malzeme özelliğini koruması, betonarme döşeme kalıbının beton dökümü sırasında dengesinin bozularak yıkılmaması için alt yüzeyinden çapraz direklerle desteklenmesi vb.

14. Parametre: Dayanım (strength)

Dayanım, bir yapı gerecinin direnebileceği en büyük gerilmedir, dirençtir²⁶.

Yapım örneği: Püskürtme beton tekniği ile üretilen alker dış duvarın basınç dayanımı, trapez levhanın üzerine dökülecek olan betona karşı dayanımı vb.

15. Parametre: Hareket halindeki nesnenin eylem süresi (time of action of a moving object)

Malzemelerin hazırlanma, taşınma, uygulanma süresi; araçların hazırlanma, kullanım süresi; yapım uygulama süresi ve işçilik süresidir.

Yapım örneği: Doğrama profillerinin üst kota taşınma süresi, alçı plak levhaların nakliye aracından şantiyede depolanacakları yere taşınma süresi, beton pompası çalışma süresi, laminat parke uygulama süresi vb.

16. Parametre: Durağan haldeki nesnenin eylem süresi (time of action of a stationary object)

Montajı yapılan veya mevcut yerinde sabit halde bulunan malzeme, bileşen, yapı elemanı ya da araçların sahip oldukları özellikleri sürdürme süresi, dayanıklı olma durumudur.

²⁶ Hasol, D. (2008). Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü (10. bs.). İstanbul: YEM Yayın [60].

Yapım örneği: Monte edilen alçı plak levhanın üzerine yapıştırılan seramik cephe kaplamasının yüküne karşı dayanıklılığı, bitümlü çatı örtüsünün çevresel etmenlere karşı sahip olduğu özellikleri sürdürmesi vb.

17. Parametre: Sıcaklık (temperature)

Yapım süresince malzeme, işçilik ve araçlar üzerindeki etkisi ile yapım işini etkileyen, termometre ile ölçülen çevresel bir etmendir.

Yapım örneği: Su yalıtım uygulamasının -5°C’de yapılamaması, alçı harcının ortam sıcaklığına bağlı olarak en fazla 1 saat içerisinde uygulanması, beton döküldükten sonra dış ortam sıcaklığına göre yapılacak kütleme, yüksek ve düşük sıcaklıklar altında işçi verimliliğinin azalması vb.

18. Parametre: Aydınlık (brightness)

Uygulama süresince hem dış ortam şartlarında hem de iç ortamlarda uygulama yerinin çevresel şartlarını ve uygulanan işçiliği etkiler.

Yapım örneği: Hava karardığında, şantiyenin işçi güvenliğini sağlayacak şekilde aydınlatılması, cephe kaplama uygulaması sırasında doğal aydınlık düzeyinin uygulama yapan işçilerin görüşünü olumsuz etkilemesi, son kat boya uygulamasının yeterli aydınlık düzeyinde yapılması vb.

19. Parametre: Hareket halindeki nesnenin harcadığı enerji (energy spent by a moving object)

Malzemelerin, araçların işçiler tarafından veya araçlar ile taşınırken uygulama yerlerine yerleştirilirken montaja hazır hale getirilirken araçlar ya da işçiler tarafından harcanan enerjidir.

Yapım örneği: Taşınma sırasında aracın harcadığı mazot miktarı, ahşap cephe paneli taşıyan işçinin harcadığı enerji, çelik profillerle kaynak yapılırken harcanan elektrik miktarı vb.

20. Parametre: Durağan haldeki nesnenin harcadığı enerji (energy spent by a stationary object)

Sabit malzeme / bileşen veya sistemlerin konumlarından, uygulama yöntemlerinden dolayı diğer nesnelere / etmenlere / koşullara bağlı olan enerjisidir (potansiyel enerji). Malzemelerin özel şartlar altında depolanması durumunda harcanan enerjidir.

Yapım örneği: Pasif ısıtma sistemlerinden biri olan Trombe duvar uygulaması ile mekana enerji yayılması; dıştan veya içten ısı yalıtım uygulaması ile duvarda, döşemede, çatıda ısı kayıplarının önlenmesi vb.

21. Parametre: Güç (power)

Araçlar için bir cihazın, bir düzeneğin iş yapabilme yeteneği; bir makinenin zaman birimi içinde yaptığı iş miktarıdır (makinenin gücü). İşçilikler için kullanılan fiziki kuvvettir. Birim zamanda yapılan iştir.

Yapım örneği: Demir kesen işçinin kas gücü, iş makinesinin gücü, matkabın gücü, hilti kullanan işçinin gücü vb.

22. Parametre: Enerji kaybı (loss of energy)

Yapım sırasında enerjinin gereğinden fazla harcanması ve boşa tüketilmesidir.

Yapım örneği: Şantiyede uygulama süresinin uzaması ile harcanan elektrik enerjisi, uygulama işinde yapılan hatalardan dolayı uzayan yapım nedeniyle işçinin enerji kaybı vb.

23. Parametre: Madde kaybı (loss of substance)

Uygulamalar süresince kaynakların (malzeme, araç, işçilik, enerji, finansman, zaman vb.) etkin kullanılmamasıdır.

Yapım örneği: Boyutları doğru seçilmeyen malzemeden kaynaklanan malzeme kaybı, püskürtme beton uygulamasında yüzeye yapışmayarak gereğinden fazla miktarda yere düşen beton miktarı vb.

24. Parametre: Enformasyon kaybı (loss of an information)

Yapım süreci boyunca ilgili kişiler arasındaki iletişimsizliktir.

Yapım örneği: Tedarikçiler ile şantiye şefi arasındaki iletişim eksikliği ya da iletişimsizlik nedeniyle yapım yerine nakliyesi gerçekleşen malzemenin gelişinden şantiyedekilerin bilgilendirilmiş olmaması, uygulama hakkında gerekli bilgi düzeyine sahip olunmaması, uygulama projesindeki eksiklikler nedeniyle projenin doğru okunamaması sonucunda yapım işinde yaşanan sorunlar, elektrik projesine işlenmeyen kablolar nedeniyle döşeme betonu dökülmeden önce döşenmeyen elektrik tesisatı vb.

25. Parametre: Zaman kaybı (loss of time)

Yapım süreci boyunca gereksiz yere veya gereğinden fazla harcanan süredir.

Yapım örneği: Hatalı bir uygulamanın yeniden gerçekleştirilmesi, maliyet planlamasının hatalı yapılmasından dolayı malzeme alınamaması sebebiyle planlanan yapım işinin zamanında gerçekleştirilememesi, kalifiye olmayan işçilik sebebiyle yapım işinin olması gerekenden fazla sürmesi, olumsuz hava şartları, yetersiz ekipman ve zamanında ulaşmayan sipariş nedeniyle uygulamaların planlanan zamanda gerçekleştirilememesi vb.

26. Parametre: Madde miktarı (amount of substance)

Yapımda kullanılan kaynakların (malzeme, araç, işçilik, bütçe) miktarıdır.

Yapım örneği: Beton karışım içindeki su miktarı, yapım işi birim maliyeti, çelik trapez levhaları ana kirişlere ve tali kirişlere sabitleyen kartuşların adeti vb.

27. Parametre: Güvenilirlik (reliability)

İşçilik, malzeme, araç girdileri için güvenilir olma durumudur. İşçinin ilgili uygulamada kalifiye olması, yapım süresi boyunca ilgili kişiler arasında yapım işinin doğruluğuna ilişkin kuşku olmaması, malzemelerin standartlara uygunluğu ve yapımda kullanılan aracın uygulama süresince karşılaşılması muhtemel şartlar altında görevini yeterli şekilde yerine getirebilme yeteneği olarak ele alınmaktadır.

Yapım örneği: İşverenin alt yükleniciye, şantiye şefinin kalfaya güvenmesi; yapım işi süresince kiralanan vincin kullanımında sorun yaşanmamasına güvenilmesi; işçinin çalıştığı ortamda iş güvenliği ile ilgili tüm önlemlerin alındığı konusunda güven duyması; beton dökümünde operatörün kalifiye olması; malzeme tedarikçisinin belirtilen zamanda malzemeyi şantiyeye ulaştırması vb.

28. Parametre: Ölçüm hassaslığı, doğruluğu (accuracy of measurement)

Malzemelerin uygulanmasında, araçların kullanılmasında, işçilik ile işin gerçekleştirilmesinde ölçümlerin doğru ve hassas yapılmasıdır.

Yapım örneği: Hafif çelik iç bölme duvar uygulanacak C profiller kesilirken uzunluk ölçüsünün doğru alınması, metal panel cephe kaplaması uygulanacak cephede düşey profil aralıklarının doğru uygulanması, metrajın doğru hesaplanması, kot belirleme

ve markalama işleminin doğru yapılması, kolon kalıplarına başlanırken yatay ölçünün doğru alınması vb.

29. Parametre: Üretim hassaslığı (accuracy of manufacturing)

Malzemelerin boyutsal hassasiyeti ve uygulamadaki işçilik kalitesine bağlı olarak üretim doğruluğu, üretim hassaslığıdır.

Yapım örneği: Epoksi karışım hazırlayan işçinin malzemeleri karışım oranlarına göre doğru miktarda hazırlayıp karıştırması, soğuk demirci ustasının kolon etriye demirlerini kolon boyutlarına göre doğru ölçüde kesmesi ve istenilen formlarda (tevzi, çiroz, etriye vb.) hazır hale getirmesi, çelik kirişlerdeki bulon deliklerinin tam yerinde ve ölçüsünde açılması vb.

30. Parametre: Dışarıdan nesneye etki eden zararlı unsurlar (harmful factors acting on an object from outside)

Malzeme üzerinde olumsuz etkileri olan unsurlardır. Çevresel şartlar ve işçilik hataları (hatalı uygulama) nedeniyle yaşanması muhtemel olumsuzluklardır.

Yapım örneği: Güneş ışınlarının malzemelerin renklerinin solmasına yol açması, su yalıtım örtüsünün yeterince yapışmamasının zaman içinde malzemeden su geçişi problemine yol açacak olması, şantiye sahasında depolanan demirlerin paslanması, OSB²⁷ levhaların su alarak şişmesi vb.

31. Parametre: Nesneden kaynaklanan zararlı unsurlar (harmful factors developed by an object)

Malzemelerin uygulanması, araçların kullanılması ve yapımın gerçekleştirilmesinde malzeme, araç ve uygulamaların kendisinden kaynaklanan zararlı etkilerdir.

Yapım örneği: Epoksi karışımın solunması ile epoksi döşeme kaplaması uygulamasının işçilerin akciğer sağlığı üzerindeki zararlı etkisi; asbest içeren ürünler, kurşun içeren boyalar; şantiye sahasında stoklanan malzemelerin planlı yerleştirilmemesi sonucunda şantiyeye girmesi gereken araçların manevra sahasını daraltması ve hasara yol açması; kompresörle yapılan boya uygulaması sonrasında uçuşan toz boyaların bitmiş kaplamalarda leke oluşturması vb.

²⁷ Oriented Strand Board (Yönlendirilmiş Yonga Levha)

32. Parametre: Üretilebilirlik (manufacturability)

Yapımın gerçekleştirilebilirliğidir. Yapılabilirlik performansdır.

Yapım örneği: Olumsuz çevresel etmenler altında yapımın gerçekleştirilebilmesi, iç bölme duvarın hafif çelik sistemle üretilmesi vb.

33. Parametre: Kullanım kolaylığı (convenience of use)

Malzeme, işçilik ve araçlara bağlı olarak yapım işindeki iş adımlarında sağlanan kolaylıklardır.

Yapım örneği: Yerinde karışımı hazırlanan harçlar yerine hazır sıva harçlarının uygulanması, endüstriyel kalıplar ile düzgün yüzeylerin elde edilmesi vb.

34. Parametre: Onarım edilebilirlik / tamir edilebilirlik (repairability)

Yapım sürecinde araçlar (motorlu el aletleri, iş makineleri) için tamir, malzeme ve yapım işi için onarım anlamında kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen yapımın uygulama ve malzeme özelliklerine, zamana bağlı olarak onarımını; yapım sürecinde ortaya çıkabilecek (hatalı uygulama, yanlış seçim yapılan malzeme vb.) onarım gereksinimini ve yapımda kullanılan araçların tamirini içermektedir.

Yapım örneği: Döşeme betonu yüzeyinde oluşan çatlakların tamir harcı ile giderilmesi, beton santralinin periyodik bakımı, uygulama sırasında hatalı işçilik sonucu zarar gören cephe panelinin yenisi ile değiştirilmesi vb.

35. Parametre: Uyarlanabilirlik (adaptability)

Yapım işinde süre ve maliyet açısından kazanç elde etmeye olanak sağlayan benzer yapım işlerinin malzeme ve araç girdileri ile uyarlanabilmesidir.

Yapım örneği: Lifli çimento levha altındaki düşey taşıyıcıların ahşaptan yapılması, köşebent birleşimin birden çok yerde değişiklik gerektirmeden kullanılması vb.

36. Parametre: Araç karmaşıklığı (complexity of a device)

Yapımda kullanılan araçların kullanım güçlüğüdür. Otomasyon seviyesinin yükselmesi, araç karmaşıklık düzeyini artırırken araçların kullanımını da güçleştirebilmektedir. Diğer taraftan, yükselen otomasyon seviyesi ile uygulama ve üretim hassaslığı artmaktadır.

Yapım örneği: Kuru karışım püskürtme beton makinesinin yaş karışım makinesine göre daha karmaşık olması ve daha kalifiye işçilik gerektirmesi, ustalık

gerektirmeyen yapım işlerinde kullanılan araçların / el aletlerinin pek çok işçi tarafından rahatlıkla kullanılabilmesi, gelişmiş vinç sistemlerini kullanacak profesyonel düzeyde operatör istihdam edebilme gücü vb.

37. Parametre: Kontrol karmaşıklığı (complexity of control)

Yapım ile ilgili iş programının, ilgili tüm işlerin ve işçiliklerin takip edilmesindeki zorluklardır.

Yapım örneği: Eş zamanlı ilerlemesi gereken yapım işlerine ait iş programlarının takip edilmesi, şapın altında kalan su borusundaki kaçağın yerinin belirlenme zorluğu vb.

38. Parametre: Otomasyon seviyesi (level of automation)

Otomasyon, bir işin insan ile makine arasında paylaşılmasıdır. İnsan gücünün yoğun olduğu otomasyon sistemleri, yarı otomasyon; makinenin yoğun olduğu sistemler, tam otomasyon olarak adlandırılmaktadır. Hız, güvenilirlik, cihaz karmaşıklığı ve verimlilik parametreleri ile doğrudan ilişkilidir.

Yapım örneği: Elle kullanılan demir kesme aletlerinin yerine bilgisayar programlı demir kesme makinelerinin kullanılması, yapım işi enformasyon sistemi programının hazırlanması, makine yoğun yapım ile işçilik sayısının azaltılması vb.

39. Parametre: Verimlilik (capacity / productivity)

Verimlilik çıktıların, çıktıları elde etmek için kullanılan girdilerin toplamına oranıdır. Yapımda verimlilik, yapımda kullanılan kaynakların etkinliğinin ölçüsüdür. İşçilik verimliliği, malzeme verimliliği ve araç verimliliği olarak ele alınmaktadır. Kalite, süre ve maliyet yapımda verimliliği etkileyen üç ana parametredir.

Yapım örneği: Gazbeton blok ile duvar örülmesi ve bims blok ile duvar örülmesindeki işçilik verimliliklerinin (zaman / m²) karşılaştırılması vb.

3.3.1.2 Yerde yapım sürecinde TRIZ Yaratıcı Prensipleri

Yerde yapım sürecinde TRIZ 40 Yaratıcı Prensip'in uyarlanması çalışmasında, prensiplerin özgün açıklamalarına (Bk. Böl. 3.2.2, s. 75 - 81) bağlı kalınmıştır. Bu amaçla İngilizce karşılıkları parantez içinde yazılmıştır. Prensiplerin, yerde yapıma uyarlanan açıklamaları yapılmıştır. Her prensip için işçilik, malzeme, araç yapım

girdileri ve yerinde yapım teknikleri ile yapım sürecini kapsayacak şekilde yerinde yapım örnekleri verilmiştir.

Yaratıcı Prensipler'in yerinde yapım alanındaki açıklamaları ve yapım örnekleri aşağıda sunulmaktadır:

1. Prensip: Bölümlere ayırma (segmentation)

- Bileşenin / sistemin / sürecin bağımsız parçalara, iş adımlarına ayrılması
- Bileşenin / sistemin kolayca kurulması ve sökülmesi için bölümlere ayrılması
- Bileşendeki / sistemdeki / süreçteki parça veya alt süreç sayısının artırılması

Yapım örneği: İş aşamalarının ayrılması; duvar örme işi, yalıtım işi, kalıp işi, donatı işi vb.; su tesisatında ayrılabilir eklemlerin kullanılması; şapın anolarla ayrılarak bölüm bölüm dökülmesi vb.

2. Prensip: Çıkartma (extraction)

- Uygulamadaki / süreçteki / sistemdeki / bileşendeki / malzemedeki sorun çıkaran adımın/parçanın çıkarılması
- Sadece gerekli olan adımın / parçanın, uygulamada / süreçte / sistemde / malzemede bırakılması

Yapım örneği: Gazbeton duvar bloklarının kesildikten sonra yüzey düzgünlüğü amacıyla blokların taraklanması, gazbeton içinde tesisat geçişine izin verecek ölçüde tesisat boşluğu açılması, betonarme döşemede tesisat boşluklarının bırakılması vb.

3. Prensip: Farklı ve yararlı kullanımlara ayırma (local quality)

- Malzemenin / bileşenin / sistemin / aracın yapısının tekli yapıdan tekli olmayan yapıya dönüştürülmesi
- Malzemenin / bileşenin / sistemin / aracın her parçasının kullanım şekillerine göre ayrı ayrı tasarlanması
- Malzemenin / bileşenin / sistemin / aracın her parçasının farklı ve yararlı kullanımlar için hazırlanması

Yapım örneği: Çivi sökücü çekiç ile hem çakma hem sökme işleminin yapılması, çok işlevli tornavidaların kullanılması, esnek çalışma saatlerinin getirilmesi, çalışma saatlerinin mevsim koşullarına göre düzenlenmesi vb.

4. Prensip: Asimetri (asymmetry)

- Malzeme / bileşen şeklinin, uygulama şeklinin simetrik halden asimetrik duruma getirilmesi
- Malzeme / bileşen şeklinin asimetrikliğinin veya uygulamadaki farklılık derecesinin artırılması

Yapım örneği: Teras çatılarda eğim betonu ile %1 eğimin sağlanması, yüksek otomasyon seviyesi ile az işçilik kullanımı, yoğun makine kullanımı ile zaman kaybının azalması, işçilik performansına göre ödüllendirme vb.

5. Prensip: Birleştirme (consolidation)

- Uygulamada paralel işlerin yürütülmesi için aynı ya da benzer özellikteki malzemelerin bir araya getirilmesi, araçların birlikte kullanılması
- Uygulamada paralel işlerin / işlemlerin zamansal olarak bir araya getirilmesi

Yapım örneği: Bir taraftan harç karılırken diğer taraftan bir başka işçi tarafından uygulanacak duvar yüzeyinin temizlenmesi, beton dökümünden önce beton dökülecek tüm elemanlarda donatı işlerinin tamamlanması vb.

6. Prensip: Çok işlevlilik, işlevsellik (universality)

- Malzeme / sistem veya uygulama adımının bir parçasının diğer parçaların / süreçlerin işlevlerini yerine getirmesi ile onlara olan gereksinimin ortadan kaldırması

Yapım örneği: Brüt beton uygulaması ile bitirme kaplaması olarak sıva yapımına gerek kalmadan betonun kalıptan çıktığı haliyle kullanılması, lifli yapıdaki ısı yalıtım malzemelerinin aynı zamanda ses yalıtımı amaçlı kullanılması vb.

7. Prensip: İç içe geçme [nesting (matrioshka)]

- Malzemelerin / bileşenlerin / sistemlerin sıra ile diğerlerinin içinde yer alması
- Malzemenin / bileşenin bir parçasındaki eksikliğin diğer malzeme / bileşen ile karşılanması, süreçteki eksikliğin bir diğer süreç adımı içinde karşılanması

Yapım örneği: Çelik yapımda farklı boyutlardaki elemanların kendi izdüşümleri içinde monte edilmesi, iç içe geçmiş istiflemeye sahip depolama ile alan kazanılması, döşeme kalıplarının altında teleskopik dikmelerin kullanılması vb.

8. Prensip: Karşı ağırlık kullanma (counterweight)

- Malzemenin / bileşenin / sistemin ağırlığının, kaldırma gücüne sahip bir başka malzeme / sistem / bileşen ile karşılanması
- Malzemenin / bileşenin / sistemin ağırlığının çevreden destek alınarak karşılanması

Yapım örneği: Yüzer döşeme uygulaması, döşeme kalıplarının payandalarla desteklenmesi, tuğla örme duvarın düşey şakulü alınırken kirişten veya döşemeden sarkıtılan çırpı ipinin ucuna kırık tuğla parçası bağlanarak ağırlık verilmesi vb.

9. Prensip: İstenmeyen etkilere karşı başlangıçta karşı hareket (prior counteraction)

- Zararlı etkilere de sahip bir eylem için bu etkileri kontrol edebilecek bir karşıt eylemin önceden oluşturulması, ileride oluşabilecek istenmeyen etkilere karşı uygulamadan önce olumsuzluğu giderecek önlemin alınması

Yapım örneği: Beton yüzeyde priz alırken oluşan çatlakların tamir harcı ile onarılmasından önce kargı kullanılarak çatlak derinliklerinin artırılması, ön gerilimli civataların kullanılması vb.

10. Prensip: Başlangıçta değişiklik ya da düzenleme (prior action)

- Süreçte / uygulamada ihtiyacın ortaya çıkmasından önce tamamen ya da kısmen gerekli ön değişikliklerin, ön düzenlemelerin yapılması
- Malzeme / sistem / araç / işçiliğin kullanımına gereksinim duyulacağı durumlar için önceden olmaları gereken yerde bulunmaları

Yapım örneği: Epoksi uygulamasından önce döşeme yüzeyinin temizlenmesi, parke uygulaması yapılırken mekanın duvar köşelerinde sıcak-soğuk genleşmelerine karşı derz boşluğu bırakılması vb.

11. Prensip: Düşük güvenilirliğe karşı önceden önlem alma (cushion in advance)

- Malzemenin veya yapılacak uygulamanın düşük düzeydeki güvenilirliğinin önceden önlem alınarak karşılanması

Yapım örneği: Darbe sesine karşı ahşap kadron altına neopren şerit uygulanması, su yalıtım örtülerinin en az iki kat ve şaşırtmalı uygulanarak olası su geçişlerinin önlenmesi, iş iskelesinin etrafına gerilen örtünün etki eden dinamik rüzgar yüküne karşı koyabilmesi için yer yer delinmesi vb.

12. Prensip: Hareket alanını kısıtlama (equipotentiality)

- Malzemelerin / bileşenlerin / sistemlerin potansiyel alandaki hareket gereksiniminin (alçalmak, yükselmek, dönmek vb.) ortadan kaldırılması için işlem koşullarının değiştirilmesi ile sistemin çalışmasının sağlanması

Yapım örneği: Döşeme kalıplarının uygulanmasında, ahşap kadronlar üzerindeki işçi yükü ile birlikte aşağıya doğru hareketin engellenmesi için teleskopik direklerin işçinin ilerlemesi ile eş zamanlı yerleştirilmesi vb.

13. Prensip: Ters yoldan yap, diğer yoldan ele al (do it in reverse)

- Bir problemi çözmek için kullanılan yöntemin tersine işletilmesi
- Sabit malzemelerin / bileşenlerin / sistemlerin / sürecin / işçiliğin hareketli hale getirilmesi
- Malzemenin, sistemin ya da sürecin ters düz edilmesi

Yapım örneği: Malzemenin / sistemin / elemanın 180° veya 360° çevrilerek montajının yapılması; aleti çevirmek yerine parçanın çevrilmesi; loderin, dozerin, damperli kamyonun kepçelerinin ters çevrilmesi yoluyla içindekilerin boşaltılması; yukarıdan montaj yapılamaması durumunda aşağıdan montaj yapılması; çalışılan ekipler arasında dönüşümlü değişikliklere gidilmesi vb.

14. Prensip: Küreselliğin / daireselliğin / eğriselliğin kullanımı (spheridality)

- Düz parçaların, yüzeylerin veya biçimlerin yerine eğrisel parçaların, yüzeylerin ya da biçimlerin kullanılması; düz yüzeylerden küresel yüzeylere geçilmesi; kübik yapılar yerine küresel yapılar kullanılması
- Silindir, yuvarlak, spiral ve kubbe formların kullanılması
- Montajda doğrusal hareket yerine dönel hareketlerin kullanılması, merkezkaç kuvvetinden yararlanılması

Yapım örneği: Çivi ile birleşim yerine vida ile birleşim yapılması, helikopter ile şap yüzeyinin tesviye edilmesi vb.

15. Prensip: Dinamizm, esneklik (dynamicity)

- Sürecin, dış çevrenin veya bileşenin / sistemin karakteristik özelliklerinin en uygun çalışma koşullarını sağlayacak şekilde tasarlanması ya da buna izin verilmesi

- Malzeme / bileşen / sistem veya sürecin hareket etme yeteneği olan alt parçalara / süreçlere bölünmesi
- Esnek olmayan ve kararlı bir özelliğe sahip bileşen / sistem ya da süreçlerin hareket edebilir ve uyarlanabilir hale getirilmesi

Yapım örneği: Farklı iş ekiplerinin aynı anda çalışabilmesi için organizasyonun yapılması, sökülüp takılabilir birleşimler kullanılması, birleşimlerde çalışma derzleri bırakılması vb.

16. Prensiptir: Kısmi ya da gereğinden fazla hareket / eylem (partial or excessive action)

- Bir sürecin %100'ünün verilen yöntemle başarılmasının mümkün olmadığı durumlarda, aynı yöntemin bir parça azının veya bir parça fazlasının kullanılması ile çözümün daha kolay elde edilmesi

Yapım örneği: Vidanın montaj sırasında gereğinden fazla çevrilmesi ile kaplamanın çatlaması; boya, sıva yapılırken malzemenin yüzeye fazla uygulanması, daha sonra fazlalığın mala ile alınması; işinde erbab ustaların kullanılması veya işin niteliğine göre düz işçi kullanılması vb.

17. Prensiptir: Yeni bir boyuta geçiş, diğer boyut (transition into a new dimension)

- Bileşenin / sistemin / malzemenin iki ya da üç boyutlu uzayda hareket ettirilmesi
- Bütün yapıya sahip bileşenler/sistemler yerine çoklu yapıya sahip bileşenlerin/sistemlerin kullanılması
- Verilen bir alanın başka kenarının kullanılması
- Bir malzemenin / bileşenin / sistemin yeniden yönlendirilerek bir kenarı üzerinde konumlandırılması

Yapım örneği: Vincin şantiyede konumlandırılması, damperli kamyon ile malzemenin boşaltılması vb.

18. Prensiptir: Mekanik titreşim kullanma (mechanical vibration)

- Bir malzemenin / karışımın salınımının ya da dalgalanımının sağlanması
- Salınımın ya da dalgalanım varsa sıklık derecesinin artırılması

- Titreşimin sıklığının kullanılması
- Ultrasonik titreşimlerin kullanılması

Yapım örneği: Mikser ile beton karışımı, geniş beton yüzeylerde helikopter ile şap yüzeyinin sıkıştırılıp yüzey düzgünlüğünün elde edilmesi, beton dökümü yapılırken aynı anda beton vibratörü ile betonun yerleşiminin sağlanması, malzeme / bileşen / eleman yüzeyinde ve bünyesindeki çatlakların ultrases yöntemi ile tespit edilmesi vb.

19. Prensip: Periyodik hareket (periodic action)

- Sürekli eylemler yerine periyodik eylemlerin kullanılması
- Periyodik eylemin frekansının (oluş sıklığı) değiştirilmesi
- Daha farklı bir eylemin gerçekleştirilmesi için etki eden güçler arasında duraklamaların sağlanması

Yapım örneği: Kalıptan çıkarılan betonun prizini alana kadar belli aralıklarla ıslatılması, su yalıtım uygulamasında işçinin şalümo alevini eşit uzaklıkta ve eşit sürede tutarak uygulamayı sürdürmesi, harç üzerindeki tuğla bloğun belirli sayıda ve eşit kuvvette tokmaktama işlemi ile sabitlenmesi vb.

20. Prensip: Faydalı hareketin / işin devamlılığı (continuity of useful action)

- Bir bileşenin / sistemin bütün alt parçalarının daimi olarak tam yükte çalışmasını sağlayarak sürekli çalışmanın elde edilmesi
- Yapım sürecindeki bütün atıl, kesikli eylemlerin daimi işlerin elenmesi
- Uygulamalarda geri - ileri hareket yerine döner hareket kullanılması

Yapım örneği: İşçilerin aynı saatte işe başlamalarının sağlanması ile motivasyonun artırılması vb.

21. Prensip: Acele etme, hızlı hareket etme, es geçme (rushing through)

- Bir süreç içindeki zararlı ve tehlikeli operasyonlar gibi belirli evrelerin hızla yürütülmesi veya süreç içinde zararlı ve tehlikeli operasyonların es geçilmesi

Yapım örneği: Çok soğuk havalarda beton dökümünün hızlandırılması için katkı maddeleri kullanılması, biçim deformasyonlarını önlemek amacıyla plastik malzemenin kesilme işleminin ısının birikme hızından daha hızlı yapılması vb.

22. Prensip: Zararı yarara dönüştürme (convert harm into benefit)

- Zararlı etmenlerin, özellikle de çevre ve ortamın zararlı etkilerinin olumlu bir etki yaratmak için kullanılması; bir süreçteki atığın bir diğer süreçte ham madde olarak kullanılması
- Başlıca zararlı eylemin, bir diğer zararlı eyleme eklenerek problemin çözümünde kullanılması

Yapım örneği: Teras çatı kaplama uygulamasında fazla gelen çakılın bahçeye serilmesi, selüloz ($C_6H_{10}O_5$) endüstrisi atığı olan sıvıların toprağa katılması ile kerpicingin dayanımının artırılması vb.

23. Prensip: Geri besleme (feedback)

- Bir sürecin veya eylemin geliştirilmesi için geri beslemenin kullanılması
- Geri beslemenin mevcut durumda kullanılıyor olması durumundaysa, büyüklüğünün ya da etkisinin artırılması

Yapım örneği: Çalışılan taşeron firma ile sorunlar yaşanması durumunda bir dahaki uygulamada aynı taşeron firma ile çalışılmaması, uygulamada sorun yaşanan malzemenin daha sonraki uygulamalarda kullanılmaması vb.

24. Prensip: Aracı kullanma (mediator)

- Bir aracı nesne veya sürecin kullanılması
- Bir malzemenin / aracın geçici olarak ve kolayca ayrılabilir şekilde bir diğeri ile birleştirilmesi

Yapım örneği: Boyadan önce yüzey ile arasındaki aderansı kuvvetlendirmek amacıyla astar uygulanması, döşeme donatıları ile kalıp arasında bırakılması gerekli olan ara için paspay kullanılması, çekiç ve çivi arasında çivi tutucusu kullanılması, vida tespitinden önce plastik dübel yerleştirilmesi vb.

25. Prensip: Kendi kendine hizmet (self service)

- Bir malzemenin / bileşenin / sistemin veya sürecin faydalı yardımcı işlevleri yerine getirerek kendisine hizmet etmesi

Yapım örneği: Zamanla çevresel etmenler ile kurşun malzemenin üzerinde oluşan patina tabakasının oluşumundan sonra malzemeyi çevresel etmenlere karşı koruması;

gazbeton bloğun hem hafif olması hem de ısı tutucu özelliğinin olması; atık kaynakların, enerjinin ve malzemelerin kullanılması vb.

26. Prensip: Kopyalama (copying)

- Maliyeti yüksek, uygulaması hassas malzemelerin / sistemlerin / araçların yerine kopyalarının kullanılması; maliyeti yüksek, uygulaması karmaşık işlerin aynı görevi görecektir diğer işlemler ile gerçekleştirilmesi
- Kızılötesi, ultraviyole kopyaların kullanılması ile değiştirme
- Bir malzeme / bileşen / sistem ya da sürecin görsel örneği ile değiştirilmesi

Yapım örneği: Masif ahşap cephe kaplaması yerine kompakt laminat ahşap cephe paneli kullanımı, hatalı uygulamanın doğru uygulama örneğinin kopyalanması ile değiştirilmesi vb.

27. Prensip: Tasarruf ederek değiştirme (dispose)

- Pahalı bir malzemenin / bileşenin / sistemin / aracın hizmet ömrü gibi belirli özelliklerini kapsayan maliyeti düşük diğer malzeme / bileşen / sistem / araç ile değiştirilmesi

Yapım örneği: Döşeme yüksekliği kadar harç kullanmak yerine belirli bir yüksekliğe kadar kum serilip kumun üzerine ince bir tabaka halinde harç dökülmesi, geçici montajı sağlayan yapıştırıcı ve aynı zamanda uçucu solüsyonların kullanılması vb.

28. Prensip: Mekanik sistemin yerine diğer sistemleri koyma (replacement of mechanical system)

- Uygulamalarda / süreçlerde mekanik sistemler yerine optik, akustik, ısı, duyumsal ya da kokusal sistemlerin kullanılması
- Cisimlerle etkileşim için manyetik, elektronik ve elektromanyetik alanların kullanılması
- Malzeme / bileşen / sistem / işçilik için durağan halden hareketli duruma geçilmesi
- Manyetik dalgaların, manyetik dalgalardan etkilenen parçacıklar üzerinde kullanılması

Yapım örneği: Gaz sızıntılarını algılayacak elektronik ve mekanik sistemler yerine gaza kötü kokulu bir madde karıştırılması, X ışın analizini gerçekleştirmek için çimento içine radyoaktif tozlar karıştırılması vb.

29. Prensip: Pnömatik ya da hidrolik yapılar/sistemler kullanma (pneumatic or hydraulic constructions)

- Katı parçacıklar yerine sıvı ve gaz parçacıkların kullanılması, uygulamalarda pnömatik ve hidrolik araçların kullanılması

Yapım örneği: Pnömatik asma tavan uygulamaları, kendiliğinden yerleşen beton uygulaması, insan gücü ile malzeme ve araçların taşınması yerine forklift kullanılması, su terazisi ile yüzey düzgünlük ölçümü, hidrolik asansör sistemlerinin kullanılması vb.

30. Prensip: Esnek örtüler / kabuklar ya da ince filmler kullanma (flexible membranes or thin films)

- Esnek kabukların ve ince filmlerin geleneksel yapıların yerine kullanılması
- Dış etkenlere karşı malzeme / sistem ve bileşenleri izole etmek için esnek kabukların ve ince filmlerin kullanılması

Yapım örneği: Camın U değerini azaltmak için low-e kaplamaların 1. veya 2. cam iç yüzeyine uygulanması, ıslak hacimlerde yüzeye sürülen su yalıtımı uygulaması, yüzey üzerine astar uygulaması ile yalıtımın aderansının artırılması vb.

31. Prensip: Gözenekli malzemeler kullanma (porous materials)

- Gözenekli malzemeler kullanılması ya da malzemelere / bileşenlere / sistemlere gözenekli elemanlar eklenmesi
- Malzeme / bileşen / sistem gözenekli ise gözeneklerin kullanılması ile yararlı bir işlev sağlanması

Yapım örneği: Gazbeton kullanımı, nefes alan su yalıtım malzemelerinin kullanımı, gözenekli bir metal fitilin kullanılması ile fazla lehimin uygulama yerinden uzaklaştırılmasının sağlanması vb.

32. Prensip: Renk değişikliği (changing the color)

- Malzemenin kendi renginin veya çevresinin renginin değiştirilmesi
- Malzemenin ya da çevresinin saydamlık derecesinin artırılması

- Görülmesi zor malzeme / bileşen / sistem / sürecin gözlemlenmesi için renk kullanımı

- Renk katkıları sürekli kullanılıyor ise ışıklı, parlak izlerin kullanılması

Yapım örneği: Sahada işçilerin fosforlu sarı, turuncu gibi dikkat çekici renklerde iş yelekleri giymeleri; saydam yüzeyler ile bir taraftan diğer tarafın algılanması; çırpı ipinin fark edilmesi için gerektiğinde renklendirilmesi; dijital lazerli uzaklık ölçer cihazı ile ölçü alınması, mekanların alan ve hacimlerinin hesaplanması vb.

33. Prensip: Homojenlik (homogeneity)

- Malzemelerin / bileşenlerin / sistemlerin / süreçlerin, aynı malzemelerle / bileşenlerle / sistemlerle / süreçlerle ya da aynı özelliklere sahip malzemelerle / bileşenlerle / sistemlerle ilişki içinde bulunmasının sağlanması

Yapım örneği: Ahşap masif parke altında ahşap kadron uygulaması, elmasları kesmek için elmastan yapılmış kesicilerin kullanılması, elektrolitik korozyonu önlemek amacıyla aynı metallerin bir arada kullanılması vb.

34. Prensip: Devre dışı bırakma ve yeniden ele alma (rejecting and regenerating parts)

- Malzemenin / bileşenin / sistemin ya da sürecin işlevini tamamlamış kısımlarının malzeme / bileşen / sistem veya süreçten ayrılması
- Harcanan malzeme ve araçların gereksinim aşamasında sürece geri katılmasının sağlanması

Yapım örneği: Kolon, perde duvarların ahşap kalıplarının hazırlanmasında kullanılan çiroz ve çiroz kelepçelerinin beton sertleştikten sonra çıkarılıp yeni kurulacak kalıplarda yeniden kullanılması; jeneratörün motoru çalıştırmak için kullandığı enerjiyi, motor çalışıp tekerlekler dönmeye başladıktan sonra geri kazanması vb.

35. Prensip: Parametrelerin değişikliği (transformation of properties)

- Malzemenin fiziksel durumunun, yoğunluğunun, esnekliğinin, sıcaklığının vb. değiştirilmesi
- Süreçteki iş yoğunluklarının değiştirilmesi
- Süreçteki işlerin esneklik derecesinin değiştirilmesi

Yapım örneği: Kerpiç hamuru içerisine saman ve benzeri lifler, bitüm, bağlayıcı nitelikteki endüstri atıkları, kireç, çimento, alçı katılması ile taşıyıcılık özelliklerinin ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi; yoğun iş süreçlerinde verilen dinlenme ve çay molaları ile işçilik motivasyonunun artırılması vb.

36. Prensip: Hal geçişleri / faz dönüşümleri (phase transitions)

- Hal geçişleri, faz dönüşümleri sırasında oluşan bir etkinin kullanılması

Yapım örneği: Çivinın soğutularak çapının daraltılması ile yerinden çıkarılması, doğrama arası boşluğa sıkılan poliüretanın katılaşarak boşluğu doldurması vb.

37. Prensip: Isıl genleşme özelliğini kullanma (thermal expansion)

- Malzemelerin / bileşenlerin ısı genleşme özelliklerinin kullanılması
- Genleşme gerçekleşiyorsa genleşme katsayısı farklı olan malzemelerin bir arada kullanılması

Yapım örneği: Çivi ile kaplama tahtasına sabitlenen polimer esaslı su yalıtım örtülerinin genleşerek delik oluşumunu engellemesi vb.

38. Prensip: Hızlandırılmış / kuvvetli oksitlendiriciler kullanma (accelerated oxidation)

- Havanın oksijenle zenginleştirilmiş hava ile değiştirilmesi
- Havanın saf oksijenle değiştirilmesi
- İyonikleştirilmiş oksijen kullanılması

Yapım örneği: Oksi - asetilen kaynak kullanılarak daha yüksek derecede kaynak yapılabilmesi, epoksi uygulamasında işçilerin her yarım saatte bir içinde bulundukları ortamdan çıkarak temiz hava almalarının sağlanması vb.

39. Prensip: Eylemsiz / durgun ortam / çevre (inert environment)

- Normal çevrenin durağan hale getirilmesi
- Bileşene / sisteme veya sürece durağan eklentiler yapılması ya da nötr parçalar eklenmesi

Yapım örneği: Ağır çalışma koşullarında dinlenme ve rahatlama molaları ile işçilik verimliliğinin artırılması, işçiler arasında sorun yaşandığında tarafsız durum değerlendirmesinin yapılabilmesi vb.

40. Prensip: Kompozit malzemeler kullanma (composite materials)

- Tek çeşit malzeme yerine birleşik malzemelerin kullanılması

Yapım örneği: Geleneksel ahşap doğrama malzemesi yerine lamine ahşap kullanımı, ısı yalıtımı içeren sandviç cephe panellerinin kullanılması vb.

İşçilik, malzeme, araç yapım girdileri ve yapım uygulamaları ile tanımlanan ve açıklamaları yapılan 40 Yaratıcı Prensip tanımları, yerinde yapım sürecine uyarlanmış olarak Çizelge 3.5’de listelenmektedir.

Çizelge 3.5: Yerinde yapım sürecine uyarlaması yapılan 40 Yaratıcı Prensip tanımı.

Prensip	40 Yaratıcı Prensip
1	Bölmelere ayırma
2	Çıkartma
3	Farklı ve yararlı kullanımlara ayırma
4	Asimetri
5	Birleştirme
6	Çok işlevlilik, işlevsellik
7	İç içe geçme
8	Karşı ağırlık kullanma
9	İstenmeyen etkilere karşı başlangıçta karşı hareket
10	Başlangıçta değişiklik ya da düzenleme
11	Düşük güvenilirliğe karşı önceden önlem alma
12	Hareket alanını kısıtlama
13	Ters yoldan yap, diğer yoldan ele al
14	Küreselliğin / daireselliğin / eğriselliğin kullanımı
15	Dinamizm, esneklik
16	Kısmi ya da gereğinden fazla hareket/eylem
17	Yeni bir boyuta geçiş, diğer boyut
18	Mekanik titreşim kullanma
19	Periyodik hareket
20	Faydalı hareketin / işin devamlılığı
21	Acele etme, hızlı hareket etme, es geçme
22	Zararı yarara dönüştürme
23	Geri besleme
24	Aracı kullanma
25	Kendi kendine hizmet
26	Kopyalama
27	Tasarruf ederek değiştirme
28	Mekanik sistemin yerine diğer sistemleri koyma
29	Pnömatik ya da hidrolik yapılar / sistemler kullanma
30	Esnek örtüler / kabuklar ya da ince filmler kullanma
31	Gözenekli malzemeler kullanma
32	Renk değişikliği
33	Homojenlik
34	Devre dışı bırakma ve yeniden ele alma
35	Parametrelerin değişikliği
36	Hal geçişleri / faz dönüşümleri
37	Isıl genleşme özelliğini kullanma
38	Hızlandırılmış / kuvvetli oksitlendiriciler kullanma
39	Eylemsiz / durgun ortam / çevre
40	Kompozit malzemeler kullanma

3.3.1.3 TRIZ Mühendislik Parametreleri'nin ve Yaratıcı Prensipleri'nin yerinde yapım sürecine uyarlanmasının değerlendirilmesi

İlgili bölümde TRIZ incelenerek Mühendislik Parametreleri'nin ve Yaratıcı Prensipleri'nin / Çözüm Önerileri'nin mimarlıkta inşaat alanına, yerinde yapım uygulamalarına uyarlanması çalışması yapılmıştır. Akademik ortamda öğretim üyeleri ve yardımcıları ile yapılan anket çalışmaları ve yüz yüze görüşme yöntemi sonucunda elde edilen tespitler aşağıda sunulmaktadır:

- Mühendislik Parametreleri'nin ve Yaratıcı Prensipler'in İngilizce karşılıklarından çeviri yapılırken kelimelerin olabildiği kadar sözlük anlamları ile kullanılmasına dikkat edilmiştir. Özgün açıklamaları esas alınmıştır.
- Object sözcüğü, ilgili parametre veya prensibin açıklamasına göre nesne anlamında malzeme, bileşen, araç ya da sistem olarak ele alınmıştır.
- Mühendislik Parametreleri'nin mevcut tanımları olduğu hali ile yerinde yapım sürecinde anlaşılır bulunmuş, 39 Mühendislik Parametresi özgün tanımları ile herhangi bir açıklamaya gerek duyulmadan aynen kullanılmıştır.
- Yaratıcı Prensipler'in bir bölümünün mevcut tanımları olduğu hali ile yerinde yapım sürecinde anlaşılır bulunmuş, özgün tanımları ile herhangi bir açıklamaya gerek duyulmadan aynen kullanılmıştır. Diğer bölümünde ise prensip açıklamalarına bağlı kalınarak tanımlamalar yapılmıştır.
- İngilizce'den çevirisi yapıldığında, 3. Prensip olan “local quality”, kelime anlamı olarak “yerel kalite” anlamına gelmektedir. Anket çalışmalarında da kelime çevirisi yerel kalite olarak yapılmış ve yerel işçilik, yerel malzeme kullanımı, yerel uygulamalar vb. yapım örnekleri verilmiştir. Ancak, prensibin açıklaması (Bk. s. 75) yerel kalite kelime anlamından tamamen farklıdır. Prensip açıklamaları esas alınarak yerel kalite yerine 3. Prensip, “farklı ve yararlı kullanımlara ayırma” olarak tanımlanmıştır (Bk. s. 94).
- 12. Prensip olan “eşit potansiyellik (equipotentiality)”, anket çalışmalarında anlaşılamayan tek prensip olmuştur. Özgün açıklamasına bağlı kalınarak (Bk. s. 76) “malzemelerin / sistemlerin / bileşenlerin potansiyel alandaki alçalmak, dönmek, yükselmek vb. hareket gereksiniminin ortadan

kaldırılması için işlem koşullarının değiştirilmesi ile sistemin çalışmasının sağlanması” şeklinde açıklanmış ve yapım örneği verilmiştir (Bk. s. 97). Eşit potansiyellik yerine “hareket alanını kısıtlama” olarak prensip tanımlanmıştır.

- Aşağıda yer alan prensiplerin daha iyi anlaşılabilmesi için tanımların yanına “kullanma” fiili eklenmiştir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6: Yaratıcı Prensipler’in yerinde yapım sürecinde kullanılan tanımları.

Prensip	İlk tanımı	Kullanılan tanımı
8	Karşı ağırlık	Karşı ağırlık kullanma
14	Küresellik	Küreselliği / daireselliğin/eğriselliğin Kullanımı
18	Mekanik titreşim	Mekanik titreşim kullanma
29	Pnömatik ya da hidrolik yapılar	Pnömatik ya da hidrolik yapılar kullanma
30	Esnek örtüler ya da ince filmler	Esnek örtüler ya da ince filmler kullanma
31	Gözenekli malzemeler	gözenekli malzemeler kullanma
37	Isıl genleşme	Isıl genleşme özelliğini kullanma
38	Hızlandırılmış oksitlenme	Hızlandırılmış / kuvvetli oksitlendiriciler kullanma
40	Kompozit malzemeler	Kompozit malzemeler kullanma

- Çizelge 3.7’de yer alan prensiplerin yerinde yapım sürecinde daha iyi anlaşılması için açıklamaya yakın tanımlamalar yapılmıştır.

Çizelge 3.7: Yerinde yapım sürecinde açıklamalı Yaratıcı Prensip tanımları.

Prensip	İlk tanımı	Kullanılan tanımı
6	Genelleme	Çok işlevlilik, işlevsellik
9	Başlangıçta karşı hareket	İstenmeyen etkilere karşı başlangıçta Karşı hareket
10	Başlangıçta hareket	Başlangıçta değişiklik ya da düzenleme
11	Önceden önlem alma	Düşük güvenilirliğe karşı önceden önlem alma
13	Ters yoldan yap	Ters yoldan yap, diğer yoldan ele al
15	Dinamizm	Dinamizm, esneklik
17	Yeni bir boyuta geçiş	Yeni bir boyuta geçiş, diğer boyut
28	Mekanik sistemin yerine koyma	Mekanik sistemin yerine diğer sistemleri koyma

Mevcut TRIZ’de yer alan 39 Mühendislik Parametresi ve 40 Yaratıcı Prensip tümüyle kullanılarak mevcut TRIZ Çelişkiler Matrisi, çözüm önerilerinin sunulması aşamasında özgün hali ile değişikliğe gidilmeden kullanılabilmiştir. Her bir Mühendislik Parametresi ve Çözüm Önerisi’nin işçilik, malzeme, araç girdilerini kullanarak yerinde yapıma yönelik açıklamaları yapılmış, yapım örnekleri verilmiştir. Tüm mühendislik alanlarındaki problemlerin çözümünde kullanılan

TRIZ, yerinde yapım alanında ve yapım sürecinde, parametre ve prensiplerde değişikliğe gidilmeden yerinde yapım sürecine uyarlanabilmiştir.

3.3.2 Yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesinde TRIZ'in yerinde yapım sürecine uyarlanmasında belirlenen eksikliklerin giderilmesi

TRIZ problemin tanımlanması, problemin genel TRIZ problemleri ile eşleştirilmesi, çelişki çiftine karşılık gelen TRIZ Yaratıcı Prensip / Prensipleri'nin belirlenmesi ve Yaratıcı Prensip / Prensipler ile ideal çözümün geliştirilmesi olmak üzere dört adımda tanımlı bir yol haritası sunarak problemin çözümüne ulaşmaktadır. TRIZ 39 Mühendislik Parametresi ve 40 Yaratıcı Prensip'in anlam ve açıklamalarına ilişkin yapılan uyarlama çalışmasının ardından yerinde yapım uygulamaları ile TRIZ'in yerinde yapım alanındaki uyarlanabilirliğinin belirlenmesi çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulamalar içinden seçilen “ahşap pano kaplama levhası ile düşey ve yatay yüzeylerde (cephe, çatı) dış kaplama uygulaması” yerinde yapım işi ile TRIZ'in yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesinde yerinde yapım sürecine uyarlanması çalışması, aşağıda sunulan problem çözme adımlarını içermektedir:

- Problemin belirlenmesi
- Çelişkilerin belirlenmesi
- Çözüm öneri / önerilerinin belirlenmesi
- İdeal çözümün geliştirilmesi

Problemin belirlenmesi: Yerinde gözlemlenen “ahşap pano kaplama levhası ile cephe ve çatıda dış kaplama uygulaması” (Şekil 3.2) yapım işindeki problem, belirlenen sürede uygulamanın tamamlanamaması neticesinde uygulama hızının yavaş olmasıdır.

Çelişkilerin belirlenmesi: Ahşap pano boyutları artırılarak bir kerede daha fazla cephe ve çatı yüzeyinin kaplanması ile uygulama süresinin azaltılması istenilmektedir. Diğer taraftan pano boyutlarının artırılması, pano ağırlığının da artmasına yol açacaktır. Ortaya çıkan çelişkinin TRIZ Mühendislik Parametreleri ile eşleştirilmesi sonucunda iyileşen özellik ve kötüleşen özellik tespit edilmiştir.

İyileşen özellik: Hareket halindeki nesnenin alanı [5. Parametre (Bk. s. 85)]

Kötüleşen özellik: Hareket halindeki nesnenin ağırlığı [1. Parametre (Bk. s. 84)]



Şekil 3.2: Ahşap pano cephe ve çatı kaplama uygulaması.

Çözüm öneri / önerilerinin belirlenmesi: TRIZ Çelişkiler Matrisi kullanılarak TRIZ'in sunduğu Yaratıcı Prensipler tespit edilmiştir (Bk. Çizelge C.1, s. 203). İyileşen özellik olan “5. Parametre” ile kötüleşen özellik olan “1. Parametre”nin kesişiminde, Çizelge 3.8’de görüldüğü gibi Çelişkiler Matrisi ile sunulan çözüm önerileri aşağıda listelenmiştir:

2. Prensip: Çıkartma

17. Prensip: Yeni bir boyuta geçiş, diğer boyut

29. Prensip: Pnömatik ya da hidrolik yapılar / sistemler kullanma

4. Prensip: Asimetri

Çizelge 3.8: TRIZ Çelişkiler Matrisi ile çözüm önerilerinin belirlenmesi.

KÖTÜLEŞEN ÖZELLİK → İYİLEŞEN ÖZELLİK ↓		Hareket halindeki nesnenin ağırlığı	Durağan haldeki nesnenin ağırlığı	Hareket halindeki nesnenin uzunluğu	Durağan haldeki nesnenin uzunluğu	Hareket halindeki nesnenin alanı	Durağan haldeki nesnenin alanı
		1	2	3	4	5	6
3	Hareket halindeki nesnenin uzunluğu	8,15, 29,34	---		---	15,17, 4	---
4	Durağan haldeki nesnenin uzunluğu	---	35,28	---		---	17,7, 10,40
5	Hareket halindeki nesnenin alanı	2,17, 29,4	---	14,15	---		---
6	Durağan haldeki nesnenin alanı	---	30,2, 14,18	---	16,7, 9,39	---	

Yerinde gözlem çalışmasında, ahşap panoların iki işçi tarafından uygulama alanına ve montaj yerine taşınması aşamalarında zaman harcandığı tespit edilmiştir. Çözüm önerilerinin her birinin ayrı ayrı kullanılması ile geliştirilen çözümler aşağıda sunulmaktadır:

- Masif ahşap malzemenin kalınlığından dolayı ahşap panonun ağırlığı fazladır. “Çıkartma” prensibi ile ahşap malzeme kalınlığının, malzeme dayanımını olumsuz etkilemeyecek ölçüde azaltılması (Bk. s. 94) ile yeniden boyutlandırılacak olan malzemenin ağırlığı da azalacaktır.
- “Yeni bir boyuta geçiş, diğer boyut” prensibi ile malzemenin üç boyutlu uzayda hareket ettirilmesi açıklamasından yola çıkarak (Bk. s. 98), iki işçi ile tek tek uygulama yerine taşınan ahşap panolar, tekerlekli basit bir araç üzerinde üst üste istiflenerek bir defada uygulama yerine taşınabilecektir.
- “Pnömatik ya da hidrolik yapılar / sistemler kullanma” prensibi ile pnömatik ve hidrolik araçların kullanılması açıklamasından yola çıkarak (Bk. s. 102), uygulama yerine getirilen ahşap panolar, forklift kullanılarak uygulama yüksekliğine (montaj yerine) taşınabilecektir. Özellikle, üst kotta yer alan

cephelerde kaplama uygulaması için panoların üst kota çıkartılması ve yerleştirilmesi aşamalarında, iki işçi malzemeyi taşıırken ve kaldırırken zorlanmakta [Şekil 3.2 (c), 3.2 (d)], sonuç olarak ahşap panolar etraftaki yüzeylere çarparak ve sürtünerek hasara uğramaktadır.

- “Asimetri” prensibi ile malzeme şeklinin asimetriklik derecesinin artırılması açıklamasından yola çıkarak (Bk. s. 95), asimetrik ölçüye sahip ahşap panolar, kaplanacak olan yüzeylere göre alınan ölçülerde kaplanacak yüzey ölçüsü kadar en / boy oranında üretilebilir. Böylelikle, Şekil 3.2 (g)’de görüldüğü gibi uygulama yerinde panoların kesilmesi işi ile zaman harcanması da önlenmiş olunur.

İdeal çözümün geliştirilmesi: TRIZ’in sunduğu çözüm önerilerinin her biri ideal çözüme ulaşmaya yöneliktir. Birden fazla çözüm önerisi sunulduğunda çözüm önerileri arasında bir tercih veya öncelik yoktur. Yukarıda sunulan tek bir çözüm önerisiyle veya çözüm önerilerinin bir arada uygulanması sonucunda ideal çözüme ulaşılmaktadır. Bu aşamada “uzman ekip²⁸” tarafından önerilen çözümler, çözüm önerilerinde kullanılan işçilik, malzeme, araç yapım girdileri (3 işçi yerine 2 işçi ile uygulama, yeniden boyutlandırılan ahşap pano kaplama levhası, forklift kullanılması vb.) ve uygulama sürecinde “kalite, süre, maliyet” ilişkisi ile uzman ekip tarafından değerlendirilerek ideal çözüme ulaşılacaktır.

Bölüm kapsamında sunulan “ahşap pano kaplama levhası ile cephe ve çatıda dış kaplama” yerinde yapım uygulaması ile TRIZ’in problem çözme yöntemi, yerinde yapım sürecinin iyileştirilmesinde tespit edilen “uygulama hızının yavaş olması” probleminin ortadan kaldırılmasına yönelik olarak uygulanmıştır.

İyileştirme çalışmaları, tespit edilen problemin çözülerek ortadan kaldırılması sonucunda gerçekleşmektedir. TRIZ, problemin tanımlanması adımı ile problem çözümüne başlamaktadır. TRIZ’e göre yaratıcı problem, çözümüne çalışılırken bir başka problemi ortaya çıkartan problemdir. Bu amaçla, problem çözümünde iyileşen özellik karşısında her zaman kötüleşen özellik bulunmakta ve bu durum çelişkiye yol açmaktadır. Çelişkinin ortadan kaldırılması ile mevcut problemin çözümü elde edilmektedir. Kısacası, tanımlanan probleme göre problem çözümüne gidildiği için problem çözme çalışmasının ilk ve en önemli aşaması, problemin tanımlanması

²⁸ Uzman ekip, şantiye şefi ve iki akademisyenden oluşmaktadır.

aşamasıdır. Sunulan yerinde yapım uygulamasında “uygulama hızının yavaş olması” probleminin tüm yönleri ile analiz edilmesi gerekliliği tespit edilmiştir. Ahşap pano boyutları artırılarak bir defada daha fazla cephe ve çatı yüzeyinin kaplanması ile uygulama süresinin azaltılması dışında uygulama hızının yavaş olmasına yol açan tüm etkenlerin ortaya konulması ve problemin en etkin sebebine ulaşılması gerekmektedir. İlk adımda tespit edilen probleme yol açan sebep dışında, probleme yol açan pek çok sebebin var olduğu açıktır. Probleme yol açan sebep sadece yapım gözlemlerine bağlı kalmamalı, sayısal verilerle de incelenmeli, problemin en etkin sebebine ulaşılmalıdır. Probleme yol açan etkin sebep tespit edildikten sonra, iyileşen özellik ve kötüleşen özellik çelişki çifti belirlenmelidir.

Problemin analiz edilmesi²⁹ sonucunda mevcut problemin tüm yönleriyle ortaya konulmasının devamında çelişkilerin belirlenmesi, TRIZ Çelişkiler Matrisi’nin sunduğu Yaratıcı Prensipler veya Prensipler ile ideal çözüme ulaşılacaktır. Sunulan uygulamada “çıkartma, diğer boyut, pnömatik ve hidrolik yapılar / sistemler kullanma, asimetri” çözüm önerilerine yönelik olarak işçilik, malzeme, araç yapım girdilerini kullanarak çözümler açıklanmıştır. Çözümlerden her biri ideal çözüme ulaşmaya yöneliktir. Uzman ekip tarafından bir veya birden fazla çözümün kullanılması sonucunda ideal çözüme ulaşılacaktır. TRIZ, ideal çözümün elde edilmesi adımı ile sonlanmaktadır.

İdeal çözümün kalite, süre, maliyet kontrol faktörleri altında işçilik, malzeme, araç yapım girdilerini kullanarak elde edilmesi ile mevcut problemin ortadan kaldırılması çalışmasında, ideal çözüme ulaşıldıktan sonra ideal çözüm ile yerinde yapımın iyileştirilmesi diğer bir deyişle problemin ortadan kaldırılması ve devamında yerinde yapımda iyileştirmenin gerçekleştirildiğinin diğer bir deyişle problemin ortadan kaldırıldığının onaylanması gerekliliği tespit edilmiştir.

Yerinde yapım sürecinde tespit edilen mevcut problemin ortadan kaldırılması ile mevcut yerinde yapım tekniğinin iyileştirilmesi çalışmasında:

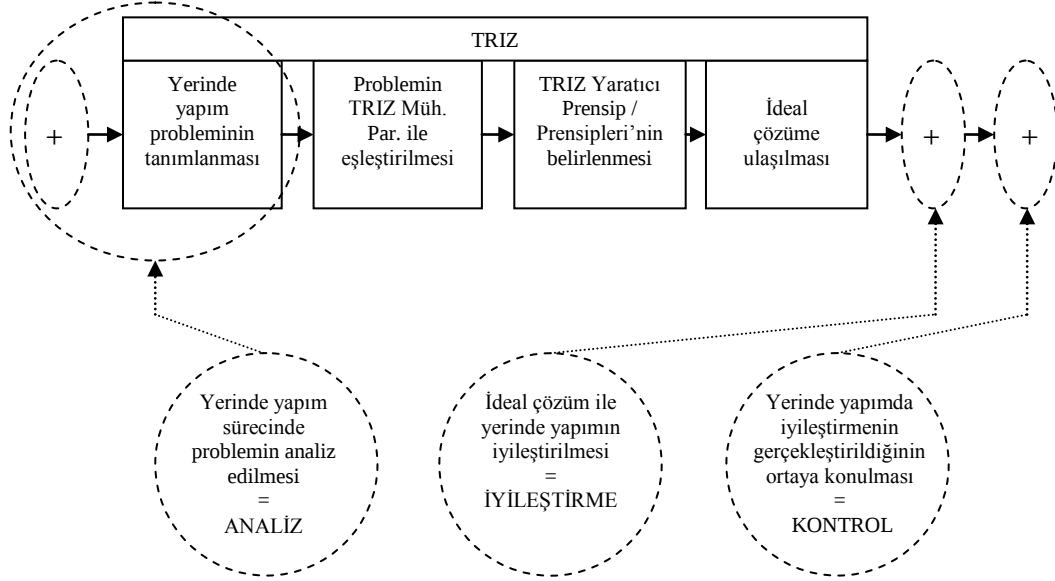
- Problemin, probleme yol açan en etkin sebebin tanımlanması = Yerinde yapım sürecinde problemin analiz edilmesi = Analiz

²⁹ Problemin analiz edilmesi, problemin tanımlanmasını da içermektedir.

▪ Problemin ortadan kaldırılması = İdeal çözüm ile yerinde yapının iyileştirilmesi
= İyileştirme

▪ Problemin ortadan kaldırıldığının onaylanması = Yerinde yapımda iyileştirmenin gerçekleştirildiğinin onaylanması = Kontrol

aşamaları ile TRIZ'in problem çözme aşamalarının bir araya getirilmesi ile iyileştirme model önerisi geliştirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Yerinde yapım probleminin ortadan kaldırılması ile mevcut yerinde yapım tekniğinde iyileştirmenin gerçekleştirilmesi.

Yerinde yapım sürecinde problemin analiz edilmesi, ideal çözüm ile mevcut yerinde yapım tekniğinin iyileştirilmesi, mevcut yerinde yapım tekniğinde iyileştirmenin gerçekleştirildiğinin kontrol edilerek onaylanması aşamaları; problem çözümü ile yerinde yapım tekniğinin iyileştirilmesinde süreç iyileştirme yaklaşımlarının araştırılmasına yönlendirmiştir.

3.4 Süreç İyileştirme Yaklaşımları

ISO (International Organization for Standardization), organizasyonların müşteri memnuniyetinin artırılmasına yönelik olarak kalite yönetim sisteminin kurulması, geliştirilmesi konusunda rehberlik eden standartlar bütünü olan ISO 9000'i yayınlamıştır.

Organizasyonların gelişmesinde, toplam kalitenin artırılmasını desteklemeyi amaç edinen bir sistem olarak geliştirilen ISO 9000:1994 standardının bir sonraki

versiyonu olan ISO 9000:2000, sekiz adet kalite yönetim prensibi ile kalite yönetim sistemi tanımlamıştır [61]:

- Müşteri odaklı
- Liderlik
- Kişilerin katılımı
- Süreç yaklaşımı
- Yönetim için sistem yaklaşımı
- Sürekli iyileştirme
- Karar vermede gerçekçi yaklaşım
- Karşılıklı faydaya dayalı tedarikçi ilişkileri

ISO 9000:2000 Kalite Yönetim Sistem Standardı'nda süreç yaklaşımı modeli esas alınmıştır. Süreç yaklaşımı çıktıların doğrulanması, geçerli kılınması için süreç girdilerinin tarif edilmesini, kaydedilmesini sağlar. Süreç, girdiyi çıktıya dönüştüren birbirleri ile ilişkili veya etkileşimli faaliyetler bütünü olarak tanımlanır. Genel olarak bir sürecin girdileri, diğer bir sürecin çıktılarıdır. Süreçler katma değer sağlamak için planlanır, gerçekleştirilir [61].

Devamında yayınlanan ISO 9001:2000, Kalite Yönetim Sistemleri'nin kurulmasında uygulanması gereken koşulların tanımlandığı belgelendirme denetimine tabi olan standarttır. Kalite yönetim sisteminin etkinliğini, verimliliğini dikkate alarak, kuruluşun performansının iyileştirilmesi için ISO 9001:2000'de belirlenen koşulların da ötesinde yapılabilecekler ISO 9004:2000 klavuzunda açıklanmıştır.

EN ISO 9004:2001 standardı esas alınarak TS EN ISO 9004:2001 standardı hazırlanmıştır. Rekabet avantajı elde etmek, bunu etkin ve verimli bir şekilde yapmak için müşterilerin, diğer ilgili tarafların (kuruluşun başarısından, performansından yarar sağlayan kişi veya grup) gereksinmelerini tanımlamak, karşılamak, kuruluşun genel performansını sürdürmek, iyileştirmek gereklidir [62].

ISO 9001 standardı her 5 yılda bir ISO tarafından gözden geçirilmekte, gereksinimler ve uygulayıcıların görüşleri doğrultusunda gerekli revizyonlar yapılarak yeniden yayınlanmaktadır [63].

ISO ISO 9001, ISO ailesi içinde sertifikalandırılan tek standarttır. En son yayınlanan ISO 9001:2008 standardı, günümüzde 170'den fazla ülkede bir milyondan fazla kuruluş tarafından uygulanmaktadır [64].

TS EN ISO 9001:2009 standardı, TS EN ISO 9001:2001'in revizyonu olarak hazırlanmıştır. EN ISO 9001:2008 standardı ile birebir aynı olup, Avrupa Standardizasyon Komitesi'nin izniyle basılmıştır. Müşteri memnuniyetini artırmak için kalite yönetim sisteminin oluşturulması, uygulanması ve etkinliğinin iyileştirilmesinde süreç yaklaşımının benimsenmesini teşvik eder. Bir kuruluş etkin çalışmak için birçok bağlantılı faaliyetleri belirlemeli, yönetmelidir. İstenilen çıktıyı elde etmek amacıyla kuruluş içerisinde süreçlerin tanımlanması, etkileşimleri ile birlikte süreçler sisteminin uygulanması, yönetilmesi süreç yaklaşımıdır. Süreç yaklaşımı, süreçler sistemi içinde birbirinden ayrı süreçler arasındaki bağlantılar üzerinde ve bu süreçlerin birleşimi, etkileşimleri üzerinde sürekli kontrol sağlar [65].

Süreç, girdilerin çıktılara dönüştürülmesidir. Dönüştürme zaman, yer, şekil bağlamında değer eklenmesi ya da değer yaratılmasını içeren bir eylemdir [66].

- Zaman değeri: Gereksinim duyulananın zamanında elde edilmesi, zamanında yerine getirilmesidir. Örneğin, betoniyein bildirilen saatte şantiyede olması için zamanında yola çıkması vb.
- Yer değeri: Gereksinim duyulananın gereksinim duyulan yerde hazır olmasıdır. Örneğin, beton dökümü sırasında belediye kontrolörünün şantiyede bulunması vb.
- Şekil değeri: Gereksinin duyulananın gereksinim duyulduğu şekilde hazır olmasıdır. Örneğin, donatı döşenmesine başlamadan önce betonarme döşeme içindeki tesisat boşluğu ölçülerine göre boşluğu sınırlayan kalıbın kurulması vb.

Süreçler:

- Tanımlanabilir (sürecin temel unsurlarının açıklanabilmesi)
- Ölçülebilir (süreç performansının uygun göstergelerle, ölçütlerle izlenebilmesi)
- Yinelenebilir (sürecin aynı veya değişen girdilerin işlenmesi sonucunda ortaya çıkan çıktının müşteri gereksinimlerini sürekli karşılayabilmesi)

- Kontrol edilebilir (süreç sorumlularının sürecin performansı hakkında her zaman bilgi sahibi olması, gerektiğinde düzeltici faaliyetleri uygulamaları)
- Katma değer yaratabilir (sürecin, üretilen çıktının kalitesi ve çıktıyı kullanan müşterinin tatmini üzerinde olumlu etki yaratabilmesi)

olmalıdır [67].

Okay (1998), süreçlerin temel unsurlarını ve tanımlayıcı özelliklerini açıklamaktadır [67]:

- Müşteriler: Sürecin çıktılarını kullanan, onlardan yararlanan, organizasyon içinden ya da dışından kişi veya kuruluşlardır. Sürecin temel varlık nedenidir.
- Müşteri gereksinim ve beklentileri: Sürecin çıktısı olan ürün ve hizmetlere ilişkin olarak müşteri tarafından veya müşteri adına tanımlanmış özelliklerdir.
- Tedarikçiler: Sürecin girdilerini temin eden kişi veya kuruluşlardır. Organizasyonun içinden ya da dışından olabilirler.
- Süreç sahibi: Süreç sonuçlarını değerlendirerek sonuçlardan en çok etkilenen müşterileri tanıyan, beklentilerini takip eden, sürecin bütününe yöneten, süreç çıktılarından birinci derecede sorumlu olan kişilerdir.
- Süreç sorumlusu: Sürecin ilgili kısımlarını yürüten, temsil eden, organizasyonda süreç sahibine bağlı çalışan kişilerdir.
- Süreç ekibi: Süreç ve alt süreçlerde iyileştirme, geliştirme yapan ekiptir.
- Girdiler: Süreci harekete geçiren, sürecin dış çevresinden tedarikçiler tarafından katılan unsurlardır. Sermaye, iş gücü, zaman, malzeme, yöntem, çalışma ortamı, makine, ekipman vb.
- Çıktılar: Girdilerin, süreç içinde müşteri gereksinimlerini karşılayacak şekilde katma değer yaratmasını sağlayan dönüşümün sonucunda ortaya çıkan ürün, hizmettir.
- Süreçteki faaliyetler: Girdileri çıktıya dönüştüren faaliyetlerdir.
- Süreç performans ölçütleri: Sürecin müşteri gereksinimlerini karşılama düzeyini ölçmeye yarayan göstergelerdir. Süreçlerin organizasyonel hedefleri hangi ölçüde desteklediğinin, istenilen çıktıya ulaşılmasında ne derece başarılı olunduğunun görülebilmesi için performanslar ölçülmelidir.

Süreç iyileştirme en genel anlamı ile sürecin performans düzeyinin artırılmasıdır. Imai, “Kaizen” başlıklı kitabında, herhangi bir organizasyonel birimin ölçebileceği üç gösterge tanımlamaktadır: Kalite, maliyet ve program [68].

Çevrim süresi, bir diğer önemli ölçüm göstergesidir. Bir sürecin başlangıcı ile bitişi arasında geçen toplam süredir. Çevrim süresinin artması, hem müşteri memnuniyetsizliğine yol açar hem de maliyetleri artırır. Tekrarlanan işler, gereksiz işler, bürokratik işlemler çevrim süresini artıran unsurlardır [67].

Etkililik oranları (müşterinin süreçten ne istediği, ne gibi bir değer aldığı); etkinlik oranları (kaynak kullanımı, maliyet, fire, yeniden işleme, kapasite kullanımı oranı vb.); uyumluluk oranları (müşteri isteklerine karşılık vermedeki esneklik); maliyet / çevrim süresi, süreçte yaratılan katma değer / çevrim süresi, süreçte yaratılan katma değer / süreç maliyeti, süreç içi performans ölçümleri yapılmasına olanak sağlayacak değişik konularda çeşitli performans oranları geliştirilebilir [67].

Süreç yaklaşımı, işin nasıl yapıldığının iyileştirilmesi üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Süreç yaklaşımı, süreçlerin tanımlanması ile başlar. İyileştirme çalışmaları sonucunda daha kısa süreç çevrim zamanları, daha iyi kalite, hızlı sonuçlar, daha az hatalar elde edilir. Organizasyonların şeffaflaştırılması ile süreçten sapmalar, problemler açığa çıkarılır. Sapmalara yol açan nedenleri ortadan kaldırmak için süreçler değişmeli, iyileştirilmeli, yeniden tasarlanmalıdır [25].

Organizasyon yönetimi, performans iyileştirme faaliyetlerini sürekli izlemeli ve gelecekteki iyileştirmeler için veri olması amacıyla iyileştirme uygulamalarını kaydetmelidir. İyileştirme imkânlarını ortaya çıkarmak için sorun çıkmasını beklemekten ziyade süreçlerdeki etkinliği, verimi iyileştirmeye sürekli olarak istekli olmalıdır. İyileştirmeler, devam eden sürekli iyileştirmenin küçük aşamalarından stratejik iyileştirme projelerine kadar uzananabilir. Organizasyonlar kalite politikalarını, kalite hedeflerini, inceleme sonuçlarını, veri analizlerini, düzeltici, önleyici faaliyetleri, yönetimin gözden geçirmesini kullanarak kalite yönetim sisteminin etkinliğini sürekli iyileştirmelidir [62].

Süreç iyileştirme, ağırlıklı olarak iş süreçleri yönetiminde karşımıza çıkan bir kavramdır. Organizasyonların iş süreçlerinin tanımlanması, iş akışlarının süreç hedefleri doğrultusunda optimizasyonu, sürekli izlenmesi, iyileştirilmesi iş süreçleri yönetimi olarak tanımlanır [69].

Süreç yönetiminin anahtar unsuru “iyileştirme”dir. İyileştirmenin olmadığı bir süreçte sürecin yönetildiğinden söz edilemez. İş Süreçlerinin Yönetimi (BPM, Business Process Management) ve İş Süreçlerinin İyileştirilmesi (BPI, Business Process Improvement) birlikte anılan yaklaşımlardır. İş süreçlerinin yönetilmesini, dolayısıyla iyileştirilmesini içeren yaklaşımlar aşağıda sunulmaktadır:

- PDCA Döngüsü (Deming Döngüsü): ISO standartlarının da temelini oluşturan, istatistikçi Shewart tarafından sunulan, Deming tarafından geliştirilen Deming Döngüsü (1986), yaygın bilinen adıyla PDCA (Plan, Do, Check, Action) döngüsü “Planla, Uygula, Kontrol et, Önlem al” aşamaları ile Toplam Kalite Yönetimi’nde sürekli iyileştirme yöntemidir. Sürekli iyileştirme yaklaşımının temel ilkesi olarak da kabul edilmektedir. Pek çok iyileştirme çalışmalarının esas aldığı, kendi döngüsü içinde sürekli devam eden iyileştirme yaklaşımıdır.
- Kaizen Felsefesi: Kalite ve değer anlayışı üzerine kurulu sürekli iyileştirme faaliyetidir. Her zaman daha iyiyi yapabilme felsefesi ile müşteri memnuniyetinin artırılmasını; rekabetin sağlanması için küçük, kademeli fakat sürekli adımlarla iyileştirmeyi amaçlar. İyileştirme için başlangıç noktası, iyileştirmeye olan gereksinimin fark edilmesidir. Gereksinme, bir problemin fark edilmesi ile ortaya çıkar. Fark edilen bir problem yoksa iyileştirmeye gereksinim duyulmaz. Mevcut durumla yetinmek Kaizen’in en büyük düşmanıdır. Kaizen problemlerin bilincinde olmayı öngören, aynı zamanda bir problem çözme yöntemidir. Problemin çözülmesiyle birlikte iyileştirme de her defasında daha ileri bir düzeye ulaşacaktır. Ulaşılan yeni düzeyi pekiştirmek için elde edilen iyileştirmenin standartlaştırılmasını öngörür [68].
- BPMN, Business Process Modeling and Notation (İş Süreci Modelleme Notasyonu): İşletmelere, organizasyonlara ait iş süreçlerinin belirli bir standart çerçevesinde tasarlanmasına yardımcı olan ve süreçler arası iletişimini kolaylaştıran bir alan standardıdır [70].
- CMMI, Capability Maturity Model Integration (Yetenek Olgunluk Model Entegrasyonu): Genellikle Bilgi Teknolojisi (IT, Information Technology) sektöründe yer alan firmaların, organizasyonların yazılım geliştirme

süreçlerini değerlendirerek kendi iç süreçlerinde iyileştirme elde etmelerini amaçlayan etkili bir süreç iyileştirme yaklaşımıdır [31].

- RUP, Rational Unified Process (Rasyonel Birleşik Süreç): Organizasyonlar ve yazılım proje ekipleri tarafından kendi gereksinimleri için uygun olan süreçteki unsurların seçilmesi ile nesne veya bileşen tabanlı teknolojilere dayalı sistemler geliştirmek için kullanılan bir yaklaşımdır. Başlangıç, detaylandırma, gerçekleştirme (geliştirmeyi tamamlama) ve topluma iletme aşamalarından oluşan yazılım geliştirme sürecidir [71].
- Papinniemi'nin geliştirdiği süreç modeli: İlgili standart ve yönetmelikler bağlamında, iş yönetim süreçlerinde yenilik getirecek kaynakların analizi ile sürecin yeniden yapılandırılması sonucunda mevcut süreç ve ürün performansının artırılmasını amaçlayan bir süreç modelidir [72].
- Altı Sigma: 1 milyon adetlik üretimde 3.4 adet hata adedi ile mükemmelliğin elde edilmesi yolunda, mevcut süreçlerin iyileştirilmesini ya da yeniden tasarlanmasını amaçlayan bir yönetim stratejisi, proje odaklı kalite yönetim yaklaşımıdır.
- Diğer süreç iyileştirme yaklaşımları: Garwin, Hammer & Champy, Davenport, Rumler & Brache, ISO 9001:2009³⁰ (Çizelge 3.9).

Yukarıda yer alan yaklaşımlar, iş süreçlerinin daha iyi yönetilmesi sonucunda kayda değer kurumsal kazançlar elde edilmesini sağlamaya yöneliktir. Masraflarda azalma, yatırımın geri dönüşünde başarılı sonuçlar, hemen hemen gerçek zamanlı (real-time) ve sürekli iyileşmeyle büyüyen iş hedefleri ve ölçütlerinin desteklenmesi amaçlanmaktadır.

³⁰ ISO 9001:2009, Çizelge 3.9'da yer alan ISO 9001:2000'in son versiyonudur.

Çizelge 3.9: Süreç iyileştirme yaklaşımları [25].

YAKLAŞIMLAR	SÜREÇ İYİLEŞTİRME ADIMLARI				
Garwin 1993	Sistematiik problem çözümü	Yeni yaklaşımlarla deneyimleme	Deneyim ve geçmişten öğrenme	Deneyim ve geçmişten öğrenme	Bilginin organizasyona transferi
Hammer & Champy 1993	Amaç projesi	Diğerlerinden öğrenme	Süreçlerin oluşturulması	Plan transferi	Yeni süreci uygulama
Davenport 1993	Yenilik için süreçleri belirleme	Değişiklik sapmalarını belirleme	Süreç vizyonlarını geliştirme	Mevcut süreci anlama	Yeni süreçlerin tasarımı ve modeli
Deming 1986	Sürecin çalışılması	Küçük ölçekte süreç değişikliğı	Etkileri gözlemleme	Analiz sonuçları	Sürecin çalışılması
ISO 9001:2000	Amaçları saptama	Süreçleri oluşturma	Süreçleri uygulanma	Süreçleri izleme ve ölçme	Süreç performansını sürekli iyileştirme
Rumler &Brache 1995	Projeyi tanımlanma	Süreç analizi ve tasarımı	Süreçleri uygulamaya koyma	Süreç performansını değerlendirme	İyileştirmeleri belirleme ve uygulama

İyileştirmenin sürekli kılınması, diğer bir kalite yönetim anahtarıdır. Sürekli iyileştirme ile düzenli olarak kendi kendine değerlendirme yapmakta, gerçek kalite elde edilmekte, müşteri memnuniyeti yerine getirilmiş olmaktadır [25].

Yaratıcı problem çözme teorisi olan TRIZ ve en az hata ile süreçlerin iyileştirilmesini ya da yeniden tasarlanmasını hedefleyen bir süreç iyileştirme yaklaşımı olan Altı Sigma, 2000'li yılların başından itibaren birlikte kullanılmaya başlanmıştır.

Tasarımda Altı Sigma yaklaşımı (DFSS³¹), farklı alanların algısı ve anlayışı içerisinde temel bilgi alanlarından, temel alanlar arasındaki ilişkilerden oluşan bilimsel bir teori olarak tanımlanmaktadır. DFSS temel bilgi alanları öneri ve varsayımların karışımını, olayların veya nesnelerin sınıflandırmalarını, fikirleri oluşturma işlemini, aksiyomlu (temel önerme) tasarım gibi kavramsal yöntemleri, TRIZ'i , ampirik istatistiksel ve matematiksel modelleri içerir. Test edilemeyen temel bilgi, genel olarak yine de aksiyom olarak ele alınarak doğru olduğu kabul edilir. Eğer bu temel bilgi alanları test ediliyorsa, varsayım olarak ele alınır. Tasarım aksiyomları ve TRIZ varsayımları DFSS teorisinde temel bilginin örnekleridir [73].

Altı Sigma, gerek hizmet gerekse üretim sektörlerinde iş süreçlerini iyileştirmek amacıyla kullanılan etkin bir yaklaşımdır. TRIZ'in Altı Sigma'ya entegre edilmesi ile daha proaktif fikirlerin üretilmesi desteklenmektedir.

Çok sayıda şirket Altı Sigma ile süreçlerin iyileştirilmesi sonucunda artan verimlilik ve maliyetlerdeki yüksek tasarruflar ile önemli başarılar elde etmektedir. Ancak sıfır hataya odaklanmanın yenilikçilikten ödün vermeyi de beraberinde getirdiği konusunda tartışmalar yapılmaktadır. TRIZ'in Altı Sigma ile birlikte uygulanması, yenilikçi düşüncüyü kurum içinde geliştirmenin bir diğer yoludur [64].

Slocum ve Kermani (2007), TRIZ'in Altı Sigma'nın DMAIC süreç modelinin her aşaması ile bütünleştirilebileceğini belirtmektedirler. Süreç içerisinde çözüm eksikliğinden kaynaklanan sınırlamaların iki yaklaşımın birlikte kullanılması ile ortadan kaldırılacağını vurgulamaktadırlar [74].

Kumar (2005), Altı Sigma DMAIC süreç modeline ait iyileştirme süreç aşamasının yaratıcılık gerektirdiğini söylemektedir. TRIZ ve Altı Sigma'nın birlikte kullanılması

³¹ Design For Six Sigma

ile iyileştirme aşaması içinde üç adımdan oluşan bir süreç sunmaktadır: i) Altı Sigma yaklaşımı ile problemin sebebinin tanımlanması, ii) çelişkilerin oluşturulup Yaratıcı Prensipler'in belirlenmesi, iii) Yaratıcı Prensipler ile çözümün geliştirilmesi [75].

Xie ve Li (2009), problem çözümünde TRIZ uygulamalarının daha başarılı olması için başka yöntem veya araçlara gereksinim duyulduğunu ve DMAIC süreç modelinin de yaratıcılık ile desteklenmesi gerektiğini belirterek TRIZ ve Altı Sigma entegrasyonunun gerekliliğini vurgulamaktadırlar [76].

Sistematik ve yaratıcı problem çözme yaklaşımı olan TRIZ, özellikle problemin analizinde istatistiksel araçların ve tekniklerin kullanılmasına gereksinim duymakta iken Altı Sigma, yaratıcı yaklaşım ve araçları ile TRIZ'den faydalanmaktadır.

Yerinde yapım sürecine uyarlanan TRIZ ile mevcut yerinde yapım tekniğindeki problemin ortadan kaldırılması sonucunda iyileştirmenin elde edilmesi çalışmasına:

- Yerinde yapım probleminin “analiz” edilmesi ile başlanması
- Yerinde yapım probleminin çözümünün ardından yerinde yapım probleminin ortadan kaldırılması ile “iyileştirme”nin elde edilmesi
- Son aşama olarak mevcut yerinde yapımda, mevcut problemin ortadan kaldırıldığının “kontrol” edilmesi ile mevcut yerinde yapımda iyileştirmenin gerçekleştirildiğinin onaylanması

“analiz, iyileştirme, kontrol” anahtar kelimeleri ile mevcut süreçlerde hata oranının en aza indirilmesi sonucunda iyileştirmenin elde edildiği Altı Sigma yaklaşımının araştırılmasına yönlendirmiştir.

Mevcut problemlerin tanımlanması, mevcut süreçlerin performanslarının ölçülmesi, analiz edilmesi, iyileştirme çalışmalarının uygulanması, kontrolünün sağlanması aşamalarında istatistiksel araçlar ve teknikler kullanması, Altı Sigma'yı diğer geleneksel iyileştirme yöntemlerinden ayıran en önemli özelliktir.

3.5 Altı Sigma Yaklaşımı

Altı Sigma ürün, hizmet ve süreçlerin iyileştirilmesinde, yeniden tasarlanmasında, geliştirilmesinde istatistiksel araç ve teknikleri kullanan etkin bir kalite kontrol aracı ve performans iyileştirme tekniğidir.

Mevcut performansın artırılması ve müşteri memnuniyetinin karşılanması için mevcut süreçlerinin iyileştirilmesi ya da yeniden tasarlanması düşüncesine dayanır.

Olasılık teorisi temeline dayanan yenilikçi iş yönetiminin köklerine 1730 yılında Fransız matematikçi Abraham De Moivre tarafından kaleme alınan, *Miscellanea Analytica*'da rastlamaktayız. Daha sonraki yıllarda Carl Frederick Gauss, De Moivre'nin büyük katkısına, olasılığı anlamının bir yolu olarak geliştirdiği “normal eğri” yöntemiyle destekte bulunmuştur. Birkaç yüzyıl sonra, diğer bilim adamları ve iş dünyasının liderleri, De Moivre ve Gauss'un çalışmalarını temel alarak iş yönetimi üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. İlgili çalışmalardan en önemlisi Walter Shewhart tarafından yapılmıştır. Walter Shewhart, 3 sigma uzaklığın süreçlerin iyileştirilmesi gereken nokta olduğunu ortaya koymuştur. Cp, Cpk ve PPM (Bk. Böl. 3.5.1) gibi pek çok süreç yeterlilik ölçüm standartları daha sonra eklenmiştir. Deming, Crosby ve Juran tarafından değerli katkılar sunulması ile birlikte Altı Sigma üzerine en büyük katkı Motorola mühendislerinden Bill Smith'e aittir [39].

Bill Smith, ürünlerindeki kaliteyi artırmak ve hataları azaltmak amacıyla Altı Sigma'yı 1986 yılında geliştirmiştir. CEO'su Bob Galvin, erken gelen başarıdan etkilenmiş ve liderliğinde Altı Sigma'yı Motorola üretim süreci ve sistemlerinde uygulamaya başlamıştır. Altı Sigma'yı hem kurum gereği hem de ürün ve süreç kalitesini geliştirme çalışmalarının odak noktası olarak kurmuştur. 1987 - 1993 yılları arasında, Altı Sigma'nın kullanılması ile yarı iletken araçlardaki hataların %94 oranında azaldığı görülmüştür. İlerleyen yıllar ile birlikte Altı Sigma, kaliteyi artırmak, maliyetleri düşürmek, aynı zamanda servis-ürün pazarını genişleterek şirket performansını geliştirmek için uygulanan bir program halini almıştır. Motorola'nın devamında Altı Sigma farklı şekillerde binlerce büyük, küçük işletme tarafından kullanılmaya başlanmıştır [77].

Üretim süreçlerinin performanslarının artırılması hedefi ile yola çıkan Altı Sigma üretim dışı alanlarda, yönetim ve servis hizmetlerinde de hızla yayılmıştır [78]. İş, yönetim, pazarlama, satın alma sektöründe; sağlık sektöründe; yapım sektöründe; mühendislik alanlarında; araştırma ve geliştirme (R&D, Research and Develop) projelerinde pek çok firma tarafından başarı ile uygulanmıştır [77].

Başlangıcından itibaren Altı Sigma uygulamaları üç gelişim dönemi geçirmiştir. I. Nesil gelişimde, öncelikle üretimde olmak üzere temel değişkenlerin azaltılmasına ve hataların ayıklanmasına odaklanılmıştır. Motorola, I. Nesil Altı Sigma uygulamalarının klasik örneğidir. II. Nesil gelişimde hata ayıklama ve değişkenlerin azaltılması çalışmalarına devam edilmiş, maliyetlerin azaltılması ve ürün tasarım gelişimi ile iş performansını artıran eylemlere ve projelere uyarlama çalışmaları yapılmıştır. General Electric, II. Nesil Altı Sigma'nın lider uygulayıcısı olmuştur. III. Nesil Altı Sigma'da ise kuruluş ile işveren, çalışan, müşteri vb. kişiler arasında değer yaratmaya önem verilmiştir. Ürün ve servis ağının gelişmesiyle müşteri memnuniyetinin artışıyla yeni, daha geniş marketlere ulaşan ürün ve servislerin geliştirilmesi, ürün ve servisler için firmaları yeni pazarlara yönlendirmiştir [77].

Altı Sigma organizasyonların ürün, hizmet ve süreçlerini iyileştirmeyi amaçlayan, proje odaklı kalite yönetim yaklaşımıdır [39].

İş dünyasında Altı Sigma, müşteri gereksinme ve beklentilerini karşılayarak işletmelerin karlılığını, tüm operasyonel süreçlerin etkinliğini ve verimliliğini artırmak amacıyla kullanılan bir işletme stratejisidir [79].

Altı Sigma'nın yarattığı değerler imalat ve mühendislik alanlarında olduğu kadar, pazarlama, hizmet, insan kaynakları, finans ve satış alanlarında da uygulanmaktadır.

Küresel dünya şirketleri (Motorola, Allied Signal, General Electric, Raytheon, DuPont, Ericson, Bombadier Shorts, Seagate Technology, Foxboro, Norando, Nokia, Sony, Xerox, Hitachi, Canon, Ford, Toshiba vd.), 1990'lı yıllardan beri Altı Sigma yaklaşımını kalite ve performans iyileştirme aracı olarak kullanmaktadır. Yaklaşımı kendi kurum yapılarına ve kültürlerine uyarlamayı başarabilen firmaların faaliyet kârlılıkları ve Altı Sigma kazançları net olarak ortaya konulmuştur [80].

Kwak ve Anbari (2004), Altı Sigma'nın Toplam Kalite Yönetimi (TQM) ve Sürekli Kalite İyileştirme (CQI) gibi diğer kalite girişimlerinden daha kapsamlı olduğuna dikkat çekmekte ve Altı Sigma yaklaşımını aşağıdaki gibi özetlemektedirler [81]:

Altı Sigma = TQM (veya CQI) + Daha güçlü müşteri odaklılık + Data Analiz Araçları + Finansal Sonuçlar + Proje Yönetimi

Altı Sigma üretim süreçlerini tanımlamak, ölçmek, analiz etmek, iyileştirmek ve kontrol etmek amacıyla istatistiksel tekniklere dayanarak geliştirilen ilk yöntemdir. Bu amaçla, nihai performans hedefi neredeyse hatasız süreçler ve ürünler elde etmektir. Endüstrinin her alanında, ürün, süreç ve hizmet performanslarının iyileştirilmesinde başarı ile uygulanmaktadır [39].

Altı Sigma, mevcut iş performansının ve müşteri memnuniyetinin sürekli olarak artırılması için mevcut iş süreçlerinin iyileştirilmesi veya yeniden tasarlanması düşüncesine dayanan, en sonunda milyon olasılıkta 3.4 hata adedi ile temsil edilen mükemmele yakın bir seviyeye ulaşmayı ve elde edilen başarıyı kalıcı kılmayı hedefleyen bir yaklaşımdır.

Pande vd. (2012), Altı Sigma'nın kuram değil, eylem olduğunu özellikle vurgulamaktadır [80].

Banuelas ve Antony (2003), Altı Sigma'nın amaçlarını dört ana başlık altında toplamışlardır [82]:

- Finansal kârın artırılması
- Süreç kapasitesinin artırılması
- Müşteri memnuniyetinin artırılması
- Riskin azaltılması

Ayrıntılı olarak sıralayacak olursak Altı Sigma ile elde edilen kazanımlar [80, 83]:

- Müşteri devamlılığı
- Verimliliğin artması
- Kusurların azalması
- Çıktının iyileşmesi
- İş veriminin yükselmesi
- Yeterliliğin artması
- Çevrim zamanının kısalması
- Hata oranının azalması
- Ürün ve hizmet geliştirilmesi

- Tutarlı ölçüm yöntemi
- Rekabetin sağlanması
- Pazar payının büyümesi
- Stratejik iyileştirmeler

Yukarıda sıralanan tüm kazanımlarla birlikte özet olarak Altı Sigma, firma ve işletmelerde [80]:

- Kalıcı başarıya götürür
- Herkes için performans hedefi belirler
- Müşteriye sunulan değeri artırır
- İyileştirme oranını artırır
- Öğrenmeyi ve bilginin yayılımını destekler
- Stratejik değişimi gerçekleştirir

İşletmelerin temel faaliyet amacı, kâr elde etmektir. Kâr elde edebilmek için müşteri beklentilerini karşılayan ürün ya da hizmetler üretmek, müşterilere satmak durumundadırlar. Firmalar müşteri beklentilerini iyi anlamalı, ellerindeki kaynakları en etkin biçimde kullanarak ürünlerini, hizmetlerini müşteri gereksinimlerini karşılayacak şekilde sunmalıdır. Altı Sigma ile elde edilen kazanımların doğrudan müşteri - üretici etkileşiminin yükseltilmesine katkı sağlayan, ölçülebilir hedefler olduğu görülmektedir. İş hedeflerini müşteri beklentileri doğrultusunda oluşturabilmek önemlidir. Üretici firmalar, müşteri beklentilerini karşılayacak ürün ve hizmetleri geri plandaki üretim süreçlerine doğru aktarmalıdır [84].

3.5.1 Sigma seviyesi

Altı Sigma yaklaşımının kökeni istatistik biliminden gelmektedir. İstatistik bakış açısı ile 1 milyon fırsat başına 3.4 hata adedi veya %99,9997 başarı oranıdır [79]. Günümüzde pek çok organizasyonun 3. sigma seviyesine sahip olması, Altı Sigma yaklaşımının ne denli ileri seviyede bir kalite düzeyi olduğunu göstermektedir [85].

Altı Sigma uygulayan şirketler, süreçlerinin verimliliğini *sigma seviyesi* adı verilen bir indeksle izlemektedir. Sigma³² seviyesiyle ürün başına hata, kalitesizlik maliyeti, çevrim zamanı, verimlilik gibi karakteristikler arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır [83].

Sigma seviyesinin artması, hata olasılığının göstergesi olan PPM (1 milyonda hata adedi)³³ değerlerinin düşmesi anlamına gelmektedir. PPM değeri milyon adet ürün üretirken geri planda tamir edilen ya da tamir edilemeyip hurdaya atılan tüm hataları içermektedir. Buradaki hata kavramı son üründe oluşan hata değil, üretim sürecinin her bir aşamasında oluşan hataların toplamıdır [84].

Örneğin süreçlerinde 2 σ seviyesinde yeterliliğe sahip olan bir şirket, 1 milyon adetlik üretimde toplam 308.700 adet hata ile uğraşmak durumundadır. 6 σ seviyesinde çalışan bir kuruluş ise 1 milyon adet üretim yaptığında sadece 3.4 adet hata üretmektedir (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10: Sigma seviyesi ile hata adedi - başarı oranı ilişkisi [86].

Sigma (σ) seviyesi	1 milyonda hata adedi (PPM)	Başarı oranı (%)
6	3.4	99.99966
5	233	99.97670
4	6210	99.3790
3	66810	93.32
2	308700	69.13
1	697700	30.23

2. σ seviyesinden 3. σ seviyesine çıkmak için hata oranlarının yaklaşık 5 kat, 3. σ seviyesinden 4. σ seviyesine çıkmak için yaklaşık 11 kat, 4. σ seviyesinden 5. σ seviyesine çıkmak için yaklaşık 26 kat, 5. σ seviyesinden 6. σ seviyesine çıkmak için yaklaşık 68 kat iyileştirilmesi gerekmektedir [84].

ABD'deki firmaların ortalama sigma seviyesi 3 σ ile 4 σ arasında değişmektedir. Türk endüstrisi için kayda değer inceleme ve araştırmalar bulunmamasına karşın yardımcı sanayilerde 2 σ - 2,5 σ ; ana sanayilerde ise 2,5 σ - 3,5 σ dolaylarında süreç yeterlilikleri olduğu tahmin edilmektedir. Endüstriyel çağın rekabet ortamı, yerini günümüzde bilgi çağının rekabet ortamına bırakmıştır. Şirketler geleneksel problem

³² Sigma, istatistikte “ σ ” işareti ile ifade edilmektedir.

³³ Part Per Million

özme yöntemlerini değiştirerek bilgi çağına uyum sağlamaya çalışmaktadır. Geleneksel problem çözme teknikleri süreç yeterliliklerinin 2 σ 'dan 3 σ 'ya ıkarılabilmesinde faydalı olabilir. Ancak endüstride kalite ortalamalarını yakalamak isteyen bir firmanın 3 σ - 4 σ seviyelerine ulaşması gerekmektedir. Bu seviyeler için istatistik ve veri bilimi araçlarının süreç geliştirme çalışmalarında kullanılması zorunludur [84].

3.5.2 Altı Sigma ve değişkenlik

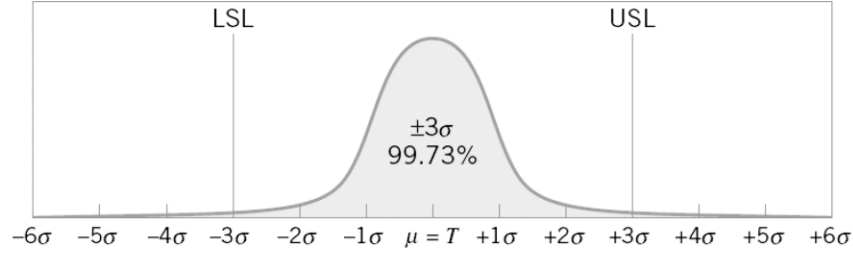
İstatistiksel düşüncenin temel elemanları süreç, değişkenlik ve veridir. Gözlemden gözleme farklı değerler alabilen nesnelere, özelliklere veya durumlara değişken denir. Bir işin ya da ölçeğin her defasında aynı şekilde oluşmaması, değişkenlik olarak tanımlanır [84].

Altı Sigma, süreçlerdeki değişimin etkisini hesaplar. Doğadaki hiçbir iki nesne tam olarak aynı değildir. Değişkenlik, doğada her yerde vardır. Değişkenlik, kararsızlığa, riske ve potansiyel hatalara sebep olmaktadır. Kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen olmak üzere, iki tip değişken vardır. Kontrol edilebilen değişken zaman içinde dengelidir ve karardır, tahmin edilebilir, genel sebep olarak bilinmektedir. Kontrol edilemeyen değişken zaman içinde değişen, tahmin edilemeyen, özel sebep olarak adlandırılan değişkendir. Altı Sigma'nın görevi değişken alanlarını tanımlamak, kök nedenleri ayırmak, süreçleri optimize etmek ve böylelikle ürünlerde, süreçlerde, hizmetlerde değişkenin etkisini azaltmak veya en aza indirmektir [39].

Süreçlerdeki değişkenlik, yadsınamaz bir olgudur ve tüm süreçler değişkenlikten etkilenir. Önemli olan değişkenliğin büyüklüğüdür. Değişkenlik ne kadar azalırsa, tutarlılık ve dolayısıyla kalite o kadar artacaktır [84]. Altı Sigma performansına ulaşmadaki hedef, bir sürecin 6 σ 'sının yani değişkenliğin standart sapmalarının, müşteri talepleri doğrultusunda belirlenmiş sınırlar içerisine çekilmesi yoluyla değişkenliği azaltmak veya daraltmaktır. Bu durum ürün, hizmet ve süreçler için değerli bir iyileşme anlamına gelmektedir [80].

Altı Sigma'nın amacı, istenmeyen derecede büyük hata ve hasar olasılıklarını hedeflenen seviyelere indirmektir. Süreçteki değişkenlerin azaltılması hedeflenir.

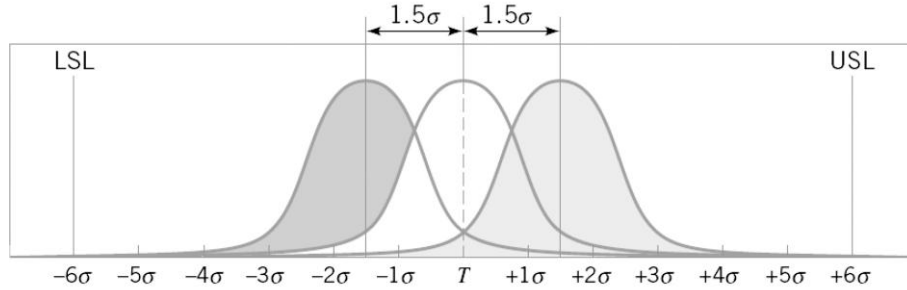
Alt Spesifikasyon Seviyesi - LSL³⁴ ile Üst Spesifikasyon Seviyesi - USL³⁵ arasında, hedef ortalamasının her iki tarafındaki 3 σ 'daki limitleri içeren kalite karakteristiğine göre normal dağılım grafiği Şekil 3.4'de gösterilmektedir [77].



Spesifikasyon limiti	Başarı yüzdesi	1 milyonda hata adedi
± 1 Sigma	68.27	317300
± 2 Sigma	95.45	45500
± 3 Sigma	99.73	2700
± 4 Sigma	99.9937	63
± 5 Sigma	99.999943	0.57
± 6 Sigma	99.999998	0.002

Şekil 3.4: Hedefte normal dağılım grafiği.

Ancak süreç, Altı Sigma kalite seviyesine yaklaştığında, Şekil 3.5'de görüldüğü gibi halen hedeften 1.5 σ kadar kayan hatalara maruz kalmaktadır [77].



Spesifikasyon limiti	Başarı yüzdesi	1 milyonda hata adedi
± 1 Sigma	30.23	697700
± 2 Sigma	69.13	608700
± 3 Sigma	93.32	66810
± 4 Sigma	99.3790	6210
± 5 Sigma	99.97670	233
± 6 Sigma	99.999660	3.4

Şekil 3.5: Hedeften $\pm 1.5\sigma$ kayan normal dağılım grafiği.

³⁴ Low Spesification Level

³⁵ Upper Spesification Level

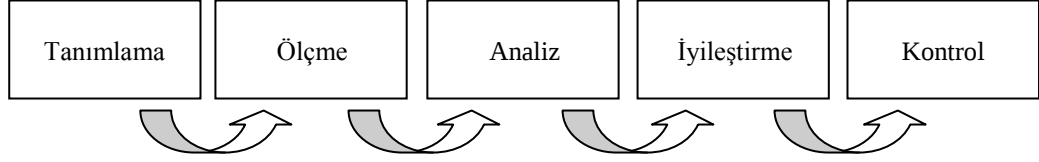
Bu duruma göre, Altı Sigma seviyesi 1 milyon adetlik üretimde 3.4 adede kadar hata verecektir. Değişkenliğin azaltılması ile σ 'nın küçültülmesi ve LSL - USL arasına (kabul edilen hedef aralık) her iki yönde 6 σ 'nın sığdırılması amaçlanmaktadır [77].

Ürün ve hizmetlerdeki değişkenliği azaltmak için öncelikle süreçleri ve süreçlerdeki değişkenliği anlamak gerekir. Altı Sigma ile temel yaklaşım $Y = f(X)$ denklemi ile ifade edilmektedir. Y , X 'in fonksiyonudur [80]. Y , iyileştirme için ilgilendiğimiz bağımlı değişkendir, süreç sonucu elde edilen çıktıdır. Güvenilirlik, ürün veya pazar payı gibi kalite parametresi olabilir. X değişkenleri, çıktı değişkeni olan Y 'yi etkileyen, bağımsız veya girdi değişkenleridir. Amaç, Y ve X arasındaki ilişkiyi tanımlamaktır. Bu ilişki anlaşıldığında, anahtar değişkenin tespit edilmesi ile süreç optimize edilir ve Y için istenilen performans seviyesine ulaşılabilir. Altı Sigma, Y 'ler ve X 'ler arasındaki ilişkiyi optimize etmeyi ve tanımlamayı sağlayan istatistiksel tekniklere sahiptir [39].

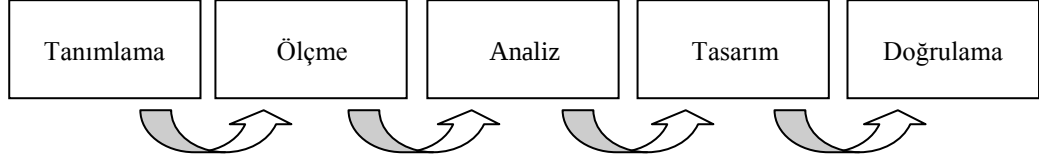
Çıktıyı etkileyecek önemli girdileri, önemi az olan girdilerden ayırmak önemli bir adımdır. Süreçlerin çıktıları çok sayıda girdiden etkilenmesine karşılık toplam girdilerin sayıca çok azı süreç çıktısının büyük bölümünü yönetir. Bu tür girdilere önemli azlar adı verilir. Sayıca daha fazla olan girdiler ise süreç çıktısının çok küçük bir bölümünü yönetir. Bu tür girdilere önemsiz çoklar adı verilir. Sürecin tanımlanması aşamasında, süreç değişkenliğine neden olabilecek potansiyel girdiler belirlenmekte, analiz aşamasında potansiyel girdilerden önemi az olan girdilerin önemsiz çoklardan ayırt edilebilmesi için istatistiksel araçlar ve teknikler kullanılmaktadır [79].

3.5.3 Altı Sigma süreç modelleri

Altı Sigma (DMAIC) ve (DMADV) adımlarını içeren iki temel süreç modeli sunmaktadır. DMAIC, Tanımlama (Define) - Ölçme (Measure) - Analiz (Analyse) - İyileştirme (Improve) - Kontrol (Control), süreç adımlarından oluşan (Şekil 3.6), var olan ürün, hizmet, süreçlerin iyileştirilmesi amaçlı; DMADV, Tanımlama (Define) - Ölçme (Measure) - Analiz (Analyse) - Tasarım (Design) - Doğrulama (Verify) süreç adımlarından oluşan (Şekil 3.7) yeni ürünlerin, hizmetlerin, süreçlerin tasarlanması ve geliştirilmesi amaçlı yaklaşım modelidir [85].



Şekil 3.6: DMAIC süreç adımları.



Şekil 3.7: DMADV süreç adımları.

DMAIC, kalite ve süreç iyileştirmede yaygın olarak kullanılan yapısal problem çözme yöntemidir. DMAIC, kalite gelişimine farklı yöntemlerin nasıl uyarlanabileceğinin anlaşılmasına yardımcı olan Walter Shewart tarafından geliştirilen “Planla, Uygula, Kontrol Et, Önlem Al yaklaşımının” (Bk. s. 118) genelleştirilmiş halidir [77].

İstatistiksel araçların etkin bir şekilde kullanılması, DMAIC yaklaşımını yaygınlaştıran, başarılı kılan diğer bir etmendir [64]. Süreçleri mükemmelliğe taşıyacak yöntem, süreçlerin geleneksel yöntemlerden farklı araçlar yardımı ile yönetilebilmesidir [84].

Kalite iyileştirme araçları ve yöntemlerinin kullanımı, karmaşık sorunların çözüm arayışlarına rehberlik ederek, işlerin, organizasyonların karmaşıklığını azaltır [87]. Altı Sigma yaklaşımında, istatistiksel araç ve tekniklerin uygulanması ile organizasyonların sigma seviyelerinin yükseltilmesi amaçlanmaktadır [88].

DMAIC süreç adımlarında Altı Sigma’nın yaygın olarak kullandığı kalite kontrol araç ve teknikleri Çizelge 3.11’de sunulmaktadır.

Çizelge 3.11: Altı Sigma kalite kontrol araç ve teknikleri [89].

Araç ve Teknikler	D	M	A	I	C
Affinity Diyagram	◆		◆		
Beyin Fırtınası	◆		◆	◆	
Sebeup-Sonuç Diyagramı			◆		
Kontrol Kartları		◆	◆	◆	◆
Kritik Kalite Faktörleri (CTQ)	◆				
Bilgi Toplama Formatları		◆	◆	◆	◆
Bilgi Toplama Planları		◆	◆	◆	◆
DOE (Design for Experiments)			◆	◆	
Akış Diyagramları	◆	◆	◆	◆	◆
Histogram		◆	◆	◆	◆
Hata Türü Etki Analizi (FMEA)		◆		◆	
Gage (R&R)		◆			
Hipotez Testi			◆		
Kano Model		◆			
Pareto Diyagramı		◆	◆	◆	
Süreç Yeterlilik		◆		◆	
Süreç Sigma		◆		◆	
Kalite Kontrol Süreç Kartı					◆
Regresyon Analizi			◆		
Örnekleme		◆	◆	◆	◆
Serpilme Diyagramı			◆		
SIPOC Diyagram		◆			
Standardizasyon					◆
Paydaş Analizi	◆			◆	

DMAIC süreç modeli aşamaları aşağıda açıklanmaktadır.

Tanımlama Aşaması: Proje ekibi tarafından projenin amacı ve kapsamı tanımlanır. Doğru projenin tanımlanması, önceliklendirilmesi ve seçilmesi gerçekleştirilir [90]. Proje seçimi, kalite çalışmalarının önemli bir adımıdır. Seçilen proje, hizmet veya ürünlerin geliştirilmesinde önemli atılımlar sağlamalıdır. Projenin etkisi iş alanına finansal fayda olarak yansımalıdır [39]. İyileştirme başarısı açısından seçilen projenin yüksek kalite elde etme ve maliyetleri azaltma olasılığı yüksek olmalıdır. Daha kolay kontrol edilebilecek, verinin rahatlıkla toplanabileceği süreçlerle uğraşmak belirlenen hedeflere ulaşmayı kolaylaştırır.

Tanımlama aşaması, dört kritik soruya yanıt arayarak başarılı bir Altı Sigma projesi için çalışma adımlarını belirler [85]:

- Hangi sorun ya da fırsat üzerinde yoğunlaşmalıyız?
- Hedefimiz nedir? Hangi sonuçları ne zaman elde etmek istiyoruz?
- İlgili süreç ve sorundan etkilenen veya hizmet alan müşteri kimdir?

■ Araştırdığımız süreç nedir?

Sorun ifadesi ve amaç ifadesi, birbirine benzer bir çifttir. Sorun ifadesi, ağrı veya belirtileri gösterirken; amaç ifadesi, somut sonuçlar alabilmek için gerekli tedaviyi belirler. Amaç ifadesinde ulaşılmak istenilen nokta tanımlanmalıdır. İstenilen sonuçlar için ölçülebilir bir hedef koyulmalıdır. Projenin bitiş tarihinin ya da en azından sonuçları almak için belirli bir zamanın belirlenmesi önemlidir [85].

Tanımlama aşamasının çıktıları proje tanım raporu, müşteri gereksinimlerinin tanımlanması, kalite düzeyine ulaşılması için kritik faktörlerin belirlenmesi ve iş süreç haritasıdır [90].

Tanımlama aşamasında en yaygın kullanılan istatistiksel araçlar ve teknikler: Değer Akış Haritası³⁶, Proje Beyanı³⁷, Tedarikçi - Girdi - Süreç - Çıktı - Müşteri Diyagramı (SIPOC³⁸), Akış Diyagramları³⁹, Beyin Fırtınası⁴⁰, Yakınlık Diyagramı⁴¹, Kritik Kalite Faktörleri (CTQ⁴²)'dir.

Ölçüm Aşaması: Ölçüm aşamasının amacı, sürecin mevcut durumunu anlamak ve değerlendirmektir. Kalite, maliyet ve süre ile ilgili ölçüm verileri elde edilir [77]. Mevcut süreç performansının ölçüldüğü, problemin kaynaklarının tespit edildiği aşamadır. Geçerli ve doğru ölçümler olmadan süreç performansını ve gerçekleştirilecek iyileştirmelerin etkilerini belirlemek olanaksızdır. Ölçülemeyen bir durumun ne kadar iyi veya ne kadar kötü olduğu bilinemez. Ölçüm, Altı Sigma'nın temel kavramlarından biridir. Bir süreç ölçülebiliyorsa, o süreç hakkında bilgi sahibi olunabilir, sürecin analizi gerçekleştirilebilir.

Anahtar süreç özellikleri, parametrelerin kapsam ve performansları bu aşamada ortaya konulmaktadır. Proje ilerleme ve hedeflerinin ölçülmesi için ölçümleri kanıtlanmış anahtar göstergeler, süreç yeterlilik ve sigma değerleri ile sürecin mevcut performansı ölçüm aşaması çıktılarıdır [90].

³⁶ Value Stream Mapping

³⁷ Project Charter

³⁸ Supplier - Input - Process - Output - Customer Diagram

³⁹ Flow Diagrams

⁴⁰ Brainstorming

⁴¹ Affinity Diagram

⁴² Critical to Quality - Tree

Mevcut durumun ölçülmesi aşamasında, süreç çevrim etkinliğinin hesaplanması önemli bir çalışmadır. Süreç çevrim etkinliği, bir sürecin bir işe ne kadar etkili çevrildiğinin doğrudan ölçümüdür. Süreç çevrim zamanı aynı zamanda süreç içerisindeki çalışma miktarıyla da bağlantılıdır. Katma değer zamanı süreci şekillendiren, uyarlayan, servis için harcanan zaman olarak düşünülebilir. [77].

Süreç çevrim etkinliği = Katma değer zamanı / Süreç çevrim zamanı

Süreç çevrim zamanı = Süreçteki çalışma / Ortalama çalışma

Ölçüm aşamasında en yaygın kullanılan istatistiksel araçlar ve teknikler: Kontrol Kartları⁴³, Histogram, Akış Diyagramları, Sebep-Sonuç Diyagramı⁴⁴, Pareto Diyagramı, Hata Türü Etki Analizi (FMEA⁴⁵), Ölçüm Yeniden Üretilirlik & Tekrarlanabilirlik (Gage R&R⁴⁶), Kano Model, Süreç Yeterlilik Analizi⁴⁷, Örnekleme⁴⁸, dir.

Analiz Aşaması: Ölçüm aşamasında elde edilen veriler ışığında, problemin ve hataların nedenleri tek tek analiz edilir. Analiz sonucunda, problem alanları doğru tespit edilerek problemin büyüklüğü sayısal olarak ortaya konulur. Mevcut durum ile ideal durum arasındaki fark yeterince büyük değilse ya da kapatılması halinde önemli bir avantaj sağlamayacaksa bir sonraki probleme geçilir.

Veriler doğrultusunda sürecin analizi ile süreç belirleyicileri tespit edilir. Değişkenliğin genel sebepleri ve özel sebepleri ile iyileştirme için fırsat öncelikleri analiz aşamasının en önemli çıktılarıdır [90].

Analiz aşamasında en yaygın kullanılan istatistiksel araçlar ve teknikler: Regresyon Analizi⁴⁹, Deney Tasarımı (DOE⁵⁰), Histogram, Pareto Diyagramı, Örnekleme.

İyileştirme Aşaması: Problemin sebeplerini ortadan kaldırmayı hedefleyen çözümler geliştirilir, uygulanır ve değerlendirilir. Analiz aşamasında analiz edilen veriler sonucunda, tespit edilen kök nedenlerin ortadan kaldırılması için çözümler aranır. Her bir çözüm önerisi için uygulama planları hazırlanır, potansiyel çözümler

⁴³ Control Charts

⁴⁴ Cause and Effect Diagram

⁴⁵ Failure Modes and Effects Analysis

⁴⁶ Gage Reproducibility & Repeatability

⁴⁷ Process Capability Analysis

⁴⁸ Sampling

⁴⁹ Regression Analysis

⁵⁰ Design of Experiments

geliştirilir. Hata durumları değer olarak belirlenir. Potansiyel çözümler ile pilot uygulamalar gerçekleştirilir. Problem çözümünde çok etkin olan deney tasarımları sayesinde önemli süreç girdilerinin optimizasyonu sağlanarak süreç çıktısının mükemmele yaklaştırılmaya çalışıldığı aşamadır.

İyileştirme için optimum süreç, iyileştirmenin uygulanması için gerekli kilit iş / görevler (iş dökümü), iyileştirme aşamasının çıktılarıdır [90].

İyileştirme aşamasında en yaygın kullanılan istatistiksel araçlar ve teknikler: Beyin Fırtınası, Süreç Yeterlilik Analizi, Süreç Sigma⁵¹, Deney Tasarımı , Akış Diyagramları, Paydaş Analizi'dir.

Kontrol Aşaması: Süreç yeterliliğinin sağlanması, kâr elde edilmesi, kazançların sürdürülmesi ve projenin kapatılıp sonuçlandırılması aşamasıdır. Planlanan süre boyunca performans göstergeleri izlenir. Eğer gerekliyse çözüme ilişkin yeni hedefler konulur, bu hedeflere ulaşmak için ayarlamalar yapılır. İyileştirmenin gerçekleştirilmesi durumunda amaç, süreci kontrol etmek ve sürecin devamlılığını sağlamaktır.

Kontrol aşamasında en yaygın kullanılan istatistiksel araçlar ve teknikler: Kontrol Kartları, Akış Diyagramı, Örneklem, Histogram, Kalite Kontrol Süreç Kartı'dır.

3.6 Yerinde Yapım Tekniklerinin İyileştirilmesinde TRIZ ve Altı Sigma Yaklaşımlarının Birlikte Kullanılması

Mühendislik problemlerinin çözümüne ilişkin olarak geliştirilen, yaratıcılığın sistematik bir şekilde ortaya çıkartılması için kullanılan en temel tekniklerden biri olan TRIZ ve proje odaklı kalite yönetim yaklaşımı, performans iyileştirme tekniği olan Altı Sigma'nın mevcut süreçlerin iyileştirilmesini amaçlayan DMAIC süreç modeli adımları birlikte kullanılarak yerinde yapım tekniğinde tespit edilen problemin çözümü ile mevcut yerinde yapım tekniğinde iyileştirmenin elde edilmesine çalışılmıştır.

Yerinde yapım sürecine uyarlanan 39 Mühendislik Parametresi ve 40 Yaratıcı Prensiplere ile TRIZ, yerinde yapım tekniğinde tespit edilen problemin çözümünde, problem çözme yöntemi olarak kullanılmıştır. Tanımlanan probleme göre iyileşen

⁵¹ Process Sigma

özellik ve kötüleşen özellik çifti ile tespit edilen çelişkinin, TRIZ Çelişkiler Matrisi'nin sunduğu çözüm öneri veya önerilerinin kullanılması sonucunda ortadan kaldırılması ile ideal çözüme ulaşılmaktadır.

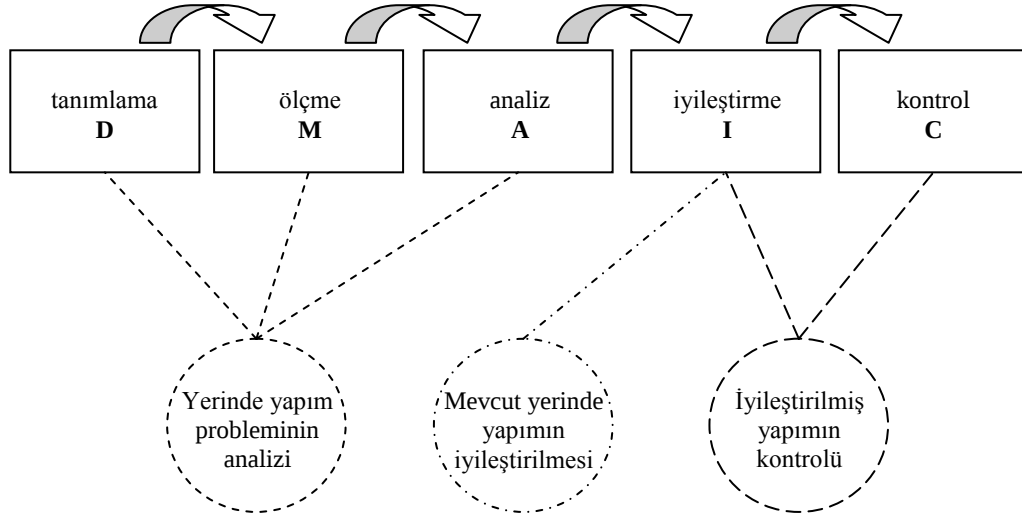
Tanımlanan problemten ideal çözümün elde edilmesine kadar TRIZ yaratıcı, sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. Ancak problemin tanımlanması ve probleme yol açan etkin sebebin tespit edilmesi, problemin analiz edilmesini gerektirir. Yapımda problemin analiz edilmesi gerçekleştirilmesi zor bir süreç adıımıdır. Problemin belirlenmesinin, irdelenmesinin, probleme yol açan sebeplerin ortaya konulmasının ve en önemlisi problemlili olduğu tespit edilen mevcut durumun ölçülebilir olmasının gerekliliği tespit edilmiştir. Problemin sayısal verilerle detaylı analizi ile sorunun etkin sebebine inilmesinin devamında ortaya çıkan çelişki, çözüm öneri veya önerilerinin kullanılması sonucunda ulaşılan ideal çözüm ile ortadan kaldırılacaktır. İdeal çözüme ulaşıldıktan sonra ise ideal çözümün uygulanması ve ideal çözüm ile problemin ortadan kaldırıldığıının, iyileştirmenin elde edildiğinin kontrol edilerek onaylanması aşamaları gerçekleştirilmelidir. Problemin analiz edilmesi, ideal çözümün uygulanması ve çözümün kontrol edilmesi çalışmaları istatistiksel araç ve tekniklerin kullanılması ihtiyacını doğurmuştur.

Sıralanan süreç aşamalarındaki çalışmalar için Altı Sigma'nın DMAIC süreç modelinin "tanımlama, ölçme, analiz, iyileştirme, kontrol" süreç adımlarındaki yaklaşımı ve ilgili süreç aşamalarında kullandığı istatistiksel araçlar, teknikler incelenmiştir.

İyileştirme model önerisinin geliştirilmesi çalışmasında:

- Yerinde yapım tekniğinde problemin analizinde "tanımlama, ölçme, analiz" aşamalarından
- Mevcut yerinde yapım tekniğinin iyileştirilmesinde "iyileştirme" aşamasından
- Yerinde yapım tekniğinde iyileştirmenin kontrolünde "iyileştirme, kontrol" aşamalarından

yararlanılmıştır (Şekil 3.8).

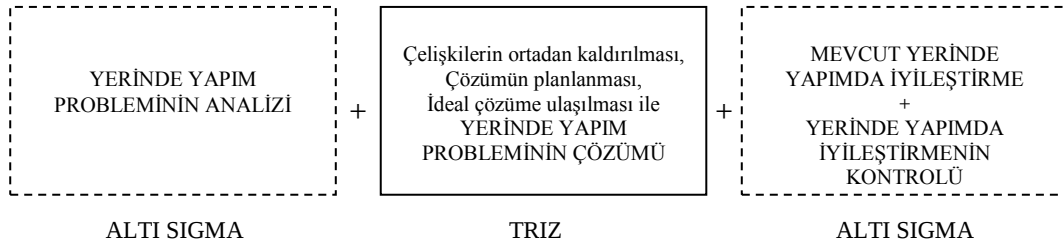


Şekil 3.8: Yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesinde DMAIC süreç adımlarından faydalanılması.

Yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesinde:

- Tespit edilen yerinde yapım probleminin analizinde Altı Sigma yaklaşımı ve kullandığı istatistiksel araçlar, teknikler
- Yerinde yapım probleminin çözümünde TRIZ yaklaşımı
- İdeal çözüm ile mevcut yerinde yapımda iyileştirmenin elde edilmesi ve iyileştirmenin elde edildiğinin onaylanmasında Altı Sigma yaklaşımı ve kullandığı istatistiksel araçlar, teknikler

kullanılarak iyileştirme model önerisinin ilkeleri oluşturulmuştur (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesini amaçlayan model önerisinde TRIZ ve Altı Sigma yaklaşımlarının birlikte kullanılması.

Yerinde yapım tekniğinde tespit edilen problemin çözümü ile mevcut yerinde yapım sürecinin iyileştirilmesinden yola çıkılarak oluşturulan model önerisi, problem çözümüne problemin analiz edilerek başlamakta, problemin çözümü, çözümün uygulanması ve uygulanan çözümün kontrol edilmesi ile sonlanmaktadır.

3.7 Bölüm Sonuçları

İyileştirme, tespit edilen olumsuzlukların ortadan kaldırılması ile elde edilir. Yapı elemanlarının yerinde yapımında uygulanan yapım tekniklerinde tespit edilen olumsuzluk, problem olarak ele alınmıştır. Problemin çözümü ile olumsuzluk giderilecek ve sonuç olarak yapım sürecinde iyileştirme elde edilecektir. Bölüm kapsamında yerinde yapım tekniğinde tespit edilen yapım probleminin ortadan kaldırılması ile mevcut yerinde yapım tekniğinin iyileştirilmesine yönelik olarak oluşturulan model önerisinin gelişim süreci ele alınmıştır.

Yerinde yapım tekniklerinde tespit edilen işçilik, malzeme, araç yapım girdileri kaynaklı problemlerin kalite, süre, maliyet kontrol faktörleri altında çözümünde mimarlık, inşaat ve yapım anahtar kelimeleri, mühendislik problemlerini ve mühendislik problemlerinin çözüm yöntemlerinin incelenmesini beraberinde getirmiştir.

Mühendislik problemlerinin çözümüne ilişkin olarak geliştirilen TRIZ, yaratıcılığın sistematik bir şekilde ortaya çıkarılması için kullanılan en temel tekniklerden biridir. Problemin tanımlanması, problemin genel TRIZ sorunlarıyla karşılaştırılması ve eşleştirilmesi, problem çiftine karşılık gelen genel çözüm öneri / önerilerinin tespit edilmesi, probleme ilişkin ideal çözümün geliştirilmesi adımlarından oluşan TRIZ sistematik bir problem çözme tekniği sunmaktadır. Diğer mühendislik problemleri çözüm yöntemlerine göre analitik ve sistematik bir yaklaşım olması, problem çözümünde esneklik getirmesi, problem çözümünde yaratıcılık temeline dayanması, binlerce patent incelemesi sonucunda ulaştığı Mühendislik Parametreleri ve Yaratıcı Prensipleri ile çok daha tanımlı bir yol haritası sunması, mimarlık alanına ve inşaat sektörüne yakın olması nedenleri ile TRIZ, çalışma kapsamında yerinde yapım uygulamalarında tespit edilen problemlerin giderilmesinde problem çözüm yöntemi olarak seçilmiştir.

39 Mühendislik Parametresi ve 40 Yaratıcı Prensip; işçilik, malzeme, araç yapım girdileri ve yapım örnekleri ile yerinde yapım alanına uyarlanmıştır. TRIZ problem çözme adımları kullanılarak yerinde yapım uygulamaları gözlemlenmiştir. Yerinde yapım tekniğinde tespit edilen problemin çözümü sonucunda mevcut yerinde, yapımın iyileştirilmesi çalışmasında yerinde yapım probleminin analiz edilmesi; TRIZ ile yerinde yapım probleminin çözümünün ardından, yerinde yapım

probleminin ortadan kaldırılması ile iyileştirmenin elde edilmesi; mevcut yerinde yapımda, mevcut problemin ortadan kaldırıldığının kontrol edilmesi ile mevcut yerinde yapımda iyileştirmenin gerçekleştirildiğinin onaylanması aşamalarının gerekliliği tespit edilmiştir. Analiz, iyileştirme, kontrol anahtar kelimeleri; ölçüm temeline dayanan, istatistiksel araçları ve teknikleri kullanarak mevcut süreçlerde en az hata adedi elde edilmesi sonucunda mevcut süreçlerin iyileştirilmesini amaçlayan, bir süreç iyileştirme yaklaşımı olan Altı Sigma'nın DMAIC süreç modeli, süreç aşamalarında kullandığı istatistiksel araçlar ve teknikler, TRIZ yaklaşımı ile birlikte kullanılarak yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesi amaçlı model önerisi geliştirilmiştir.

Bölüm kapsamında ayrıntılı olarak açıklanan yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesi için model önerisi geliştirme süreci:

- TRIZ'in yerinde yapım sürecine uyarlanması
- TRIZ'in yerinde yapım sürecine uyarlanmasında eksikliklerin belirlenmesi
- Eksikliklerin Altı Sigma yaklaşımının DMAIC süreç modelinden faydalanılarak giderilmesi
- TRIZ ve Altı Sigma yaklaşımlarının birlikte kullanılması

adımları ile özetlenmektedir.

4. YERİNDE YAPIM SÜRECİNDE YERİNDE YAPIM TEKNİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ İÇİN MODEL ÖNERİSİ

Bölüm kapsamında, yapı elemanları ve yapı elemanları alt bileşenlerinin yerinde yapımında kullanılan yerinde yapım tekniklerinde tespit edilen problemlerin ortadan kaldırılması ile mevcut yapımın iyileştirilmesini amaçlayan iyileştirme model önerisi sunulmaktadır. Modelin amacı, inşaat sektöründe yerinde yapım uygulamalarında tespit edilen problemin çözümü sonucunda, mevcut yapıdaki olumsuzlukların giderilmesi ile mevcut yerinde yapım tekniğinin iyileştirilmesidir.

4.1 Modelin Dayandığı Kabuller

Model, tüm yerinde yapım tekniklerini içeren, mevcut yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesi çalışmasıdır.

Modelin geçerli olacağı ürün düzeyi ile ilgili:

- Üst ölçek: Yapı elemanları (dış duvarlar, duvar boşlukları, çatılar, döşemeler, iç bölmeler, merdivenler)
- Alt ölçek: Yapı elemanları alt bileşenleri (gövde, yalıtım, kaplama)

Mevcut yerinde yapımda tespit edilen olumsuzluklar, problem olarak ele alınmaktadır. Yapım problemleri:

- İşçilik
- Malzeme
- Araç

yapım girdilerinin kullanılması ile

- Kalite
- Süre
- Maliyet

kontrol faktörleri altında iyileştirilen sürecin uygulanması sonucunda giderilecektir.

İyileştirme çalışmalarında müşteri memnuniyetinin sağlanması hedeflenir. Yapım işlerindeki müşteriler:

- En genel tanımlama ile yapım işini uygulayan ilgili firma (ana yüklenici, alt yüklenici, firma yetkilisi, firmaya bağlı çalışanlar, uygulayıcılar vb.) ya da
- Problemi ortaya koyan uzman ekip⁵² dir.

İlgili firma tarafından yapımdaki problem sunulmakta ya da uzman ekip tarafından ilgili yapım işindeki problem ortaya konulmaktadır.

Altı Sigma'nın da kullandığı istatistiksel araçlardan ve tekniklerden:

- Beyin Fırtınası
- Önceliklendirme Matrisi
- Sebeup Sonuç Diyagramı
- Serpilme Diyagramı
- Pareto Analizi
- Gage R&R
- Süreç Yeterlilik Analizi
- Tam Faktöriyel Deney Tasarımı
- ANOVA

sunulan model önerisinin ilgili uygulama adımlarında kullanılmıştır.

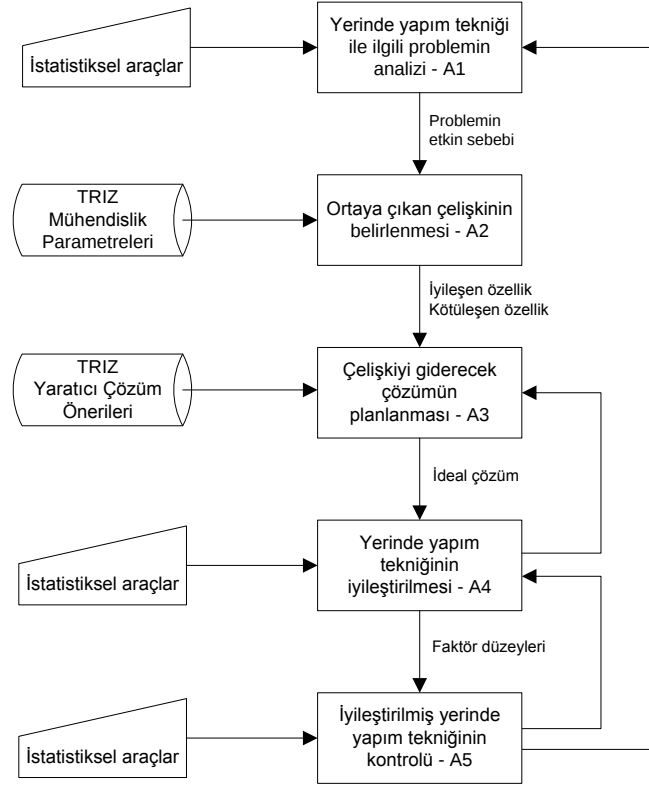
Model önerisi ile yerinde yapım tekniğinde elde edilecek iyileştirme, öncelikle projenin uygulandığı şantiyede devamında ise firma ölçeğinde verimlilik artışını sağlayacaktır.

4.2 Modelin Uygulama Adımları

TRIZ ve Altı Sigma yaklaşımlarının birlikte kullanılması ile iyileştirme model önerisinin gelişim süreci 3. Bölüm'de açıklanmıştır. Yerinde yapım tekniğinde tespit edilen problemin çözülerek ortadan kaldırılması sonucunda gerçekleştirilecek

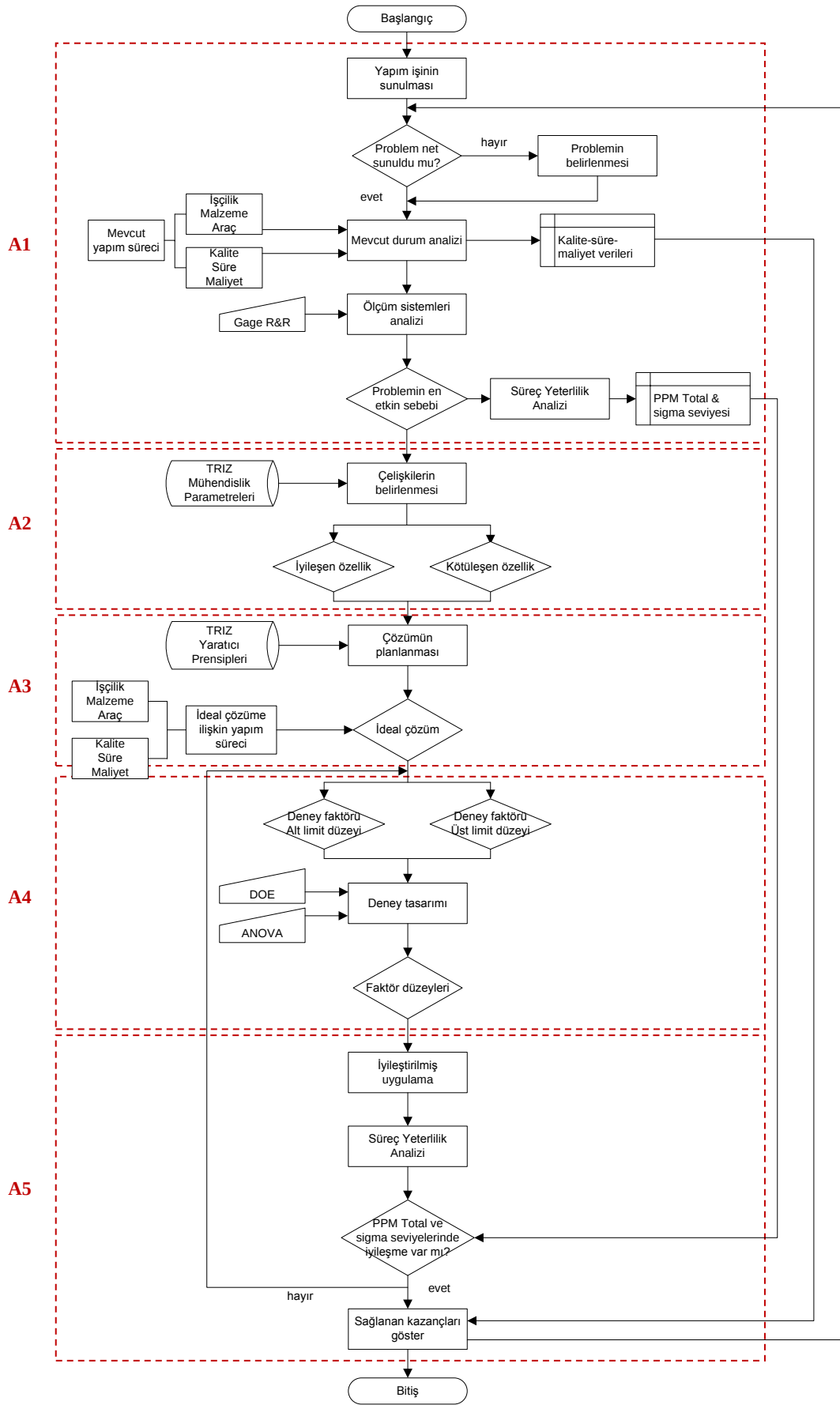
⁵² Uzman ekip; uygulama üzerine yetkin kişilerden (kontrolör, şantiye şefi, ustabaşı vb.), ilgili firma yetkililerinden, ve ilgili alandaki akademisyenlerden oluşmaktadır.

iyileştirme için beş adımdan oluşan model önerisinin en genel bakış ile akış şeması Şekil 4.1’de sunulmaktadır.



Şekil 4.1: Yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesi için sunulan model önerisi akış şeması.

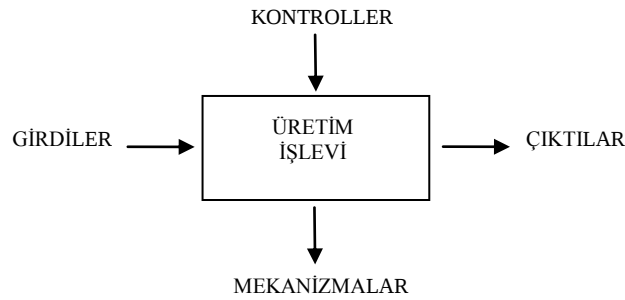
Yerinde yapım tekniğinde tespit edilen problem Altı Sigma yaklaşımı ve kullandığı istatistiksel araçlar ve teknikler ile analiz edilerek problemin en etkin sebebine ulaşılacak (A1 süreç adımı); problemin en etkin sebebinin ortadan kaldırılmasında TRIZ Mühendislik Parametreleri ile çelişki çifti belirlenecek (A2 süreç adımı); TRIZ Çelişkiler Matrisi’nin sunduğu çözüm öneri / önerileri sonucunda ideal çözüme ulaşılacak (A3 süreç adımı); Altı Sigma yaklaşımı ve kullandığı istatistiksel araçlar, teknikler ile yerinde yapım tekniğinde iyileştirmeye götürecek olan faktörler ve faktör düzeyleri belirlenecek (A4 süreç adımı); Altı Sigma yaklaşımı ve kullandığı istatistiksel araçlar, teknikler ile yerinde yapım tekniğinde iyileştirmenin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği kontrol edilecektir [A5 süreç adımı (Şekil 4.2)].



Şekil 4.2: İyileştirme model önerisi akış şemasının ayrıntılı sunumu.

Şekil 4.1’de genel süreç akışı sunulan, Şekil 4.2’de süreç adımları detaylandırılan akış şemalarındaki iyileştirme süreci, daha iyi anlatılması ve kolay takip edilmesi için gerekli görüldüğü durumlarda alt süreç açılımına da izin veren süreç modelleme anlatım teknikleri araçlarından IDEFØ (Integrated DEFinition For Function Modeling - İşlev Modellemede Bütünleşik Tanımlama) ile sunulmaktadır. 1993 yılında NIST’in (National Institute of Standards and Technology) Bilgisayar Sistemleri Laboratuvarı’nda İşlev Modelleme için bir standart olarak geliştirilen IDEFØ, sistemin işlevsel perspektifte analizi için işlevsel modelleme yöntemi sunar [91].

IDEFØ ile tanımlanan Yerinde Yapım Tekniği İyileştirme Modeli’nde tüm süreç kapsamındaki girdiler, çıktılar, işlevler / eylemler (modelin süreç adımları) arası ilişkiler, karşılıklı etkileşimler, işlevler / eylemler ile ilgili hedef ve sınırlamalar, tüm yardımcı unsurlar, kavramsal olarak farklı düzeylerdeki işlevleri ifade eden hiyerarşik kutular ve aralarındaki çizgisel akışlar ile tanımlanmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: İşlev Modellemede Bütünleşik Tanımlama Yöntemi (IDEFØ), [91].

Mekanizma, işlevlerin fiziksel unsurlarıdır. Kullanılan yazılımlar, araçlar, ekipler, gruplar vb. ilgili sürecin mekanizmalarıdır. Kontrol işlevleri sınırlayan, kısıtlayan, kendine bağlı kılan kanun, yönetmelik, maliyet, süre, kalite vb. unsurlardır. Kullanılan herhangi bir unsur, süreç içerisinde değişikliğe uğrayarak bir diğer süreç adımı için girdi, çıktı, mekanizma ya da kontrol unsuruna dönüşebilir.

IDEF A0, en üst düzey IDEFØ diyagramıdır. Tez çalışmasında beş süreç adımından (A1, A2, A3, A4, A5) oluşan IDEF A0, modelin en üst seviyeden sunulduğu süreç diyagramıdır. Gerekli görülen işlev / eylem adımları, kendi içinde alt işlev / eylem adımlarına, diğer bir deyişle alt süreç adımlarına (A11, A41, A51) ayrılmıştır.

Yapı elemanları ve alt bileşenlerinin yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesi amacıyla sunulan model önerisi:

- Problemin analizi - A1
- Çelişkilerin belirlenmesi - A2
- Çözümün planlanması - A3
- Yapımın iyileştirilmesi - A4
- İyileştirilmiş yapımın kontrolü - A5

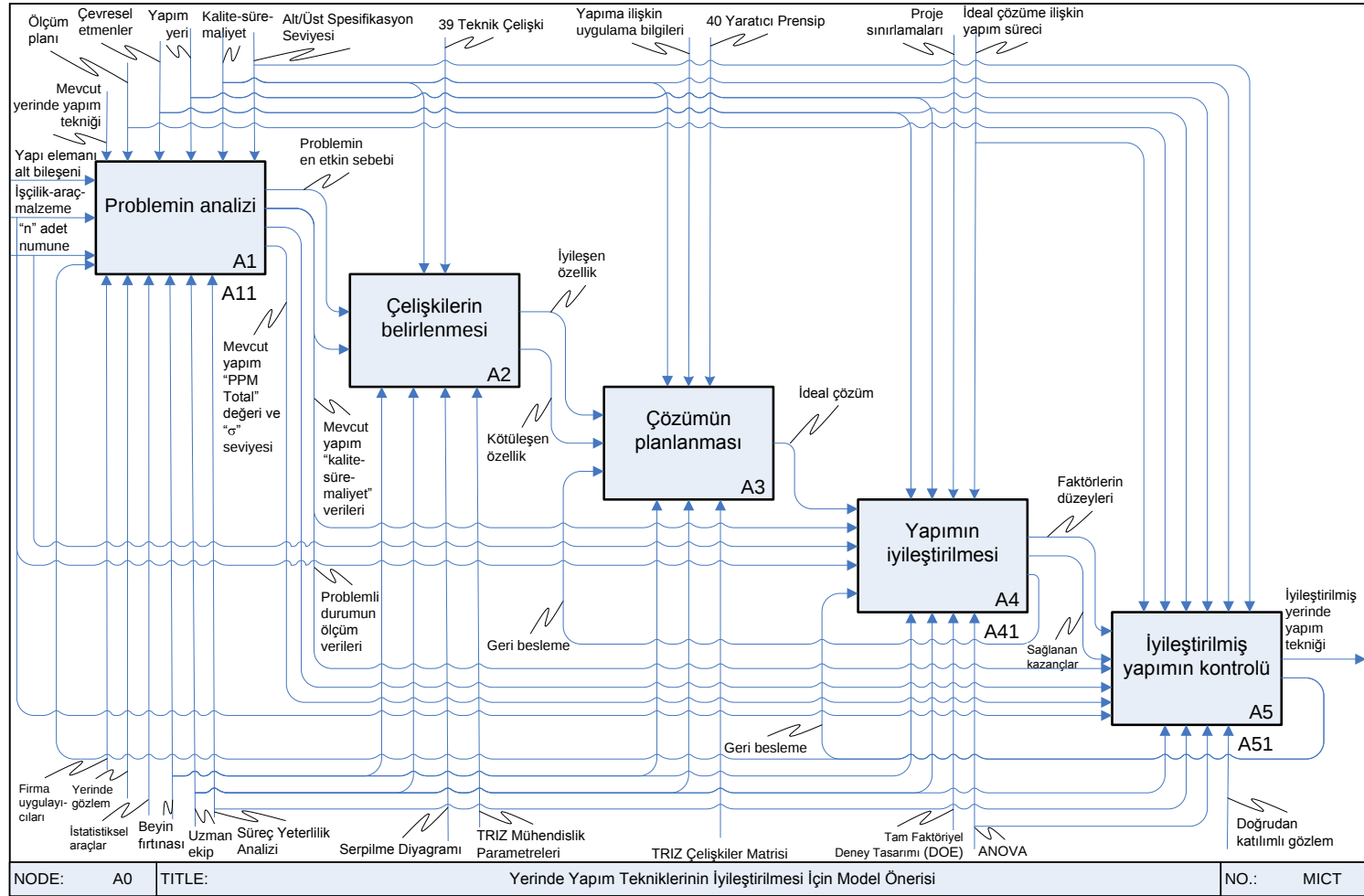
süreç adımlarından oluşmaktadır (Şekil 4.4).

Problemin analizi - A1: Yapım işindeki olumsuzluğun yani problemin analiz edilmesi aşaması, çalışmanın en önemli süreç adımıdır. Belirlenen probleme göre, problemin en etkin sebebini ortadan kaldırmaya yönelik olarak iyileştirme çalışması gerçekleştirilecektir. Problemin analizi aşaması aşağıdaki alt süreç adımlarını içermektedir (Şekil 4.5):

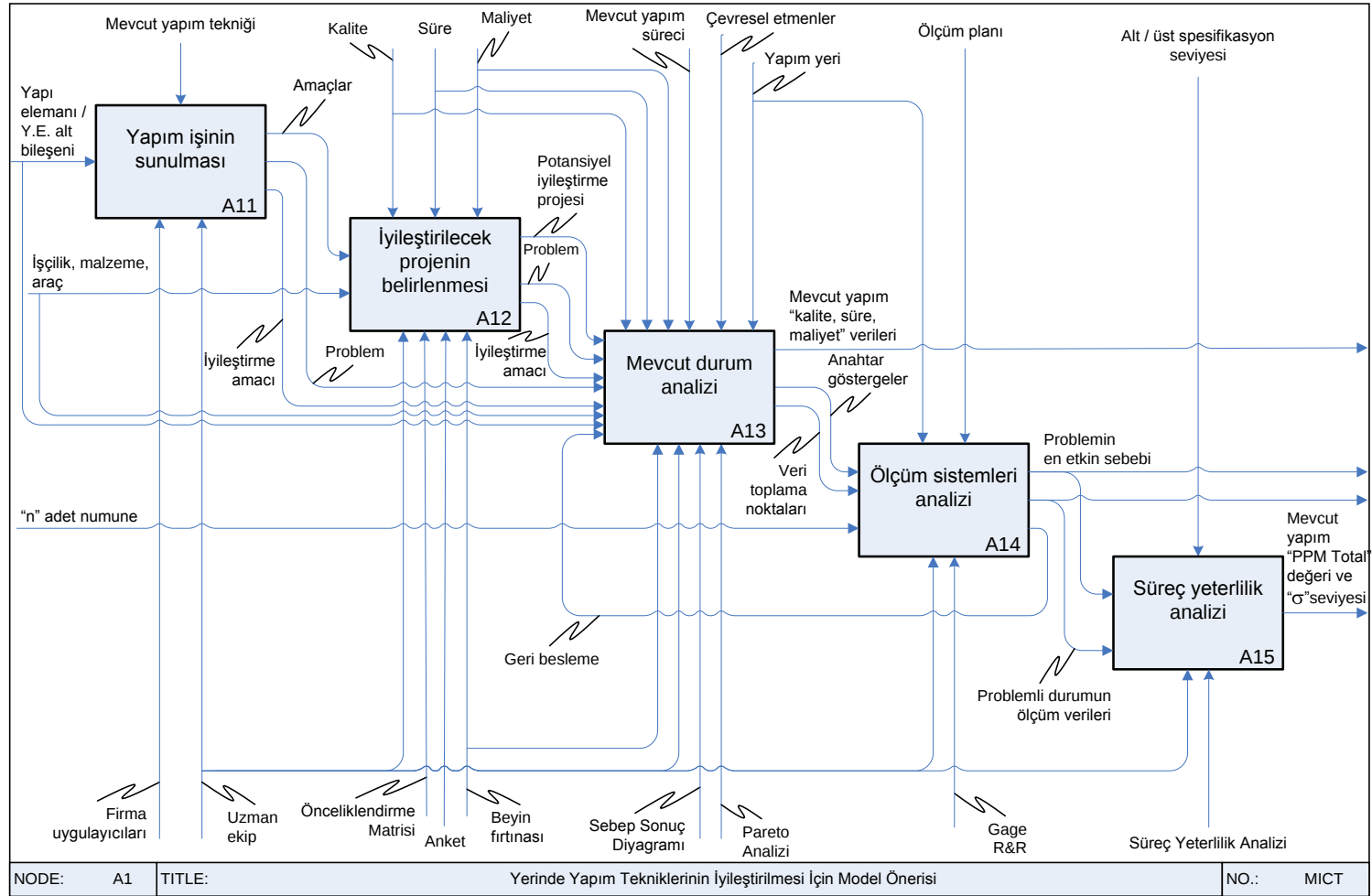
- Yapım işinin sunulması - A11
- İyileştirilecek projenin belirlenmesi - A12
- Mevcut durum analizi - A13
- Ölçüm sistemleri analizi - A14
- Süreç yeterlilik analizi - A15

Yapım işinin sunulması - A11: Yapım işi, Bölüm 2.2’de açıklanan yerinde yapım teknikleri ile tüm yapı elemanlarının ve yapı elemanları alt bileşenlerinin üretimini kapsamaktadır. Yapım işi ile birlikte problem ilgili firma, firma yetkilileri veya uygulayıcıları tarafından sunulur ya da iyileştirilecek projenin belirlenmesi - A12 süreç adımı sonucunda, akademisyenler ve ilgili alandaki uzmanlardan oluşan uzman ekip⁵³ tarafından belirlenir. Yapım işindeki amaçlar ortaya konulup problemin elde edilmek istenilen iyileştirme amacına göre belirlenecek olması durumundaysa tüm amaçlar sunulur iyileştirilecek projenin belirlenmesi - A12 süreç adımı uygulanır.

⁵³ İlgili firma yetkilisi, firma uygulayıcısı, şantiye şefi, ustabaşı, akademisyen vd.



Şekil 4.4: Model süreç adımlarının IDEF A0 diyagramı ile sunulması.



Şekil 4.5: Problemin analizi süreç adımlarının IDEF A1 diyagramı ile sunulması.

Yapım işi ile birlikte problemin sunulmasıyla iyileştirme amacının net bir şekilde ortaya konulması halindeyse, iyileştirilecek projenin belirlenmesi - A12 süreç adımının uygulanmasına gerek kalmadan mevcut durum analizi - A13 süreç adımına geçilir.

İyileştirilecek projenin belirlenmesi - A12: Problem ilgili firma, firma yetkilileri veya uygulayıcıları tarafından sunulmadıysa, yapım işine bağlı olarak firma yönetimi ve uygulayıcıları ile birlikte çalışarak uzman ekip tarafından yapım işinde elde edilmek istenilen amaçlar sıralanır. Firma uygulayıcıları ile yapılan anket çalışması sonucunda, yapım işi ile ilgili mevcut problemlerin ortaya çıkarılması sağlanmalıdır. Anket sonuçlarının değerlendirilmesi ile iyileştirilmesi planlanan potansiyel projeler belirlenir. Önceliklendirme Matrisi kullanılarak yapım işindeki amaçlar ve potansiyel iyileştirme projeleri arasında kurulan ilişkiler sonucunda elde edilen ağırlıklı toplamlara göre potansiyel iyileştirme projesi seçimi yapılır. Seçilen proje, iyileştirme imkân ve kabiliyetlerine uygun olmalıdır. Daha kısa sürede, daha yüksek kalite elde etme, maliyetleri azaltma olasılığı ile iyileştirme potansiyeli yüksek olmalıdır.

Mevcut durum analizi - A13: Problemin ortaya çıktığı mevcut durum, mevcut işçilik, malzeme, araç yapım girdileri ile yapım yerinde gözlemlenerek mevcut yapımın detaylı süreç haritası hazırlanır. Uzman ekip tarafından hazırlanan Sebep Sonuç Diyagramı⁵⁴ ile işçilik - malzeme - araç - yöntem - çevre - ölçüm başlıkları altında tüm sebep ve alt sebepler dikkate alınarak mevcut sürece ilişkin anahtar göstergeler tespit edilir. Mevcut yapımın kalite, süre, maliyetiyle ilgili veriler ortaya konulur. Bilgi ve birikime dayalı olarak yapım yerinde yapılan gözlemlerin, sayısal verilerle ortaya konulması diğer bir deyişle, mevcut durumun ölçülmesi gerekmektedir. Anahtar göstergeler ışığında veri toplama noktaları tespit edilir.

Ölçüm sistemleri analizi - A14: Anahtar göstergeler ışığında tespit edilen veri toplama noktalarına ilişkin sayısal verilerin nasıl elde edileceğine ilişkin ölçüm planı yapılır. Ölçüm sonucu elde edilen sayısal veriler girilerek, Minitab⁵⁵ programı içinde

⁵⁴ Fishikawa Diagram: Süreçte probleme yol açan olası tüm sebepleri, alt sebepleri, gerekli ise alt alt sebepleri ve sebepler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için kullanılan diyagramdır, balık kılçığı diyagramı olarak da adlandırılır.

⁵⁵ İstatistik yazılımı.

yer alan Gage R&R⁵⁶ çalışması ile ölçüm sistemleri analizi gerçekleştirilir. Ölçüm sistemlerinden kaynaklanan değişkenlikler, yeniden üretilebilirlik ve tekrarlanabilirliktir. Yeniden üretilebilirlik, aynı parça üzerindeki bir parametrenin farklı operatörler tarafından onlarca kez ölçülmesidir. Tekrarlanabilirlik ise aynı parça üzerindeki bir parametrenin, aynı ölçüm cihazı ile ve aynı operatör tarafından onlarca defa ölçülmesidir.

Ölçüm sistemleri analizi çalışması, öncelikle yapılan ölçümlerin doğruluğunu ortaya koymak amacıyla uygulanır. Elde edilen değer %30'dan küçük olması, ölçüm sisteminin yeterli olduğunu ortaya koymaktadır⁵⁷. Farklı operatörler tarafından birden fazla yapılan ölçümler sonucunda, operatörlerin kendilerini tekrar ettiklerinin ve ölçümlerin doğruluğunun onaylanması gerekmektedir. İkinci aşamada yapılan ölçüm sistemleri analizi ise tespit edilen anahtar göstergelere ilişkin veriler üzerinde gerçekleştirilir. Örneğin, uygulamaları yapan işçilerin kendilerini tekrar edebilmesi, yapım işindeki işçilik kalitelerinin her uygulamada değişkenlik göstermemesi, işçilik el becerisinin sürekliliği ile işçilik kalitesinin ortaya konulması vb. Anahtar göstergeler ışığında yapılan Gage R&R analizi sonuçları ile problemin kaynağı tespit edilerek problemin en etkin sebebi ortaya konulmuş olunur. Problemin sebebine ilişkin ölçüm verileri elde edilen diğer süreç çıktılarıdır.

Süreç yeterlilik analizi - A15: Problemin en etkin sebebinin süreç performansının sayısal verilerle ortaya konulması gerekmektedir. Mevcut durum analizi sonucunda problemlili mevcut yapımda elde edilen problemin en etkin sebebine ilişkin ölçüm verilerinin kullanılması ile Minitab programında, Quality Tools sekmesi altında Capability Analysis ile mevcut durumun süreç yeterlilik indeksi hesaplanmakta, PPM Total değeri ve sigma seviyesi tespit edilmektedir. Uzman ekip tarafından Alt Spesifikasyon Seviyesi - LSL ve Üst Spesifikasyon Seviyesi - USL değerleri belirlenir. Ölçüm verileri girilerek süreç yeterlilik grafiği elde edilir. PPM Total değerine göre yapım işinin sigma seviyesi belirlenmektedir (Bk. Böl. 3.5.1). PPM Total, 1 milyon adet üretimdeki toplam hata adedini göstermektedir. Bir milyon adet üretimdeki hata adedi, sürecin sigma seviyesini ortaya koymaktadır.

⁵⁶ Yeniden üretilebilirlik ve tekrarlanabilirlik açısından ölçümlerin doğruluğunu ortaya koymak amacıyla yapılan analiz çalışması.

⁵⁷ Genel olarak endüstride Gage R&R değerinin %30'dan düşük olması beklenmektedir [84].

Mevcut durumun PPM Total değeri ve sigma seviyesi ile iyileştirme sonucunda elde edilen PPM Total değeri ve sigma seviyesi karşılaştırılarak iyileştirmenin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği ortaya konulmuş olacaktır.

Çelişkilerin belirlenmesi - A2: Problemin en etkin sebebinin ortadan kaldırılmasına yönelik olarak TRIZ 39 Mühendislik Parametresi'nin (Bk. Böl. 3.3.1.1) kullanılması ile iyileşen özellik ve iyileşen özelliğin karşısında çelişkiye sebep olan kötüleşen özellik çifti tespit edilmektedir. İyileşen - kötüleşen özellik çiftlerinin birden fazla olması durumunda, Serpilme Diyagramı⁵⁸ kullanılarak en uygun iyileşen - kötüleşen özellik çiftinin seçimi gerçekleştirilir.

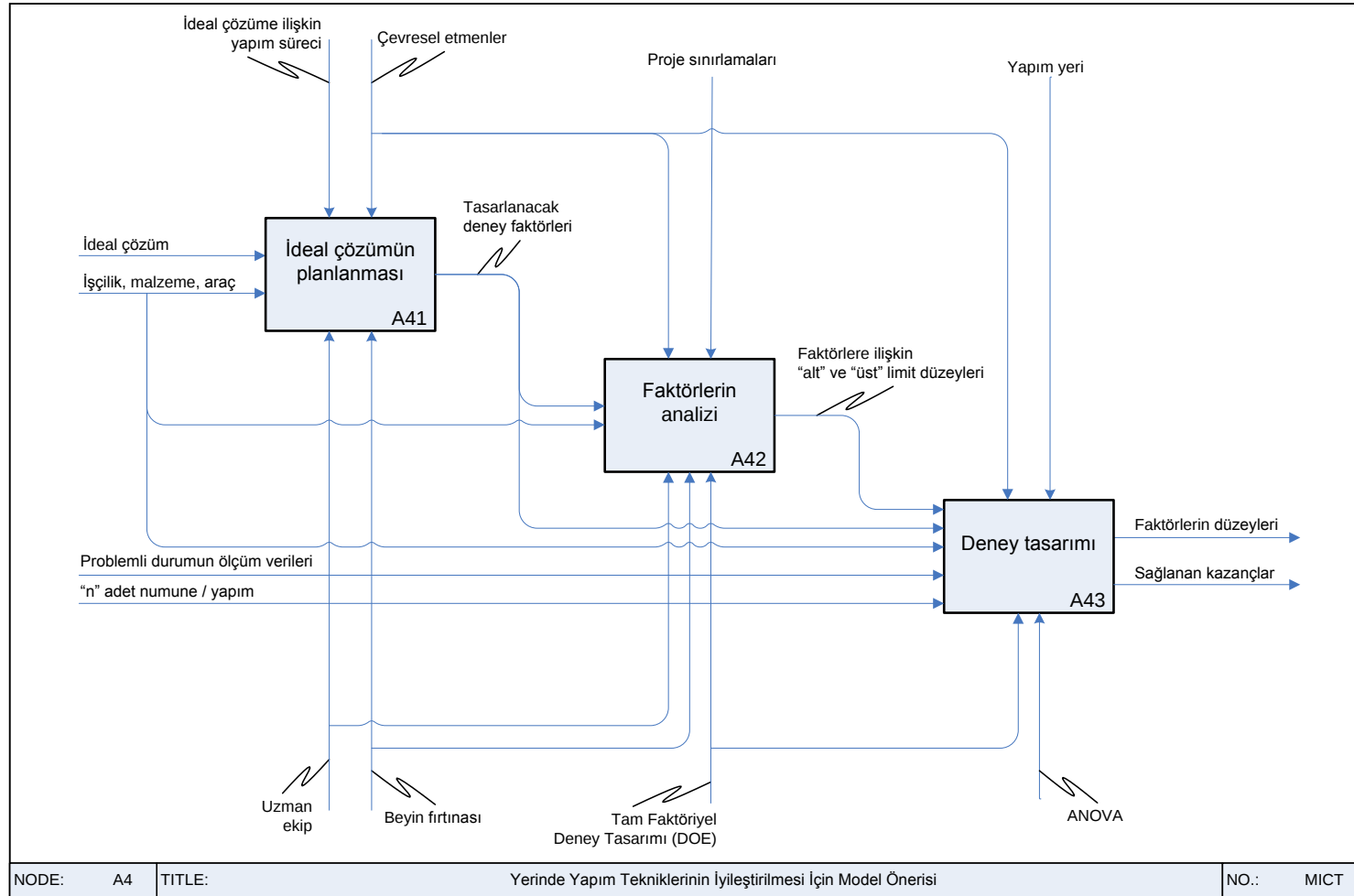
Çözümün planlanması - A3: TRIZ Çelişkiler Matrisi'ni kullanarak (Bk. Çizelge C.1, s. 203), y ekseninde iyileşen özellik, x ekseninde kötüleşen özellik çiftinin çakıştırılması ile TRIZ'in sunduğu Yaratıcı Prensipler / Prensipler (çözüm öneri / önerileri) tespit edilir. Çözüm önerilerinin her biri çözüme yönelik olduğu için aralarında sıralama söz konusu değildir. Uzman ekip tarafından gerçekleştirilen Beyin fırtınası ile ayrı ayrı ele alınan çözüm önerilerinin analizi sonucunda birinin ya da birden fazlasının kullanılmasıyla ideal çözüme ulaşılmaktadır. İdeal çözümün işçilik, malzeme, araç yapım girdileri tanımlanır. Yapım girdileri ile yapım aşaması süreç haritası hazırlanır.

Yapımın iyileştirilmesi - A4: Problem çözümünde çok etkin olan deney tasarımları sayesinde önemli süreç girdilerinin optimizasyonu sağlanarak süreç çıktısının mükemmelle yaklaştırılmaya çalışıldığı aşamadır. Yapımın iyileştirilmesi süreç aşaması:

- İdeal çözümün planlanması - A41
- Faktörlerin analizi - A42
- Deney tasarımı - A43

alt süreç adımlarını içermektedir (Şekil 4.6).

⁵⁸ Birbiri ile ilişkisi olduğu düşünülen iki değişken arasındaki ilişkinin (pozitif ilişki, olası pozitif ilişki, ilişki yok, olası negatif ilişki, negatif ilişki) görülmesini sağlayan diyagramlardır.



Şekil 4.6: Yapımın iyileştirilmesi süreç adımlarının IDEF A4 diyagramı ile sunulması.

İdeal çözümün planlanması - A41: Çözümün planlanması süreç adımının çıktısı olarak elde edilen ideal çözüme ilişkin işçilik, malzeme, araç yapım girdileri ve yapım süreci tanımlanır. Uzman ekip ile gerçekleştirilen beyin fırtınası sonucunda problemin en etkin sebebini ortadan kaldırmak için tasarlanacak olan deney faktörleri belirlenir.

Faktörlerin analizi - A42: Faktörlerin deneylerde incelenen düzeyleri, faktör seviyeleridir. Süreç kapsamında alt limit ve üst limit olmak üzere 2 seviyeli, k faktörlü Tam Faktöriyel Deney Tasarımı⁵⁹ tasarlanacaktır. Yerinde yapım uygulamalarında alt limit ve üst limit düzeyleri, sayısal veriler veya uygulamalı bilgilerdir. Projedeki sınırlamalar da göz önüne alınarak beyin fırtınası ile uzman ekip tarafından tasarlanan k adet deney faktörünün alt limit ve üst limit düzeyleri tespit edilir.

Deney tasarımı - A43: Tam faktöriyel deneylerde, faktörlerin incelenen seviyelerinin tüm kombinasyonlarında deneyler⁶⁰ yapılır. İki seviyeli (alt limit, üst limit) ve k faktörlü Tam Faktöriyel Deney Tasarımı ile 2^k adet uygulama gerçekleştirilir. Uygulamalara ilişkin elde edilen ölçüm sonuçları ile Tam Faktöriyel Deney Tasarımı uygulanır ve ANOVA⁶¹ analizi yapılır. %95 güvenilirlik seviyesi (confidence level) ile Two Way Analysis⁶² çalışması uygulanır. “R-Sq (adj) < R-Sq” ifadesi, yapılan çalışmanın güvenilirliğini doğrulayacaktır. P değerinin %5’den küçük olması, faktörün etkili olduğunu göstermektedir⁶³. Temel Etki Grafiği (Main Effects Plot) ve Küp Grafik (Cube Plot) faktörlerin alması gereken değerleri anlaşılır bir şekilde sunmaktadır. Deney tasarımı sonucunda, problemin en etkin sebebini ortadan kaldırmak için tasarlanan faktörlerin düzeylerine ilişkin değerler elde edilir.

İyileştirilmiş yapımın kontrolü - A5: İyileştirmenin gerçekleştirildiğinin kontrol edildiği son süreç adımıdır:

▪İyileştirilmiş uygulama - A51

⁵⁹ Deney Tasarımı (DOE), bir parametre veya bir grup parametrenin değerini kontrol eden faktörleri değerlendirebilmek için, kontrollü deneylerin yapılması ve analiz edilmesidir.

⁶⁰ Yerinde yapım işlerinde “uygulamalar” olarak ele alınmaktadır.

⁶¹ Değişkenlerin diğer değişkenler üzerindeki etkisini inceleyen modellemesidir. Değişkenliğin hangi faktör ve etkileşimleriyle açıklanabileceğini, faktör ve faktör etkileşimlerinin etki düzeylerini belirler.

⁶² k bağımlı grupta iki yönlü varyans analizidir, k bağımlı grupta elde edilen verilerin analizini yapar, deneme ortalamalarının farklılığını tespit eder.

⁶³ Genel olarak sanayide “ $P < \%5$ ” olması farklılıkların belirgin olduğunu gösterir [83].

▪Süreç yeterlilik analizi - A52

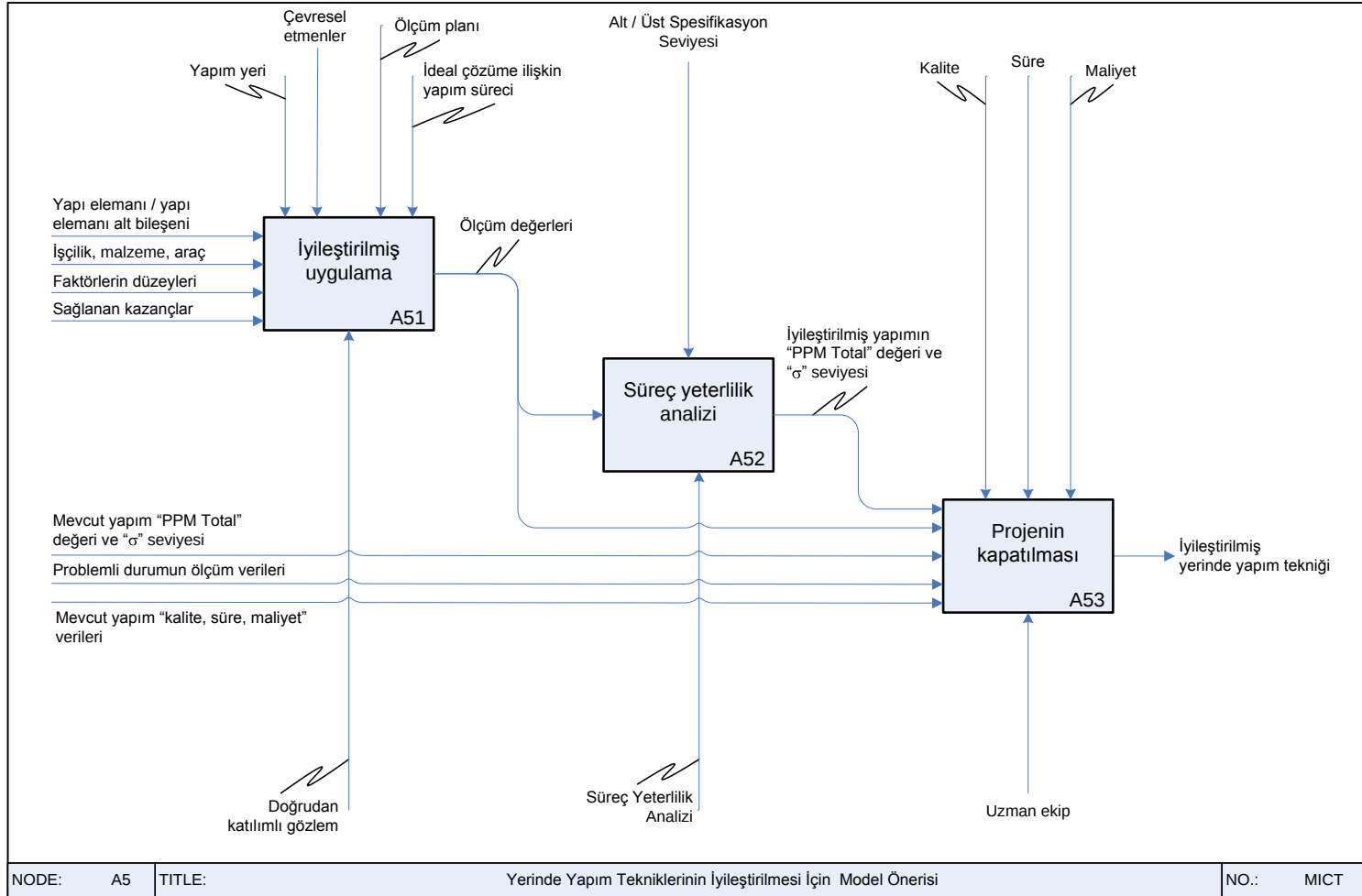
▪Projenin kapatılması - A53

alt süreç adımlarını içermektedir (Şekil 4.7).

İyileştirilmiş uygulama - A51: Tam Faktöriyel Deney Tasarımı ve ANOVA analizi ile yapımın iyileştirilmesi - A4 süreci sonucunda, problemin en etkin sebebinin ortadan kaldırılacak olan faktörlerin alması gereken düzeyler belirlenmiştir. İdeal çözümün planlanması - A41 alt süreç adımıyla planlanan yapım süreci, belirlenen faktör düzeylerinin kullanılmasıyla mevcut yapım yerinde çevresel etmenler altında uygulanır. Ölçüm planlamasına göre iyileştirilmiş yerinde yapım ile gerçekleşen uygulama üzerinde ölçümler yapılır.

Süreç yeterlilik analizi - A52: Uzman ekip tarafından Alt Spesifikasyon Seviyesi - LSL ve Üst Spesifikasyon Seviyesi - USL değerleri belirlenir. İyileştirilmiş uygulamaya ilişkin ölçüm değerleri girilerek Minitab programında Quality Tools sekmesi altında Capability Analysis ile sürecin performansını ortaya koyan süreç yeterlilik grafiği elde edilir. Süreç yeterlilik grafiği, iyileştirilmiş yerinde yapım uygulamasının PPM Total değerini ve sigma seviyesini sunar. Elde edilen sonuçlar ile sağlanan kazançlar ortaya konulur.

Projenin kapatılması - A53: İyileştirilmiş yapıma ilişkin PPM Total değeri ve sigma seviyesi ile problemin en etkin sebebinin süreç performansının PPM Total değeri ve sigma seviyesi karşılaştırılarak iyileştirmenin elde edilip edilmediği tespit edilir. Problemlili mevcut yapımın kalite, süre, maliyet verileri ile iyileştirilmiş yapıma ilişkin kalite, süre, maliyet verileri karşılaştırılır. Mevcut durum ile iyileştirme sonucunda elde edilen kazançlar değerlendirilir. İyileştirmenin gerçekleştiği teyit edildiğinde, sağlanan kazançlar ile yerinde yapım iyileştirme projesi kapatılır.



Şekil 4.7: İyileştirilmiş yapımın kontrolü süreç adımlarının IDEF A5 diyagramı ile sunulması.

4.3 Bölüm Sonuçları

Mevcut yerinde yapım uygulamalarında tespit edilen olumsuzluklar problem olarak ele alınmıştır. Problemin çözülerek ortadan kaldırılması ile mevcut yapımın iyileştirmesi gerçekleştirilmiş olacaktır. Yapım işi özellikle de yerinde yapım uygulamaları, üretimin tamamının yapım yerinde gerçekleşmesi nedeniyle pek çok değişkenin yer aldığı, her yapım uygulaması için kendine özgü karmaşık bir süreçtir. Yapım girdilerinden doğrudan yapımın gerçekleşmesini sağlayan üretim faktörleri olan işçilik, malzeme, araç girdileri ile yerinde yapım teknikleri uygulamalarının gerçekleştirildiği yapım süreci ele alınmaktadır.

Problemin belirlenmesi, TRIZ çelişkileri ile eşleştirilmesi, TRIZ çözüm önerilerinin uygulanması ve soruna ilişkin ideal çözümün geliştirilmesi olmak üzere TRIZ, dört adımda problem çözme modeli tanımlamaktadır.

Sunulan süreç modelinin ön çalışmalarında, TRIZ ile birlikte istatistiksel araç ve tekniklerin kullanılması gerekliliği tespit edilmiştir. Problem çözme seviyesinde Altı Sigma, proje odaklı bir yaklaşımdır. Altı Sigma yaklaşımı; mükemmelliğin sağlanması amacıyla süreçlerin tanımlanması, ölçülmesi, analiz edilmesi, iyileştirilmesi ve kontrolü için kolay ve etkili istatistiksel araçların, tekniklerin kullanıldığı bir kalite yönetim stratejisidir. Tanımlama, ölçme, analiz, iyileştirme ve kontrol aşamalarından oluşan DMAIC süreç modeli ve ilgili adımlarda kullandığı istatistiksel araçlar, teknikler incelenmiştir.

Özellikle belirtilmektedir ki yapılan çalışma, Altı Sigma DMAIC süreç modelinin uyarlama çalışması değildir. TRIZ ve Altı Sigma yaklaşımlarından faydalanılarak beş adımdan oluşan yerinde yapım tekniği iyileştirme model önerisi sunulmuştur.

Sunulan iyileştirme modeli; problemin analizi, çelişkilerin belirlenmesi, çözümün planlanması, yapımın iyileştirilmesi ve iyileştirilmiş yapımın kontrolü süreç adımlarından oluşmaktadır.

Problemin analizi, diğer bir deyişle yapım işindeki olumsuzluğun analiz edilmesi ile problemin en etkin sebebinin ortaya konulması aşaması, çalışmanın en önemli başlangıç noktasıdır. Gage R&R ve Süreç Yeterlilik Analizi ile problemin en etkin sebebi belirlenmekte ve problemin en etkin sebebinin mevcut durum süreç performansı ölçülmektedir.

Problemin en etkin sebebini ortadan kaldırmak için TRIZ Mühendislik Parametreleri kullanılarak iyileşen özellik ve iyileşen özellik karşısında çelişkiye neden olan kötüleşen özellik tespit edilmektedir.

Çelişki / çelişkileri ortadan kaldırmaya yönelik olarak TRIZ Çelişkiler Matrisi ile çözüm öneri / önerileri tespit edilmekte ve her bir çözüm önerisi incelenerek ideal çözüme ulaşılmaktadır.

Yapımın iyileştirilmesi adımı, problemin en etkin sebebini ortadan kaldırmaya yönelik olarak deney faktörleri tasarlanarak analiz edilmekte ve belirlenen alt ve üst limit düzeyleri kullanılarak / uygulanarak 2^k adet uygulama gerçekleştirilmektedir. Tam Faktöriyel Deney Tasarımı ve ANOVA analizi sonucunda faktör düzeyleri tespit edilmektedir.

Son süreç adımı olan iyileştirilmiş yapının kontrolü aşamasında, iyileştirme aşaması sonucunda elde edilen faktör düzeyleri ile yapım yerinde iyileştirilmiş uygulama gerçekleştirilmektedir. İyileştirilmiş uygulamanın Süreç Yeterlilik Analizi yapılır. Problemlili mevcut durumun PPM Total değeri ve sigma seviyesi ile iyileştirilmiş yapımın PPM Total değeri ve sigma seviyesi karşılaştırılarak iyileştirilmenin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği sayısal verilerle ortaya konulmaktadır.

Sonuç olarak TRIZ ve Altı Sigma yaklaşımlarının birlikte kullanılması ile yapı elemanları ve yapı elemanları alt bileşenleri ölçeğinde, yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesi amacıyla sistematik bir problem çözme anlayışının, sayısal verilerle yapılan ölçümler ile istatistiksel araçların, tekniklerin ve yaklaşımların kullanıldığı etkin bir iyileştirme model önerisi sunulmaktadır.

5. İYİLEŞTİRME MODEL ÖNERİSİNİN TUĞLA ÖRME DUVAR YAPIM İŞİNDE UYGULANMASI

İlgili bölümde yerinde yapım uygulaması ile tez çalışmasında sunulan iyileştirme model önerisinin, şantiye ortamında diğer bir deyişle pratik alanda, tuğla örme iç duvar yapım işinde uygulaması gerçekleştirilmiştir.

5.1 Modelin Uygulanması

Çalışma kapsamında, 4. Bölüm’de sunulan iyileştirme model önerisi kullanılarak İstanbul ilinin Pendik ilçesinde bir spor kompleks binası şantiyesinde, tuğla örme iç duvar yapım işinin iyileştirilmesi uygulaması ele alınmıştır. Önerilen iyileştirme modeli:

- Problemin analizi - A1
- Çelişkilerin belirlenmesi - A2
- Çözümün planlanması - A3
- Yapımın iyileştirilmesi - A4
- İyileştirilmiş yapımın kontrolü - A5

süreç adımlarından oluşmaktadır (Bk. Şekil 4.4, s. 147). Bölüm kapsamında yukarıda tanımlanan yapım işi üzerinde iyileştirme modeli süreç adımları uygulamalar, kullanılan istatistiksel araç ve teknikler ile ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

5.1.1 Problemin analizi - A1

Yerinde yapım uygulamasında belirlenen problemin analiz edilmesi sonucunda, problemin en etkin sebebini ortadan kaldırmaya yönelik olarak iyileştirme çalışması gerçekleştirilmiştir. Problemin analizi aşaması:

- Yapım işinin sunulması - A11
- İyileştirilecek projenin belirlenmesi - A12
- Mevcut durum analizi - A13

- Ölçüm sistemleri analizi - A14
- Süreç yeterlilik analizi - A15

alt süreç adımlarını içermektedir (Bk. Şekil 4.5, s. 148).

5.1.1.1 Yapım işinin sunulması - A11

İyileştirme çalışması gerçekleştirilecek olan yapım işi, betonarme iskelet taşıyıcılı binada (Şekil 5.1), tuğla örme yapı sistemi ile düşey iç bölme sistemlerinden biri olan iç duvarda gövde alt bileşen uygulamasıdır. Tuğlalar ile örülen duvarlarda yüzey düzgünlüğü problemi, şantiye şefi tarafından tespit edilmiştir. Yapım işindeki müşteri, şantiye şefinin bağlı olduğu ilgili firmadır. Belediye kontrolörü tarafından yapılan kontrollerde, uygun bulunmayan yapım işlerinin yeniden gerçekleştirilmesi talimatı verilmektedir. Bu durum, ilgili yapım işinde doğru uygulanmayan tuğla örme duvarların yıkılarak yeniden yapılması anlamına gelmektedir. Yapılan yapım işlerinin istenilen kalitede olması, ana yüklenici firma tarafından beklenen en önemli özelliktir. Şantiye şefi, sahada yapılan tüm yapım işlerinin kontrolünden sorumludur. Sunulan probleme göre iyileştirme çalışmasının amacı, tuğla duvar yüzey düzgünlüğünün elde edilmesidir.



Şekil 5.1: Uygulamanın gerçekleştiği spor kompleks binası şantiyesi.

5.1.1.2 İyileştirilecek projenin belirlenmesi - A12

Problemin ve probleme bağlı olarak iyileştirme amacının yapım işinin sunulması - A11 alt süreç adımıyla çok net ortaya konulmasından dolayı, IDEF A1 diyagramında yer alan (Bk. Şekil 4.5, s. 148) iyileştirilecek projenin belirlenmesi - A12 süreç adımının uygulanmasına gerek kalmadan mevcut durum analizi - A13 süreç adımına geçilmiştir.

5.1.1.3 Mevcut durum analizi - A13

Problemin ortaya çıktığı mevcut durum yapım yerinde gözlemlenmiştir. Binanın giriş katında yer alan duvarların bir bölümünün tuğla örme uygulaması tamamlanmıştır. Giriş katının kalan bölümü ile 1. katta duvar örme yapım işi devam ederken yerinde gözlem ile işçilik, malzeme, araç yapım girdileri analiz edilmiş ve mevcut yapım süreç haritası hazırlanmıştır.

İlgili şantiyedeki tuğla duvar yapım işi, üç duvarcı ustası (Poz No: 01.013, Bk. Çizelge 2.2) tarafından gerçekleştirilmektedir. İşçilerin sektördeki yıllık deneyimleri göz önüne alınarak işçilik el becerileri birbirlerine yakın görülmüştür (Çizelge 5.1). İşçiler çalışma kapsamında duvarcı ustası 1, duvarcı ustası 2, duvarcı ustası 3 olarak isimlendirilmişlerdir. Uygulamalarda çırak üst kotlardaki duvar örme işi için iskelenin kurulmasında, tuğlaların uygulama yerine taşınmasında, tuğlaların iskele üzerine taşınmasında, harcın hazırlanmasında, harcın uygulama yerine taşınmasında, uygulama planına göre duvar örülecek yerin yatay ve düşey düzlemde belirlenmesinde, duvarın düşey şakulünün kontrolünde üç duvarcı ustasına yardımcı olmaktadır. Ustabaşı, diğer yapım işlerinde olduğu gibi tuğla duvar örme yapım işinin de takibini yapmaktadır. Şantiye şefinin belirlediği yapım işlerinin ustalar tarafından uygulanmasından sorumludur.

Çizelge 5.1: İşçilik bilgileri.

İşçiler	Yaş	Sektördeki deneyim (yıl)
Duvarcı ustası 1	49	28
Duvarcı ustası 2	50	34
Duvarcı ustası 3	45	30
Çırak	17	2

13,5'luk yatay delikli (19 x 19 x 13,5 cm) fabrika tuğlası⁶⁴ (TS EN 771-1), çimento (TS EN 197-1, CEM IV/B (P) 32,5R), kalsiyum kireci (TS EN 459-1, CL 80-S), Adapazarı kumu ve su uygulamada kullanılan malzemelerdir.

Mala, kürek, çelik metre, master, çırpı ipi, su terazisi, el arabası, kova, şakul, iş iskelesi, fırça ve çivi uygulamada kullanılan araçlardır.

Duvarcı ustası 1, duvarcı ustası 2 ve duvarcı ustası 3'ün gerçekleştirdiği yapım süreçleri analiz edilmiştir. Yukarıda tanımlanan işçilik, malzeme, araç girdileri ile üç

⁶⁴ Şantiyede Boyabat tuğlası kullanılmıştır.

duvarcı ustası tarafından uygulanan tuğla duvar örme yapımının yerinde gözlemleri sonucunda yapım aşamalarını içeren mevcut durum süreç haritası hazırlanmıştır (Çizelge 5.2).

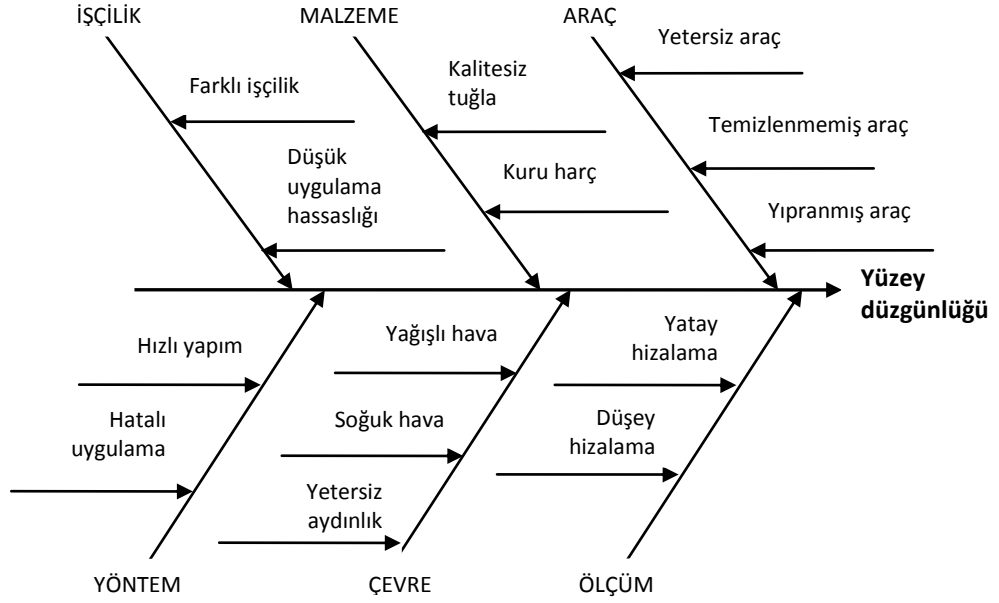
Çizelge 5.2: Mevcut yapıma ilişkin süreç haritası.

Uygulama adımları
ADIM 1: Uygulama projesine göre duvar örülecek yerin belirlenmesi (ustabaşının gözetimiyle)
ADIM 2: Tuğlaların uygulama yerine taşınması
ADIM 3: Hazırlanan harcın el arabası ile uygulama yerine taşınması
ADIM 4: Duvar örülecek beton zeminin fırça ile temizlenmesi ve ıslatılması
ADIM 5: Yapım yerinde referans alınan noktanın proje üzerinde ölçülmesi ile 1. sıra tuğla sırasının başlangıç tuğlasının harçla döşemeye sabitlenmesi, tokmaklanması
ADIM 6: Referans noktasından ölçülerek 1.sıra tuğla sırasının bitiş tuğlasının döşemeye harçla tespit edilmesi, tokmaklanması
ADIM 7: İlk tuğla üzerinden çekilen çırpı ipinin son tuğla üzerine sabitlenmesi
ADIM 8: Başlangıç ve bitiş tuğlası arasındaki tuğlaların çırpı ipi hizasına göre tuğla alt yüzeyine sürülen harçla döşemeye ve tuğla yan yüzeyine sürülen harçla bitişindeki tuğlaya sabitlenmesi
ADIM 9: Örülecek duvar iki kolon arasında veya iki duvar arasında yer almıyor ise diğer bir ifade ile duvarın başlangıç ya da bitiş noktası boşluk oluşturuyor ise (kapı, koridor vb.), uygulama projesine göre duvar üst kotundan (kiriş altı veya tavan döşemesi altı) düşey şakul alınarak düşey çırpı ipinin üst kota ve tabanda yer alan ilk sıra tuğla üzerine sabitlenmesi
ADIM 10: Şaşırtmalı derz sistemine göre ikinci sıraya yarım tuğla ile başlanması (mala ile tuğla bloğun ortadan ikiye bölünmesi ile), sıra başı ve sonundaki tuğlalar tespit edildikten sonra yatay hizalama ipinin çekilmesi, aradaki tuğlaların harçla örülmesi ve tokmaklanması

İşçiler 08.00 - 18.00 saatleri arasında haftanın 7 günü çalışmaktadır. Yemek molası ve iki dinlenme molası süreleri çıkarıldığında günlük çalışma süresi 8 saattir. Duvarcı ustası 1 ile duvarcı ustası 3, bir günde ortalama 28 - 30 m² duvar örerken duvarcı ustası 2, bir günde ortalama 32 - 34 m² duvar örmektedir⁶⁵. İnşaat uygulamalarında yapım hızının yüksek olması, yapım süresine bağlı olarak yapım maliyetini olumlu yönde etkileyerek yapım verimliliğinde amaçlanan bir parametredir ancak tek başına yeterli değildir. Uygulamanın kalitesi, yapım verimliliğini etkileyen bir diğer parametredir. Şantiye şefi tarafından yüzeylerinde düzgünlük problemi tespit edilen duvarların yüzeylerindeki problem, çıplak gözle fark edilmektedir. Şakul, su terazisi ve mastar ile yapılan kontrollerde de yüzeylerin terazisinde olmadığı görülmüştür. Ancak gözle yapılan kontrolü sayısal verilerle ortaya koymak gerekmektedir.

⁶⁵ 1 günde örülen tuğla duvar ortalama m² değerleri, boşluksuz (pencere, kapı) duvarlar için geçerlidir. Boşluklu duvarlarda ortalama değerler, yukarıda verilen değerlerden daha düşüktür.

Sebeup Sonuç Diyagramı ile tuğla örme yapım işinde yüzey düzgünlüğünde probleme yol açabilecek sebepler işçilik - malzeme - araç - yöntem - çevre - ölçüm başlıkları altında alt sebeplerine ayrılmıştır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2: Yüzey düzgünlüğü problemi için Sebeup Sonuç Diyagramı.

Aynı malzeme ve araçlar kullanılarak aynı çevresel etmenler altında üç farklı duvarcı ustası tarafından duvar örme uygulaması gerçekleştirilmektedir. İşçiliklere bağlı olarak her duvarcı ustasının kendine has uygulama yöntemi vardır.

Uygulamalardaki işçilik kalitesinin anahtar gösterge olduğu şantiye şefi, ustabaşı ve akademisyenden oluşan uzman ekip tarafından gerçekleştirilen beyin fırtınası sonucunda tespit edilmiştir. Bu durumda, duvar yüzeylerinde işçilik kalitesini ortaya koyan sayısal verilere ulaşılması gerekmektedir.

Sayısal verilerin elde edilmesine yönelik olarak yapılacak çalışma, veri toplama noktaları olarak belirlenen üç işçi tarafından örülen duvar yüzeylerinin düzgünlüğünün ölçülmesidir.

5.1.1.4 Ölçüm sistemleri analizi - A14

Ölçümlerin doğruluğunu ortaya koymak amacıyla ölçüm sistemleri analizi çalışması gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sistemlerinden kaynaklanan değişkenlikler, yeniden üretilebilirlik ve tekrarlanabilirliktir.

Ölçüm sistemleri analizi, iki ayrı çalışma için uygulanmıştır. Öncelikle veri toplama noktalarından, verilerin elde edilmesine yönelik olarak gerçekleştirilecek olan uzaklık ölçüm doğruluğunun yeterliliğinin belirlenmesi çalışması için yapılmıştır.

Tamamen rastlantısal olarak seçilen bir duvar yüzeyinde, bir düşey hat üzerindeki 15 noktada, 2 operatör tarafından dijital lazerli uzaklık ölçer cihazı⁶⁶ ile ikişer kez ölçüm yapılmıştır. Düşey hat üzerindeki 15 nokta, her tuğlanın ortasına gelecek şekilde etiketlenmiştir⁶⁷. Tuğla duvar üzerindeki ölçüm noktaları master üzerinde de aynı yükseklikte etiketlenmiştir. Düşey hattın tam karşısındaki duvar yüzeyinde terazisine alınan master üzerinden aynı yükseklikteki ölçüm noktalarına lazer ışını gönderilerek “mm” cinsinden ölçüm yapılmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3: Düşey hat üzerindeki 15 noktanın karşı duvardan dijital lazer ile ölçümü.

Ölçümü yapan operatörler, Operatör A ve Operatör B olarak isimlendirilmiştir. Elde edilen toplam 60 adet ölçüm sonuçları Çizelge 5.3’de sunulmaktadır.

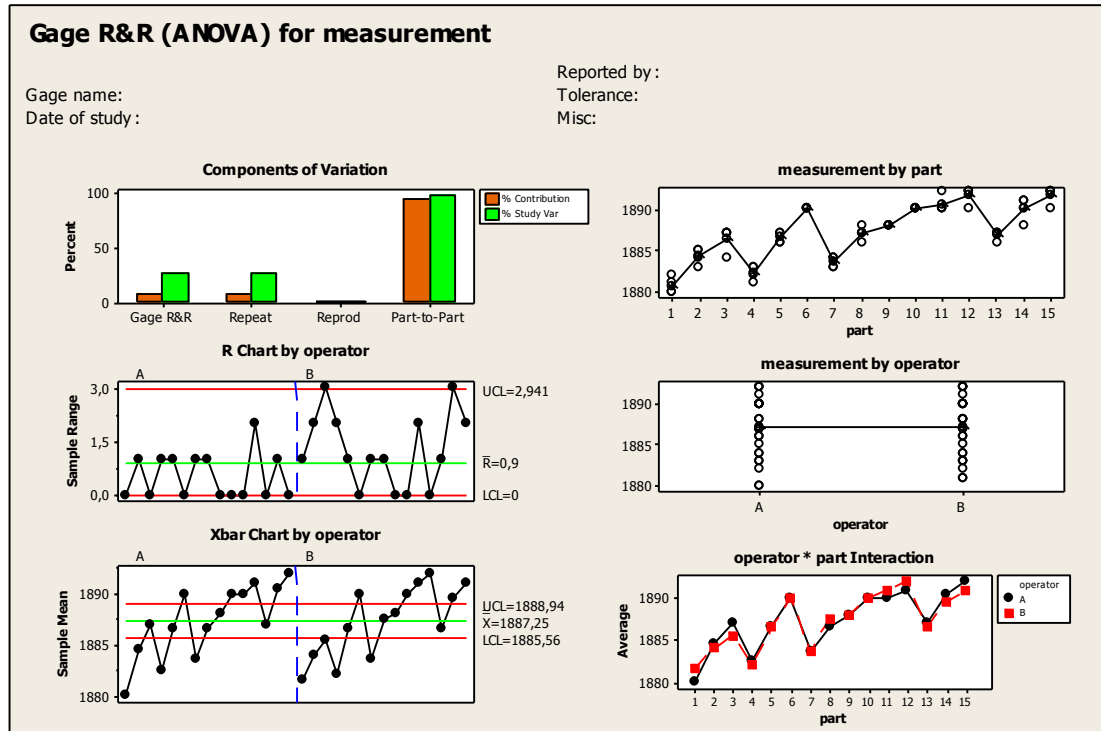
⁶⁶ Uzunlukların, yüksekliklerin, aralıkların ölçülmesi ile yüzey ve hacimlerin hesaplanması için tasarlanmış ölçüm cihazıdır. Kapalı mekanlarda ve açık havada ölçüm yapmaya uygundur. Cihaz kodu PLR 25.

⁶⁷ Etiket alanı üzerinde ölçüm yapılmıştır. Etiketleme sistemi ile aynı zamanda tuğla yüzeyi üzerindeki 2 mm’lik girinti ve çıkıntıların, ölçümleri etkilemesi önlenmiştir (Bk. Şekil 5.3).

Çizelge 5.3: Operatör A ve Operatör B tarafından yapılan ölçümlerin sonuçları.

1.ÖLÇÜMLER (mm)					2.ÖLÇÜMLER (mm)				
Ölçüm No.	Operatör	Ölçüm	Operatör	Ölçüm	Ölçüm No.	Operatör	Ölçüm	Operatör	Ölçüm
1	A	1880	B	1880	1	A	1881	B	1882
2	A	1885	B	1884	2	A	1885	B	1883
3	A	1887	B	1887	3	A	1887	B	1884
4	A	1883	B	1882	4	A	1883	B	1881
5	A	1887	B	1886	5	A	1887	B	1886
6	A	1890	B	1890	6	A	1890	B	1890
7	A	1884	B	1883	7	A	1883	B	1884
8	A	1886	B	1887	8	A	1887	B	1888
9	A	1888	B	1888	9	A	1888	B	1888
10	A	1890	B	1890	10	A	1890	B	1890
11	A	1890	B	1890	11	A	1892	B	1890
12	A	1892	B	1890	12	A	1892	B	1892
13	A	1887	B	1887	13	A	1886	B	1887
14	A	1891	B	1890	14	A	1891	B	1888
15	A	1892	B	1892	15	A	1892	B	1890

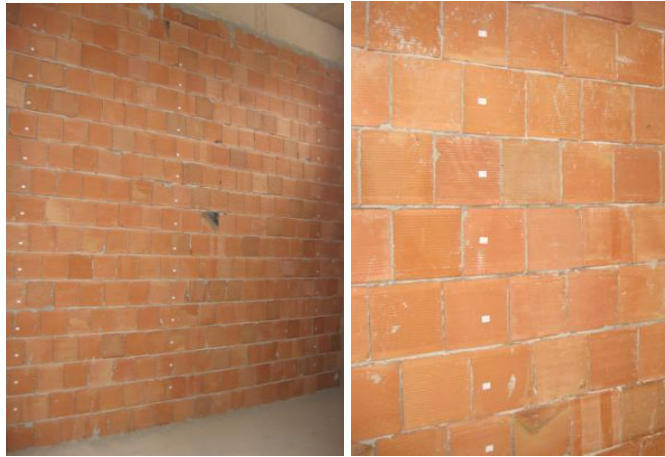
Operatör A ve Operatör B'nin aynı 15 noktada yaptıkları iki ölçüme ait ölçüm sonuçları girilerek Minitab programı ile elde edilen Gage R&R analizine ait grafikler Şekil 5.4'de sunulmaktadır.



Şekil 5.4: Operatör A ve Operatör B ölçüm sonuçlarının Gage R&R analizi (X bar: Ortalamadaki değişim, R Chart: Alt gruplar arasındaki değişim).

Şekil 5.4’de görüldüğü gibi Gage R&R değeri %25’dir. Elde edilen değerin %30’dan düşük olması, ölçüm sisteminin yeterli olduğunu ortaya koymaktadır (Bk. s. 150). Ölçüm sisteminin yeterliliği ile operatörlere bağlı bir değişkenliğin olmadığı ve operatörlerin kendilerini tekrar ettiği görülmüştür. Yine aynı sonuçlar göstermektedir ki, tekrarlanabilirlik açısından Operatör A, Operatör B’ye göre daha başarılıdır. Çalışma kapsamındaki ölçümler Operatör A ile yapılacaktır.

Ölçüm sistemleri analizi, ikinci aşamada anahtar gösterge olarak tespit edilen uygulamayı gerçekleştiren işçilerin işçiliklerini belirlemeye yönelik olarak yapılmıştır. İlgili uygulamada işçilerin kendilerini tekrar edebilmesi, yapmış oldukları yapım işindeki işçilik kalitelerinin her uygulamada değişkenlik göstermemesi, işçilik el becerisinin sürekliliği açısından önemlidir. Kısacası, işçilik kalitelerini ortaya koymak ve işçilerin kendilerini tekrar edebilirliğini belirlemek amacıyla, her işçi tarafından farklı günlerde örülen iki duvar yüzeyi seçilmiş, toplamda 6 adet duvar yüzeyi “A, B, C, D, E, F” olarak kodlanmıştır. A ve D duvarları, duvarcı ustası 1; B ve E duvarları, duvarcı ustası 2; C ve F duvarları, duvarcı ustası 3 tarafından örülmüştür. Dijital lazerli uzaklık ölçer cihazı ile her bir duvar yüzeyindeki üç düşey hat üzerinde, her bir tuğla yüzeyi üzerinde eşit uzaklıkta etiketlenen 15 noktanın (Şekil 5.5) ortalaması alınarak 15 ölçüm değeri elde edilmiştir⁶⁸ (Çizelge 5.4). Gage R&R çalışması ile ölçüm verileri programa girilerek ölçüm sistemleri analizi gerçekleştirilmiştir.



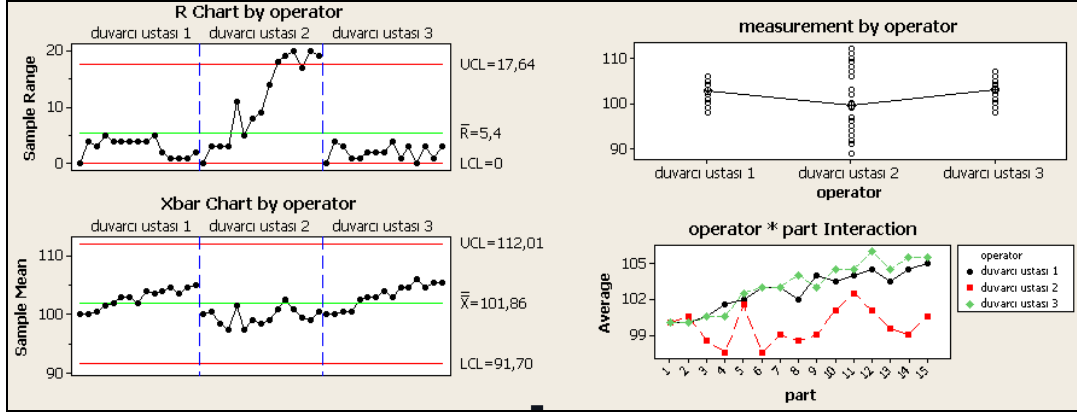
Şekil 5.5: Duvar yüzeyinde belirlenen üç düşey hat üzerinde etiketlenen ölçüm noktaları.

⁶⁸ Her bir tuğla duvar yüzeyinde istatistiksel sonuç elde etmek amacıyla bir düşey hat yerine üç düşey hat üzerinde yapılan ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

Çizelge 5.4: A, B, C, D, E, F duvarlarının ölçüm sonuçları.

1. ÖLÇÜMLER (mm)				2. ÖLÇÜMLER (mm)			
Duvar Kodu	Ölçüm No.	İşçi	Ölçüm	Duvar Kodu	Ölçüm No.	İşçi	Ölçüm
A	1	duvarcı ustası 1	100	D	1	duvarcı ustası 1	100
A	2	duvarcı ustası 1	102	D	2	duvarcı ustası 1	98
A	3	duvarcı ustası 1	102	D	3	duvarcı ustası 1	99
A	4	duvarcı ustası 1	104	D	4	duvarcı ustası 1	99
A	5	duvarcı ustası 1	104	D	5	duvarcı ustası 1	100
A	6	duvarcı ustası 1	105	D	6	duvarcı ustası 1	101
A	7	duvarcı ustası 1	105	D	7	duvarcı ustası 1	101
A	8	duvarcı ustası 1	104	D	8	duvarcı ustası 1	100
A	9	duvarcı ustası 1	106	D	9	duvarcı ustası 1	102
A	10	duvarcı ustası 1	106	D	10	duvarcı ustası 1	101
A	11	duvarcı ustası 1	105	D	11	duvarcı ustası 1	103
A	12	duvarcı ustası 1	105	D	12	duvarcı ustası 1	104
A	13	duvarcı ustası 1	104	D	13	duvarcı ustası 1	103
A	14	duvarcı ustası 1	105	D	14	duvarcı ustası 1	104
A	15	duvarcı ustası 1	106	D	15	duvarcı ustası 1	104
B	1	duvarcı ustası 2	100	E	1	duvarcı ustası 2	100
B	2	duvarcı ustası 2	102	E	2	duvarcı ustası 2	99
B	3	duvarcı ustası 2	100	E	3	duvarcı ustası 2	97
B	4	duvarcı ustası 2	96	E	4	duvarcı ustası 2	99
B	5	duvarcı ustası 2	107	E	5	duvarcı ustası 2	96
B	6	duvarcı ustası 2	100	E	6	duvarcı ustası 2	95
B	7	duvarcı ustası 2	103	E	7	duvarcı ustası 2	95
B	8	duvarcı ustası 2	103	E	8	duvarcı ustası 2	94
B	9	duvarcı ustası 2	106	E	9	duvarcı ustası 2	92
B	10	duvarcı ustası 2	110	E	10	duvarcı ustası 2	92
B	11	duvarcı ustası 2	112	E	11	duvarcı ustası 2	93
B	12	duvarcı ustası 2	111	E	12	duvarcı ustası 2	91
B	13	duvarcı ustası 2	108	E	13	duvarcı ustası 2	91
B	14	duvarcı ustası 2	109	E	14	duvarcı ustası 2	89
B	15	duvarcı ustası 2	110	E	15	duvarcı ustası 2	91
C	1	duvarcı ustası 3	100	F	1	duvarcı ustası 3	100
C	2	duvarcı ustası 3	98	F	2	duvarcı ustası 3	102
C	3	duvarcı ustası 3	99	F	3	duvarcı ustası 3	102
C	4	duvarcı ustası 3	100	F	4	duvarcı ustası 3	101
C	5	duvarcı ustası 3	102	F	5	duvarcı ustası 3	103
C	6	duvarcı ustası 3	102	F	6	duvarcı ustası 3	104
C	7	duvarcı ustası 3	102	F	7	duvarcı ustası 3	104
C	8	duvarcı ustası 3	103	F	8	duvarcı ustası 3	105
C	9	duvarcı ustası 3	101	F	9	duvarcı ustası 3	105
C	10	duvarcı ustası 3	104	F	10	duvarcı ustası 3	105
C	11	duvarcı ustası 3	106	F	11	duvarcı ustası 3	103
C	12	duvarcı ustası 3	106	F	12	duvarcı ustası 3	106
C	13	duvarcı ustası 3	103	F	13	duvarcı ustası 3	106
C	14	duvarcı ustası 3	106	F	14	duvarcı ustası 3	105
C	15	duvarcı ustası 3	107	F	15	duvarcı ustası 3	104

Çizelge 5.4'deki ölçüm sonuçları ile yapılan Gage R&R analiz sonuçları Şekil 5.6'da sunulmaktadır. Grafikler incelendiğinde, duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3'ün işçiliklerinin iyi sonuçlar verdiğini ve işçiliklerini tekrar ettirdiklerini görmekteyiz. En iyi işçiliğin duvarcı ustası 1 tarafından uygulandığı, duvarcı ustası 2'nin işçiliğinin ise duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3'e göre düşük nitelikte olduğu ve aynı zamanda kendini tekrar edemediği tespit edilmiştir.



Şekil 5.6: Duvarcı ustası 1, duvarcı ustası 2 ve duvarcı ustası 3'ün işçiliklerinin Gage R&R analizi.

Yukarıdaki veriler ışığında Altı Sigma yaklaşımına göre çözüm, duvarcı ustası 2'yi uygulamadan ayırmak değil, duvarcı ustası 2'de hatalı uygulamaya yol açan nedeni bulmak ve problemi ortadan kaldırarak iyileştirmeyi gerçekleştirmektir.

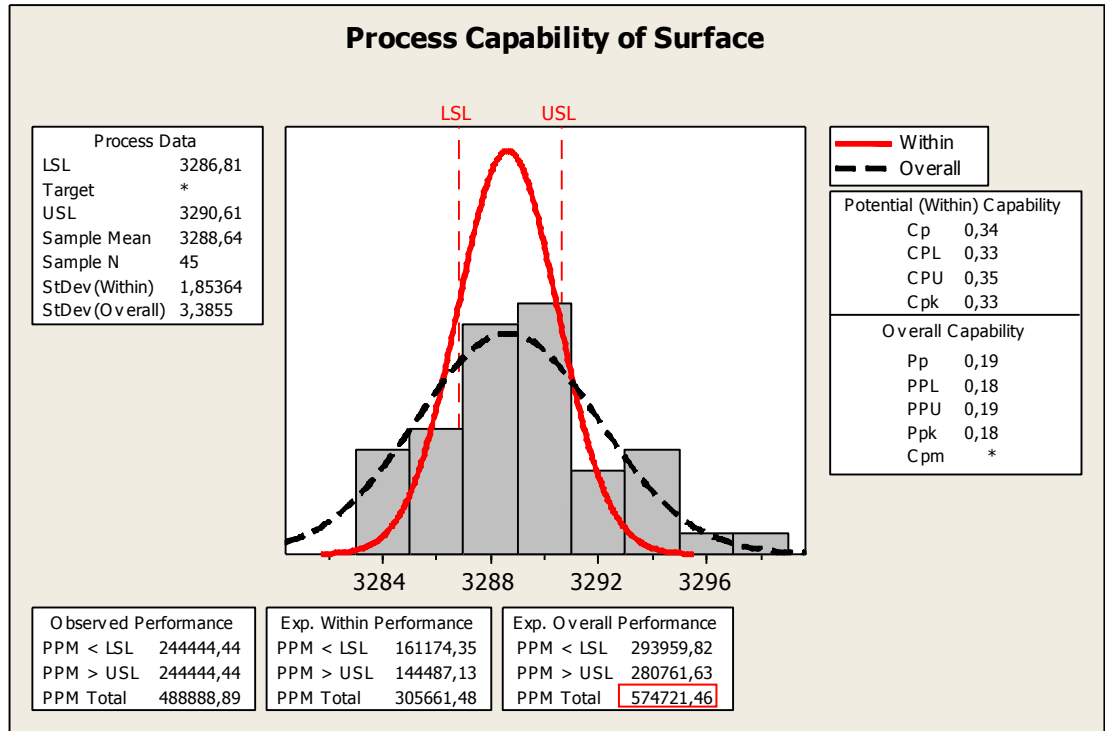
5.1.1.5 Süreç yeterlilik analizi - A15

Süreç yeterlilik analizi çalışması ile duvarcı ustası 2'nin gerçekleştirdiği mevcut uygulamaların analizi yapılmıştır. Minitab programında Quality Tools sekmesi altında Capability Analysis ile mevcut durumun süreç yeterlilik indeksi hesaplanarak PPM Total değeri ve sigma seviyesi belirlenecek, iyileştirme sonucunda elde edilecek olan PPM Total değeri ve sigma seviyesi ile karşılaştırılacaktır.

Duvarcı ustası 2'nin ördüğü 1 duvar yüzeyi üzerinde üç düşey hat belirlenmiş ve Operatör A tarafından her bir düşey hat üzerindeki 15 nokta ile toplamda 45 adet ölçüm yapılmıştır. Ölçüm değerleri programa girildikten sonra süreç yeterlilik grafiği elde edilmiştir (Şekil 5.7). Tuğla duvar örme uygulamasının başarısı, ilk sıra tuğlanın örülmesine bağlıdır. Projedeki yerine göre örülen ilk yatay tuğla sırasının başlangıç ve bitiş tuğlaları üzerinden düşey şakul alınarak düşey şakule göre yapılan yatay hizalamalarla ilk tuğla sırası ile son tuğla sırasının aynı düşey hizada olması sağlanır. Duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3'ün ölçüm sonuçları ve 390 cm duvar yüksekliği

de dikkate alınarak uzman ekip tarafından Alt Spesifikasyon Seviyesi - USL: “ortalama mesafe – 2 mm”; Üst Spesifikasyon Seviyesi - LSL: “ortalama mesafe + 2 mm” olarak belirlenmiştir.

PPM Total değerine göre yapım işinin sigma seviyesi tespit edilecektir (Bk. Böl. 3.5.1). PPM Total değeri, 1 milyon adetlik üretimdeki toplam hata adedini göstermektedir. 1 milyon adet üretimdeki hata adedi, sürecin sigma seviyesini ortaya koymaktadır. Şekil 5.7’de görüldüğü gibi mevcut yapım işinin PPM Total değeri 574721,46’dır (1 milyon adet üretimde 574721,46 adet hata). 574721,46 PPM Total değeri 1.4 σ seviyesine karşılık gelmektedir, başarı yüzdesi %45,83’tür (Bk. Çizelge E.1, s. 210). Elde edilen değerler sigma seviyesinin yükseltilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 5.7: Duvarcı ustası 2’nin mevcut yapım işinin süreç yeterlilik grafiği.

574721,46 PPM Total değeri, çok düşük sigma seviyesi ile (1.4 σ) süreç yeterliliğine sahip olmadığı tespit edilen iyileştirme çalışmasında, sigma seviyesinin yükseltilmesi hedeflenmektedir. İlgili çalışmada mevcut hata oranının olabildiği kadar azaltılması, iyileştirmenin somut göstergesi olarak kabul edilecektir.

Kısacası, belirli bir sigma seviyesi değerine ulaşmaktan ziyade, duvarcı ustası 2’nin işçiliğindeki PPM Total değerinin düşürülmesi, yapım işinde iyileştirmenin gerçekleştirildiğini sayısal olarak ortaya koyacaktır.

5.1.2 Çelişkilerin belirlenmesi - A2

“Duvarcı ustası 2’nin işçiliği” olarak belirlenen problemin en etkin sebebini ortadan kaldırmaya yönelik olarak TRIZ 39 Mühendislik Parametresi’nin kullanılması ile (Bk. Böl. 3.3.1.1) iyileşen özellik ve iyileşen özelliğin karşısında çelişkiye sebep olan kötüleşen özellik çelişki çifti tespit edilmiştir.

Devam eden yerinde yapım gözlemleri sonucunda duvarcı ustası 2’nin diğer iki işçilikten farklılığının sebebinin, duvarcı ustası 2’nin “uygulama hızının yüksek olması” olduğu tespit edilmiştir. Duvarcı ustası 1 ile duvarcı ustası 3, bir günde ortalama 28 - 30 m² duvar örerken duvarcı ustası 2, bir günde ortalama 32 - 34 m² duvar örmektedir.

TRIZ 39 Mühendislik Parametresi ile 25. Parametre olan “zaman kaybı”nın azalması, duvarcı ustası 2 için iyileşen özellik; 29. Parametre olan “üretim hassaslığı”nın düşmesi ise duvarcı ustası 2 için kötüleşen özellik olarak tespit edilerek TRIZ çelişkiler çifti oluşturulmuştur.

5.1.3 Çözümün planlanması - A3

TRIZ Çelişkiler Matrisi kullanılarak (Bk. Çizelge C.1, s. 203) y ekseninde iyileşen özellik olan “25. Parametre: Zaman kaybı”; x ekseninde kötüleşen özellik olan “29. Parametre: Üretim hassaslığı” çelişki çiftinin çakıştırılması ile TRIZ’in sunduğu çözüm önerileri belirlenmiştir.

Çizelge 5.5’de görüldüğü gibi TRIZ Çelişkiler Matrisi’nin sunduğu çözüm önerileri:

- 24. Prensi: Aracı kullanma
- 26. Prensi: Kopyalama

TRIZ’in sunduğu iki çözüm önerisi için uzman ekip tarafından işçilik, malzeme, araç yapım girdilerini kullanarak kalite, süre ve maliyet parametreleri ile mevcut koşullar altında çözüm önerilerinden birinin veya ikisinin kullanılması ile ideal çözüme ulaşılabacaktır.

Çizelge 5.5: TRIZ Çelişkiler Matrisi ile çözüm önerilerinin belirlenmesi (Bk. Çizelge C.1, s. 203).

KÖTÜLEŞEN ÖZELLİK → İYİLEŞEN ÖZELLİK ↓		Güvenilirlik	Ölçüm hassaslığı, doğruluğu	Üretim hassaslığı	Dışarıdan nesneye etki eden zararlı unsurlar	Nesneden kaynaklanan zararlı unsurlar	Üretilebilirlik	Kullanım kolaylığı	Onarım edilebilirlik / tamir edilebilirlik
		27	28	29	30	31	32	33	34
21	Güç	19,21	32,15, 2	32,2	19,22	1,35, 18	26,10, 34	26,35, 10	35,2, 10,34
22	Enerji kaybı	11,10, 35	32	---	21,22	21,35, 2	---	35,32, 1	2,19
23	Madde kaybı	10,29	16,34	35,10	33,22	10,1, 34,29	15,34, 33	32,28, 2	2,35, 34,27
24	Enformasyon kaybı	10,28, 23	---	---	22,10, 1	10,21, 22	32	27,22	---
25	Zaman kaybı	10,30, 4	24,34	24,26	35,18, 34	35,22	35,28	4,28, 10,34	32,1
26	Madde miktarı	18,3, 28,40	13,2, 28	33,30	35,33	3,35, 40,39	29,1, 35,27	35,29	2,32, 10,25

“24. Prensip: Aracı kullanma” önerisi:

TRIZ Yaratıcı Prensipleri’nin 24. çözüm önerisi olan “aracı kullanma” aşağıdaki çözüm uygulamalarını sunmaktadır (Bk. s. 100):

- Bir aracı nesne veya sürecin kullanılması
- Bir malzemenin / aracın geçici olarak ve kolayca ayrılabilir şekilde bir diğeri ile birleştirilmesi

Duvarcı ustası 2’nin ördüğü duvar yüzeylerinde derz kalınlıklarının farklı olduğu gözlemlenmiştir. Yatayda ve düşeyde olması gereken derz aralığını elde etmek amacıyla, ateş tuğla uygulamasında olduğu gibi yatay derzlerde 1 x 1 cm, düşey derzlerde 0,5 x 0,5 cm eninde ve boyunda, istenilen uzunluktaki çıtalar ara ürün prensibi ile araç olarak kullanılabilir.

“26. Prensip: Kopyalama” önerisi:

TRIZ Yaratıcı Prensipleri’nin 26. çözüm önerisi olan “kopyalama” aşağıdaki çözüm uygulamalarını sunmaktadır (Bk. s. 101):

- Maliyeti yüksek, uygulaması hassas malzemelerin / sistemlerin / araçların yerine kopyalarının kullanılması; maliyeti yüksek, uygulaması karmaşık işlerin aynı görevi görecektir diğer işlemler ile gerçekleştirilmesi
- Kızılötesi, ultraviyole kopyaların kullanılması ile değiştirme
- Bir malzeme / bileşen / sistem ya da sürecin görsel örneği ile değiştirilmesi

Yukarıdaki uygulama açıklamalarından üçüncü maddede sunulan “bir malzeme / bileşen / sistem ya da sürecin görsel örneği ile değiştirilmesi” çözümünden yola çıkarak duvarcı ustası 2’nin işçiliği, uygulamadaki görsel örnekleri olan duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3’ün işçiliklerinin kopyalanması ile değiştirilecektir. Duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3’ün yapım süreci gözlemlenmiş ve duvarcı ustası 2 ile karşılaştırılmıştır. Duvarcı ustası 2’nin gerçekleştirdiği uygulama ile duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3’ün gerçekleştirdiği uygulamalar arasındaki farklılıklar tespit edilmiştir. Duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3’ün işçiliklerinin diğer bir ifadeyle uygulama süreçlerinin kopyalanması prensibi ile duvarcı ustası 2’nin mevcut işçiliğinde değişikliğe gidilecek ve işçilik kalitesinin iyileştirilmesine çalışılacaktır. Duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3’ün uygulamaları ile duvarcı ustası 2’nin uygulaması arasında tespit edilen farklılıklar aşağıda sunulmaktadır:

- Duvarcı ustası 1, her yatay tuğla sırasında başlangıç ve bitiş tuğlaları arasında çırpı ipi ile yatay kot hizalaması yapmakta, duvarcı ustası 3 çaprazlama tekniği ile iki sırada bir hizalamakta, duvarcı ustası 2 ise birkaç sırada bir hizalama yapmaktadır.
- Duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3 tuğlaları yerleştirdikten sonra ip hizasına bakarak mala ile tokmaktama yapmaktadırlar.
- Duvarcı ustası 3, harcı tuğla yan yüzeylerinin sadece orta bölümüne yerleştirirken; duvarcı ustası 1, harcı tuğla yan yüzeylerinin iki kenarına yerleştirmektedir.
- Duvarcı ustası 1, duvar yüksekliğinin yarısına ulaştığında su terazisi ve master ile örülmüş olan duvar yüzeyini kontrol etmektedir.

Tespit edilen uygulama farklılıkları ile duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3'ün uygulama hassasiyetinin duvarcı ustası 2'ye göre daha fazla olduğu ve uygulama hassasiyetine bağlı olarak uygulama hızlarının daha yavaş olduğu gözlemlenmiştir.

Uzman ekip tarafından sunulan ideal çözüm:

Tuğlalar arasında ara ürün olarak derz aralığı kadar çıta kullanılması ile eşit miktarda derz bırakılması, eşit ölçüde derz aralığının elde edilmesini sağlayacaktır. Günde ortalama 28 - 30 m² tuğla duvar örülürken, uzman ekip tarafından aracı ürün kullanılması ile günde ortalama 5 m² tuğla duvar örülebileceği bilgisi verilmiştir. Ancak iş programı da göz önüne alınarak süre ve maliyet parametreleri ile birlikte düşünüldüğünde, gerçek uygulama şartları altında 1 günde örülmesi beklenen ortalama duvar m² değerlerinin çok altında işçilik ile hem yapım süresini hem de işçilik maliyetini yükselteceği sonucuna varılmıştır.

Duvarcı ustası 2 yatay ip hizalaması yaparak tuğlaları hizaya göre tespit etmeli, tuğlaları birbirine bitişirmeden düşey derz aralığı bırakmalı, olması gereken harç miktarını sadece yatay derzlerde değil düşey derzlerde de yerleştirmelidir. 26. Prensip olan “kopyalama” çözüm önerisinde tanımlanan ve daha fazla hassasiyet gösterilmesi gereken uygulama adımları ile duvarcı ustası 2'nin birim zamanda öreceği tuğla duvar m² miktarında belli bir azalma olacağı kesindir. Diğer taraftan gerçekleştirilecek olan ideal çözüm, uygulama hassasiyetine bağlı olarak kaliteli⁶⁹ bir tuğla duvar örme yapım işi olacaktır.

Uzman ekip, duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3'ün ortalama günlük üretim sürelerini göz önüne alarak duvarcı ustası 2'nin işçiliğinde artacak olan kalitenin, süre ve maliyet parametrelerinde önemli bir değişikliğe yol açmayacağını öngörmektedir.

Çelişkiler Matrisi'nin sunduğu çözüm önerilerinden birinin, 26. Prensip: kopyalamanın kullanılması ile sunulan ideal çözüm ile iyileştirme uygulaması gerçekleştirilecektir.

⁶⁹ Uygulamanın kalitesi, tuğla duvarın yüzey düzgünlüğünün sağlanması ile duvar yüzeyinde görsel kalitenin elde edilmesinin yanı sıra; tuğlalar arasında kullanılması gereken doğru harç miktarı ile tuğla duvarın yük taşıma dayanımının da artması olarak ele alınmaktadır.

5.1.4 Yapımın iyileştirilmesi - A4

Yapımın iyileştirilmesi süreç adımı:

- İdeal çözümün planlanması - A41
- Faktörlerin analizi - A42
- Deney tasarımı - A43

alt süreç adımlarını içermektedir (Bk. Şekil 4.6, s. 152).

5.1.4.1 İdeal çözümün planlanması - A41

Duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3'ün yapım uygulamalarının kopyalanması ile duvarcı ustası 2'nin işçilik kalitesinin yükseltilmesini amaçlayan ideal çözüm planlanmıştır. İdeal çözümün işçilik, malzeme, araç yapım girdileri ve yapım süreci tanımlanmıştır.

İşçilik: Duvarcı ustası 2

Malzeme: 13,5'luk yatay delikli (19 x 19 x 13,5 cm) fabrika tuğlası (TS EN 771-1), çimento (TS EN 197-1, CEM IV/B (P) 32,5R), kalsiyum kireci (TS EN 459-1, CL 80-S), Adapazarı kumu, su.

Araç: Mala, kürek, çelik metre, çırpı ipi, su terazisi, el arabası, kova, şakul, iş iskelesi, fırça, çivi, mastar.

Yapım süreci aşağıdaki yapım aşamalarından oluşmaktadır:

- Duvar örülecek beton zeminin fırça ile temizlenmesi ve ıslatılması
- Hazırlanan harcın el arabası ile uygulama yerine getirilmesi
- Birinci tuğla sırasının başlangıç tuğlasının harçla zemine sabitlenmesi, tokmaklanması
- Tuğlanın ön yüzeyinden çırpı ipi çekilerek, sıranın sonundaki tuğlanın zemine harçla sabitlenmesi, tokmaklanması
- Düşey derzlerde, tuğlanın delikli yüzeylerine harcın yeterli miktarda uygulanması
- Yataydaki 1 cm'lik derz aralığının sabit tutulması amacıyla, çırpı ipinin sıra başındaki harç uygulanıp tokmaklanarak 1 cm derz elde edilen ilk tuğlanın

üst noktasından çekilmesi ve sıra boyunca tuğlaların bitiş yüksekliği için ipin hizasına bağlı kalınması. Başlangıç ve bitiş tuğlaları arasındaki sıranın tamamlanması ve her bir tuğlanın harçla yerleştirilmesinden sonra mala ile tokmaklanarak yerine oturtulması

- İkinci sıra tuğlaların yarım tuğla ile başlanarak şaşırtmalı uygulanmasından sonra düşey derzler ve yatay derzlerdeki harç fazlalıklarının mala ile temizlenmesi
- Her 5 - 6 sırada bir yatayda ve düşeyde su terazisi ile duvar yüksekliğinin yarısına ulaşıldığında ise yatayda, düşeyde ve çaprazda master ile örülen tuğla sıraların hizasında olduğunun kontrol edilmesi
- Hazırlanan harcın 2 saat içinde kullanılmasına dikkat edilmesi

Uzman ekip ile gerçekleştirilen beyin fırtınası sonucunda duvarcı ustası 2'nin işçilik kalitesini yükseltmek için tasarlanacak olan deney faktörleri belirlenmiştir. Duvarın düşey şakulünün dikkatle alınması, tuğlalar yerleştirildikten sonra yatay ip hizasına göre tokmaklama yapılması, derzlerdeki harç fazlalıklarının mala ile temizlenmesi, duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3'ün ortak yapım adımları olarak duvarcı ustası 2'nin de uygulaması gereken adımlardır.

Her iki ustanın da işçiliklerinin başarılı olduğu yapılan ölçüm ve analiz çalışması sonucunda tespit edilen duvarcı ustası 1 ve duvarcı ustası 3'de farklılık gösteren iki önemli uygulama adımı tespit edilmiştir: i) harcın tuğla düşey yüzeyine (13,5 cm'lik delikli yüzeye) uygulanma şekli, ii) yatay çırpı ipinin her sırada veya iki sırada bir çekilmesi. Sonuç olarak duvar yüzey düzgünlüğünü belirleyecek olan faktörler, düşeydeki tuğla yüzeyinde kullanılacak harcın uygulanması ve çırpı ipinin yatay hizalaması olarak tespit edilmiştir.

5.1.4.2 Faktörlerin analizi - A42

Deney tasarımının seviyesi alt düzey ve üst düzey olmak üzere iki seviye olarak seçilmiştir. Tam Faktöriyel Deney Tasarımı ile 2 faktör ve 2 seviye için $2^2 = 4$ adet uygulama tasarlanacaktır.

Harcın uygulanması için alt düzey, harcın düşeydeki tuğla yüzeyinin -tuğlanın delikli yüzeyi- ortasına yerleştirilmesi; üst düzey ise harcın düşeydeki tuğla yüzeyinin iki kenarına yerleştirilmesi olarak belirlenmiştir. Yatay hizalama için alt düzey,

yataydaki çırpı ipinin çaprazlama tekniği ile iki sırada bir çekilmesi; üst düzey ise çırpı ipinin her tuğla sırasında çekilmesidir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6: Deney faktörlerinin alt ve üst limit düzeyleri.

Seviye düzeyleri	Harcın uygulanması	Yatay hizalama
Alt düzey	Tuğla düşey yüzeyinin ortası	İki yatay tuğla sırasında bir
Üst düzey	Tuğla düşey yüzeyinin iki kenarı	Her yatay tuğla sırasında

5.1.4.3 Deney tasarımı - A43

Duvarcı ustası 2 tarafından $2^2 = 4$ adet kombinasyon (Şekil 5.8) 1. kat, 2. kat ve bodrum katta devam eden tuğla duvar örme yapımında uygulanmıştır⁷⁰.

Full Factorial Design			
Factors:	2	Base Design:	2; 4
Runs:	4	Replicates:	1
Blocks:	1	Center pts (total):	0
All terms are free from aliasing.			

Şekil 5.8: 2 seviyeli, 2 faktörlü Tam Faktöriyel Deney Tasarımı.

Dijital lazerli uzaklık ölçer cihazı ile her bir duvar yüzeyinde üç düşey hat üzerinde eşit uzaklıkta işaretlenen 15 noktanın (her bir tuğla yüzeyi üzerinde) Operatör A tarafından ölçümü yapılmış ve her yatay sıra ölçümlerinin ortalaması alınarak her bir duvar için 15 ölçüm değeri elde edilmiştir. Tam şakulündeki yüzey değeri “100” alınarak, duvar yüzeylerinde elde edilen en fazla farklılık değerleri programa işlenmiştir. Minitab’ın Stat menüsü altında Factorial linki ile Tam Faktöriyel Deney Tasarımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.9).

Full Factorial Experimental Design ***							
↓	C1-T	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7
	harcın uygulanması	yatay hizalama	Surface	StdOrder	RunOrder	Blocks	CenterPt
1	tuğla yüzeyin ortası	her sırada	106	1	1	1	1
2	tuğla yüzeyin iki kenarı	her sırada	105	2	2	1	1
3	tuğla yüzeyin ortası	iki sırada bir	110	3	3	1	1
4	tuğla yüzeyin iki kenarı	iki sırada bir	108	4	4	1	1

Şekil 5.9: Tam Faktöriyel Deney Tasarımı’nın “Faktöriyel” çalışma sayfası.

Minitab programı kullanılarak ANOVA analizi yapılmış (Şekil 5.10), Two Way Analysis çalışmasında güvenilirlik seviyesi (confidence level), %95 seçilmiştir.

⁷⁰ Deney tasarımının ilk başta $2 \times 3 = 6$ m²’lik 4 adet duvar numunesi ile uygulanması planlanmıştır. Gerçek kat yüksekliği ile ve daha büyük ölçülerde duvar alanlarındaki işçiliğin numunelerde uygulanacak olan işçilikten farklı olacağı gerçeği ile numune uygulamasından vazgeçilerek, uygulama projesine göre gerçek yerinde duvar uygulamasına geçilmiştir.

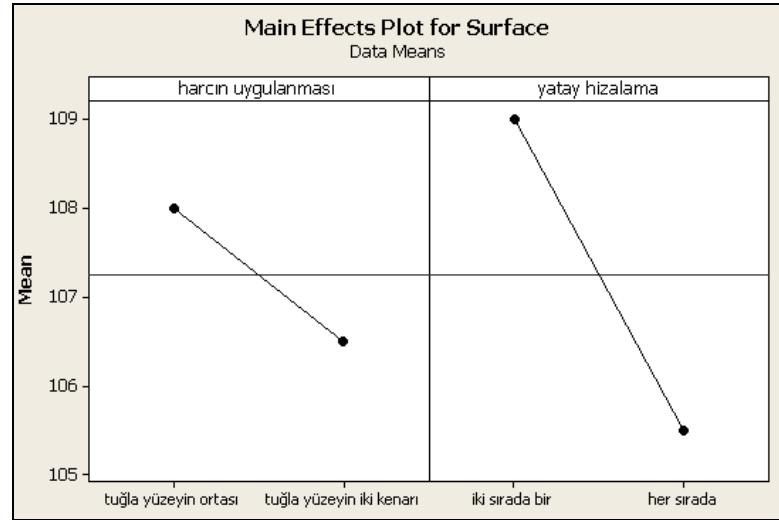
“R-Sq (adj) < R-Sq” yapılan çalışmanın güvenilirliğini doğrulamaktadır. *P* değerinin %5’den küçük olması, faktörün çok etkili olduğunu gösterir (Bk. s. 153). Yatay hizalama faktörü *P*: 0,090 değeri ile belirgin bir etkiye sahiptir. Harcın uygulanması faktörünün düşeydeki tuğla yüzeyinin ortasında veya iki kenarında yapılması faktörü ise *P*: 0,205 değeri ile yatay hizalama faktörüne göre daha düşük bir etkiye sahiptir.

Two-way ANOVA: Surface versus yatay hizalama; harcın uygulanması					
Source	DF	SS	MS	F	P
yatay hizalama	1	12,25	12,25	49,00	0,090
harcın uygulanması	1	2,25	2,25	9,00	0,205
Error	1	0,25	0,25		
Total	3	14,75			

S = 0,5 R-Sq = 98,31% R-Sq(adj) = 94,92%

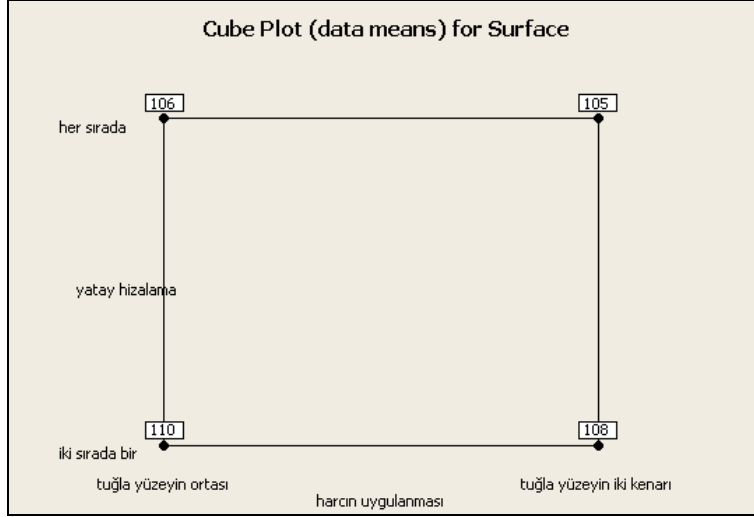
Şekil 5.10: Faktör düzeylerine ait sonuçlar ile İki-Yönlü ANOVA analizi.

Şekil 5.11’deki Temel Etkiler Grafiği ile en iyi yüzey düzgünlük değerlerini elde etmek için çırpı ipi ile yatay hizalamanın her sırada yapılması ve harcın düşey tuğla yüzeyinin iki kenarına uygulanması gerektiği görülmektedir.



Şekil 5.11: Temel Etkiler Grafiği.

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi, yatay hizalamanın her sırada yapılması ve harcın düşey derzlerde tuğla delikli yüzeyinin iki kenarına uygulanması ile “105” düzgünlük değeri elde edilmiştir. Tam şakulündeki yüzey değeri “100” olarak alınan çalışmada elde edilen değer 390 cm yüksekliğindeki tuğla duvarda en fazla 5 mm’lik bir farklılık olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.12: Alan tipi grafik ile faktörlerin kombinasyon değerleri.

5.1.5 İyileştirilmiş yapımın kontrolü - A5

İyileştirilmiş yapımın kontrolü süreç adımı:

- İyileştirilmiş uygulama - A51
- Süreç yeterlilik analizi - A52
- Projenin kapatılması - A53

alt süreç adımlarını içermektedir (Bk. Şekil 4.7, s. 155).

Tam Faktöriyel Deney Tasarımı ve ANOVA analizi ile iyileştirme aşaması sonucunda duvarcı ustası 2'nin gerçekleştirdiği tuğla duvar örme yapım işinde yüzey düzgünlüğünü sağlamak için faktörlerin alması gereken değerler elde edilmiştir. İyileştirme modelinin son süreç adımı olan kontrol aşamasında elde edilen faktör değerleri ile yerinde yapım uygulaması gerçekleştirilecek ve PPM Total değerine göre sigma seviyesi tespit edilerek iyileştirme kontrol edilecektir.

Tez kapsamındaki Tam Faktöriyel Deney Tasarımı duvar numuneleri ile değil, gerçek duvar uygulaması ile yapıldığı için iyileştirilmiş yapımın kontrolü süreç adımıyla elde edilen değerler ile duvarcı ustası 2 yapım yerinde yeniden duvar örmüştür. Ancak yapımın iyileştirilmesi - A4 süreç adımıyla tasarlanan deney faktörleri ile bire bir uygulamanın yapılması her zaman gerçekleştirilebilecek bir çalışma değildir. İlgili yapım işinin özelliğine göre yapımın iyileştirilmesi süreç adımıyla numuneler ile elde edilen faktör değerleri, iyileştirilmiş yapımın kontrolü süreç adımıyla gerçek yapım ile yerinde uygulanacaktır.

5.1.5.1 İyileştirilmiş uygulama - A51

İyileştirilmiş uygulama, duvarcı ustası 2 tarafından binanın bodrum katında yapılmıştır. Duvarcı ustası 2, ideal çözümün planlanması - A41 alt süreç adımıyla açıklanan yapım aşamaları ile tuğla duvar örme işini gerçekleştirmiştir. Yataydaki derz aralığının ve tuğla bitiş yüksekliğinin sabit tutulması amacıyla çırpı ipi, sıra başındaki harç uygulanıp tokmaktan ilk tuğla üzerinden, sıra sonundaki harç uygulanıp tokmaktan bitiş tuğlası üzerine çekilmiştir. İlk yatay sıranın örülmesinin ardından ustabaşı gözetiminde diğer bir ustanın da yardımıyla ilk yatay sıranın başlangıç ve bitiş tuğlaları köşe noktasına tavandan şakul bırakılması ile düşey ip hizalaması yapılmıştır (Şekil 5.13). Düşey ipe bağlı kalınarak ikinci, üçüncü vd. tuğla sıraları her sırada yatay ip çekilerek örülmeye devam edilmiştir [Şekil 5.14 (a)]. Tuğlaların düşey derzlerinde tuğla yüzeyinin iki kenarına ve eşit miktarda vurulan harç ile eşit düşey derz aralığı bırakılmıştır [Şekil 5.14 (b)].



Şekil 5.13: Duvar başlangıç noktasında düşey ipin şakulüne alınması.



Şekil 5.14: (a) Her tuğla sırasında yatay ip hizalaması. (b) Harcın tuğla düşey yüzeyinin iki kenarına uygulanması.

Örülen tuğla duvar genişliği 545 cm, duvar yüksekliği 390 cm'dir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15: Duvarcı ustası 2 tarafından örülen tuğla duvar.

Örülen duvar yüzeyi üzerinde üç düşey hat belirlenmiş, her bir düşey hat üzerinde eşit aralıklarla belirlenen 15 nokta etiketlenmiştir [Şekil 5.16 (a)].

Üç düşey hattın tam karşısındaki duvar yüzeyinde terazisine alınan mastar üzerinden aynı yükseklikteki 15 ölçüm noktasına lazer ışını gönderilerek Operatör A tarafından dijital lazerli uzaklık ölçer cihazı ile uzaklık ölçümü yapılmıştır [Şekil 5.16 (b)].



Şekil 5.16: (a) Duvar yüzeyi üzerinde belirlenen üç düşey hat. (b) Uzaklık ölçümünün yapılması.

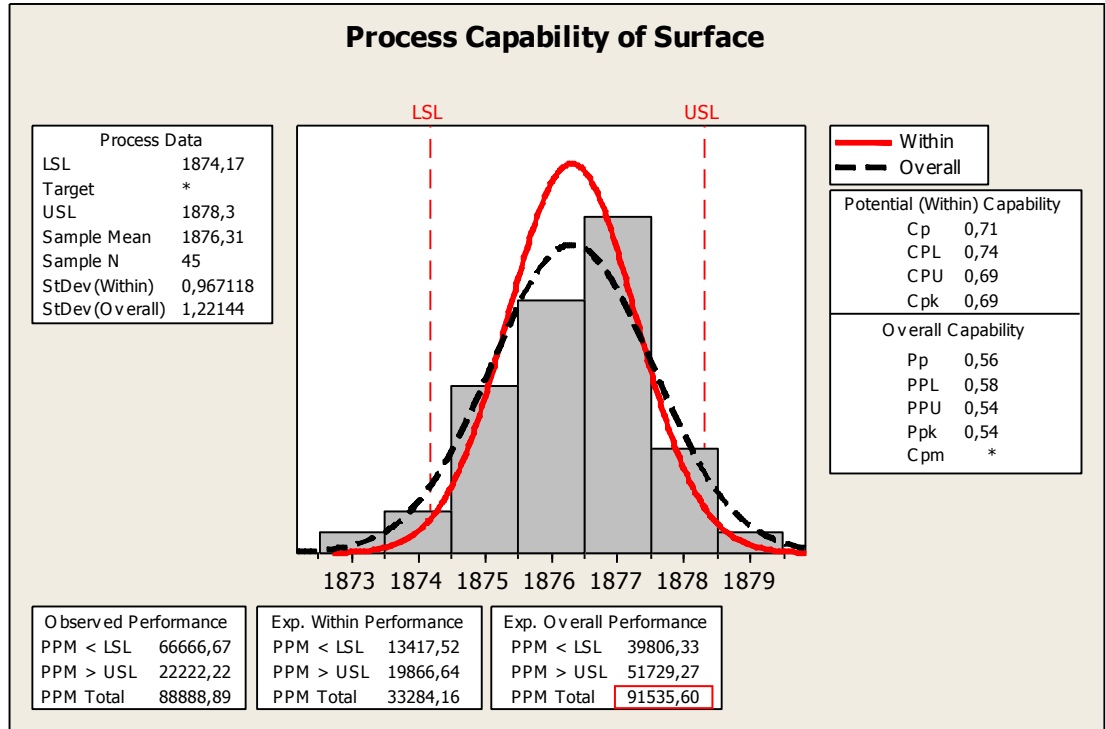
Her bir düşey hat üzerinde 15 olmak üzere toplamda 45 noktada yapılan uzaklık ölçüm sonuçları Çizelge 5.7'de sunulmaktadır.

Çizelge 5.7: İyileştirilmiş uygulamada yapılan uzaklık ölçüm sonuçları.

ÖLÇÜMLER (mm)			
Ölçüm No.	1. Düşey hat	2. Düşey hat	3. Düşey hat
1	1877	1879	1878
2	1876	1877	1877
3	1877	1877	1878
4	1877	1876	1877
5	1876	1877	1877
6	1876	1876	1876
7	1874	1875	1877
8	1875	1875	1876
9	1876	1875	1875
10	1877	1878	1877
11	1877	1877	1878
12	1876	1877	1877
13	1876	1876	1878
14	1874	1875	1876
15	1873	1875	1875

5.1.5.2 Süreç yeterlilik analizi - A52

Elde edilen ölçüm değerleri ile iyileştirme çalışması sonrasında duvarcı ustası 2'nin işçiliğini belirlemek amacıyla süreç yeterlilik analizi yapılmıştır (Şekil 5.17).



Şekil 5.17: İyileştirilmiş sürecin süreç yeterlilik grafiği.

İyileştirme çalışması sonrasında 91535,60 PPM Total değeri (1 milyon adetlik üretimde 91535,60 adet hata) elde edilmiştir. PPM Total değeri, 2.9 σ seviyesine karşılık gelmektedir (Bk. Çizelge E.1, s. 210).

5.1.5.3 Projenin kapatılması - A53

Problemin analizi süreç adımının alt süreç uygulamaları sonucunda, yapım sürecindeki hataların duvarcı ustası 2'nin uygulamalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Duvarcı ustası 2'den kaynaklanan problemin en etkin sebebi, uygulama hızının yüksek olmasıdır. Uygulama hızının yüksek olması, uygulama hassaslığının azalmasına yol açmaktadır.

İyileştirme çalışması öncesinde, problemin analizi - A1 süreç adımının süreç yeterlilik analizi - A15 alt sürecinde, duvarcı ustası 2'nin mevcut işçiliğinde tespit edilen PPM Total değeri 574721,46 iken (1 milyon adet üretimde 574721,46 adet hata), iyileştirme sonrasında 91535,60 PPM Total değeri (1 milyon adet üretimde 91535,60 adet hata) elde edilmiştir. Diğer bir deyişle, 1 milyon adet üretimdeki hata 574721,46 adetten 91535,60 adede düşmüştür. 574721,46 PPM Total değeri 1.4 σ seviyesinde iken 91535,60 PPM Total değeri 2.9 σ seviyesindedir. Başarı oranı %45,83'den %91,92'ye yükseltilmiştir (Bk. Çizelge E.1, s. 210).

Duvarcı ustası 2, iyileştirme çalışmasından önce 1 günde ortalama 32 - 34 m² duvar örerken iyileştirme çalışması sonrasında 29 - 30 m² duvar örmektedir. Uygulama hızının yüksek olması, zaman kaybının azaltılması açısından olumlu iken üretim hassaslığının azalması açısından olumsuz parametre olarak kabul edilmiştir. İyileştirme çalışması öncesinde duvarcı ustası 2'nin ördüğü duvarlarda 12 mm'ye kadar ulaşan farklılık değeri, deney tasarımı sonucunda elde edilen faktör düzeyleri ile 5 mm'ye düşürülmüştür. İyileştirilmiş uygulama sonucunda ise aynı faktör değerleri ile elde edilen en fazla 4 mm'lik farklılık değeri, iyileştirme çalışmasının olumlu sonuç verdiğini ortaya koymaktadır.

Duvarcı ustası 2'nin 8 saat çalışma süresince 1 günde ördüğü duvar m²'si azalmış olmakla birlikte üretim hassaslığının artması ile işçilik kalitesi yükselmiş, duvar yüzeyinin düzgünlük değeri artmıştır. Duvarcı ustası 2'nin yapım işinin iyileştirilmesi ile şantiyedeki tuğla örme duvar yüzeylerinin düzgünlük oranının arttığı açıkça görülmektedir.

Tuğla örme duvar uygulaması yapan duvarcı ustası 2'nin sahip olduğu yapım becerisini geliştirmesi ile bundan sonraki uygulamalarda yüzey düzgünlüğü yüksek duvar yüzeyleri elde edeceği, gerçekleştirdiği uygulamadan elde edilen değerler ile ortaya konulmuştur.

5.2 Bölüm Sonuçları

Tez kapsamında, yaratıcı problem çözme teorisi olan TRIZ yaklaşımı ve etkin bir kalite kontrol aracı olan Altı Sigma yaklaşımının bir arada kullanılması ile sunulan iyileştirme model önerisi, düşey iç bölme sistemlerinden biri olan iç duvarlarda tuğla örme duvar yapım işi ile yapım yerinde uygulanmıştır.

Uygulama çalışmasında: Beyin fırtınası, Sebep Sonuç Diyagramı, Gage R&R, ANOVA, Süreç Yeterlilik Analizi, Tam Faktöriyel Deney Tasarımı istatistiksel araçları ve teknikleri kullanılmıştır.

Şantiyede tespit edilmiş olan probleme yol açan etkin sebep belirlenmiş, TRIZ Mühendislik Parametreleri ile problemin çözümüne yönelik olarak çelişkiler tespit edilmiş, TRIZ Çelişkiler Matrisi ile çözüm önerileri belirlenmiş, ideal çözüm planlanmış, iyileştirmeyi sağlayacak olan faktörler ve faktörlere ait değerler elde edilmiş, iyileştirme çalışması uygulanmış ve iyileştirmenin kontrolü ile problem tespit edilen yerinde yapım tekniğinde iyileştirmenin gerçekleştirildiği onaylanmıştır.

Ölçüm, model çalışmasının kritik faktörüdür. Problemin ve mevcut durumun analizinde, problemin en etkin sebebinin belirlenmesinde, iyileştirmeye götürecek olan faktörlerin belirlenmesinde, faktör değerlerinin elde edilmesinde ve iyileştirmenin kontrolünde ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Ölçümün yapılabilmesi için sayısal verilerin elde edilmesi esastır. Öznel değerlendirmelerin yoğun olduğu mimarlık alanında ele alınan durumun sayısal değerler ile sunulması her zaman yapılması kolay bir çalışma değildir.

Uzman ekip tarafından gerçekleştirilen beyin fırtınası ile sayısal verilerin ne şekilde ve hangi yöntemler ile elde edilebileceği ortaya konulmuştur. Şantiye şefi tarafından gözle tespit edilen tuğla örme duvarlarda yüzey düzgünlüğü problemi su terazisi, şakul ve mastar ile yapılan kontroller ile de doğrulanmıştır. Ancak “yüzey düzgün değil” ifadesi yeterli değildir. Tuğla örme duvarlardaki yüzey düzgünlüğü

probleminin sayısal verilerle ortaya konulması amacıyla ölçüm planı yapılarak dijital lazerli uzaklık ölçer cihazı ile uzaklık ölçümleri yapılmıştır.

Problemin belirlenmesi aşaması, modelin en önemli süreç adımıdır. Probleme yol açan mevcut durumun detaylı incelenmesi sonucunda probleme yol açan etkin sebebin bulunması gerekmektedir. İyileştirme çalışması, etkin sebebin ortadan kaldırılmasına yönelik olarak gerçekleştirilmektedir. İstatistiksel araçların ve programların kullanılması ile mevcut durum analiz edilmiş, problemin duvarcı ustası 2'nin uygulama hızına bağlı olarak üretim hassaslığının düşük olmasından kaynaklandığının tespit edilmiştir.

İşçilik, malzeme, araç yapım girdileri ve yapım sürecinde belirlenen adımların uygulanması, iyileştirme faktörleri olan harcın tuğla düşey yüzeyinin iki kenarına uygulanması ve her tuğla sırasında yatay ip hizalamasının yapılması sonucunda kalite ve süre kontrol faktörleri altında iyileştirme gerçekleştirilmiştir.

Problemlili mevcut yapımın Süreç Yeterlilik Analizi ile problem giderildikten sonra iyileştirilmiş yapımın Süreç Yeterlilik Analizi yapılmış, süreç yeterliliklerinin karşılaştırılması sonucunda elde edilen sayısal veriler ve sağlanan kazançlar ile yapım işinde tespit edilen problemin ortadan kaldırıldığı diğer bir deyişle iyileştirmenin elde edildiği doğrulanmıştır.

İyileştirme model önerisinin yapım yerinde uygulanması çalışmasında aşağıda elde edilen sayısal veriler, iyileştirmenin gerçekleştirildiğini ortaya koymaktadır:

- PPM Total değeri, 1 milyon adet üretimdeki hata adedini göstermektedir. Problemin kaynağı olarak tespit edilen duvarcı ustası 2'nin mevcut işçiliğinin PPM Total değeri 574721,46 iken (1 milyon adet üretimde 574721,46 adet hata), iyileştirme sonrasında 91535,60 PPM Total değeri (1 milyon adet üretimde 91535,60 adet hata) elde edilmiştir. Diğer bir deyişle, 1 milyon adet üretimdeki hata 574721,46 adetten 91535,60 adede düşmüştür.
- Mevcut yapımın sigma seviyesi 1.4 iken iyileştirilmiş yapımın sigma seviyesi 2.9'dur.
- Mevcut yapımın başarı oranı %45,83'den %91,92'ye yükseltilmiştir.

Problemin en etkin sebebi olan duvarcı ustası 2'nin tuğla örme duvar işçiliğindeki işçilik kalitesinin yükseldiği, diğer bir ifade ile iyileştirmenin gerçekleştirildiği kalite ve süre kontrol faktörleri altında sağlanan kazançlar ile aşağıda sunulmaktadır:

- 390 cm yüksekliğindeki tuğla örme duvar yüzeyinde iyileştirme çalışması öncesinde 12 mm'ye kadar çıkan farklılık değeri deney tasarımı sonucunda 5 mm'ye, iyileştirilmiş uygulama sonucunda ise en fazla 4 mm'ye düşürülmüştür.
- Duvarcı ustası 2, bir günde (8 saat çalışma) ortalama 32 - 34 m² duvar örerken iyileştirme çalışması sonrasında 29 - 30 m² duvar örmüştür. Şantiye şefinden alınan bilgi doğrultusunda, duvarcı ustalarından 1 günde en az 25 m² duvar örme beklenilmektedir.
- Uygulama hızı ve uygulama kalitesi parametreleri bir arada düşünüldüğünde, 1 günde ortalama 4 m²'lik üretim düşüşünün karşılığında, duvarcı ustası 2'nin üretim hassaslığının artması ile işçilik kalitesi yükselmiştir. Duvarcı ustası 2, uygulama süresi açısından 1 günde örülmesi beklenen duvar m² değerini kaliteli bir işçilik ile yerine getirmektedir.

Türk endüstrisi için yardımcı sanayilerde 2 σ - 2,5 σ , ana sanayilerde ise 2,5 σ - 3,5 σ dolaylarında süreç yeterlilikleri olduğu tahmin edilmektedir. Tuğla örme duvar yüzey düzgünlüğü 1.4 σ seviyesinden 2.9 σ seviyesine yükseltilmiş, yukarıda sunulan kazançlar ile iyileştirme gerçekleştirilmiştir. İyileştirme çalışması sonucunda yerinde yapım uygulamasında elde edilen 2.9 σ seviyesi ile yerinde yapım, ortalama endüstri seviyesine çıkartılmıştır. Altı Sigma bakış açısı ile daha yüksek sigma değerlerine ulaşılması gerekmektedir. İyileştirme uygulamaları bu değerlere ulaşılana kadar devam etmelidir.

Tez çalışmasında sunulan iyileştirme model önerisinin, bölüm kapsamında sunulan uygulama örneği ile yerinde yapım uygulamalarının iyileştirilmesinde uygulanabilir bir model olduğu, yerinde yapım tekniği iyileştirme uygulaması ile onaylanmıştır.

6. SONUÇLAR

Önemli ölçüde ulusal sermayeye dayanan Türk inşaat sektörü yarattığı katma değer, istihdam ile ekonomik yapı içerisinde ayrı bir yere ve öneme sahiptir. Türk inşaat sektörü, yerinde yapım ağırlıklı bir inşaat sektörüdür. Mevcut yerinde yapım uygulamalarında elde edilecek iyileştirmeler, Türk inşaat sektörünün verimliliğine doğrudan katkı sağlayacaktır.

Tez çalışmasında yerinde yapım teknikleri ile yapı elemanlarının üretiminde tespit edilen problemlerin işçilik, malzeme, araç yapım girdilerinin kullanılması ile kalite, süre, maliyet kontrol faktörleri altında çözümü sonucunda mevcut yerinde yapım tekniklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Yerinde yapım tekniğinde elde edilecek iyileştirme küçük ölçekte proje ve projenin uygulandığı şantiyede verimlilik artışını, ilgili firmanın tüm yapım işlerinde uygulanması ile orta ölçekte firma düzeyinde verimlilik artışını getirecek ve üst ölçekte firmalardaki verimlilik artışı sonucunda ülke ekonomisine yarar sağlayacaktır.

Yapım süreçlerinin performansı, ürün olarak yapı elemanlarından beklenen performansları etkileyen önemli faktörlerden biridir. Yapım sürecinde gözlemlenen problemin çözümü ile süreç sonunda elde edilecek olan ürün kalitesi artacak, beraberinde kullanıcıların üründen bekledikleri gereksinimler yerine getirilmiş olacaktır.

Yapımda tespit edilen problemin çözümüne yönelik olarak sistematik ve analitik düşünceye dayanan yaratıcı problem çözme teorisi olan TRIZ problemin belirlenmesi, çelişkilerin tespit edilmesi, yaratıcı çözüm önerilerini kullanarak ideal çözüme ulaşılması adımları ile tanımlı bir yol haritası sunmaktadır. TRIZ Mühendislik Parametreleri ve Yaratıcı Prensipleri, verilen uygulama örnekleri ve gerçekleştirilen uygulamalar ile yerinde yapım alanına uyarlanmıştır. Yerinde yapım uygulama çalışmalarında TRIZ'in uyarlanmasındaki eksiklikler tespit edilmiştir.

Devam eden çalışmalar sonucunda problemin tanımlanması ile birlikte problemin analizi, ideal çözüm ile iyileştirmenin gerçekleştirilmesi ve gerçekleştirilen iyileştirmenin kontrol edilmesi amacıyla istatistiksel araç ve yöntemlerin de çalışma kapsamında kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ürünlerin, hizmetlerin, süreçlerin iyileştirilmesinde istatistiksel araç ve yöntemleri kullanarak hata sayısını en aza indirmekle mevcut kalite düzeyini en üst seviyeye çıkartmayı hedefleyen Altı Sigma yaklaşımının DMAIC süreç iyileştirme modeli incelenmiştir. Problemin en etkin sebebinin ortaya konulması, problemlili sürecin performansının ölçülmesi, TRIZ'in sunduğu çözüm önerileri ile iyileştirmede deney tasarımının planlanması, elde edilen iyileştirmenin kontrolünün sağlanması aşamalarında DMAIC süreç modeli adımlarından ve ilgili adımlarda kullandığı istatistiksel araçlardan, tekniklerden faydalanılmıştır.

Ölçüm, sunulan modelde önemli bir kavramdır. Ölçülemeyen bir durumun iyileştirilemeyeceği esasına dayanarak tespit edilen problemlerin ölçülebilir hale getirilmesi gerekmektedir. Tespit edilen problem ve problemin en etkin sebebine ait sayısal veriler ile süreçlerin mevcut performansları ölçülebilmektedir. Problemlili yapının süreç yeterlilik seviyesi ile deney tasarımı sonucunda belirlenen faktör değerlerinin uygulanmasıyla elde edilen iyileştirilmiş yapının süreç yeterlilik seviyesinin karşılaştırılması sonucunda, süreçteki problemin ortadan kaldırıldığı kanıtlanmış olmaktadır.

Tüm ürün ve süreçlerde en az hataya ulaşmanın yolu, değişkenliğin kontrol altına alınmasıdır. Yerinde yapım üretiminde yapımı etkileyen pek çok girdi ile her an değişebilen yapım şartları, değişkenler üzerindeki etkiyi artırmakta ve kontrol edilebilirliklerini güçleştirmektedir. Geleneksel yapım girdileri olan, doğrudan üretimi gerçekleştiren işçilik, malzeme, araç girdileri süreç içerisinde kontrol edilebilen değişkenler olarak ele alınmıştır. Yapımda verimliliği ortaya koyan kalite, süre, maliyet kontrol faktörleri altında işçilik, malzeme, araç yapım girdileri ile mevcut sürecin iyileştirilmesine çalışılmıştır.

Tez çalışmasında yaratıcı, analitik, sistematik ve ölçüm temeline dayanan esnek bir yerinde yapım tekniği iyileştirme model önerisi sunulmuştur. Model önerisi: i) problemin analizi, ii) çelişkilerin belirlenmesi, iii) çözümün planlanması, iv) yapının iyileştirilmesi, v) iyileştirilmiş yapının kontrolü süreç adımlarından oluşmaktadır.

Yerinde yapım teknikleri ile yapı elemanları üretiminde tespit edilen problemin ortadan kaldırılması sonucunda, mevcut yerinde yapımın iyileştirilmesi için sunulan model önerisi kullanılarak mevcut yerinde yapımda iyileştirme uygulamalı olarak gerçekleştirilmiştir.

İyileştirme çalışması uygulanan yapım işi, betonarme iskelet taşıyıcılı binada düşey iç bölme sistemlerinden biri olan iç duvarlarda tuğla örme yapı sistemi ile gövde alt bileşen uygulamasıdır. Tuğla örme duvarlarda yüzey düzgünlüğü problemi, şantiye şefi tarafından tespit edilmiştir. Problemin en etkin sebebi olan duvarcı ustası 2'nin tuğla örme duvar işçiliğinde, zaman kaybının azalması duvarcı ustası 2 için iyileşen özellik; üretim hassaslığının düşmesi ise duvarcı ustası 2 için kötüleşen özellik olarak tespit edilmiştir. Ortaya çıkan çelişkinin çözümünde “kopyalama” prensibi ile ideal çözüme ulaşılmıştır. İyileştirme faktörleri olarak her tuğla sırasında yatay ip hizalamasının yapılması ve düşey derzlerde harcın tuğla düşey yüzeyinin iki kenarına uygulanması faktörleri ile problemin en etkin sebebi olan duvarcı ustası 2'nin, tuğla örme duvar işçiliğindeki işçilik kalitesinin yükseldiği, diğer bir ifade ile iyileştirmenin gerçekleştirildiği, kalite ve süre kontrol faktörleri altında sağlanan kazançlar ile onaylanmıştır. İyileştirme çalışması öncesinde duvarcı ustası 2 tarafından örülen tuğla duvar yüzeylerinde 12 mm'ye kadar çıkan ölçüm farklılık değeri, iyileştirilmiş uygulama sonucunda 4 mm'ye düşürülmüştür. Duvarcı ustası 2, 8 saat çalışma ile 1 günde ortalama 29 - 30 m² duvar örmüştür. Sonuç olarak duvarcı ustası 2, uygulama süresi açısından 1 günde örülmesi beklenen tuğla duvar m² değerini kaliteli bir işçilik ile uygulamıştır.

Elde edilen 2.9 σ seviyesi ile yerinde yapım ortalama endüstri seviyesine çıkartılmıştır. İyileştirme çalışmalarına en az hata sayısını elde edene kadar devam edilmesi ile daha yüksek sigma seviyelerine, sonuç olarak daha yüksek iyileştirme seviyelerine ulaşılabilecektir. Daha az hata, daha yüksek kalite, daha düşük maliyet ile verimlilik artışı demektir.

Sunulan iyileştirme modeli:

- “Ölçüm” yaklaşımının yerinde yapım süreçlerinde uygulanmasını
- Yerinde yapım süreçlerindeki problemlerin sayısal verilerle analizini
- Yerinde yapım süreçlerinin performanslarının ölçülebilmesini

- Yaratıcı çözümler ile problemi ortadan kaldıracak olan ideal çözüme ulaşılmasını
- İdeal çözüm içinde iyileştirmeye götürecek olan yapım faktörlerinin ve faktör düzeylerinin belirlenmesini, faktör düzeyleri ile iyileştirmenin gerçekleştirilmesini
- İyileştirmenin kontrol edilmesini

mümkün kılmaktadır. Tez kapsamında:

- Kalite, süre ve maliyet kontrol faktörleri üzerinde farklı düzenlemeler yapılarak geline noktan iyileştirme çalışmalarına devam edilebileceği gibi parametrelerin kendi aralarında tekrar düzenlenmesi sonucunda mevcut sürecin baştan da işletilebileceği
- Uygulayıcı firma tarafından net sunulan problem ile birlikte uzman ekip tarafından da problemin ortaya konulabileceği
- Problem çözümünde yaratıcı çözümlere izin veren

esnek bir iyileştirme model önerisi sunulmuştur.

Çalışmanın devamında sunulan iyileştirme model önerisinin:

- Farklı yerinde yapım teknikleri ile
- Doğrudan üretimi gerçekleştiren işçilik, malzeme, araç yapım girdileri dışındaki diğer yapım girdilerini de kullanarak
- Farklı yapı elemanları ve yapı elemanları alt bileşenlerinin üretiminde

uygulanması ile mevcut yerinde yapım teknikleri iyileştirme çalışmalarına devam edilmesi, proje ölçeğinden firma ölçeğine ve en genel anlamda ülke ölçeğine kadar sağlayacağı yararlar ile iyileştirme seviyelerinin yükseltilmesi için yapılabilecekler üzerinde genel sonuçlara ulaşılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Özkan, E.** (1976). *Yapım Sistemlerinin Seçimi İçin Bir Yöntem* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [2] **Mengüç, H.** (2009). *Yapı Elemanları Ölçeğinde Yapım Tekniklerinin Tespiti, Analizi ve Sınıflandırılması* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Eriç, M.** (1994). *Yapı Fiziği ve Malzemesi*. İstanbul: Literatür Yayınları: 2.
- [4] **Toydemir, N., Gürdal, E. ve Tanaçan, L.** (2000). *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme*. İstanbul: Literatür Yayınları: 39.
- [5] **Ching, F. D. K., & Adams, C.** (2001). *Building Construction Illustrated* (3rd ed.). USA: John Wiley & Sons, Inc.
- [6] **Akçalı, Ü.** (2011). *2011 Yılı İnşaat Birim Fiyat Analizleri - I.* Ankara: Şafak Matbaacılık San. Tic. Ltd. Şti.
- [7] **Akçalı, Ü.** (2011). *2011 Yılı İnşaat Birim Fiyat Analizleri - II.* Ankara: Şafak Matbaacılık San. Tic. Ltd. Şti.
- [8] **Ekinci, C. E.** (2003). *Yalıtım Teknikleri*. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- [9] **Işık, B., Akın, A., Kuş, H., Çetiner, İ., Göçer, C. ve Arıoğlu, N.** (1995). Alçı Katkılı Kerpiç Yapı Malzemesine Uygun Mekanize İnşaat Teknolojisinin ve Standartlarının Belirlenmesi. TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622, İstanbul.
- [10] **Türkçü, Ç.** (2004). *Yapım, İlkeler - Malzemeler - Yöntemler - Çözümler* (3. bs.). İstanbul: Birsan Yayınları.
- [11] **TBMM** (2003). *İş Kanunu, Kanun No: 4857*. Erişim tarihi: 23.11.2009. Erişim adresi: <http://www.tbmm.gov.tr/kanunlar/k4857.html>
- [12] **Aşçı, T.** (2011). *Denetçi Yardımcılarına Verilen İş ve İşçi Mevzuatı Meslek Kursu Notları*, Haziran 2011, Ankara. Erişim tarihi: 28.09.2012. Erişim adresi: <http://www.sayistay.gov.tr/yayin/yayinicerik/4857.pdf>
- [13] **Url-1** <<http://www.bilgit.com/mevzuat/yasa/1.5.3308.pdf>>, erişim tarihi: 23.11.2010.
- [14] **Url-2** <<http://www.rubi.com>>, erişim tarihi: 20.09.2007.
- [15] **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı**, (2011). *2011 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları*. Ankara: İller Bankası A.Ş. Matbaası.
- [16] **Foster, J. S.** (1996). *Structure and Fabric, Part 1*. (5th ed.). Harlow, UK: Addison Wesley Longman Limited.

- [17] **Chudley, R., & Greeno, R.** (1999). *Advanced Construction Technology* (3rd ed.). Harlow, UK: Pearson Education Limited.
- [18] **Chandler, I.** (1987). *Building Technology 3: Design, Production and Maintenance*. London: The Mitchell Publishing Company Limited.
- [19] **Schmid, T., & Testa, C.** (1969). *Systems Building*. Zurich: Les Editions d'Architecture.
- [20] **Wachsmann, K.** (1961). *The turning point of building: Structure and Design*. New York: Reinhold Pub. Corp.
- [21] **T.C. Milli Eğitim Bakanlığı** (2006). *Metal Teknolojisi, Vidalı ve Kenetli Birleştirme*. (MEGEP: Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara). Erişim tarihi: 17.03.2009. Erişim adresi:
http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/vidalivekenetli_birlestirme.pdf
- [22] **Url-3** <<http://www.builditsolar.com/Projects/WaterHeating/KnickSystem.htm>>, erişim tarihi: 05.09.2009.
- [23] **Özhendekçi, D.** (t.y.). *Kaynaklı Birleşimler, Tarihçe ve Birleşimlerin Tatbiki*. YTÜ İnşaat Müh. Böl. Çelik Yapılar I Ders Notları. Erişim tarihi: 09.11.2012. Erişim adresi: http://www.yildiz.edu.tr/~devrimo/Devrim_Ozhendekci_Celik1-Ders-Notu-4.pdf.
- [24] **Url-4** <<http://www.yapikatalogu.com/Urunler/duPont%E2%84%A2-tyvek%C2%AE-73614.html>>, erişim tarihi: 11.03.2011.
- [25] **Atkin, B., Borgbrant, J., & Josephson, P. E.** (2003). *Construction Process Improvement*. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- [26] **Baytop, F.** (2001). *İnşaat Uygulamalarında Yanlışlar Doğrular*. İstanbul: YEM Yayın.
- [27] **Ashford, J. L.** (1989). *The Management of Quality in Construction*. London: E.& F.N. Spon.
- [28] **Mevzuat Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü** (t.y.). *Kamu İhale Kanunu*. Erişim tarihi: 16.10.2011. Erişim adresi:
<http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=1.5.4734&sourceXmlSearch=&MevzuatIliski=0>
- [29] **Eide, A. R., Jenison, R. D., Northup, L. L., & Mickelson, S. K.** (2008). *Engineering Fundamentals and Problem Solving* (5th ed.). Boston: McGraw-Hill Companies.
- [30] **Brockman, Y. B.** (2009). *Introduction to Engineering: Modeling and Problem Solving*, Hoboken: John Wiley & Sons.
- [31] **Chrissis, M. B., Konrad, M., & Shrum, S.** (2007). *CMMI: Guidelines for Process Integration and Product Improvement* (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Addison - Wesley Professional.
- [32] **Bonem, J. M.** (2008). *Process Engineering Problem Solving: Avoiding "The Problem Went Away, But It Come Back" Syndrome*. New Jersey: John Wiley & Sons.

- [33] **Altshuller, G. S.** (1984). *Creavity As An Exact Science: The Theory of The Solution of Inventive Problems*. New York: Gordon & Breach Publishers.
- [34] **Savransky, S. D.** (2000). *Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
- [35] **Rantanen, K., & Domb, E.** (2008). *Simplified TRIZ: New Problem Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals* (2nd ed.). Boca Raton, Florida: Auerbach Publications, Taylor & Francis Group, LLC.
- [36] **Orloff, M. A.** (2006). *Inventive Thinking Through TRIZ: A Practical Guide* (2nd ed.). Berlin: Springer - Verlag Berlin Heidelberg.
- [37] **El-Haik, B., & Roy, D. M.** (2005). *Service Design For Six Sigma: A Road Map for Excellence*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [38] **Altshuller, G.** (2000). *The Innovation Algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity* (Shulyak. L. and Rodman. S. trans.). Worcester, MA: Technical Innovation Center, Inc. (Orjinal Text Copyright, 1973).
- [39] **Jugulum, R., & Samuel, P.** (2008). *Design For Lean Six Sigma: A Holistic Approach To Design And Innovation*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [40] **Mann, D.** (2001). An Introduction to TRIZ: The Theory of Inventive Problem Solving. *Creavity and Innovation Management - TRIZ*, 10 (2), 123-125.
- [41] **Url-5** <http://www.trizturkey.org/triz_sirketleri.html>, erişim tarihi: 01.11.2011.
- [42] **Url-6** <http://www.trizturkey.org/triz_sektorleri.html>, erişim tarihi: 01.11.2011.
- [43] **Tate, K., & Domb, E.** (1997). 40 Inventive Principles With Examples, *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 03.02.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/1997/07/b/index.html>
- [44] **The TRIZ Journal** (t.y.). *The TRIZ Journal Article Archive - By Year*. Erişim tarihi: 03.02.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/year/>
- [45] **Mann, D., & Catháin, C. Ó.** (2001). 40 Inventive (Architecture) Principles with Examples. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 03.02.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2001/07/b/index.htm>
- [46] **Tillaart, R. V.** (2006). TRIZ and Software - 40 Principle Analogies, a sequel. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 21.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2006/01/07.pdf>
- [47] **Rea, K.** (2001). TRIZ and Software - 40 Principles Analogies, Part 1. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 21.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2001/09/e/index.htm>

- [48] **Rea, K.** (2001). TRIZ and Software - 40 Principles Analogies, Part 2, *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 21.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2001/11/e/index.htm>
- [49] **Mansoorian, A. R., & Naini, F. H.** (2004). 40 Inventive Principles and Biological Models. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 21.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2004/09/07.pdf>
- [50] **Hipple, J.** (2005). 40 Inventive Principles with Examples for Chemical Engineering. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 21.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2005/06/06.pdf>
- [51] **Robles, G. C., Negny, S., & Lann, J. M. L.** (2005). Another vision of the 40 Inventive Principles with Applications in Chemical Engineering. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 21.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2005/12/04.pdf>
- [52] **Grierson, B., Fraser, I., Morrison, A., Niven, S., & Chisholm, G.** (2003). 40 Principles - Chemical Illustrations. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 21.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2003/07/a/01.pdf>
- [53] **Teplitskiy, A., & Kourmaev, R.** (2005). Application of 40 Inventive Principles in Construction. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 03.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2005/05/03.pdf>
- [54] **Marin, R., & Tillaart, R. V.** (2010). 40 Principles of TRIZ and the Electric Power Grid. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 21.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2010/02/02/>
- [55] **Retseptor, G.** (2002). 40 Inventive Principles in Microelectronics. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 21.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2002/08/b/index.htm>
- [56] **Mann, D., & Domb, E.** (2001). 40 Inventive (Business) Principles With Examples. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 21.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/1999/09/a/index.htm>
- [57] **Retseptor, G.** (2003). 40 Inventive Principles in Quality Management. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 21.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2003/03/a/01.pdf>
- [58] **Retseptor, G.** (2008). 40 Inventive Principles in Customer Satisfaction Enhancement. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 21.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2007/01/04/>
- [59] **Chang, H. T., & Chen, J. L.** (2003). Eco-Innovative Examples for 40 TRIZ Inventive Principles. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 21.03.2009. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2003/08/a/01.pdf>
- [60] **Hasol, D.** (2001). *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü* (10. bs.). İstanbul: YEM Yayın.

- [61] **TS EN ISO 9000:2001**, (2001). *Kalite Yönetim Sistemleri - Temel Kavramlar, Terimler ve Tarifler*, Mart 2001. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [62] **TS EN ISO 9004:2001** (2001). *Kalite Yönetim Sistemleri - Performans İyileştirmeleri*, Nisan 2001. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [63] **ISO** (t.y). *ISO 9001:2008*. Erişim tarihi: 15.11.2012. Erişim adresi: http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso_9000.htm
- [64] **Url-7** <<http://www.capital.com.tr/Haberler/Detay>>, erişim tarihi: 08.03.2012.
- [65] **TS EN ISO 9001:2009** (2009). *Kalite Yönetim Sistemleri - Şartlar*, Mart 2009. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- [66] **Gitlow, H. S., Gitlow, S. J., Oppenheim, A., & Oppenheim, R.** (1989). *Tools and Methods for The Improvement of The Quality*. Homewood. Illinois: Irwin.
- [67] **Okay, I.** (1998). *İşletmelerde Süreç Yönetimine Geçiş ve Uygulama Sonuçları*. 7. Ulusal Kalite Kongresi, İstanbul.
- [68] **Imai, M.** (1986). *Kaizen (Ky'zen): The Key To Japan's Competitive Success*. New York: McGraw-Hill Publishing,
- [69] **Fischer, L.** (2009). *2009 BPM & Workflow Handbook: Spotlight on Government*. Newcastle: Future Strategies Inc.
- [70] **Cardosa, J., & Aalst, W.** (2009). *Business Process Modeling*. Hershey, Peensylvania: Information Science Reference.
- [71] **Kroll, P., & Kruchten, P.** (2003). *The Rational Unified Process Made Easy (electronic resource): a practitioner's guide to the RUP*. Electronic reproduction. Boston, MA: Safari Tech Books Online.
- [72] **Papinniemi, J.** (1999). Creating a Model for Process Innovation for Reengineering of Business Manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 60 (61), p. 95-101.
- [73] **Yang, K., & El-Haik, B.** (2003). *Design for Six Sigma: A roadmap for product development*. New York: McGraw Hill Publishing.
- [74] **Slocum, M. S., & Kermani, A. H. M.** (2007). Case Study: Integrated TRIZ Into Six Sigma. *The TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 09.04.2011. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/content/c070319a.asp>
- [75] **Kumar, G. P.** (2005). Software Process Improvement - TRIZ and Six Sigma (Using Contradiction Matrix and 40 Principles). *TRIZ Journal (Online)*. Erişim tarihi: 09.04.2011. Erişim adresi: <http://www.triz-journal.com/archives/2005/04/07.pdf>
- [76] **Xie, J., & Li, F.** (2009). Study on Innovative Method Based on Integrated of TRIZ and DMAIC. *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*. Erişim tarihi: 09.04.2011. Erişim adresi: <http://www.scinnovation.net/wp-content/uploads/soft/100915>

- [77] **Montgomery, D. C., & Woodall, W. H.** (2008). An Overview of Six Sigma. *International Statistical Review*, 76 (3), 329-346.
- [78] **Weistein, L. B., Castellano, J., Petrick, J., & Vokurka, R. J.** (2008). Integrating Six Sigma concepts in an MBA Quality Management Class. *Journal of Education for Business*, 83 (4), 233-238.
- [79] **Antony, J. and Banuelas, R.** (2002). Key Ingredients for the Effective Implementation of Six Sigma Program. *Measuring Business Excellence*, 6 (4), p. 20-27.
- [80] **Pande, P. S., Neuman R. P., & Cavanagh, R. R.** (2012). *Six Sigma Yolu* (Nafiz Güder, Güneş Tokcan, çev.). İstanbul: Klan Yayınları (The Six Sigma Way, 2000).
- [81] **Kwak, Y. H., & Anbari, F. T.** (2004). Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. *Technovation*, 26, p. 708-715.
- [82] **Banuelas, R., & Antony, F.** (2003). Going from Six Sigma to Design for Six Sigma: An Exploratory Study Using Analytic Hierarchy Process. *The TQM Magazine*, 15 (5), 6. 334-344.
- [83] **Polat, A., Cömert, B. ve Arıtürk, T.** (2005). *Altı Sigma Vizyonu*. OTDÜ Kampüsü: S.P.A.C. Danışmanlık Ltd. Şti.
- [84] **Polat, A., Cömert, B. ve Arıtürk, T.** (2005). *Altı Sigma Nedir?* (2. bs.). OTDÜ Kampüsü: S.P.A.C. Danışmanlık Ltd. Şti.
- [85] **McClusky, R.** (2000). The Rise, Fall, And Revival Of Six Sigma. *Measuring Business Excellence*, 4 (2), 6-17.
- [86] **Breyfogle, F. W.** (2008). *Integrated Enterprise Excellence, Volume III, Improvement Project Execution: A Management and Black Belt Guide for Going Beyond Lean Six Sigma and the Balanced Scorecard*. Austin, Texas: Citius Publishing, Inc.
- [87] **Linderman, K., Schroeder, R. G., & Choo, A. S.** (2006). Six Sigma: The Role of Goals in Improvement Teams. *Journal of Operations Management*, 24, 779-790.
- [88] **Antony, J., Escamilla, J. L., & Caine, P.** (2003). Lean Sigma. *Manufacturing Engineer*, 82 (4), 40-42.
- [89] **RSMC, RATH & Strong Management Consultants,** (2000). *Six Sigma Pocket Guide*. AON Management Consulting.
- [90] **Basu, R.** (2011). *Fit Sigma: A Lean Approach to Building Sustainable Quality Beyond Six Sigma*. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- [91] **Url-8** <<http://www.idef.com>>, erişim tarihi: 12.04.2007.
- [92] **Url-9** <<http://www.sixsigmadigest.com/support-files/DPMO-SigmaTables-pdf>>, erişim tarihi: 04.05.2012.

EKLER

Ek A: Yerinde yapım gözlemlerinde çekilen fotoğrafların açıklaması

Ek A: Yerinde yapım sürecinde işçilik, malzeme, araç yapım girdileri analizi

Ek B: TRIZ Çelişkiler Matrisi

Ek C: TRIZ Mühendislik Parametreleri'nin ve Yaratıcı Prensipleri'nin yerinde yapım alanına uyarlanmasına yönelik anket çalışması

Ek D: Sigma seviyesi, hata adedi ve başarı yüzdesi ilişkisi

Ek A: Yerinde yapım gözlemlerinde çekilen fotoğrafların açıklaması

Yapım yerinde gözlemlenen yerinde yapım uygulamalarına ait 2007 - 2012 yılları arasında Kevser Coşkun tarafından çekilen fotoğraflar Çizelge A.1'de listelenmektedir.

Çizelge A.1: Fotoğraf listesi

Şekil no	Şekil tanımı	Sayfa no
Şekil 2.2	(b) Tuğla örme sistem dış duvar	12
Şekil 2.3	Alüminyum kutu profil ve hafif çelik C profil iskelet sistem iç bölme duvar uygulaması	13
Şekil 2.4	Çelik kiriş üzeri trapez levha uygulaması	14
Şekil 2.5	(b) Kalıp içinde betonarme duvar uygulaması	15
Şekil 2.6	(a) Kiriş donatılarının yerleştirilmesi	15
	(b) Betonun dökülmesi	15
Şekil 2.7	Betonarme merdiven uygulaması	16
Şekil 2.8	Örme sistem ve dökme sistem duvarda boşluk oluşturma	16
Şekil 2.9	EPS levhaların serbest dizilerek uygulanması	17
Şekil 2.10	Duvar ve döşeme yüzeyinde sürülerek uygulanan su yalıtımı	19
Şekil 2.11	Polietilen folyo uygulaması	22
Şekil 2.12	Saz çatı kaplaması	26
Şekil 2.13	Epoksi döşeme kaplama uygulaması	28
Şekil 2.17	Alçı sıvanın mala ile duvar yüzeyine sürülmesi	44
Şekil 2.18	(b) Betonun kalıp içine dökülmesi	45
Şekil 2.19	(a) Polietilen su yalıtım örtüsünün yüzeye serilmesi	45
	(b) Çakılın sıkıştırılmış zemin üzerine serbest dökülmesi	45
Şekil 2.23	Kaynaklı çelik profil birleşimleri	49
Şekil 2.24	Duvar, çatı ve zemine oturan döşemede şalümo alevi uygulaması	49
Şekil 2.25	Donatı demirlerinin tel ile birleşimi	50
Şekil 2.26	Ahşabın ahşap ve betonarme yüzey ile çivili birleşimi	51
Şekil 2.27	(b) Metal çatı kaplama altı buhar dengeleyicinin zımba ile tespiti	51
Şekil 2.28	Seramik cephe kaplama ve metal çatı kaplama levhasının vida ile tespiti	51
Şekil 2.29	Civata / somun ile kolon - kiriş birleşimi ve ankraj blonu ile radyetemel - kolon birleşimi	52
Şekil 2.30	Beton blok gövde ve beton blok kaplamanın tel kenet ile birleşimi	53
Şekil 2.31	Geçme sistem ile limon kiriş - basamak ve XPS ısı yalıtım levhalarının birleşimi	54
Şekil 2.32	Beton pompa operatörü kontrolünde beton dökümü	56
Şekil 2.33	Hatalı ve doğru işçilik ile bitümlü su yalıtım örtüsü uygulaması	58
Şekil 3.2	Ahşap pano cephe ve çatı kaplama uygulaması	109
Şekil 5.1	Uygulamanın gerçekleştiği spor kompleks binası şantiyesi	160
Şekil 5.3	Düşey hat üzerindeki 15 noktanın karşı duvardan dijital lazer ile ölçümü	164
Şekil 5.5	Duvar yüzeyinde belirlenen üç düşey hat üzerinde etiketlenen ölçüm noktaları	166

Çizelge A.1 (devam): Fotoğraf listesi.

Şekil no	Şekil tanımı	Sayfa no
Şekil 5.13	Duvar başlangıç noktasında düşey ipin şakülüne alınması	179
Şekil 5.14	(a) Her tuğla sırasında yatay ip hizalaması	179
	(b) Harcın tuğla düşey yüzeyinin iki kenarına uygulanması	179
Şekil 5.15	Duvarcı ustası 2 tarafından örülen tuğla duvar	180
Şekil 5.16	(a) Duvar yüzeyi üzerinde belirlenen üç düşey hat	180
	(b) Uzaklık ölçümünün yapılması	180

Ek B: Yerinde yapım sürecinde işçilik, malzeme, araç yapım girdileri analizi

2007 - 2012 yılları arasında gerçekleştirilen yerinde gözlem çalışmaları sonucunda işçilik, malzeme ve araç yapım girdilerinin yapım süreci boyunca yapılan analizi aşağıda sunulmaktadır.

İŞÇİLİK ANALİZİ

1. Birim imalat için işçilik sayısı (diğer iş kalemlerine oranla)

1 ☐ 1-5 arası ☐ 5'den fazla ☐

2. İşçilik kalifiye durumu

Az ☐ Orta ☐ Fazla ☐

3. Uygulamada harcanan fiziksel güç

Az ☐ Orta ☐ Fazla ☐

4. İşçilik güvenliğinin iş kalemindeki önemi

Az ☐ Orta ☐ Fazla ☐

5. İşçilik maliyeti (diğer iş kalemlerine oranla)

Az ☐ Orta ☐ Fazla ☐

MALZEME ANALİZİ

1. Malzemenin elde edilme süresi

Kısa (1-2gün) ☐ Orta (1-4 hafta) ☐ Uzun (1-3 ay) ☐

2. Malzemenin nakliye süresi

Kısa (birkaç saat) ☐ Orta (1-2 gün) ☐ Uzun (1hafta veya daha uzun) ☐

3. Malzemenin uygulama yerine taşınması

İnsan gücü ile ☐ İnsan gücü ve basit araçlar ile ☐ İş makineleri ile ☐

4. Malzemenin depolanması

Atmosfere açık alan ☐ Kapalı alan ☐ Özel şartlar altında kapalı alan ☐

5. Malzemenin uygulanabilirliği (diğer malzemelere göre)

Basit işçilik ☐ Orta düzeyde basit/karmaşık işçilik ☐

Hassas ve/veya karmaşık işçilik ☐

6. Malzeme uygulama süresi, mtül, m², m³... bazında (diğer malzemelere göre)

Kısa ☐ Orta ☐ Uzun ☐

7. Malzeme uygulamasının insan/çevre sağlığına zararlı etkisi

Yok ☐ Var ☐ Oldukça fazla ☐

8. Malzeme kullanımı

Tek kullanımlık ☐ Yeniden kullanılabilir ☐ Defalarca kullanılabilir ☐

9. Malzeme kullanımının çevre koşulları ile ilgisi (hava yağışı, hava sıcaklığı...)

Çevresel koşullara bağlı ☐ Çevresel koşullara bağlı değil ☐ Fark etmez ☐

10. Malzemenin birim maliyeti, mtül, m², m³... (diğer malzemelere göre)

Ucuz ☐ Orta ☐ Pahalı ☐

11. Malzemenin nakliye maliyeti (diğer malzemelere göre)

Ucuz ☐ Orta ☐ Pahalı ☐

12. Malzemenin fire durumu (diğer malzemelere göre)

Az ☐ Orta ☐ Fazla ☐

13. Malzemenin hurda değeri

Yok ☐ Var ☐ Bilinmiyor ☐

14. Malzemenin geri dönüşüm özelliğı

Yok ☐ Var ☐ Bilinmiyor ☐

15. Malzemenin uygulanması için gereken enerji miktarı

Yok ☐ Var ☐ Oldukça fazla ☐

ARAÇ ANALİZİ

1. El aleti kullanım oranı

Az ☐ Orta ☐ Fazla ☐

2. İş makinesi kullanım oranı

Az ☐ Orta ☐ Fazla ☐

3. Araçların kullanım zorluk derecesi

Az ☐ Orta ☐ Fazla ☐

4. Araçların kullanım sıklığı

Tek kullanımlık ☐ Kullanımı sınırlı ☐ Defalarca kullanılabilir ☐

5. İş makinesi elde etme durumu

Mevcutta var ☐ Kiralık ☐ Satılık ☐

6. Araçların bakım - onarım maliyeti

Az ☐ Orta ☐ Fazla ☐

7. Araçların yakıt maliyeti

Az ☐ Orta ☐ Fazla ☐

8. Araç kullanımının çevreye verdiği zararlı etki

Az ☐ Orta ☐ Fazla ☐

Ek C: TRIZ Çelişkiler Matrisi

Çelişkiler Matrisi TRIZ'in kullandığı en önemli araçtır. İyileşen özellikler olan 39 Mühendislik Parametresi, y ekseninde; iyileşen özellikler karşısında çelişkiye neden olan kötüleşen özellikler olan 39 Mühendislik Parametresi, x ekseninde yer almaktadır. İyileşen özellik - kötüleşen özellik eşleşmesi ile çözüm önerisi veya önerileri sunulmaktadır. Mühendislik alanlarında oluşabilecek 1248 adet çelişki tipini ve çelişkilerin giderilmesinde kullanılan Yaratıcı Prensipleri / Çözüm Önerileri'ni içermektedir.

Ek D: TRIZ Mühendislik Parametreleri'nin ve Yaratıcı Prensipleri'nin yerinde yapım alanına uyarlanmasına yönelik anket çalışması

TRIZ, Rus bilim adamı Genrich Altshuller tarafından binlerce patent incelemesi sonucunda mühendislik alanlarına yönelik olarak geliştirilen problem çözme teorisidir. Yenilikçi teknolojilerin incelenmesinden çıkarılan buluş prensiplerini temel almaktadır. Altshuller yaratıcı problemi, çözümün diğer bir problemin ortaya çıkmasını sağlaması olarak tanımlamıştır. Sorunlar ve bunlara karşı geliştirilen çözüm yolları, çelişkileri yaratır. Çelişkiye yol açan 39 Mühendislik Parametresi ve çelişkileri ortadan kaldırmaya yönelik 40 Yaratıcı Prensip tanımlanmıştır.

Mühendisliğin her alanında kullanılan TRIZ'in inşaat sektöründe yerinde yapıma yönelik uyarlama çalışmasında terminolojik / kavramsal değerlendirme için uzman görüşü yöntemi kullanılarak aşağıdaki çalışmalar hedeflenmektedir:

- İngilizceleri yazılan Mühendislik Parametreleri'nin ve Yaratıcı Prensipler'in inşaat sektöründe yerinde yapıma yönelik olarak anlaşılabilirliğinin ve ilgili olup olmadığının değerlendirilmesi:
 - 1 puan: Oldukça anlaşılır, oldukça ilgili
 - 2 puan: Anlaşılır, ilgili
 - 3 puan: Anlaşılır değil, ilgisiz
- Mühendislik Parametreleri ve Yaratıcı Prensipler'in Türkçe karşılıklarının yazılması
- Mühendislik Parametreleri ve Yaratıcı Prensipler için yerinde yapım sürecine yönelik olarak örnek / örnekler verilmesi

Örnek:

No	Mühendislik Parametresi	Puan	Türkçe karşılığı
9	speed	1	hız
yapım örneği: Püskürtme beton uygulamasında püskürtme hızı			

Ad / Soyad:.....
Ünvan:.....
Kurum:.....

Tarih:....../....../.....

39 MÜHENDİSLİK PARAMETRESİ (39 TECHNICAL CONTRADICTIONS)

No	Mühendislik Parametresi	Puan	Türkçe karşılığı
1	weight of a mobile object		
yapım örneği:			
2	weight of a stationary object		
yapım örneği:			
3	length of a mobile object		
yapım örneği:			
4	length of a stationary object		
yapım örneği:			
5	area of a mobile object		
yapım örneği:			
6	area of a stationary object		
yapım örneği:			
7	volume of a mobile object		
yapım örneği:			
8	volume of a stationary object		
yapım örneği:			
9	speed		
yapım örneği:			
10	force		
yapım örneği:			
11	tension / pressure		
yapım örneği:			
12	shape		
yapım örneği:			
13	stability of composition		
yapım örneği:			
14	strength		
yapım örneği:			
15	time of action of a moving object		
yapım örneği:			
16	time of action of a stationary object		
yapım örneği:			
17	temperature		
yapım örneği:			
18	brightness		
yapım örneği:			

19	energy spent by a moving object		
yapım örneği:			
20	energy spent by a stationary object		
yapım örneği:			
21	power		
yapım örneği:			
22	loss of energy		
yapım örneği:			
23	loss of substance		
yapım örneği:			
24	loss of information		
yapım örneği:			
25	loss of time		
yapım örneği:			
26	amount of substance		
yapım örneği:			
27	reliability		
yapım örneği:			
28	accuracy of measurement		
yapım örneği:			
29	accuracy of manufacturing		
yapım örneği:			
30	harmful factors acting on an object from outside		
yapım örneği:			
31	harmful factors developed by an object		
yapım örneği:			
32	manufacturability		
yapım örneği:			
33	convenience of use		
yapım örneği:			
34	repairability		
yapım örneği:			
35	adaptability		
yapım örneği:			
36	complexity of a device		
yapım örneği:			
37	complexity of control		
yapım örneği:			
38	level of automation		
yapım örneği:			
39	capacity / productivity		
yapım örneği:			

40 YARATICI PRENSİP (40 INVENTIVE PRINCIPLES)

No	Yaratıcı Prensip	Puan	Türkçe karşılığı
1	segmentation		
yapım örneği:			
2	extraction		
yapım örneği:			
3	local quality		
yapım örneği:			
4	asymmetry		
yapım örneği:			
5	consolidation		
yapım örneği:			
6	universality		
yapım örneği:			
7	nesting (matrioshka)		
yapım örneği:			
8	counterweight		
yapım örneği:			
9	prior counteraction		
yapım örneği:			
10	prior action		
yapım örneği:			
11	cushion in advance		
yapım örneği:			
12	equipotentialit		
yapım örneği:			
13	do it in reverse		
yapım örneği:			
14	spheroidality		
yapım örneği:			
15	dynamicity		
yapım örneği:			
16	partial or excessive action		
yapım örneği:			
17	transition into a new dimension		
yapım örneği:			
18	mechanical vibration		
yapım örneği:			
19	periodic action		
yapım örneği:			
20	continuity of useful action		
yapım örneği:			

21	rushing through		
yapım örneği:			
22	convert harm into benefit		
yapım örneği:			
23	feedback		
yapım örneği:			
24	mediator		
yapım örneği:			
25	self service		
yapım örneği:			
26	copying		
yapım örneği:			
27	dispose		
yapım örneği:			
28	replacement of mechanical system		
yapım örneği:			
29	pneumatic and hydraulic constructions		
yapım örneği:			
30	flexible membranes or thin films		
yapım örneği:			
31	porous materials		
yapım örneği:			
32	changing the color		
yapım örneği:			
33	homogeneity		
yapım örneği:			
34	rejecting and regenerating parts		
yapım örneği:			
35	transformation of properties		
yapım örneği:			
36	phase transitions		
yapım örneği:			
37	thermal expansion		
yapım örneği:			
38	accelerated oxidation		
yapım örneği:			
39	inert environment		
yapım örneği:			
40	composite materials		
yapım örneği:			

Çalışma ile ilgili yorumlar:

.....

.....

.....

Ek E: Sigma seviyesi, hata adedi ve başarı yüzdesi

Hedefte ve hedeften her iki yönde 1.5 σ kayan (Bk. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5) sigma seviyesi ile hata adedi, başarı yüzdesi arasındaki ilişki Çizelge E.1’de sunulmaktadır.

Çizelge E.1: Sigma seviyesine göre hata adedi ve başarı yüzdesi değerleri [92].

sigma seviyesi	hedefte normal dağılım			hedeften her iki yönde 1.5 sigma kayan dağılım		
	hata adedi	başarı yüzdesi	hata yüzdesi	hata adedi	başarı yüzdesi	hata yüzdesi
1	317310	68.2690000%	31.7310000%	697612	30.23880%	69.76120%
1.1	271332	72.8668000%	27.1332000%	660082	33.99180%	66.00820%
1.2	230139	76.9861000%	23.0139000%	621378	37.86220%	62.13780%
1.3	193601	80.6399000%	19.3601000%	581814	41.81860%	58.18140%
1.4	161513	83.8487000%	16.1513000%	541693	45.83070%	54.16930%
1.5	133614	86.6386000%	13.3614000%	501349	49.86510%	50.13490%
1.6	109598	89.0402000%	10.9598000%	461139	53.88610%	46.11390%
1.7	89130	91.0870000%	8.9130000%	421427	57.85730%	42.14270%
1.8	71860	92.8140000%	7.1860000%	382572	61.74280%	38.25720%
1.9	57432	94.2568000%	5.7432000%	344915	65.50850%	34.49150%
2	45500	95.4500000%	4.5500000%	308770	69.12300%	30.87700%
2.1	35728	96.4272000%	3.5728000%	274412	72.55880%	27.44120%
2.2	27806	97.2194000%	2.7806000%	242071	75.79290%	24.20710%
2.3	21448	97.8552000%	2.1448000%	211927	78.80730%	21.19270%
2.4	16395	98.3605000%	1.6395000%	184108	81.58920%	18.41080%
2.5	12419	98.7581000%	1.2419000%	158686	84.13140%	15.86860%
2.6	9322	99.0678000%	0.9322000%	135686	86.43140%	13.56860%
2.7	6934	99.3066000%	0.6934000%	115083	88.49170%	11.50830%
2.8	5110	99.4890000%	0.5110000%	96809	90.31910%	9.68090%
2.9	3731	99.6269000%	0.3731000%	80762	91.92380%	8.07620%
3	2699	99.7301000%	0.2699000%	66810	93.31900%	6.68100%
3.1	1935	99.8065000%	0.1935000%	54801	94.51990%	5.48010%
3.2	1374	99.8626000%	0.1374000%	44566	95.54340%	4.45660%
3.3	966	99.9034000%	0.0966000%	35931	96.40690%	3.59310%
3.4	673	99.9327000%	0.0673000%	28716	97.12840%	2.87160%
3.5	465	99.9535000%	0.0465000%	22750	97.72500%	2.27500%
3.6	318	99.9682000%	0.0318000%	17864	98.21360%	1.78640%
3.7	215	99.9785000%	0.0215000%	13903	98.60970%	1.39030%
3.8	144	99.9856000%	0.0144000%	10724	98.92760%	1.07240%
3.9	96	99.9904000%	0.0096000%	8197	99.18030%	0.81970%
4	63	99.9937000%	0.0063000%	6209	99.37910%	0.62090%
4.1	41	99.9959000%	0.0041000%	4661	99.53390%	0.46610%
4.2	26	99.9974000%	0.0026000%	3467	99.65330%	0.34670%
4.3	17	99.9983000%	0.0017000%	2555	99.74450%	0.25550%
4.4	10	99.9990000%	0.0010000%	1865	99.81350%	0.18650%
4.5	6	99.9994000%	0.0006000%	1349	99.86510%	0.13490%
4.6	4	99.9996000%	0.0004000%	967	99.90330%	0.09670%
4.7	2	99.9998000%	0.0002000%	687	99.93130%	0.06870%
4.8	1	99.9999000%	0.0001000%	483	99.95170%	0.04830%
4.9	0.96	99.9999040%	0.0000960%	336	99.96640%	0.03360%
5	0.574	99.9999426%	0.0000574%	232	99.97680%	0.02320%
5.1	0.34	99.9999660%	0.0000340%	159	99.98410%	0.01590%
5.2	0.2	99.9999800%	0.0000200%	107	99.98930%	0.01070%
5.3	0.116	99.9999884%	0.0000116%	72	99.99280%	0.00720%
5.4	0.067	99.9999933%	0.0000067%	48	99.99520%	0.00480%
5.5	0.038	99.9999962%	0.0000038%	31	99.99690%	0.00310%
5.6	0.021	99.9999979%	0.0000021%	20	99.99800%	0.00200%
5.7	0.012	99.9999988%	0.0000012%	13.35	99.99867%	0.00134%
5.8	0.007	99.9999993%	0.0000007%	8.55	99.99915%	0.00086%
5.9	0.004	99.9999996%	0.0000004%	5.42	99.99946%	0.00054%
6	0.002	99.9999998%	0.0000002%	3.4	99.99966%	0.00034%

ÖZ GEÇMİŞ

Ad Soyad:	Kevser COŞKUN
Doğum Yeri ve Tarihi:	Gelibolu, 1978
E-Posta:	kevsercoskun@yahoo.com
Lisans:	İTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, 2000
Yüksek Lisans:	Alker (Alçı Katkılı Kerpiç) Teknolojisinin Püskürtme Beton (Shotcrete) Tekniği İle Uygulanabilirliğinin Basınç Dayanımı Açısından Deneysel Değerlendirmesi, 2005. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı.
Mesleki Deneyim:	Araştırma Görevlisi, İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 2004-2012. Eczacıbaşı Vitra - Tulga Concept, Proje + Uygulama, Şişli / İstanbul. 2003-2004. Tolkim Dış Ticaret, Proje + Uygulama, Koşuyolu - Kadıköy / İstanbul. 2000-2001.

Yayın Listesi:

- Çetiner, İ., Tavit, A., Yaman, H., & Coşkun, K. (2012). High Performance Window Selection Model. *A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*, 9 (1), 165-180.
- Tavit, A., Yaman, H., Çetiner, İ., & Coşkun, K. (2010). Energy and Cost Efficient Window Selection Model For Residential Buildings in Different Climatic Regions of Turkey - HiPerWin (in Turkish). *ITU Dergisi/a, the Journal of Istanbul Technical University*, 9, 143-154.
- Yaman, H., Çetiner, İ., Tavit, A., & Coşkun, K. (2008). A Conceptual Model for Analyzing Life-Cycle Cost of Residential Windows in Turkey. *SB08 Conference, The World Sustainable Building*, (CD-ROM). (Vol.2, pp. 2254-2261). Melbourne, Australia: September 21-25.
- Yazıcıoğlu, F., & Coşkun, K. (2008). Durability of External Wood-Frame Door System, A Case Study. In A. N. Türkeri, Ö. Şengül (Eds.). *Durability of Building Materials and Components 11: Globality and Locality in Durability*. (Vol. 2, pp. 643-650). Istanbul, Turkey: Cenkler Matbaacılık Tic. Ltd. Şti. 11-14 Mayıs.

- Tavil, A., Çetiner, İ., Yaman, H., & Coşkun, K. (2007). Residential Window Selection Model for Different Climates of Turkey. *CIB 2007 World Building Congress - Construction for Development*. Cape Town, South Africa: May 14-18.
- Coşkun, K., & Işık, B. (2006). Application Of Gypsum Stabilized Earth Wall Systems With Shotcrete Technique. *2nd CIB International Conference on Smart and Sustainable Built Environments - SASBE 2006*. Shanghai, China: November 15-17.
- Coşkun, K. (2006). Çatı Sistemleri İle İlgili Performans Gereksinimleri. 3. *Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu* (7-10). İstanbul: Doğa Yayıncılık Ltd. Şti. 17-18 Ekim.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

- Coşkun, K., & Altun, M. C. (2012). A Conceptual Model for Improving In-Situ Construction Techniques Using TRIZ and Six Sigma Approaches. In V. Vimonsatit, A. Singh, S. Yazdani (Eds.). *Research, Development, and Practice in Structural Engineering and Construction* (pp. 973-978). Singapore: Research Publishing Services. November 28 - December 2.
- Coşkun, K., & Altun, M. C. (2011). Applicability of TRIZ to In-Situ Construction Techniques. In M. Zhang (Ed.). *Construction and Project Management* (pp. 171-175). Singapore: IACSIT Press. September 16-18.
- Altun, M. C., Coşkun, K., & Mengüç, H. (2011). Classification of Construction Techniques of Architectural Components - Examples from Istanbul, Turkey. In M. Zhang (Ed.). *Construction and Project Management* (pp. 171-175). Singapore: IACSIT Press. September 16-18.