

**TÜRKİYE’DE İNŞAAT SEKTÖRÜNDE
KULLANILAN ÖN MALİYET TAHMİNİ
YÖNTEMLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Levent Yaşar ÇELİK**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

ŞUBAT 2006

**TÜRKİYE’DE İNŞAAT PROJELERİNDE
KULLANILAN ÖN MALİYET TAHMİNİ
YÖNTEMLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Levent Yaşar ÇELİK
(501021096)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 19Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih: 01 Şubat 2006**

**Tez Danışmanı: Dr. Murat KURUOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Heyecan GİRİTLİ
Yrd.Doç.Dr. Uğur MÜNGEN**

ŞUBAT 2006

ÖNSÖZ

İnşaat sektörü ekonomik ve sosyal sebeplerden kaynaklanan pek çok sebep dolayısıyla belirsizliklerle doludur. Böyle bir ortamda gerçekleştirilecek inşaatlar özellikle maliyet konusunda pek çok risk unsuru ile karşı karşıyadır. Dolayısıyla belirlenen sürede, istenen kalitede ve maliyet tahmini doğrultusunda belirlenen bütçe dâhilinde projenin gerçekleştirilebilmesi için maliyet tahmini ve özellikle günümüzde ön maliyet tahmini önem kazanmaktadır.

Çok sayıda kaynak ve çalışmayı takip etmiş olmama rağmen henüz yolun başında olduğumun bilincindeyim. Beni bu konuda çalışmaya sevk eden, bilgisi ve engin tecrübeleriyle bana yol gösteren kıymetli tez danışmanım Dr. Murat KURUOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2006

Levent Yaşar ÇELİK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE MALİYET KAVRAMI	3
2.1 İnşaat Sektöründe Maliyetin Tanımı	3
2.2 Sözleşme Türüne Bağlı Olarak Maliyetin Kapsamı	3
2.3 İnşaat Projelerindeki Genel Maliyet Bileşenleri	6
3. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE MALİYET TAHMİNİ	15
3.1 Maliyet Tahmini Tanımı	15
3.2 Maliyet Tahmininin Doğruluğunu Etkileyen Faktörler:	18
3.3 Maliyet Tahmininin Maliyet Yönetimi İçindeki Yeri ve Önemi	21
3.4 Proje Sürecinde Maliyet Tahmini Aşamaları	21
4. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE ÖN MALİYET TAHMİNİ	25
4.1 İstatistik – Olasılık Analizlerine Dayalı Ön Tahmin Yöntemleri	26
4.1.1 Birim Yöntem	26
4.1.2 Hacim Yöntemi	29
4.1.3 Alan Yöntemi	33
4.1.4 Kat Kabuğu Yöntemi	35
4.1.5 Nedensel (Deneysel) Tahmin Yöntemi	38
4.1.6 Regresyon Analizine Dayalı Parametrik Maliyet Tahmini Yöntemi	39
4.1.7 Fonksiyonel Elemanların Analizine Dayalı Maliyet Tahmin Yöntemi	61
4.1.8 Beklenen Değer (Expected Value) Tahmin Yöntemi	65
4.1.9 Range Yöntemi	66
4.1.10 Varyasyon İndirgeme Yöntemi (Successive Estimating)	70
4.1.11 Simülasyon Yöntemi (Stokastik Modeller)	71

4.1.12 Boyutsuz Büyüklükler ile Maliyet Tahmin Yöntemi	80
4.1.13 Oran (Faktör) Yöntemi	84
4.1.14 Maliyet – Kapasite Faktörleri ile Tahmin Yöntemi	89
4.2 Benzer Proje ile Karşılaştırma Tekniğine Dayalı Ön Tahmin Yöntemleri	94
4.2.1 İlk Maliyet Tahmin Yöntemi	94
4.2.2 Erken Maliyet Tahmini Yöntemi	96
4.2.3 Elemanlara Dayalı Maliyet Analizi ile Karşılaştırma Yöntemi	96
4.2.4 İlk (ön) Tahmin Yöntemi	98
4.2.5 Döşeme Alanına Dayalı Eleman Modeli ile Tahmin Yöntemi	102
4.2.6 RS Means m ² Tahmin Yöntemi	103
4.2.7 RS Means m ² Ticari Bina Modeli Yazılımı	105
4.2.8 RS Means Konut Modeli Yazılımı	106
4.2.9 RS Means Birim Maliyet Çarpanı (UCM), Toplam Maliyet Çarpanı (TCM) Yöntemi	106
4.2.10 R.S.Means Çabuk Maliyet Hesaplayıcısı Yazılımı	108
4.2.11 RS Marshall & Swift Konutlarla İlgili Tahmin Yöntemi	109
4.2.12 Marshall & Swift Ticari Binalarla İlgili Yöntem	109
4.2.13 Marshall & Swift Konutlarla İlgili Tahmin Yazılımı	110
4.2.14 Marshall & Swift Ticari Binalarla İlgili Tahmin Yazılımı	110
4.2.15 SAYLOR Company, Inc. Ticari Binalar İçin m ² Maliyet Tahmin Yöntemi	111
4.2.16 SAYLOR Company, Inc. Konut Binaları İçin m ² Maliyet Tahmin Yöntemi	111
4.2.17 SAYLOR Company, Inc. S.A.F.E Yazılımı	112
4.2.18 BCIS m ² Maliyet Tahmin Yöntemi	112
4.2.19 Esra Bostancıoğlu Konut Binalarında Maliyeti Etkileyen Faktörler ve Faktörlere Dayalı Maliyet Tahmin Çalışması	114
4.3 Yapay Zekâ Tekniklerine Dayalı Maliyet Tahmini Yöntemi	118
4.3.1 Yapay Sinir Ağları (YSA) İle Tahmin Yöntemi	118
4.3.2 Bulanık Mantık Metodu (Fuzzy Logic Concepts)	130
4.3.3 Genetik Algoritmalar	136
4.3.4 Uzman Sistemler ile Tahmin	138
4.3.5 Vaka Tabanlı Gerekçeleme	140
4.3.6 Yapay Zekâ Teknikleri ile Ön Tahmin Örnek Çalışmaları	143
4.4 Maliyet İndeksleri ile Maliyetlerin Güncellenmesi	159
5. TÜRKİYE’DE İNŞAAT SEKTÖRÜNDE KULLANILAN ÖN MALİYET TAHMİNİ YÖNTEMLERİ	173
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	188

KAYNAKLAR	191
EK-A	201
EK-B	206
EK-C	216
EK-D	218
EK-E	221
ÖZGEÇMİŞ	224

KISALTMALAR

BCIS	: Building Cost Information Service
BFA	: Birim Fiyat Analizi
BİB	: Bayındırlık ve İskân Bakanlığı
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
İTO	: İstanbul Ticaret Odası
PERT	: Program Evaluation and Review Technique
RIBA	: Royal Institute of British Architects
YSA	: Yapay Sinir Ağları
YSS	: Yeraltı Suyu Seviyesi
PKİ	: Politik Kararlılık İndeksi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. Bina Parametresi ile Alakalı Bina Maliyeti Bileşenleri	42
Tablo 4.2. Ulaşım (access) Değişkeni Bileşenleri ve Ağırlıkları	50
Tablo 4.3. Nelsen, Power ve Federle Çalışmasındaki Maliyet Bileşenleri	51
Tablo 4.4. Nelsen, Power ve Federle Çalışmasındaki Bağımsız Değişkenler.....	53
Tablo 4.5. Nelsen, Power ve Federle Çalışmasındaki Tahmini-Gerçekleşen Karşılaştırması	55
Tablo 4.6. Parametrik Maliyet Hesaplama Modeli Örneği	61
Tablo 4.7. Proses Tesisleri için Tipik Birim Yatırım Maliyet Verisi, Aralık 1988..	92
Tablo 4.8. Elemanlara Dayalı Maliyet Analizi Yöntemindeki Örnekteki Mevcut ve Yeni Fabrikanın Özellikleri	99
Tablo 4.9. Sistem için 9 Kural.....	149
Tablo 4.10. Bulanık Mantık Örneğinde Uygulanan Kurallar	152
Tablo 4.11. Tasarım Öncesinde Kullanılabilecek Ön Tahmin Yöntemleri.....	158
Tablo 4.12. Konut İnşaatı Maliyet İndeksi Hesaplamasında Kullanılan Projeler....	163
Tablo 4.13. DİE Bina İnşaatı Maliyet İndeksi (1991=100)(Üçer Aylık Dönemlik)	163
Tablo 5.1. Ankete Katılan Firmaların Kullandıkları Maliyet Tahmini Yöntemleri	183
Tablo A.1. Bayındırlık Bakanlığı m ² Birim Fiyat Listesindeki Yapı Sınıfları ve m ² Birim Fiyatları.....	202
Tablo B.1. Bina İnşaatı Maliyet İndeksinde Kullanılan İşçilik, Makine ve Malzemeler	207
Tablo C.1. Proje Tiplerine Yönelik Ön Maliyet Tahmini Yöntemleri.....	217
Tablo D.1. Mike Bauer Parametrik Maliyet Tahmin Tablosu.....	219
Tablo E.1. Ankete Katılan Firmaların Ön Maliyet Tahminin Amacı Değerlemesi	222

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: İnşaat Projelerindeki Genel Maliyet Bileşenleri	7
Şekil 2.2	: Dolaysız Maliyet Bileşenleri	8
Şekil 3.1	: Freiman Eğrisi	16
Şekil 3.2	: Proje Maliyetlerini Etkileme Seviyesi.....	23
Şekil 4.1	: Ön Maliyet Tahmini Elemanları	25
Şekil 4.2	: Birim Hacim Yönteminde RIBA Premetrik Ölçüm Kuralları.....	32
Şekil 4.3	: Parametrik Maliyet Tahmin Prosedürü	41
Şekil 4.4	: Nelsen, Power ve Federle Çalışmasındaki Program Görüntüsü	54
Şekil 4.5	: Range Yönteminde Kullanılan Beta Dağılım Eğrisi	67
Şekil 4.6	: Range Yönteminde Kullanılan Üçgen Olasılık Dağılımı.....	67
Şekil 4.7	: Range Yönteminde Kullanılan Normal Dağılım Eğrisi	69
Şekil 4.8	: Bina büyüklüğüne bağlı m ² maliyet hesabı	95
Şekil 4.9	: Tasarım – Maliyet Seçim Kartı ile Maliyet Hesabı.....	97
Şekil 4.10	: Birim Maliyetleri Dönüştürme Grafiği	108
Şekil 4.11	: Toplam Maliyetleri Dönüştürme Grafiği	109
Şekil 4.12	: Yapay Sinir Ağlarının Temel Elemanları.....	120
Şekil 4.13	: Sinir Sisteminin Blok Diyagramı	120
Şekil 4.14	: Bir Biyolojik Nöronun Yapısı	121
Şekil 4.15	: Yapay Nöronun Yapısı	122
Şekil 4.16	: Yapay Nöronun Detaylı Yapısı	122
Şekil 4.17	: YSA'ların Genel Yapısı	123
Şekil 4.18	: Geri Yayılma Bağlantı Yapısı	124
Şekil 4.19	: İleri Beslemeli ve Geri Beslemeli Ağ Yapıları	128
Şekil 4.20	: Bulanık bir Denetleyicinin Yapısı	133
Şekil 4.21	: Keskin Kümelerle ve Bulanık kümelerle “Doğru” ve “Yanlış” tanımı.....	133
Şekil 4.22	: Uzman Sistemin Yapısı	139
Şekil 4.23	: Vaka Tabanlı Gerekçeleme Süreci	141
Şekil 4.24	: Vaka Tabanlı Gerekçeleme Modeli.....	143
Şekil 4.25	: İnşaat Maliyet Tahmini İçin Oluşturulmuş Sinir Ağı Yapısı	144
Şekil 4.26	: Yeraltı Su Seviyesi İçin Bulanık Kümeler	146
Şekil 4.27	: Politik Kararlılık İçin Bulanık Kümeler.....	148
Şekil 4.28	: Hafriyat Maliyetleri İçin Bulanık Kümeler	148
Şekil 4.29	: YSS 20 m. ve PKİ 9.0 iken Sonuç	150
Şekil 4.30	: YSS 20 m. ve PKİ 6.0 iken Sonuç	151
Şekil 4.31	: YSS “Yüksek” ve PKİ 9.0 iken Sonuç.....	153
Şekil 4.32	: YSS “Yüksek Değil” ve PKİ 2.0 iken Sonuç.....	154
Şekil 4.33	: YSS ve PKİ'nin Fonksiyonu Olarak Tahmini Hafriyat Maliyeti.....	154
Şekil 4.34	: Zaman-Maliyet Trend Eğrisi	170
Şekil 5.1	: Anketi Cevaplayanların Firmadaki Görevleri	175
Şekil 5.2	: Anketi Cevaplayanların Firmadaki Görev Süreleri.....	175

Şekil 5.3 : Anketi Cevaplayanların Firmada Çalıştıkları Proje Sayısı.....	176
Şekil 5.4 : Anketi Cevaplayanların Genel İş Tecrübesi.....	176
Şekil 5.5 : Ankete Katılan Firmalarda Çalışan Kişi Sayısı.....	177
Şekil 5.6 : Ankete Katılan Firmaların Yıllık Ciro su.....	178
Şekil 5.7 : Ankete Katılan Firmaların Arşiv Miktarı.....	178
Şekil 5.8 : Ankete Katılan Firmalardaki Maliyet Tahmini Aşamaları.....	179
Şekil 5.9 : Ankete Katılan Firmaların Gerçekleştirdikleri İnşaat Projeleri Tipleri	180
Şekil 5.10 : Ön Maliyet Tahminini Uygulamakla Sorumlu Şirket Yönetimi.....	181
Şekil 5.11 : Ankete Katılan Firmalar Tarafından Bilinen Ön Maliyet Tahmin Yöntemleri	182
Şekil 5.12 : Ön Maliyet Tahmininde Kullanılan Maliyet Verisi Kaynakları	185
Şekil 5.13 : Tahmin İçin Gerekli Bilgi, Beceri ve Verilerdeki Eksiklikler	186
Şekil E.1 : Büyük Çaplı Projelerde Ön Maliyet Tahmini Uygulama Yüzdesi.....	223
Şekil E.2 : Küçük Çaplı Projelerde Ön Maliyet Tahmini Uygulama Yüzdesi.....	223

ÖZET

Maliyet, bir işletmenin ana faaliyet konusuna ya da temel işletme amacına yönelik olarak tüketilen tüm mal ve hizmetlerin para birimi ile ölçülen değeridir. Sözleşme tipine, içeriğine ve şartnamelere göre bir inşaat projesinde taraflar arasında kapsamı değişen maliyet kavramı üç tip sözleşmede tarafların yükleneceği maliyet bileşenleri bakımından farklılık göstermektedir: maliyet + kar usulü, anahtar teslimi usulü ve birim fiyat usulü olmak üzere. Yüklenici bakımından riski yüksek olan anahtar teslimi tipi sözleşmede maliyet hesabının dikkatli yapılması malsahibi bakımından da maliyet + kar usulü sözleşmede maliyetin dikkatli hesaplanması ve kontrolü gerekir.

Tez kapsamında ön inşaat maliyeti tahmini yöntemleri incelenmektedir. Bir inşaat projesinin inşaat maliyetinin hesaplanması sırasında genel olarak üç tür maliyet çeşidi göz önüne alınmaktadır. Bunlar dolaysız maliyetler, dolaylı maliyetler ve genel merkez (yönetim) giderleridir. Dolaysız maliyetler imalatların gerçekleştirilmesi sırasında meydana gelen, dolaylı maliyetler ise imalatların gerçekleştirilmesine direkt katkısı olmayan örneğin şantiyede kurulan geçici tesislerin amortismanı ya da kalite kontrol harcamaları gibi masraflar, genel merkez giderleri de işletme müdürlerinin, büro çalışanlarının maaşları gibi giderlerdir.

Türkiye’de ve yurtdışındaki inşaat maliyeti ön tahmini amacıyla yapılan çalışmalar 148 adet literatür taraması sonucu elde edilmiş ve Türkiye’de kullanılabilirliği internet üzerinden düzenlenen bir e-anket ile araştırılmıştır. Literatür taraması sonucunda ön tahmin amacıyla kullanılan yöntemler istatistik-olasılık analizi sonucu oluşturulan yöntemler, benzer proje ile karşılaştırmaya dayalı yöntemler ve yapay zekâ tekniklerine dayalı maliyet tahmin yöntemleri olarak ayrıma tabi tutulmuştur.

Bu yöntemlerden yapılan anket sonucunda Türkiye’de en çok bilinen yöntemlerin %79 oranı ile benzer projeler ile karşılaştırmaya dayalı yöntemler ve %71 oran ile istatistik-olasılık analizine dayalı tahmin yöntemlerinden birim alan maliyetine dayalı yöntemlerin olduğu tespit edilmiştir. Yapay zekâ tekniklerine dayalı maliyet tahmin yöntemleri ise uygulamada pek kullanılmamakta olduğu belirlenmiştir. (%5)

Ankete göre en çok kullanılan yöntemlerin ise birincisi sırada ortalama birim alan maliyetine dayalı ön tahmin yöntemi, ikincisi birim yöntem, üçüncüsü Bayındırlık ve İskân Bakanlığı m² tahmin yöntemi, dördüncüsü benzer projelerin maliyet verilerinin güncelleştirilmesine dayalı tahmin yöntemi olduğu tespit edilmiştir.

CONCEPTUAL COST ESTIMATION METHODS IN THE CONSTRUCTION SECTOR IN TURKEY

SUMMARY

Cost is the value which is evaluated by money of consumption of all goods and serves because of the basic activity or the first aim of a firm. According to the contract type, content and specifications, the content of cost changing between the constructor and owner has differences among three types of agreements which are unit price type agreements, cost + markup and lump-sum contracts. For a contractor, if the contract is lump-sum contract then the cost should be estimated carefully not to lose money, for an owner a project contracted in cost + markup type should be estimated and controlled carefully.

In the thesis conceptual construction cost estimating methods are investigated. Construction cost estimates consists of three main type of costs which are direct costs, indirect costs and main office expenses. Direct costs occur while executing construction activities, indirect costs contains quality control costs etc. and main office expenses contains wages of manager or office workers etc.

148 resources which are the books and articles prepared in Turkey or abroad, which are listed in sources section, are searched to find conceptual estimating methods related to construction industry. Their useability is investigated over internet by an online survey. Searching books and articles, 3 main methods are found for conceptual estimating methods. These are the methods which are obtained by statistical-probabilistic analysis, the methods by comparing same buildings, the methods applied by artificial intelligence technics.

According to the survey it is found that the most known method in Turkey is the method by comparing same buildings at 79% and one of a method based on cost of unit area obtained by statistical-probabilistic analysis at 71%. Artificial intelligence technics are found to be not applied a lot because of not knowing much about it. (5%)

The most used methods are firstly one of a method based on cost of unit area obtained by statistical-probabilistic analysis, secondly unit method, thirdly the Ministry of Public Works and Settlement m² method and forthly the method by comparing same buildings.

1. GİRİŞ

İnşaat sektörü hem ulusal hem de uluslararası ekonomik ve sosyal gelişmelerden etkilenen karmaşık ve belirsizlikleri içeren bir sektördür. Bu tipteki çeşitli iç ve dış etkenlere maruz kalan bir inşaat projesindeki başarı, kaynakların etkin kullanımı ile projenin planlanan zamanda, bütçe limitini aşmayacak biçimde istenen kalitede gerçekleştirilmesine bağlıdır. Dolayısıyla bu başarının bir bileşeni de doğru maliyet tahmini ve maliyetin kontrolüdür.

İnşaat projeleri insan, malzeme, makine gibi kaynakların kullanımı ile gerçekleşir. Her projede farklı bir ekip kurulmakta, malsahibi, yüklenici, alt yükleniciler değişmektedir. Malzemeler de farklı ya da aynı fakat piyasa şartlarına göre sürekli değişen fiyatlarda kullanılmaktadır. Her proje için girdilerin farklı olması ve isteklerin projenin her safhasında değişebilmesinden dolayı maliyetlerin kesin olarak belirlenmesi son derece zordur.

İnşaat sektöründe ortaya çıkan ürün geniş çaplı, yüksek maliyetli ve tek defaya özgü olduğundan prototip oluşturmak ekonomik olmadığı gibi pratik de değildir. Bu nedenle ürünün ön tasarım sürecinde, süre ve kaynakların göz önüne alınarak olası maliyetlerin belirlenmesi, diğer bir ifadeyle “maliyet tahmini” önem kazanır.

Birçok alanda gözlemlenen endüstriyel gelişmenin inşaat sektörüne yansması ve bu sektördeki projelerin gittikçe karmaşıklaşması ve ölçeklerinin büyümesi, söz konusu projelerin belirli bir sistematik dâhilinde uygulanmasını ve kontrolünü gerektirmektedir. Bu durumda manüel yöntemler maliyet hesaplarında artık yetersiz kalmakta ve bilgisayar destekli maliyet sistemleri ile maliyet hesabı hem daha kolay, hem hızlı hem de daha doğru bir şekilde gerçekleştirerek geniş kapsamlı projelerde mutlaka tercih edilen yöntemlerdir.

Bu çalışmaya ilk olarak ön maliyet tahmini ile ilgili basılı yayınların incelenmesiyle başlanmıştır.

Daha sonra internet aracılığıyla araştırma makinelerinden aynı başlıklarda incelemeye devam edilmiş ve ön maliyet tahmin yöntemleri, ilgili kavramsal boyutta tanımlar ve örnekler bulunmuş fakat bu yöntemlerin Türkiye’deki inşaat firmaları tarafından bilinirliği ve kullanılabilirliği ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada ön tasarım aşamasına yönelik ön maliyet tahmin yöntemleri amaçlarının, karakteristiklerinin ve metodolojilerinin belirlenmesi, kullanılabilecek maliyet tahmin modellerin kapsamalarının ve uygulama alanlarının incelenmesi ve son olarak Türkiye’de hangi yöntemlerin daha çok kullanıldığının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Bir yapının üretim süreci; ön tasarım evresinden gerçekleştirme evresine, hatta teslim, kullanım ve yok etme evrelerinin sonuna kadar uzanan oldukça geniş ve kapsamlı bir süreç olduğu göz alınırsa, sürecin çeşitli evrelerine yönelik, niteliği ve ölçeği farklı birçok maliyet tahmini türü söz konusudur. Tez kapsamında ön tasarım evresinde kullanılan maliyet tahmin ve hesaplama modelleri, karakteristikleri ve uygulanma adımları açısından ve bilgisayar destekli maliyet tahmin sistemleri incelenmiştir.

Bu çalışmada maliyet tahmini teorik ve pratik açılardan ele alınarak kütüphanelerden basılı yayın olarak internetten de uygulamaya dönük veriler toplanarak araştırma yapılmıştır.

Tez çalışmasının 2. bölümünde inşaat sektöründe maliyet kavramı ve kapsamı ile toplam yapı maliyeti ve yapı inşaat maliyeti kavramları ele alınmıştır..

Tez çalışmasının 3. bölümünde, yapının inşaat maliyeti tahmini kavramsal açıdan incelendikten sonra maliyet tahminini etkileyen sebepler ele alınmıştır.

Tez çalışmasının 4. bölümünde, inşaat sektöründe kullanılan ön maliyet tahmin yöntemleri açıklanmıştır.

Tez çalışmasının 5. bölümünde, Türkiye’de inşaat sektöründe kullanılan ön maliyet tahmini yöntemleri ile ilgili gerçekleştirilen e-anket analiz ve sonuçları açıklanmıştır.

2. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE MALİYET KAVRAMI

2.1 İnşaat Sektöründe Maliyetin Tanımı

Maliyet, bir işletmenin ana faaliyet konusuna ya da temel işletme amacına yönelik olarak tüketilen tüm mal ve hizmetlerin para birimi ile ölçülen değeridir. [72] Ayakkabı üretmek isteyen bir sanayi işletmesi için fabrika yaptırmak ve bu fabrikanın inşaatını gerçekleştirecek bir inşaat işletmesi için bu fabrikayı inşaa etmek amacıyla tüketilen bütün mal ve hizmetlerin parasal değeri maliyeti oluşturmaktadır.

İnşaatın gerçekleştirilmesi sırasında demir, beton ve tuğla gibi malzemelerin kullanılarak harcanması, bir iş makinesinin kullanılarak eskimesi (inşaatla kullanılan iş makinelerinin birkaç yıllık kullanma süreleri bulunmaktadır ve daha önceden satın alınmış bir iş makinesinin kullanıldığı zamanda herhangi bir nakit çıkışı gerçekleşmemiş de olsa bir *mal tüketimi* söz konusu olduğu için maliyet özelliği taşımakta ve makinenin ortalama yeni değerinin bir yüzdesi (kuramsal yıpranma payı) olarak hesaplara katılmaktadır.) sonucunda nakit çıkışı meydana gelmese de oluşan mal tüketimleri ile işletme sahibinin yönetim için harcadığı emek gibi (yerinde başka birisini çalıştırsaydı bu hizmeti karşılığında ödeyeceği belirli bir ücret kadar yapı sahibinin kuramsal aylığı olarak hesaplara katılmaktadır.) hizmet tüketimleri maliyeti meydana getirmektedir. [72]

2.2 Sözleşme Türüne Bağlı Olarak Maliyetin Kapsamı

Bir yapı sahibi için bir yapının maliyeti, kendi istekleri doğrultusunda yapı fikrinin doğuşundan itibaren fizibilite etüdüyle başlayan ve kullanım evresinin bitimiyle sona eren yapı üretim sürecindeki tüm aşamalarda tüketilen tüm mal ve hizmetlerin parasal değerlerinin toplamıdır.

Bir yapı projesini gerçekleştirmek için oluşturulan organizasyona, taraflar arasında yapılan sözleşme tipine, içeriğine ve şartnamelere göre maliyetin taraflar açısından kapsamı değişmektedir. Yapı sahibi ile yüklenici firma arasında yapılan sözleşme, projenin hangi şartlarda yerine getirileceğini ve yüklenici firmanın yaptığı işler karşılığında ne kadar para kazanacağını belirtir. İnşaat sektöründe değişik sözleşme şekilleri bulunmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanlar şunlardır:

1. Maliyet + kar esaslı sözleşmeler
2. Anahtar teslimi (götürü) tipi sözleşmeler
3. Birim fiyat esaslı sözleşmeler

Maliyet + kar esaslı sözleşme tipinde, yüklenici üstlendiği inşaat projesinin şartnamelere ve sözleşmede belirtilen ayrıntılara göre belirlenen sürede projelerine uygun şekilde gerçekleştirmekle yapı sahibi de bu projenin gerçekleştirilmesi için gerekli tüm harcamaları karşılamakla yükümlüdür. Yüklenicinin bu projeden kazancı işin sözleşmedeki koşullara göre yürütülmesi sonucunda oluşacak maliyetlerin belirli bir yüzdesi olarak hesaplanmakta ya da sabit bir değer olarak belirtilmektedir.

Bu tip sözleşmeler, projenin süratle gerçekleştirilmesi istendiği, maliyetteki meydana gelebilecek artışların öneminin ikinci planda kaldığı, ülkenin ekonomik koşulları itibarıyla gelecekteki fiyatların tahmininde zorlanıldığı durumlarda kullanılır.

Bu sözleşme tipinde yapı sahibi tarafından kontrol hizmetinin dikkatli bir şekilde yürütülmesi gerekir ya da sözleşme tipi maliyet + kar olarak seçilirken *maliyet + tasarruf oranına göre değişken kar* ya da *maliyet + kar + tasarruf bölüşümü* çeşitleri seçilerek yüklenicinin de harcamalara dikkat etmesi sağlanabilir. Çünkü bu önlemler alınmazsa yüklenici firmanın maliyet konusunda riski bulunmadığından ve maliyet artışının kendi lehine olmasından dolayı kazancını artırmak istemesi sebebiyle inşaat öncesi hesap edilen maliyette artışların meydana gelmesine sebep verecek şekilde davranabilir.

Maliyet + kar sözleşme tipleri:

Maliyet + yüzde kar

Maliyet + sabit kar

Maliyet + sabit kar + tasarruf bölüşümü

Maliyet + tasarruf oranına göre değişken kar

Maliyet + azami maliyet tavanı

Anahtar teslimi tipindeki sözleşmelerde ise yüklenici sözleşmedeki maddelere ve yapı sahibinin belirlediği kaliteye göre belirlenen sürede inşaat projesini gerçekleştireceğini, yapı sahibi de yüklenici karını ve riskini içeren, inşaat öncesi belirlenen ve sözleşmede belirtilen tutarı yine sözleşmede belirtilen aralıklarla ödeyeceğini taahhüt eder. Bu tip sözleşmede yapı sahibi kendisini maliyet artışlarından korumaktadır. Yüklenici hesaplarını çok dikkatli yapmalı, maliyet hesabında geleceği prezisyonu yüksek derecede değerlendirerek karını dikkatli bir biçimde ilave etmelidir. Finansal riskin yüksek olduğu bu tip sözleşmede yüklenici uygulamada maliyeti düşürebildiği miktarda karını artıracaktır, planladığı gibi işin ilerlemesi için etkin bir maliyet kontrol mekanizmasına sahip olmalıdır. Burada yine yapı sahibinin sıkı kontrolü gerekmektedir, projenin istenen kalitede gerçekleştiğini kontrol etmelidir.

Birim fiyat usulü sözleşmelerde, sözleşmede tanımlanan inşaat projesinin her bir iş kaleminin, imalatının gerçekleştirilmesini yüklenici taahhüt etmekte, yapı sahibi de imalatların miktarının çeşitli kurumlarca yayınlanan yüklenici genel giderleri, imalatların miktarını karı ve riskini içeren sabit birim fiyatlar ile çarpılarak bulunan fiyatlarının toplanması ile bulunan projenin keşif değerini, aylık gerçekleştirilen metraj yani iş miktarına göre ödeme yapmayı taahhüt etmektedir. İş kalemleri maliyeti için esas alınan birim fiyatlar, imalatı gerçekleştirmek için kullanılan işgücü, malzeme ve araç-makine miktarlarının rayiç bedelleri (piyasa değerleri) ile çarpılarak yüklenicinin karı, genel gideri ve riski de ilave edilerek bulunmaktadır.

Enflasyonist ortamda risk taşıyan bu sözleşmelerde, yüklenici yapı sahibi tarafından karşılanabilecek eskalasyon ve malzeme fiyat farklarından kaynaklanan birim fiyat artışlarının ödenmesi hususunda yapı sahibi ile anlaşarak sözleşmeye bu konuda bir madde konulmasını sağlayabilir.

Maliyet tahmini sırasında sözleşme tipi ve içeriği mutlaka göz önüne alınmalı ve hesaplamalar sırasında dikkat edilmelidir. Taraflara yüklenen işin içeriği ve miktarı; örneğin anahtar teslimi sözleşmede sadece inşaat değil, mimari, statik, tesisat ve yalıtım projelerinin çizimi, ruhsat işlemleri de yükleniciye yüklenebilir; titizlikle incelenmeli ve maliyet hesaplamalarında dikkat edilmelidir.

2.3 İnşaat Projelerindeki Genel Maliyet Bileşenleri

Bir yapının maliyeti, ilk yatırım, kullanım ve yok etme maliyetleri olmak üzere üç bileşene ayrılabilir. Bu bileşenlerin kendi içindeki alt bileşenleri şekil 2.1'deki yapı maliyeti şemasında gösterilmiştir.

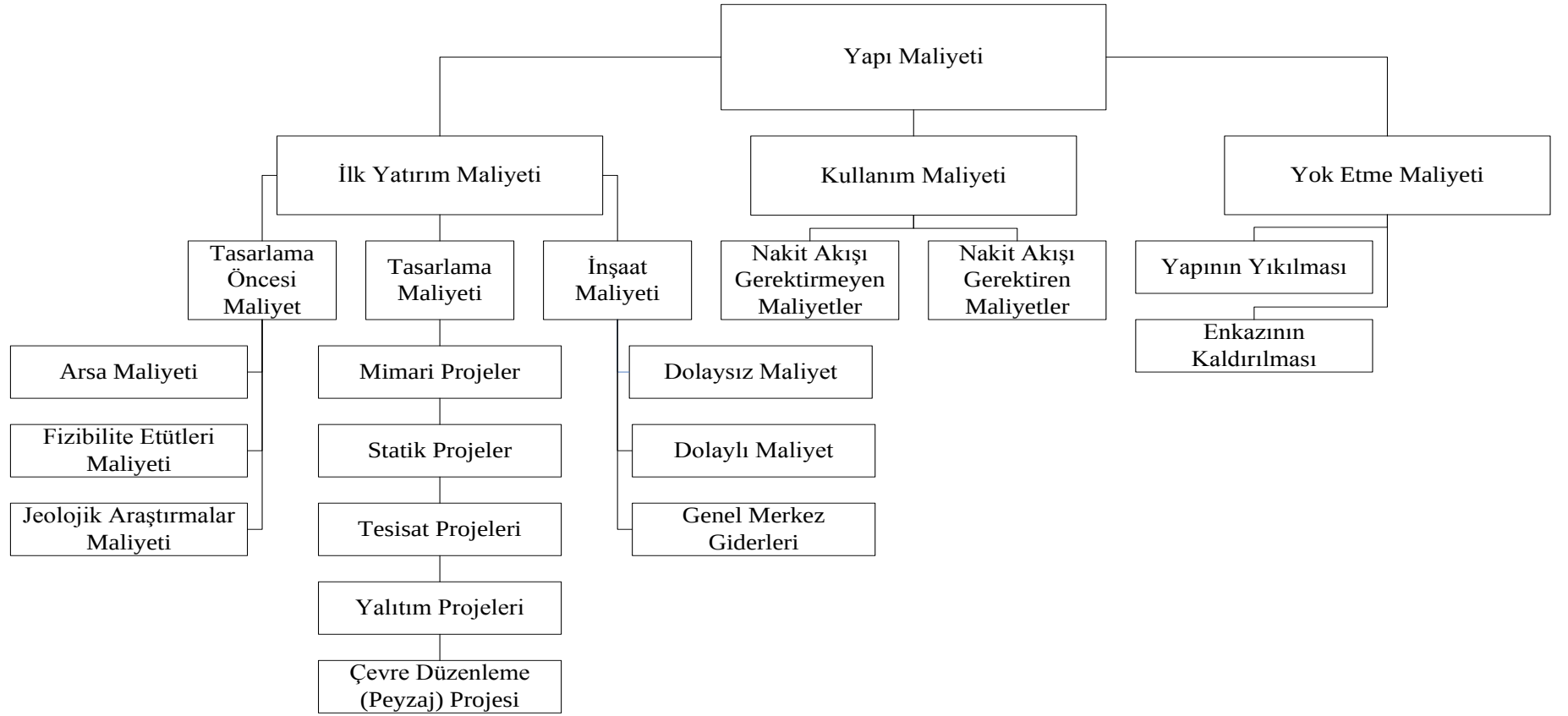
$$\text{Yapı maliyeti} = \text{İlk Yatırım Maliyeti} + \text{Kullanım Maliyeti} + \text{Yok Etme Maliyeti} \quad (2.1)$$

İlk yatırım maliyeti, ön karar evresinden itibaren yapının gereksinimlerinin tespiti ile başlayan ve inşaatın sona ermesi ile tamamlanan; arsa bedeli, projelerin bedelleri, ruhsat harçları, inşaatın gerçekleştirilmesi için yapılan harcamaların toplamı sonucunda oluşan maliyettir. İlk yatırım maliyeti de yapının gerçekleştirilmesinden önce meydana gelen tasarlama öncesi ve tasarlama maliyeti ile gerçekleştirilmesi aşamasında meydana gelen maliyet olmak üzere üçe ayrılabilir.

Tasarlama öncesi maliyet, yapı fikrinin ortaya çıkması ile başlayan fizibilite etütleri, jeolojik araştırmaları içeren işlemlerin ve arsa maliyetinin oluşturduğu maliyettir.

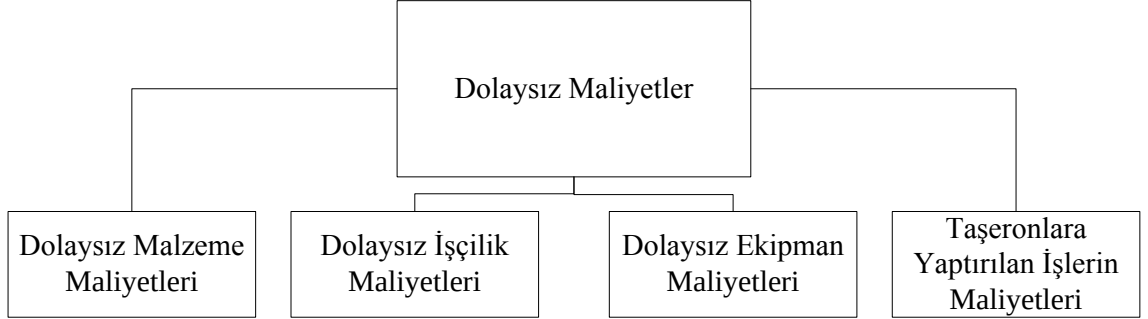
Tasarlama maliyeti, tüm tasarlama işlemlerinin maliyetidir. Mimari, statik, tesisat (elektrik ve makine grubu) ve yalıtım projeler için yapılan harcamaların meydana getirdiği maliyettir. [111]

İnşaat maliyeti, inşaatı gerçekleştirebilmek için yapılması gereken harcamaların ve katlanılması gereken fedakârlıkların toplamıdır. İnşaat maliyeti tüm iş kalemleri giderlerinin oluşturduğu dolaysız maliyet ile birlikte yapının oluşturulması için yapılan diğer harcamaların oluşturduğu dolaylı maliyet ve de genel merkez giderleri toplamıdır.



Şekil 2.1: İnşaat Projelerindeki Genel Maliyet Bileşenleri

Dolaysız maliyetler, şekil 2.2'deki gibi inşaat iş kalemlerinin içerdiği işçilik, malzeme ve makine-ekipman masraflarından oluşur.



Şekil 2.2: Dolaysız Maliyet Bileşenleri

Dolaysız malzeme maliyetleri, bir yapının inşaatının gerçekleştirilmesinde iş kalemleri ile doğrudan ilişki kurulabilen ve belirli bir dönemde tüketilecek tüm malzemelerin maliyetlerini içermektedir. Örneğin konut inşaatında dolaysız malzemeler beton, demir, çimento, tuğla, kiremit, kereste; yol inşaatında kullanılan dolaysız malzemeler ise kaldırım taşları, asfalt, çakıl vb. malzemelerdir. Eğer kapı-pencere doğramaları, boya-badana malzemeleri, cam, sıhhi tesisat malzemeleri, asansör vb. imalatlar da taşeronlar tarafından yapılmıyorsa, bu işler için de kullanılan malzemeler direkt malzemelere ilave edilecektir. [63]

Dolaysız işçilik maliyetleri, iş kalemlerinde tespit edilebilen ve maliyetlere doğrudan yüklenebilen işçilik maliyetleridir. İlk olarak müteahhidin kendine bağlı elemanlarca yaptığı işlere ait işçilik maliyetleridir. Bu maliyetler sadece ücretleri içermeyip ayrıca ücretlerin eklentileri olan SSK işveren prim payları, yemek ücretleri vb. gibi maliyetleri de içermektedir.

Dolaysız makine-ekipman maliyetleri, imalatların gerçekleştirilmesi için kullanılacak makine ve ekipmanların çalışmalarına göre maliyetlere doğrudan ilave edilen maliyettir.

Taşeronlara yaptırılan işlerin maliyetleri, taşeronun müteahhitle yaptığı sözleşmede belirtilen hizmetler karşılığında gerçekleşecek maliyetlerdir. Bu maliyetler de inşaat taahhüdüne direkt olarak yüklenilen maliyetlerdir.

Dolaylı maliyetler, iş kalemlerinin kapsamadığı fakat bu imalatları gerçekleştirirken şantiyede ortaya çıkan maliyetlerdir. İnşaat işlerine doğrudan yüklenemeyen ve dolaysız malzeme, dolaysız işçilik ve taşeronlara yaptırılan işlerin maliyetleri dışında kalan şantiye genel giderleridir. Örneğin, şantiye alanında yapılan geçici tesislerin amortisman (yıpranma payı) payları, bakım-onarım maliyetleri, kalite kontrol maliyetleri, mazot-yağ maliyetleri, taşıt yıpranma payı maliyetleridir. [63]

Dolaylı Maliyetler - Şantiye (Genel) Giderleri Ayrıntılı Listesi

a) Şantiye mobilizasyon (kuruluş ve yerleşim) - demobilizasyon (söküm ve terk ediş) giderleri

1. Amortismanına tabi tesis giderleri

- 1.1. Tesis temin bedelleri
- 1.2. Tesislerin tefriş giderleri
- 1.3. Tesislerdeki ekipman giderleri
- 1.4. Diğer giderler

2. Amortismanına tabi olmayan tesis giderleri (Saha tanzim, nakliye, montaj, temel (kazı dâhil) demontaj, dönüş nakliye, temel yıkım, çevre tanzimi, çit)

- 2.1. Tesislerin saha tanzimi masrafları
- 2.2. Tesislerin geliş nakliye giderleri
- 2.3. Tesislerin montaj masrafları
- 2.4. Tesislerin kazı dâhil temel masrafları
- 2.5. Tesislerin çevre tanzimi masrafları
- 2.6. Tesislerin çevresine çit çekilmesi masrafları
- 2.7. Tesislerin demontaj masrafları
- 2.8. Tesislerin dönüş nakliye giderleri
- 2.9. Tesislerin temellerinin yıkım masrafları
- 2.10. Diğer (yol, iş sonu şantiye temizliği vb)

b) Şantiye altyapı hizmetleri

1. Ulaşım yolları
2. Betonlaşmış sahalar
3. Şantiye çiti
4. Spor tesisleri
5. Elektrik getirme (hat + trafo) masrafları
 - 5.1. Yüksek gerilim hattı / trafo giderleri
 - 5.2. Şebekeden elektrik sarf giderleri
 - 5.3. Jeneratörle elektrik sağlanması giderleri
 - 5.4. Dağıtım şebekesi giderleri
 - 5.5. Bakım giderleri
6. Şantiye su ve kanalizasyon tesis giderleri
 - 6.1. Satın alınan suyun bedeli
 - 6.2. Kuyu açma masrafları
 - 6.3. Şebekeden sarf giderleri
 - 6.4. Bakım masrafları
 - 6.5. Tankerle taşıma ilave maliyeti
 - 6.6. Depo masrafı
 - 6.7. Fosseptik ve pis su tesisatı
 - 6.8. Arıtma (paket, kanalizasyon işleri)
7. Telekomünikasyon hattı giderleri
8. Diğer giderler

c) Makine / Ekipman giderleri

1. Amortisman giderleri
2. Yedek parça giderleri

3. Akaryakıt, yağ giderleri
4. Kiralar
5. Diğer giderler

d) İşletme giderleri

1. Altyapı kullanım giderleri

- 1.1. Elektrik enerjisi gideri (soğutma (klima) giderini de içermekte, ekipman da amortismanına tabi giderler de değerlendirilmekte)
- 1.2. Isınma gideri (elektrik dışı enerji kullanılması durumunda)
- 1.3. Telefon-faks-internet kullanımı (telekomünikasyon) giderleri
- 1.4. Diğer giderler

2. Şantiye tüketim giderleri

- 2.1. Beslenme gideri (idari ve teknik personel)
- 2.2. Kırtasiye gideri
- 2.3. Temizlik gideri
- 2.4. İkram gideri
- 2.5. Yakıt gideri
- 2.6. Kargo giderleri
- 2.7. Sağlık giderleri (ecza dolabı vb)
- 2.8. Diğer giderler

3. Şantiye idari ve teknik personel giderleri

- 3.1. İdari personel giderleri (proje müdürü, şefler, grup yöneticileri, muhasebeci, satınalmacı)
 - 3.1.1. İdari personel net aylıkları
 - 3.1.2. İdari personel bordro giderleri
 - 3.1.3. İdari personel primleri

- 3.1.4. İdari personel seyahat giderleri
- 3.2. Teknik personel ücretleri
- 3.3. Formen ücretleri
- 3.4. Hizmet personeli ücretleri
 - 3.4.1. Aşçı
 - 3.4.2. Bekçi, vb.
- 3.5. Diğer giderler
- 4. Şantiye dış ilişkileri
 - 4.1. Merkez ofis gideri
 - 4.2. Temsil gideri (törenler, hediyeler, protokol gezileri)
 - 4.3. Fon kesintileri (hukuk, tazminatlar, hakemlik, arbitraj)
 - 4.4. Diğer giderler

Genel yönetim (merkez) giderleri, belirli bir inşaatla direkt ilişkisi kurulamayan ve genellikle işletmenin var oluşundan kaynaklanan giderlerdir. Bunlar işletme müdürlerinin, büro çalışanlarının, sürveyanların maaşları; merkez bina amortismanı ve vergileri, büro malzemeleri, merkez bina telefon faturaları, sigorta vb. giderleridir.

Genel Yönetim (Merkez) Giderleri

1. Mukavele masrafları
2. Merkez masrafları payı
3. Komisyonlar
4. Vergi kesintileri (stopaj)
5. Sigorta masrafı
6. Finansman masrafları (kredi faizleri)

7. Proje ve danışmanlık hizmetleri

8. Diğer masraflar

8.1. Teknoloji geliştirme giderleri

8.2. Personel eğitimi giderleri

8.3. Yeni yatırımlar, projeler için pay

9. Sözleşme ve yönetmelik giderleri

9.1. Harçlar (idare tarafından hakedişle geri ödenecek harçlar dışında yükleniciye aitse ruhsat vs. gibi harçlar)

9.2. SSK prim farkı

9.3. Diğer giderler

Kullanım maliyeti, yapının gerçekleştirilmesinden kullanılma zamanının tamamlanmasına kadar geçen sürede yapıyla ilgili meydana gelen bakım, onarım ve yenileme ve işletme giderlerinden oluşur.

1. nakit akışı gerektirmeyen maliyetler

2. nakit akışı gerektiren maliyetler

2.1. yönetim maliyetleri

2.2. vergiler

2.3. işletme maliyetleri

2.3.1. bina temizliği

2.3.2. pisu temizliği

2.3.3. ısıtma-soğutma

2.3.4. elektrik

2.3.5. teknik sistem işletimi

2.3.6. bakım ve kontrol

2.3.7.açık alan düzenlemesi

2.3.8. onarım maliyetleri

2.3.9. tadilat maliyetleri [111]

Yok etme maliyeti, kullanım dönemini tamamlayan artık kullanılamaz hale gelen yapının yıkılması ve enkazının kaldırılması için yapılan masrafların toplamıdır.

Tez kapsamında sadece yapının gerçekleştirilmesi için gerekli inşaat maliyeti ele alınmıştır. Fakat incelenen bazı çalışmalarda ilk yatırım maliyeti şeklinde hesaplamalara da rastlanılmış, bunlara da gerekli açıklamalar ilave edilerek yer verilmiştir.

3. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE MALİYET TAHMİNİ

3.1 Maliyet Tahmini Tanımı

Maliyet tahmini mevcut belirlenen süre içerisinde belirli koşullar altında proje enformasyonunu ve kaynaklarını kullanarak tüm iş kalemlerinin toplam maliyetlerinin tespiti için gerçekleştirilen teknik süreç olarak tanımlanabilir. [115] İnşaat sektöründe bir projenin maliyetinin tahmini işlemi kaynakların kıtlığı göz önünde bulundurularak gerçekleştirilecek projenin inşaatı ile ilgili kaynak ihtiyaçları ve oranlarının önceden belirlenerek imalatların süre tahminleri, analizler ve geçmiş projelerden yararlanarak 2. bölümde bahsedilen maliyetlerin tespit edilmesi faaliyetidir.

Genel anlamda maliyet tahmininin hangi amaçla, kimin için ve tasarımın hangi evresinde yapıldığı önemlidir. Çünkü amacına, yapı sahibi için mi yoksa yüklenici için mi yapılmasına, tasarım sürecinde projelere ait enformasyonların değişmesine göre farklılıklar göstermektedir.

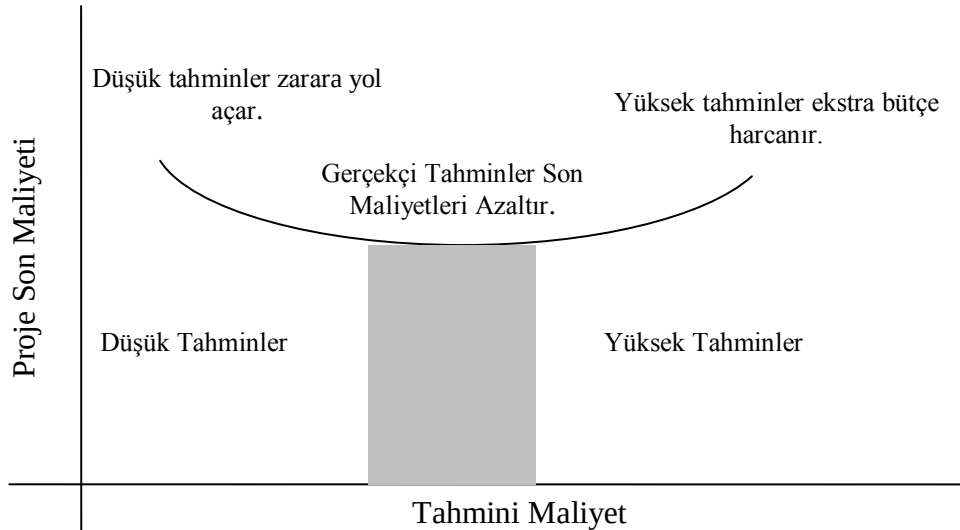
Maliyet tahmini, projenin tamamlanması için gerekli kaynakların maliyetlerini proje süresince tahmin etme ve geliştirme işlerini kapsar. Bu işlemler yapılırken eski projelerden zamansal ve parasal yönlerden faydalanılır. Bu yüzden tahmini maliyetlerden kesin maliyetlere ulaşabilmek için maliyet muhasebesi kavramının sektörde düzenli bir şekilde uygulanır düzeye gelmesi gerekmektedir. Bu tahminler sırasında çizim, detay ve şartnamelerin eksik olmaması tahminlerdeki sapmaların düşük olmasını getirecektir. [7]

Maliyet tahminindeki amaç, kıt kaynakları en etkin şekilde kullanarak, değerlendirerek istenilen kalitede hizmet ya da ürünün sağlanması için gereken maliyeti belirleyebilmektir.

Maksimum üretkenliğin elde edilmesi, projenin öngörülen kalitede tamamlanabilmesi için oluşacak harcamaların, masrafların önceden doğru tahmin edilmesi ve aynı zamanda belirlenen maliyet limitleri içerisinde etkin bir maliyet kontrol sistemi ile denetlenmesi gereklidir. [115]

Bir inşaat yatırımı yapmak isteyen kuruluş yapı ihtiyacını belirleyerek bu ihtiyacını karşılayabilmek için finansmanını ayarlamak zorundadır. Bunun için de ayırabileceği, sağlayabileceği kaynakları gerçekçi olarak tespit etmesi gerekir. [15] Kişisel ya da kurumsal istek ve ihtiyaçlar ile tasarımı gerçekleştirilen yapının, kuruluşun bu proje için öngördüğü finansmanla gerçekleştirilebilirliği kontrol edilmelidir. [4] Tüm bunların gerçekleştirilebilmesi için de projenin maliyet tahmininin belirlenmesi zorunludur.

İnşaatı gerçekleştirecek bir müteahhit firma da yükleneceği işi hem istenen kalitede hem de belirlediği ve genelde ihaleye girdiği, karını da içeren tahmini maliyet bedelini aşmamış vaziyette gerçekleştirmek durumundadır. Bunları gerçekleştirebilmek için güvenilir ve sağlam bir şekilde oluşacak maliyeti önceden tahmin etmek zorundadır. Aynı ifadeler alt yükleniciler için de geçerlidir. Bu yüzden doğru bir maliyet tahmini ihaleyi kazanmasını sağlayacak kadar düşük, kar edebilecek kadar yüksek olmalıdır.



Şekil 3.1: Freiman Eğrisi

Maliyet tahmini sonucu şekil 3.1'deki gibi doğru, yüksek ya da düşük olabilir. [98] Doğru hesaplanan projeler en ekonomik olarak gerçekleşen projeler olurken, düşük ya da yüksek tahminler daha fazla harcamalara sebep olurlar.

Düşük hesaplamalar tasarım ve şartnamelerin tahmin edilen daha fazla maliyet içermesi anlamına gelir. Bunun sebebi zayıf planlama ve tahmin sonucu önemli bileşenlerin ihmal edilmesidir. Bu tahmin proje gecikmelerine, organizasyonun ikinci bir defa oluşturulmasına, planlamaya sebep olur ki bu da maliyeti önemli ölçüde artırır.

Yüksek tahmin de düşük tahmin gibi kötü sonuçlar doğurur. Proje daha düşük finansmanla gerçekleşebilecekken bu tahmin sonucunda ekstra bütçe çoğunlukla tamamen harcanacaktır. Proje sonunda daha düşük maliyetle tamamlanmış gibi gözükse de aslında daha fazla para harcanmıştır. [98]

Ayrıca tasarım ekibi açısından da yapı sahibi tarafından belirlenen maliyete göre tasarlama (design to cost) seçeneğine göre yapılacak tahmin ile talep-bütçe dengelemesini tasarımlarında kontrollü bir şekilde yürütmelerine imkân vermesi bakımından maliyet tahminin önemi büyüktür. [4]

Aynı zamanda maliyet tahmini etkin bir planlama aracı olarak da kullanılabilir. Düzgün, sistematik ve kapsamlı hazırlanmış bir maliyet tahmini ile, üretimde kullanılacak işgücü, malzeme, ekipman ve diğer kaynaklara olan ihtiyaçlar belirlenerek etkin bir planlama ve reel bütçe oluşturulur. [115]

Maliyet tahminlerinde kimi zaman oldukça büyük miktarda sapmalar meydana gelmektedir. Bunu önlemek için maliyetler değişik senaryolarda hesaplanarak veya bu maliyetlerin tümünü esas alan bir tahmin yapılmalıdır. [7]

Tahminlerden elde edilen sonuçlara kesin gözüyle bakılmamalıdır. Oluşacak ani olaylar için risk ve belirsizliği ele alan yöntemlerle maliyet tahmini yapılması daha gerçekçi sonuçlar verir. [4]

İnşaat maliyeti tahmini endüstriyel probleminden öte daha çok bir organizasyon problemidir, yani inşaat süreci organizasyona has olabilir, gelecekte firma tarafından gerçekleştirilecek projeler benzer işi yapan organizasyondan ya da tüm inşaat endüstrisinden daha çok firmanın geçmişte gerçekleştirdiği projelerle ilgilidir.

Bir firma için yüksek doğrulukta tahminler üreten bir metod diğer bir firma için aynı doğrulukta olmayabilir. Bundan dolayı firmalar kendi tahmin sistemlerini oluşturmalarıdır, örneğin geçmişteki tecrübelerini kullanarak gelecekteki performanslarını tahmin edebilirler. [98]

3.2 Maliyet Tahmininin Doğruluğunu Etkileyen Faktörler:

Yapı maliyetini, yapıyı inşa etmek için gerekli tüm zemin işlerinin, her türlü inşaat imalatının, tesisat sistemlerinin ve sabit donanımların maliyetleri meydana getirmektedir. Bu bileşenlerin maliyetini etkileyen birçok faktör söz konusudur. [22]

İnşaat maliyetleri, inşaatın gerçekleştirileceği yerden, ikliminden, ekonomik, politik ve sosyal koşullarından etkilenmekte ve bu da tahmin işlemlerinin içeriğini çok karmaşık bir duruma sokmaktadır. [63] Bunu önlemek için bu etkenlerin neler olduğunu iyice kavramak gerekir.

Tahminin doğruluğunu etkileyen birçok sebep vardır:

a. Yapı tipi ve büyüklüğü: Yeni inşa edilecek yapının önceden gerçekleştirilmiş yapılara benzer özelliklerde olması yapıların tipolojileri arasındaki farklılığın minimum olması yeni yapının maliyetinin tahminindeki doğruluğu artıracaktır. Örneğin, konut, otopark gibi sürekli olarak benzer tipolojiye sahip sık kullanılan inşaat teknikleri ile inşa edilen yapılar için maliyet tahminin doğruluğu çoğu zaman yüksektir. Ancak prestij binaları gibi sık yapılmayan, bir keze mahsus, özel malzeme ve yapım teknolojileri ile gerçekleştirilen projelerde öngörülen maliyetle gerçekleşen maliyet arasındaki fark yapının tipolojisinin maliyet tahmini üzerindeki etkisini açıklamaktadır. Örneğin, Sydney Opera Binası'nın tahmini maliyeti 2,5 milyon Pound iken gerçekleşen maliyeti 87 milyon Pound olmuştur. Aynı şekilde Thames Bariyeri de 23 milyon pound tahmini maliyete sahip iken gerçekleşen maliyeti 400 milyon pound olmuştur. Araştırmalar sonucunda da bulunmuştur ki projenin büyüklüğü arttıkça maliyetin tahminindeki hata eğilimi azalmakta, tutarlılığı ise artmaktadır. [115]

b. Yapımda kullanılacak teknoloji: Örneğin sıva işinin sadece çelik mala ile yapılması veya makineli sıva + çelik mala ile yapılması arasında hem süre, hem de maliyet ve çalıştırılacak işçi sayısı ve niteliği bakımından farklılıklar olacaktır. Sıva işinin çok yüksek miktarlarda olduğu durumlarda bir imalatda yapım teknolojiye baştan karar vermek bütün tahminleri etkileyecektir. [7]

c. Yapının inşa edileceği bölgenin coğrafi konumu: Bölgenin topografyası, bölgenin ulaşım yollarına mesafesi, yöresel işgücü temini imkânı, kaynaklara olan mesafesi ve iklim koşulları gibi bu koşullar tespit edilip maliyet tahmini sırasında değerlendirilmelidir. [115]

d. Kullanılan sözleşme tipi: Seçilen sözleşme şekli tahmini maliyetin hesaplanma biçimini etkileyen en önemli etkidir. Örneğin sözleşme tiplerinden sabit birim fiyatlı, anahtar teslimi (götürü) sözleşmelerde yapının inşaatına başlamadan önce kesin maliyet tutarı belirlenmekte inşaatın gerçekleştirilmesi sırasında hiçbir şekilde müdahale edilememektedir. Bu tip sözleşmelerde yükleniciler ve alt yükleniciler, malzeme, ekipman ve işgücü olarak ihtiyaç duyacakları kaynakları, finansmanını ve bunlara ait maliyetleri tahmin edebilecekleri doğruluğu yüksek tahmin modellerine ihtiyaçları vardır. Maliyet + kar tipi sözleşmelerde ise tasarım ve gerçekleştirme evreleri çakışmakta daha esnek maliyet tahminine imkân vermektedir

e. Ekonomik durum: Bu konuda gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda tahmin eğilimlerinin yıldan yıla değiştiği belirtilmektedir. Örneğin yüklenicinin en fazla faaliyette bulunduğu yıllarda tahmini maliyetlerin gerçekleşen maliyetlere yakın, yüklenicinin faaliyetlerinin çok düşük olduğu yıllarda ise ekonomik durumun kötü tahminlerin gerçekleşenden uzak olduğu belirtilmektedir. Sektörde bir patlama yaşandığında maliyetler azalacak, resesyon – durgunlaşma dönemlerinde artacaktır. [104]

f. Rekabet: Yapıyı inşa etmek isteyen yüklenici firmalar arasındaki rekabetin artması maliyet tahminin doğruluğunu olumlu yönde etkilemesi gerekir. Bu da rakip firma sayısının fazla olmasını gerektirir. 1976 yılında McCaffar'ın yaptığı bir araştırmada da tespit edilmiştir ki tahminin tutarlılığı teklif verenlerin sayısı ile doğru orantılıdır [115]

g. Kullanılan enformasyon: Enformasyon, verilerin toplanarak analiz edilmesi ve özetlenmesidir. Aynı zamanda gerçek veya anlaşılabilir bir işlemi sonuçlandırmaya, karar vermeye yarayan veridir. Dolayısıyla, veri, değerlendirmenin başında kullanılan enformasyon, enformasyon ise değerlendirmenin sonucunda ulaşılan veridir. [4] Enformasyon seviyesinin yükseltilmesi ve bununla birlikte daha kapsamlı bir maliyet tahmini modelinin kullanılması, gerçekleştirilecek maliyet tahminin güvenilirliğini de olumlu yönde etkileyecektir. [115] Ayrıca firma içi verilerin kullanılması basılı verilerin kullanılmasına göre daha iyi sonuçlar verecektir. [104]

h. Kullanılan geri besleme mekanizması: Mevcut projenin maliyet tahmini hesabı sırasında daha önceden gerçekleştirilen projelere ait gerekli verilerin toplanması hem tahminin doğruluğunu etkiler hem de çeşitli analizlerin yapılmasında yardımcı olur. [4]

i. Tahmini yapan kişinin yeteneği: Tahmini maliyet hesabı tahmincinin kişisel yargıları ve sahip olduğu tecrübesi doğrultusunda gerçekleşmektedir. Bu yüzden kişinin konusunda uzman olması ve her çeşit etkeni hesaplarında değerlendirmesi gerekir. [4] İyi bir maliyet tahmincisinin sahip olması gereken özellikler şunlardır:

- İş koşulları, şantiye teknikleri, ekipman ve ekip kapasiteleri, malzemeler hakkında
 - Bilgi ve proje detayları okuyabilmede üstün beceri, inşaat bilgisi,
 - Genel ya da işletme tarafından gerçekleştirilmiş projelerde tatbik edilmiş maliyet tahmin yöntemleri ve prosedürleri hakkında bilgi,
 - Hesap makinesinden karmaşık kompüterize maliyet tahmin sistemlerine kadar her çeşit maliyet tahmin aracında uzmanlık,
 - Kendini sürekli geliştirme ve yenileme arzusu, [13]
 - Mantıklılık, sağduyuya sahiplik, soğukkanlılık ve sabırlılık,
 - Diğer ekip çalışanları ile güçlü iletişim ve sistematik organizasyon yeteneği.
- [115]

j. Kullanılan tahmin yöntemi: Eldeki mevcut enformasyon seviyesine, tahminin kimin için yapılacağına, hangi evrede yapılacağına göre uygun bir yöntem seçilmesi tahminin doğruluğunu artırmaktadır. [4]

3.3 Maliyet Tahmininin Maliyet Yönetimi İçindeki Yeri ve Önemi

Maliyet yönetiminin en önemli konuları, yapı sahibinin mali sınırları içinde gerçekçi bir proje bütçesinin oluşturulması, maliyet yönetim teknik ve becerileri ile sözleşmede belirtilen maddeler doğrultusunda projenin en ekonomik olacak şekilde planlanması, tasarlanması ve yapımının sağlanmasıdır. [119]

Maliyet tahmini bu sürecin en başında yer almaktadır ve proje ilerledikçe yinelenmekte, proje gerçekleştirilmeden önce artan proje detay bilgisi ile daha doğru değerlere ulaşmaktadır.

Maliyet yönetimi bir projede ön tasarım, tasarım, ihale, yapım ve yapım sonrası aşamalarında mevcuttur. Maliyet tahmini bu aşamalardan ön tasarım, tasarım ve ihale aşamalarında yer almaktadır.

Ön tasarım aşamasında, proje bütçesinin oluşturulmasında, yapı sahibinin isteği doğrultusunda değişik tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan tahminlerdir.

Tasarım aşamasında, mimari projenin ilerlemesi ile statik, tesisat ve yalıtım ve çevre düzenleme projelerinin de ilavesiyle maliyet tahminleri yinelenmektedir. Bu aşamada kendi içinde değişik etaplarda maliyet tahminleri yapılmaktadır.

İhale aşamasında genellikle projeler tamamlanmış durumda olduğundan daha gerçekçi tahminler gerçekleştirilmektedir.

3.4 Proje Sürecinde Maliyet Tahmini Aşamaları

Projenin ön tasarım aşamasında, yapım maliyetleri ile ilgili hesaba başlamadan önce Proje Yöneticisi teklif edilen projenin yerini tanımalı, iklim koşullarını ve yapım maliyetlerini ve yukarıda bahsedilen maliyet tahminini etkileyecek diğer tüm faktörleri dikkatle araştırmalıdır. Bir piyasa araştırması ile bölgedeki mevcut işgücü, malzeme, ekipman ve tesislerin varlığını, kapasitelerini ve maliyetlerini belirlemelidir. Bu aşamadaki tahminler stratejik maliyet tahmini olarak da isimlendirilir. [30]

Daha sonra proje yöneticisi bir proje bütçesi hazırlamalı, mal sahibinin mali sınırlarına uygunluğu açısından proje bütçesini gözden geçirmeli ve gerekli düzenlemeleri tasarımcı ve malsahibi ile birlikte yapmalıdır. Bu aşamada belirlenen ön tahminde veriye bağlı olarak %15–25 arasında bir tasarım riski bulunmaktadır. Bu miktar tahmin değerine ilave edilmelidir. [119]

Projenin fizibilitesi sıklıkla ön maliyet tahmini ile belirlenmektedir. [97]

Ön maliyet tahmini doğru, kabul edilebilir ve anlaşılır olmalıdır. [70]

Ayrıca malsahibi, tasarımcıdan ön tasarım alternatifleri geliştirmesini isteyebilir. Proje yöneticisi, Mal Sahibi ve tasarımcı ile birlikte bu alternatiflerin maliyet tahminlerini hesaplar. Proje için farklı yerler düşünülüyorsa proje yöneticisi tarafından altyapı, zemin koşulları, topografya, ulaşım, yerleşim, piyasa şartları, işgücü vb.den dolayı meydana gelebilecek maliyet farkları titizlikle araştırılmalıdır. [119]

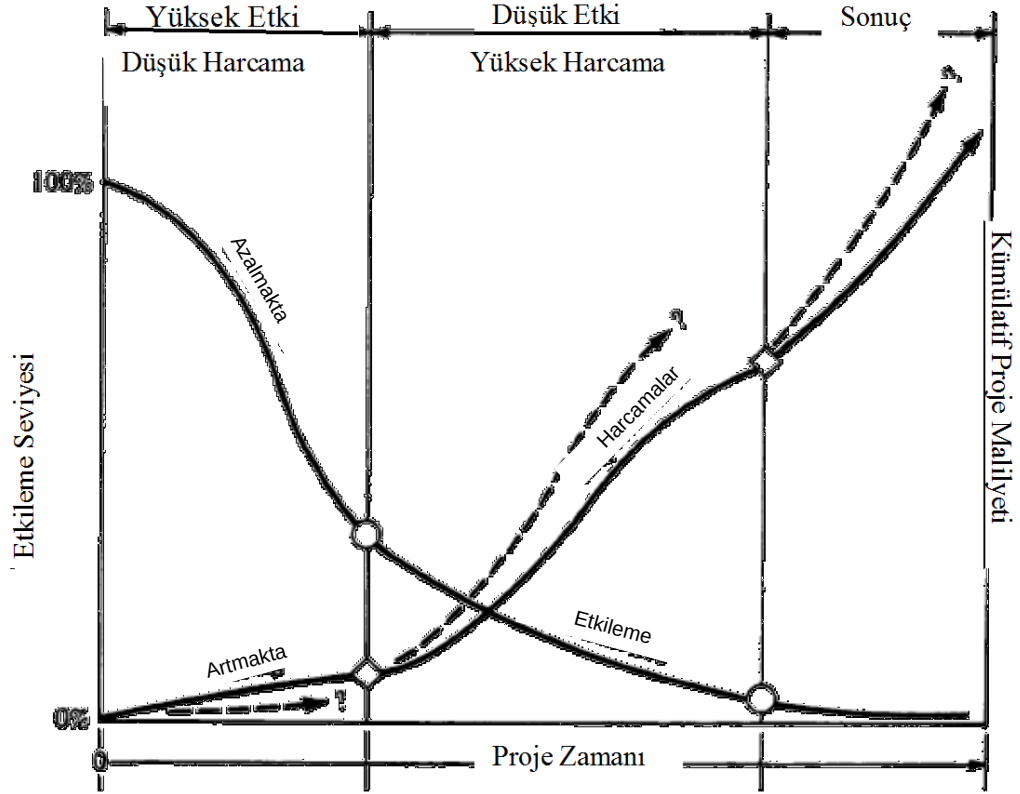
Ön tasarım evresinde hazırlanan yapım bütçesinin onayından sonra, tasarım evresinde tahminler mevcut çizimler ve şartnamelerdeki açıklamalar yanında tasarımcı ve yapı sahibinin sözlü bildirimleri ve yazılı talimatları ile proje yöneticisi tarafından hazırlanır. Bu açıklamalardan açık ve net bir şekilde anlaşılmaktadır ki maliyeti etkileme olasılığının en yüksek olduğu evre ön tasarım evresidir. Proje maliyeti ilk olarak projenin erken aşamalarında belirlenmektedir. Aşağıdaki şekilde de gözüktüğü gibi ileriki aşamalarda maliyeti etkileme olasılığı düşmektedir.

Dasbacha göre de mühendislik %1–2 düzeylerinde iken maliyeti etkileme oranının %70–80 düzeylerindedir. [98]

Tasarım evresi sürecinde geçen zaman zarfında projenin yapım bütçesi içinde kalındığını tespit etmek için proje yöneticisi tarafından,

- Eskiz (şematik) tasarımın sonu
- Ön tasarımın sonu
- Kesin tasarım (tasarımın %60–90 arası tamamlanmasında)
- İhale dokümanlarının tamamlanması

aşamalarında maliyet tahminleri yinelenmelidir. [119]



Şekil 3.2: Proje Maliyetlerini Etkileme Seviyesi

Eskiz tasarımın sonu: proje yöneticisi eskiz tasarım sonunda ortaya çıkan iş kalemlerine ait parametre miktarlarını ve bazıları için yaklaşık miktarlarını esas alarak tahmini maliyet hesabını gerçekleştirir. [119]

Bina maliyetini etkileme veya düşürme ihtimalinin en yüksek olduğu aşama şekil 3.2'deki gözüktüğü gibi ön tasarım evresidir. [122] Eğer alınan kararlar doğru yöntemlere ve doğru bilgilere dayanıyorsa ön proje evresindeki faaliyetlerin başarısı da artacak yani maliyeti düşürmek mümkün olabilecektir. [22]

Ön tasarımın sonu: tasarımcı tarafından hazırlanan ön tasarımın çıktıları esas alınarak yine bir maliyet tahmini hesabı gerçekleştirilir. Bu aşamada mimari tasarım daha belirgin olmasından ötürü mimari/yapısal/inşaat işleri için yaklaşık miktarlar, mekanik/elektrik tesisat için parametrik miktarlar kullanılarak hesap yapılır. [119]

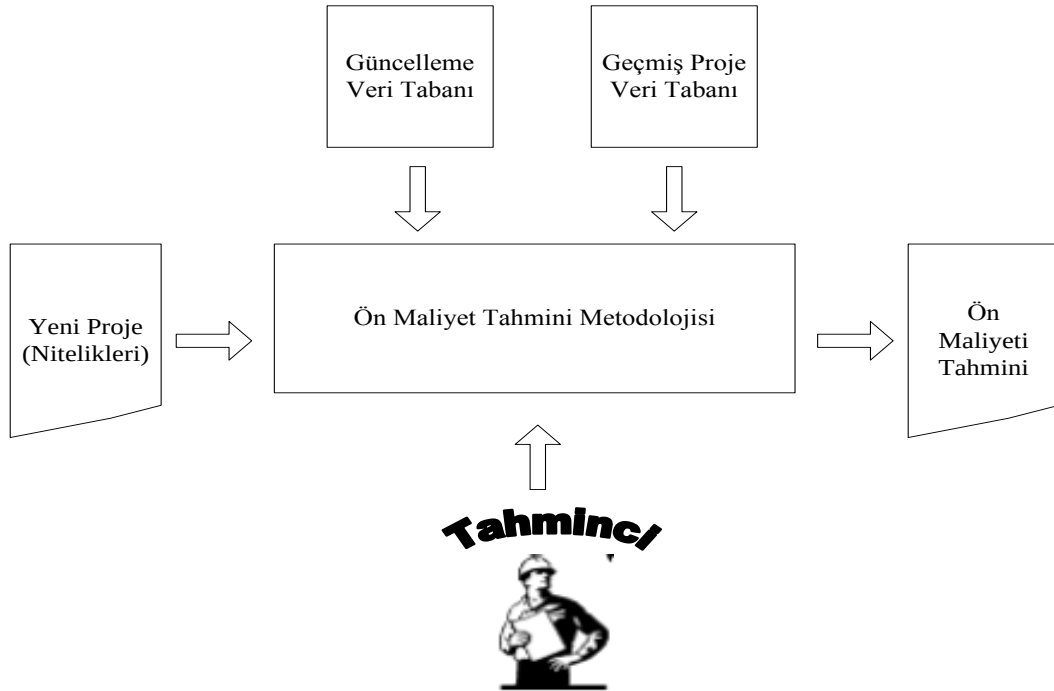
Kesin tasarım (uygulama ve son tasarım): bu aşamadaki maliyet tahmini hesapları %60 –90 arasında tamamlanmış tasarıma ve şartnamelere dayanarak, şartnamedeki tüm ana gruplar için belirlenen miktar tahminlerini esas alarak maliyet tahmini gerçekleştirilir. [119]

İhale aşamasında ise proje yöneticisi tarafından zeyilnamelerle sözleşmelere yapılan ilavelerin miktarları tespit edilerek fiyatlandırılmakta ve teklif evrakına göre son tahmini hazırlayarak gelen tüm teklifler bir tablo haline getirilerek bunlar analiz edilmektedir. [119]

4. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE ÖN MALİYET TAHMİNİ

Ön maliyet tahmini bir önceki bölümde açıklandığı gibi bir inşaat projesinin fizibilite, ön tasarım aşamasında gerçekleştirilen konsept maliyet tahminidir. Gerçekleştirilen literatür araştırmasında daha çok inşaat maliyetini içermekte fakat bazı çalışmalarda ilk yatırım maliyeti olarak değerlendirilmektedir.

Ön maliyet tahmini için gerekli en önemli 4 ana eleman geçmiş projelerden oluşan bir veritabanı; geçmiş maliyet değerlerini güncellemeyi sağlayan maliyet indeksleri, güncel üretkenlik oranları, spesifik saha koşulları vb. gibi bilgileri içeren güncel veri tabanı; tahmin algoritmalarını içeren bir tahmin metodolojisi, yöntemi ve tüm bunları organize eden tahmincidir.



Şekil 4.1: Ön Maliyet Tahmini Elemanları

Yeni proje nitelikleri maliyet tahmini metodolojisine bağılı olarak gerektiğı şekilde belirtilir. Geçmiş projelere ait veritabanında da gerçekleşmiş projelerle ilgili maliyet bilgileri, üretkenlik değerleri vb. gibi bilgiler bulunur. Güncelleme veri tabanı da maliyet indeksleri ile güncel üretkenlik verilerinden oluşmaktadır.

Maliyet tahmini metotları, tasarım değişkenleri, yapım metotları, yapım işlemlerinin zamanlaması ve yapıya ilişkin çeşitli özelliklerin göz önünde bulundurulmasıyla oluşturulmuş yöntemlerdir. [111]

Bu yöntemler aşağıdaki tekniklere dayanarak oluşturulurlar:

1. İstatistik-olasılık analizleri
2. Benzer projeler ile karşılaştırma
3. Yapay zekâ teknikleri

4.1 İstatistik – Olasılık Analizlerine Dayalı Ön Tahmin Yöntemleri

Bu yöntemlerde çeşitli istatistiksel analiz programları ya da spreadsheet yazılımlar ile veritabanında bulunan projeler verilerin analizi sonuçlarına göre ön maliyet tahmini belirlenir. Bu çerçevede geliştirilen yöntemler aşağıdaki gibidir.

4.1.1 Birim Yöntem

Birim yöntem, inşa edilecek yapının maliyetinin hizmet vereceğı kişi ya da hizmet birimi miktarı ile ilişkilendirilerek hesaplandığı bir yöntemdir. Birim tipine örnek olarak okullarda öğrenci ya da sınıf sayısı, tiyatrolarda seyirci sayısı, otoparklarda araç sayısı, hastanelerde yatak sayısı verilebilir.

Bu yöntem şekil, büyüklük, yapım tekniğı, malzeme vb. gibi önemli tasarım kararlarının henüz alınmadığı, ön hazırlık safhasına ait bir modeldir ve benzer projelerden tecrübe edilen değerler kullanılarak, bina maliyetinin belirlenmesinde kullanılabilir. [115]

Bu yöntemin kullanım amaçları şu şekilde sıralanabilir:

- Bir maliyet planı için hedef belirlemek,
- Bir proje için yatırım tutarını hesaplamak, [127]
- Uzun vadeli kalkınma planlarında bütçe oluşturmak veya teşebbüs aşamasındaki bir projenin maliyet limitini belirlemektir.

Bu yöntem hastaneler, okullar, oteller, konser ve tiyatro salonları, otoparklar, sanayi tesisi inşaat maliyetini hesaplamak için kullanılabilir. Fakat konutlarda kişi veya yatak başına hesap şeklinde değerlendirmek mantıksızdır.

Bu model aşağıda belirtilen aşamalar doğrultusunda ön maliyet tahmininde uygulanmaktadır:

- 1) İlk olarak proje tipi belirlenir. (örn. okul, hastane v.b.)
- 2) Fonksiyonel birim tipi seçilir. (okullarda öğrenci ya da sınıf, otellerde yatak vb.)
- 3) Proje veritabanından tip, büyüklük ve yapım tekniği gibi kıstaslar bakımından benzer nitelikler taşıyanlar analiz edilerek inşaatın 2. keşifleri sonucunda elde edilen toplam maliyetleri ve projedeki birim miktarı alınarak birbirine oranlanır ve projelerin birim maliyetleri bulunur.

Bu birim maliyetler kayıt altına alınmış daha önceden gerçekleştirilen aynı tipteki projelerin istatistikî analizi sonucu belirlenmektedir. Bu istatistikler kamu ya da özel kuruluşlar tarafından oluşturulmaktadır.

Örneğin ülkemizde Milli Eğitim Bakanlığı tarafından, gerçekleştirilen okul inşaatlarının öğrenci başına ya da sınıf başına maliyetleri kayıt altına alınarak bunlarla ilgili istatistikler meydana getirilmiştir. Aynı şekilde turizm sektöründe örneğin otel inşaatında yatak başına maliyetler Turizm Bakanlığı, sağlık sektöründe örneğin hastane inşaatında yataklı hasta başına maliyetler Sağlık Bakanlığı, tiyatro, sinema veya konser salonu inşaatı için Kültür Bakanlığı tarafından kayıt altına alınan ve hayvancılık sektöründe küçükbaş ve büyükbaş hayvan adedine göre kümes ya da ahır maliyetleri ile ilgili istatistikler bulunmaktadır. [95]

Kamu projelerinde malsahibi BİB ve diğer bakanlıklardaki istatistikleri kullanabilir. Bu arada yüklenici firma adayı da kendi ya da diğer firmaların gerçekleştirdiği inşaatlara dair kayıt altına alınan bilgilerden yararlanarak istatistikler oluşturmaktadır.

Tüm bu istatistikler değerlendirilirken yerleşim, iklim, malzeme, tasarım vb. bakımlardan benzer özellikler taşımasına mümkün olduğu kadarıyla dikkat edilmelidir.

4) Bu birim maliyetler DİE ve/veya İTO indeksleri ile hesap tarihine güncellenip aritmetik ortalamaları alınarak o günkü güncel birim maliyeti bulunmuş olur.

Taslak iş programı mevcutsa indeksler aracılığıyla trend analizi yapılarak yapım tarihi ve bitimindeki birim maliyet projeksiyonu gerçekleştirilebilir.

5) Elde edilen güncel değer in yapılması düşünülen projedeki fonksiyonel birim miktarı ile çarpılması sonucunda yeni projenin ön tahmini maliyeti elde edilir. [115]

Avantajları:

- Bu yöntemde hiçbir çizime ihtiyaç duyulmamaktadır. [34]
- Aynı zamanda birim maliyet yöntemi, bina maliyetinin tahmininde kullanılabilecek en basit ve en hızlı tahmin yöntemidir. [115]

Dezavantajları:

- Karşılaştırılan binalar arasındaki şantiyenin yeri, zemin, yapı kalitesi, tesisat ve piyasa koşulu bakımından farkların bulunmasından ötürü bu yöntem ile belirlenen tahmini maliyete güvenmek oldukça zordur. [35]
- Fiziksel yapıya ait hiçbir bilgi içermemektedir. Binaların arasındaki malzeme kalitesindeki, plan biçimindeki fiziksel farklılıklardan ötürü bina maliyetleri aynı olmaması gerektiği halde aynı birim miktarına sahip binaların maliyetleri aynı hesaplanmaktadır. Bu sebeple alternatif projeler arasında seçim yaparken kullanılamaz. [35]

- İnşaat ve tasarım yöntemlerinden kaynaklanan fiyat farklarının belirlenmesi güçtür. [135]
- Maliyeti azaltmak için tek seçeneğin birim sayısını azaltmak olduğu görülür ki bu da çok yetersiz kalmaktadır.
- Bu yöntemin esnek olmaması nedeni ile bina biçimi ve büyüklüğünden yapım metoduna, malzeme ve donanımlara kadar birçok faktör için karşılaştırma yapılması zordur. [128]
- Tahmini maliyet, çoğunlukla tahmincinin yargısına dayandığından başarı her zaman kritiktir. [128]

Örnek: 24 derslikli 960 öğrencilik bir çok-programlı lise inşaatının İstanbul'un Beşiktaş ilçesinde gerçekleştirileceğini kabul edelim. Daha önce gerçekleştirilmiş benzer özelliklerdeki diğer okul projelerinin istatistiksel analizi sonucu öğrenci başına birim maliyetin 2083,33 YTL olduğu tespit edilmiştir. Bu analiz sırasında yukarıda değinilen kriterler göz önüne alınmalıdır.

Dolayısıyla yeni yapılacak çok programlı lisenin tahmini maliyeti,

$$2.083,33 * 960 = 2.000.000 \text{ YTL olacaktır.}$$

4.1.2 Hacim Yöntemi

Yapının maliyetinin hacmine dayanarak hesaplandığı bir yöntemdir. Bu yöntem özellikle İkinci Dünya Savaşı sırasında yaygın olarak kullanılmıştır. [128]

Bu yöntemde yapı maliyetinin yapı hacmine oranı olarak tanımlanan metreküp maliyet, yükseklik faktörünü de dikkate almak istediğinden doğmuştur. Yöntemin uygulandığı ülkelerde tahmin büroları ellerinde bir küp kitabı bulundurmakta ve bir proje için sözleşme imzalandığında kabul edilen teklifin değerini bina hacmine bölerek bu kitaba işlemekteydi. [128]

Bu yöntem, maliyetleri karşılaştırılan binalar çok büyük benzerlikler taşımadıkça fazla kullanışlı olmamaktadır. Kat adedindeki farklılıklar bile maliyetlerde büyük sapmalara ve hesap hatalarına neden olabilmektedir.

İlave bir kat, birçok imalat miktarını artırır ve maliyete önemli ölçüde yansır. Tüm bu eksiklikler çoğu tip projelerin tahmininde hacim yönteminin terk edilmesine sebep olmuştur.

Bina maliyetinin hacimden çok, döşeme alanı ile sıkı bir ilişki içinde olduğunun anlaşılmasından itibaren bu maliyet tahmin yöntemi bugün de çoğu proje tipinde pek kullanılmamaktadır. Genellikle Devlet Su İşleri kurumunun bazı projelerinde kullanılabilmektedir. [135]

Bu yöntem belli bir hacme sahip bina tipi yapılarda yani depolar, kapalı spor salonları, büro binası vb. yapılarda uygulanabilir.

Bu yöntem aşağıdaki aşamalar doğrultusunda maliyet tahmini ve hesaplamalarında uygulanmaktadır:

- 1) Bu yöntemde yapılacak ilk iş proje tipi seçilir. (hastane, tiyatro binası vb.)
- 2) Belirli kıstaslar göz önüne alınarak benzer projeler veritabanından süzülür.
- 3) Bu aşamada benzer projelerin hacmi hesaplanır. RIBA (Royal Institute of British Architects) tarafından temel işlemsel kuralları konulmuş (şekil 4.2) binanın her bir parçasının, en, boy ve yüksekliğinin (dış ölçüler) çarpımıyla binanın m^3 hacim miktarı elde edilir. [115]

Toplam bina hacmi aşağıdaki açıklamalar doğrultusunda hesaplanmalıdır:

3.1. Dış duvarlar dış yüzeylerinden ölçülerek plan boyutlarına ilave edilir. [115]

3.2. Çatının eğimine ve çatı boşluğunun bulunup bulunmamasına göre bina yüksekliği ölçümü değişmektedir. Eğer çatı eğimli ve çatı boşluğu yoksa binanın temeli üzerinden çatı yüksekliğinin yarısına kadar, çatı boşluğu varsa 2/3'üne kadar bina yüksekliği ölçülür. Eğer çatı düz ise, çatı seviyesi yüksekliğine 60 cm ilave edilir. Saçaklar hacim işlemi yapılırken hesaba katılmazlar. [112]

3.3. Tavan arasındaki pencerelerin, kapı saçaklarının, cumbaların, baca gruplarının, küçük kulelerin, ışıklıkların v.b. ilave hacimler hesaplanarak bina hacmine katılmalıdır. [115]

4) Seçilen projelerin toplam maliyetleri hacimlerine bölünerek birim hacim maliyetleri elde edilir.

Birim hacim maliyeti belirli niteliklere sahip bazı yapı tipleri için, söz konusu işleri yapan kurum ya da kişilerce oluşturulan istatistikler aracılığıyla da belirlenebilir. Örneğin, ayaklı su deposu inşaatı yapmak için Yol Su Elektrik, Devlet Su İşleri gibi kurumlarda, depolanacak su miktarını dikkate alan ton/YTL cinsinden depo maliyetleri bulunmaktadır.

5) Bu gibi istatistiksel bilgiler ile daha önceden gerçekleştirilmiş benzer tipteki binaların maliyetlerinin toplam hacimlerine bölünerek elde edilen birim hacim maliyetleri DİE veya İTO indeksleri ile aynı tarihe güncellenir.

6) Güncellenen birim hacim fiyatlı maliyetlere sahip projeler istatistiksel yazılımda değerlendirilerek ortalama birim maliyet belirlenir.

7) Yeni projenin hacmi parselasyonu yapılmış bölgelerde, bölgenin imar yönetmeliklerine göre inşa edilecek arazi üzerinde taban alanı TAKS katsayısına göre belirlenir fakat yoldan çekme uzaklıklarına göre hesap yinelenir, KAKS katsayısına göre de binanın yüksekliği hesaplanır. Parselasyonu yapılmamış bölgelerde ise belediyeler ya da valiliklerce izin verildiği kadarı ile binanın eni, boyu ve yüksekliği tespit edilir. Daha sonra yukarıda açıklanan RIBA ölçüm kuralları ile yeni binanın hacmi hesaplanır.

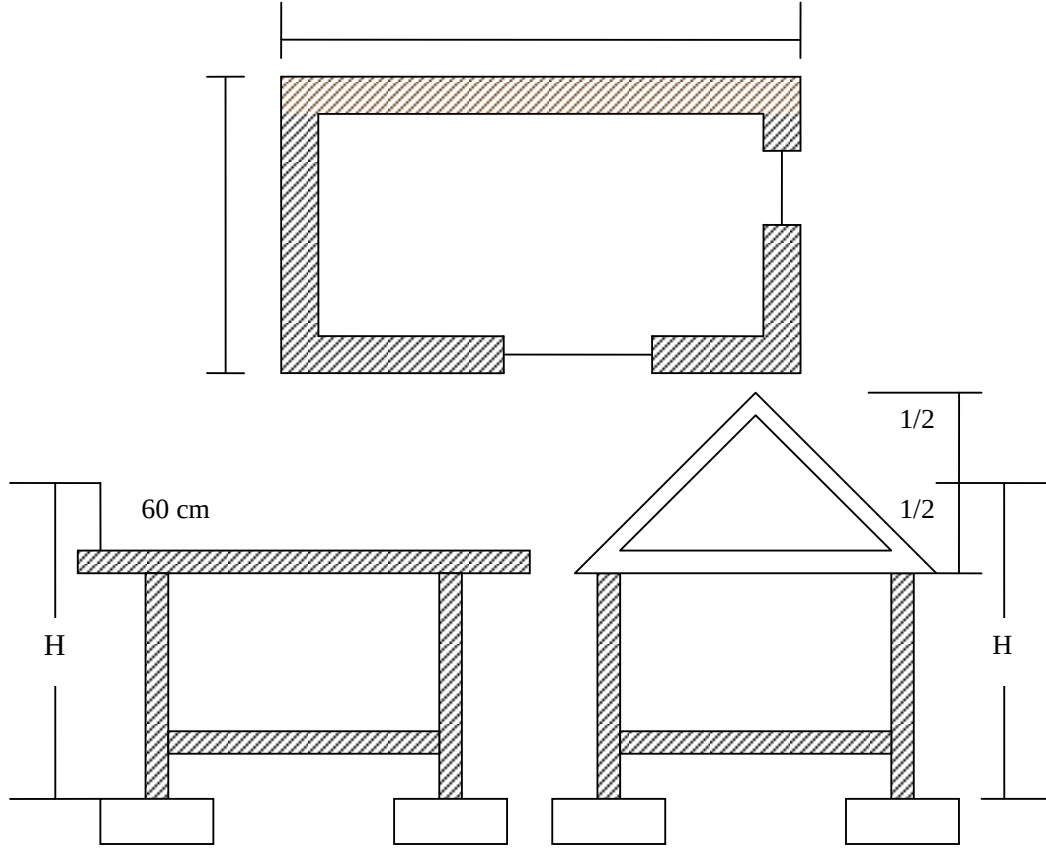
8) Yeni projenin maliyetin bu hacim değeri ile birim hacim maliyet değerinin çarpılması sonucu elde edilir. [34]

Avantajı: Bu yöntemin tek avantajı kolaylığıdır. [128]

Dezavantajları:

- Yapı sahibini faydalı alan hakkında bilgilendirmeme,
- Plan formu, kat sayısı gibi faktörleri dikkate almaması, [115]
- Ayrıca binanın özelliklerine bağlı olarak m³ birim fiyatının belirlenmesi de oldukça zordur.

Aynı yapı hacmine sahip binaların maliyetini eşit veren yöntem ile avan proje aşamasında hesap yapılabilmesine karşın, gerçekte farklı maliyete sahip olan alternatif projeler arasında seçim yapılamaz. [35]



Şekil 4.2: Birim Hacim Yönteminde RIBA Premetrik Ölçüm Kuralları

Örnek: İnşa edileceği bölgenin imar yönetmeliğine göre TAKS ve KAKS itibari ile taban alanı 375 m² (25m*15m) olan sekiz katlı ve bina yüksekliği 30 m olan bir büro binasının maliyeti tahmin edilmek istenmektedir. Binanın temelini zeminden 1.50m aşağıda ve çatının teras olduğunu kabul ederek bina hacmi 12038 m³ hesaplanmaktadır. (yukarıda açıklanan RIBA kurallarına göre hesaplanmaktadır. (+0,60 m teras kat ilavesi) Yapılan analizler sonucu birim m³ maliyetinin 101,18 YTL olduğu belirlenmiştir. Bu durumda toplam maliyet

$101.18 \text{ YTL/m}^3 * 12038 \text{ m}^3 = 1.218.005 \text{ YTL}$ tahmin edilmektedir.

Sekiz katlı fakat kat yüksekliklerinin aynı olduğu ve de toplam bina yüksekliğinin değişmediği binanın maliyetini hesaplamak istersek yine aynı maliyet bulunacaktır. Her yeni katın maliyeti belirli bir oranda artıracığı göz önüne alınmalıdır. Çünkü her yeni kat binanın taşıyıcı sistemine daha fazla yük bindirecek, daha fazla kapı, pencere, tuvalet, daha fazla tesisat masrafı olacaktır. Bunların da m3 maliyete eklenmesi gerekir.

4.1.3 Alan Yöntemi

Birim alan yöntemi, plan alanı ilişkisiyle maliyeti belirleyen ve uygulamada en çok kullanılan bir yöntemdir. Planın biçimsel yönden özellik göstermediği ve kat yükseklikleri arasındaki farklılaşmaların az olduğu durumlarda kullanılabilir.

Bu yöntemde kullanılacak projeler % 100 tamamlanmış olmalıdır. [104]

Bu model konut, fabrika, depo, hastane, okul, kule vb. inşaat projelerinde uygulanabilir.

Bu yöntem aşağıdaki aşamalar doğrultusunda ön maliyet tahmininde uygulanır.

- 1) Proje tipi seçilir. (konut, otel, hastane vb.)
- 2) Belirli kıstaslar göz önüne alınarak benzer projeler proje veritabanından süzülür.
- 3) Bu aşamada belirlenen yapıların yatay izdüşümdeki kat alanlarının toplamı hesaplanır.
- 4) Seçilen projelerin maliyetleri alanlarına bölünerek birim alan maliyetleri bulunur.
- 5) Birim alan maliyetleri DİE Bina İnşaat Maliyet İndeksi ve İTO indeksleri ile belli bir tarihe, trend analizi ile gelecekteki bir tarihe güncellenir
- 6) Güncellenen birim fiyatlı maliyetlere sahip projeler istatistiksel yazılımda değerlendirilerek ortalama birim maliyet belirlenir.
- 7) Yeni projenin yatay izdüşümdeki kat alanlarının toplamı hesaplanır. Parsellenmiş bölgede bölgenin imar yönetmeliklerine göre inşa edilecek arazi üzerinde taban alanı (m^2) TAKS katsayısına göre belirlenir.

Fakat yoldan çekme mesafelerine göre 7. aşamadaki hesap yinelenir daha sonra KAKS katsayısına göre de binanın yüksekliği ve kat yüksekliğinden kat sayısı hesaplanır.

Parsellenmemiş bölgelerde belediyeler ve valiliklere göre belirlenir. Bodrum kat sayısı da arazinin durumuna ve binanın arazideki yönüne göre bulunur. Binadaki betonarme plaklar ile birlikte temel ve çatı alanlarının toplamı ile toplam inşaat alanı (TİA) hesaplanmaktadır.

8) Yeni projenin toplam inşaat alanı istatistiksel analizden bulunan birim maliyetle çarpılarak ön tahmin değeri bulunur.

Avantajları:

- Hacim ve birim yöntemlerine göre daha hassastır.
- Maliyetin döşeme alanı ile olan ilişkisi hacmi ile ilişkisinden daha fazladır. [128]
- Bu yöntem bina planının biçimsel açıdan farklılık göstermediği ve kat yüksekliklerinin arasındaki değişiklikler büyük değilse kullanılabilir.
- Plan şeması, büyüklük vb. gibi faktörler, göz önüne alındığından bu yöntem sonucu elde edilen tahmin güvenilir olmaktadır. [115]

Dezavantajları:

- Bu yöntemde üçüncü boyuta ait özellikler yoktur. Bu da bina kabuğunda oluşan ve farklı malzeme girdilerinden dolayı denetlenemeyen bir takım maliyet sapmalarının oluşmasına neden olmaktadır. [35]
- Plan şeklindeki değişiklikleri ve toplam bina yüksekliğini doğrudan hesaba almaz. [35]
- İnşaat yeri ve koşulları, inşaat yöntemleri, malzemeler, dış yüzey kalitesi, tesisat özellikleri ve kalitesi gibi birçok değişkene dağıtım yapılması gerektiğinden dolayı mevcut binaların bilinen fiyatlarının değerlendirilerek m² birim fiyatının tespit edilmesi zordur.

- Avan proje evresinde maliyet hesabı yapılacak aynı alana sahip iki binanın bu yöntem sonucu maliyeti aynı olmasına rağmen gerçekte farklı olmasından dolayı projeler arasında seçim yapılamaz. [35]
- Kat yüksekliği, plan biçimi, büyüklüğü, inşaatların kalite sınıfları arasındaki farklar gibi etkenler gözönüne alınmadığı için sonuçlar yeteri kadar hassas değildir. [34]
- Alan yöntemi, bina kat yüksekliği çok fazla ise güvenilir değildir. [128]
- Bayındırlık ve İskân Bakanlığı m² maliyet verileri bir yıl için belirlenmekte bu nedenle bu bilgiler tahminin gerçekleştirileceği gün için güncel nitelik taşımamaktadır.

Örnek: İstanbul'un Nişantaşı ilçesinde 4 katlı bir katlı otopark yapılacağını kabul edelim. Bir katı 400 m² düşünülen bu katlı otoparkın brüt inşaat alanı 1600 m² olacaktır. Veritabanındaki daha önce gerçekleştirilen benzer katlı otopark projelerin analizi sonucu m² birim maliyetinin 300 YTL olduğu belirlenmiştir. Bu durumda katlı otoparkın maliyeti 480.000 YTL olacağı belirlenmiştir.

4.1.4 Kat Kabuğu Yöntemi

Kat kabuğu yöntemi, yapının dış duvarları, kat döşemeleri ve çatı döşemesi alanlarının hesaplanarak bu alanların da her birinin belirli katsayılarla çarpılması sonucu elde edilen değerlerin toplamı sonucunda “kat kabuğu” olarak adlandırılan değer ile yapının maliyeti arasında kurulan ilişkiye dayanmaktadır. [34]

Bu model depolar, büro binası vb. gibi inşaat projelerinde uygulanabilir. Bu modeldeki parametreler bina tipi, inşaatın yapıldığı yer, (kat döşeme alanları, çatı alanı ve dış duvarların alanıdır).

Bu model aşağıdaki aşamalar doğrultusunda uygulanır:

- 1) Proje tipi seçilir. (otel, apartman, hastane vb.)
- 2) Belirli kıstaslar göz önüne alınarak benzer projeler proje veritabanından süzülür.
- 3) Seçilen projelerin kat kabuğu değeri hesaplanır.

Kat kabuğu değeri hesabı belirtilen açıklamalar doğrultusunda yapılmalıdır:[128]

3.1. Zemin seviyesindeki döşeme alanı 2 ile çarpılır. Eğer zemin seviyesinin altında kat varsa o katın döşeme alanı 3 ile çarpılır. Bu alanlara dış duvarların kapladığı alan dâhil değildir.

3.2. Normal kat döşemesi alanları iki ile çarpılır ve birinci kat için %15, ikinci kat için % 30, üçüncü kat için % 45...ilave edilir.

3.3. Dış duvar alanı hiçbir katsayı ile çarpılmadan hesaplanır. Zemin kotunun altındaki duvar alanları ise 2 ile çarpılır.

3.4. Saçak boyutları plan üzerinden ölçülen çatı alanına ilave edilir.

4) Seçilen projelerin maliyetleri kat kabuğu değerine bölünerek birim kat kabuğu maliyetleri bulunur.

5) Birim kat kabuğu maliyetleri DİE Bina İnşaat Maliyet İndeksi ve İTO indeksleri ile belli bir tarihe, trend analizi ile gelecekteki bir tarihe güncellenir.

6) Güncellenen birim fiyatlı maliyetlere sahip projeler istatistiksel yazılımda değerlendirilerek ortalama birim kat kabuğu maliyeti belirlenir.

7) Yeni projenin kat kabuğu değeri hesaplanır. İnşaatın gerçekleştirileceği bölgede parselasyon yapılmışsa bölgenin imar yönetmeliğinde belirtilen TAKS ve KAKS katsayıları ile taban alanı, kat döşeme alanları ve kat yükseklikleri hesaplanır. Parselasyonsuz bölgelerde belediyeler ve valiliklere göre kat döşeme alanları ve kat yükseklikleri hesaplanır. Daha sonra binanın kat kabuğu değeri hesaplanır.

8) Kat kabuğu değeri ile istatistiksel analiz sonucu belirlenen birim kat kabuğu maliyetleri çarpımı sonucu yeni projenin maliyetinin ön tahmini değeri bulunur.

Yukarıdaki diğer ortalama birim maliyet tahmin yöntemlerinde de olduğu gibi istatistiksel bilgiler analiz edilirken mümkünse ikinci keşif değerlerinin istatistiksel veri olarak kullanılmasına ve de yerleşim, iklim, malzeme, tasarım bakımından benzer projelerin değerlendirmeye katılmasına özen gösterilmelidir.

Avantajları:

- Binanın plan şemasına daha fazla önem verdiği için diğer metotlardan daha hassas sonuçlar verir. [34]
- Yöntem plan biçimini, kat yüksekliklerini ve yapının tüm yüksekliğini hesaba kattığından diğer modellerden daha başarılı bulunmaktadır.

Dezavantajları:

- Veriler kolay elde edilememekte bu da yöntemin kullanımını engellemektedir. [115]
- Tüm duvar, döşeme ve çatının tek tek alanları ölçüldükten sonra ayrı katsayılarla çarpılması yöntemin eleştirilmesine sebep olmuştur.
- Bu yöntem de binanın fiziksel formunu gözönüne almamaktadır. [128]

Örnek: Bu yöntem ile tahmin için fizibilite araştırmaları sonrası belirlenmiş arsanın TAKS ve KAKS sayılarına göre taban alanı (25*14m) ve kat sayısı belirlenen, 30 m bina yüksekliği kabul edilen, 7 katlı bir hastane binasının kat kabuğu değeri hesabı şu şekilde hesaplanır.

Zemin kat: $350 * 2,00 = 700,00 \text{ m}^2$

1. kat: $350 * 2,15 = 752,50 \text{ m}^2$

2. kat: $350 * 2,30 = 805,00 \text{ m}^2$

3. kat: $350 * 2,45 = 857,50 \text{ m}^2$

4. kat: $350 * 2,60 = 910,00 \text{ m}^2$

5. kat: $350 * 2,75 = 962,50 \text{ m}^2$

6. kat: $350 * 2,90 = 1015,00 \text{ m}^2$

Çatı: $350 * 1,00 = 350,00 \text{ m}^2$

Dış: $2340 * 1,00 = \underline{2340,00 \text{ m}^2}$

8692,50 m²

Kat kabuğu birim maliyeti istatistiksel analizler sonucu 298 YTL olarak belirlenmiştir.

Bu durumda tahmini toplam maliyet kat kabuğu birim maliyeti ile çarpıldığında

$$8692,50 \text{ m}^2 * 298 \text{ YTL} / \text{m}^2 = 2.590.365 \text{ YTL hesaplanır.}$$

4.1.5 Nedensel (Deneysel) Tahmin Yöntemi

Bu yöntemde maliyet hesabı maliyeti etkileyeceği tahmin edilen parametreler üzerinde istatistikî ve deneysel çalışmalar sonucu gerçekleştirilir. Çalışmalar sonucunda ortaya çıkan matematiksel formüller aracılığıyla projenin toplam maliyeti tahmin edilmeye çalışılır. Buradaki yöntemler gözlemlere, deneylere, tecrübeler ve sezgiye dayanmaktadır

Örnek Çalışmalar:

İftikhar Kamil Madni [78], 1999 yılında hapisane maliyetini, otel, hastane ya da okul inşaatları gibi m² maliyet, yatak sayısı, hücre sayısı gibi bir parametre ile hesaplayabilmenin mümkün olmamasından yola çıkmıştır.

Hapishanenin farklı alanlarında farklı inşaat gerekmektedir: maksimum x minimum güvenlik, tutuklama alanları x cezalandırma alanları, yatakhaneler x tek kişilik hücreler gibi bu faktörler göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle Madni bunları değerlendirerek bir deneysel tahmin gerçekleştirmektedir.

İlk olarak daha önceden inşaatı gerçekleşmiş Amerika'daki benzer 6 hapisane ile ilgili olarak maliyet, inşaat programı (başlangıç ve tamamlanma tarihleri ile), hükümlü sayısı (maksimum, orta ve minimum güvenlikte), brüt inşaat alanı, varolan binaya ilave binaların alanları, renovasyonların alanları, saha maliyeti, özel temel fiyatı vb. değerler alınmıştır. Başlangıç ve tamamlanma tarihlerinin ortasındaki tarih bu çalışmada kullanılmıştır. 1996–1998 yılları arasında gerçekleştirilen bu projelerin maliyetleri yeni binanın başlangıç ve ortalama tarihi olacak olan 1 Ocak 2000 yılına ve ulusal ortalama indekslerle ayarlanmıştır.

Daha sonra yatak sayısı, hücre sayısı ve toplam inşaat alanı değerleri ile maliyet değerleri veriler arasından seçilerek yatak sayısı-proje maliyeti, hücre sayısı-proje maliyeti ve toplam inşaat alanı-proje maliyeti x-y düzleminde olmak üzere işaretlenerek en küçük kareler yöntemine göre eğriler çizilmiştir.

Örneğin, ABC firması orta-maksimum güvenlikte bir hapisane inşaatı için teklif vermek üzere davet edilmiştir. Yaklaşık başlangıç zamanı ve toplam proje süresi de belirtilmiştir. Hapisane inşaatı için belirli bir bütçe ayrıldığı da belirtilmiştir. Aynı zamanda ne kadar hükümlü için ve ne kadarının ağır cezalı hükümlü olacağı da belirtilmiştir. Fakat alan ile ilgili hiçbirşey belirtilmemiştir.

Bu durumda ilk önce yukarıdaki eğriler daha önceden gerçekleşmiş benzer özellikteki projelerin ele alınması ile oluşturulur. Daha sonra yatak sayısından hareket edilerek proje maliyeti, hücre sayısından hareket edilerek yine ikinci bir proje maliyeti değeri belirlenir. Daha sonra bu iki değer ortalama alınarak ortalama maliyet belirlenmiş ve bu maliyete göre yine önceden gerçekleşmiş projelerin maliyet-alan doğrusu ile alanı belirlenmiştir. Fakat bu maliyet yukarıda belirtildiği gibi eğrilerin oluşturulması için ulusal ortalama ve belli bir zaman içindir.

Bu nedenle bu maliyet değerinin yeni gerçekleştirilecek proje için yine indekslerle ayarlanması gerekir. Ayrıca bu maliyet değerine mimarlık-mühendislik ücretleri, inşaat yöneticisi ücreti, arsa fiyatı ve diğer malsahibine ait maliyetler ilave edilmemiştir. İndekslerle güncellenmiş maliyet değerine bir de mimarlık-mühendislik ücretleri ilave edilmeli (%5–10), diğerleri malsahibine ait olması dolayısıyla yüklenici fiyatı teklifinde yer almamalıdır. Yukarıdaki durum için son olarak da güvence maliyeti ilave edilmelidir. (%10 - %20)

4.1.6 Regresyon Analizine Dayalı Parametrik Maliyet Tahmini Yöntemi

Parametrik tahmin metodu, proje maliyetinin projenin bir ya da daha fazla parametresi ile ilişkisine dayanarak tahmin edilmesidir. Parametrik metot bir matematiksel modelde proje karakteristiğini kullanmayı içermektedir. Bu metot ilk olarak bina parametreleri ile bina maliyeti arasındaki ilişkilerin saptanmasıyla geliştirilir. Bu amaçla en çok kullanılan teknik lineer regresyon analizidir. Oluşturulan model tek parametrelili basit ya da çok parametrelili karmaşık olabilir.

Creese ahşap köprülerin maliyet tahmininde parametrik yöntemi uygulamıştır. Al Khalil su rezervuarlarının toplam proje maliyeti tahmini için rezervuarın kapasitesine, inşaat süresine ve ulaşım endeks parametrelerine dayalı parametrik tahmin metodunu kullanmıştır. Hegazy, Al Tabtabai, otoyol projelerinin maliyet tahmininde kullanmışlardır. [98]

Parametrik tahmin, kullanışlı bir tahmin oluşturabilmek için geçmiş tecrübelerle sahip bir kullanıcı/tahminci ve muhakemesinin gerekli olduğu bir yöntemdir. Tahminci bilgisayar tarafından oluşturulan miktarları incelerken ve uygulamalarında muhakemesini kullanırken, bilgisayar veriyi sınıflandırmalı, matematiksel hesaplamalar sağlamalı, veri dosyalarını ve veritabanını güncellemelidir. [83]

Parametrik tahminin en önemli zayıflığı ne kadar fazla girdi sağlanırsa o kadar çok doğru olmasıdır, farklı proje model sayısı veritabanında arttıkça tahmincinin erken proje aşamalarında parametrik tahminler hazırlama yeteneği artacaktır. [83]

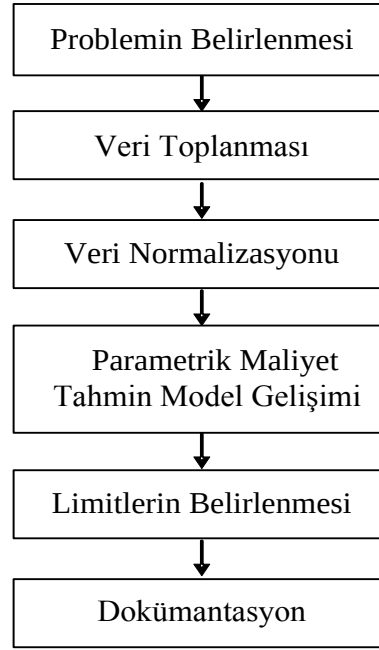
Parametrik maliyet tahminin amacı minimum veri kullanarak gözlemlenen dünyayı yansıtan algoritmalar veya matematiksel modeller üretmektir.

Parametrik tahmin modeli kullanılarak oluşturulan tahminlerin doğruluğu $\pm 5\%$ ile $\pm 25\%$ arasındadır. Kullanılan mühendislik verisinin ve ekipman maliyetlerinin kalitesine bağlıdır. [82]

Parametrik tahmin prosedürü şekil 4.3'teki gibidir. [98]

Parametrik maliyet tahmin modeli 6 aşamada geliştirilmektedir:

1. aşama, her türlü bilimsel metodun ilk aşamasındaki gibi çalışmanın amacının ve çapının belirlenmesidir.
2. aşama, veri toplanmasıdır. Parametrik maliyet tahminleri için gerekli tasarım ya da mühendislik parametreleri geçmiş maliyet veritabanlarından geliştirilir.
3. aşama, verinin normalizasyonudur. Bu aşamada tüm veriler aynı bazda ayarlanmalıdır. Yani projelerdeki veriler yer ve zaman farklılıkları için ayarlanmalıdır.



Şekil 4.3: Parametrik Maliyet Tahmin Prosedürü

4. aşama, modelin geliştirilmesi aşamasıdır. Bu aşamada modelde kullanılacak bağımsız değişkenleri belirlenir ve maliyet tahmini ilişkileri türetilir. Modelde kullanılan parametrelerin seçimi sadece istatistiksel geçerliliğe dayanmamalı aynı zamanda mantıksal ve teorik düşüncelere de dayanmalı. Maliyet tahmin ilişkileri bir veya daha fazla değişken ya da parametrenin fonksiyonu olarak proje maliyetini karakterize eden istatistik modellerdir. [98]

Makaleler ve kitapların araştırılması sonucunda bina bileşenlerinin maliyeti ile tekil bina parametreleri arasındaki ilişkiler tespit edilmiştir. Aşağıdaki tablo 4.1’de literatür araştırması sonucu bileşenler ve ilgili parametreler gösterilmektedir. [98]

Geleneksel olarak maliyet tahmin ilişkileri geçmiş proje bilgilerine regresyon analizi uygulanması ile geliştirilir. Bu ilişkilerin belirlenebilmesi için bu konuda çalışan araştırmacılar tarafından çok sayıda gözleme dayanılarak yapılması gereken bir istatistiksel analiz çalışması, çoklu regresyon analizi yöntemi gerekmektedir. [16]

Regresyon analizi, bağımsız değişkenlerden bağımlı değişkenleri hesaplayabilmenin yanında, yapılan işlemlerin sonucunda sistemin hata payını ölçmek ve değişkenler arası ilişkinin güçlülük derecesini ölçmek amacıyla gerçekleştirilir. [34]

Nedensel modellerde örneğin yukarıda örneği verilen bir hapishane maliyeti tahmini örneğinde tasarım değişkenleri ile maliyet arasındaki ilişki sabit ve bunlar matematiksel olarak tanımlanabilir. Fakat sosyal bilimlerin ve insana dayalı gözlemlerin kullanıldığı, aynı zamanda birden fazla değişkenin bir arada bulunduğu bu modelleri açıklamak için istatistikî modellerin kullanıldığı regresyon analizlerinden faydalanılmalıdır. Regresyon modellerinde amaç, olaylar arasındaki neden-sonuç ilişkilerini inceleyerek ilişkinin niteliğini ortaya çıkartmaktır. [34]

Tablo 4.1: Bina Parametresi ile Alakalı Bina Maliyeti Bileşenleri

Bina Parametresi	Alakalı Bina Maliyet Bileşeni
Kaynak: Dell’Isola ve Kirk, 1981	
1. Toprak seviyesinde inşaat alanı	a. Temel b. Altyapı
2. Toprak seviyesi üzerindeki döşemelerin alanı	a. Üstyapı - döşeme
3. Çatı alanı	a. Üstyapı – çatı b. Çatılama
4. Dış duvar alanı	a. Dış cephe kaplaması
5. Alan, dış kapılar / pencereler	a. Dış kapılar, pencereler
6. Bitirilen, kaplanan toplam alan	a. İç (interior) inşaat
7. Brüt saha alanı	a. Saha işleri
8. Toplam kaplanan (enclosed) hacim	a. Mekanik
9. Transformer Oranlaması	a. Elektrik
Kaynak: Collier, 1984	
1. Binanın toplam alanı	a. Döşemeler b. Çatılar c. Bölmeler d. Mekanik e. Elektrik
2. Binanın çevresi	a. Dış Cephe Kaplaması b. Parapetler
3. Kullanıcı sayısı	a. Asansörler b. Su Tesisatı

Regresyon analizlerinin en basit şekli, iki değişken arasındaki ilişkiyi elde edilen veriler ile çizilen bir lineer doğru ile açıklar. Bu yöntem, iki değişkenli lineer regresyon olarak bilinir.

Tahmin edilmek istenen değere sahip faktör, bağımlı değişken olmakta ve “y” ile gösterilmektedir. Bağımsız değişken ise “x” ile ifade edilir. Bu değişkenler arasında nedensel bir ilişki bulunması gerekmez. İki değişkenli lineer regresyon için formül [128,]

$$y = a_0 + a_1 x_1 \quad (4.1)$$

Fakat yapının inşaat maliyetini etkileyen çok sayıda faktör vardır. Örneğin; bir büro binasında yükseklik, form, kalite, tesisat sistemleri gibi faktörler sayılabilir. Bu durumda, daha geliştirilmiş bir teknik olan katlı regresyonu kullanmak daha doğru bir sonuç verecektir. Burada da aynı prensipler uygulanabilir, ancak sadece üç değişken varsa, sonucu bir dağılım diyagramı üzerinde çizmek mümkün değildir. Regresyon modelinde kullanılan katsayıları bulmak için paket programlar kullanılmaktadır. Katlı regresyon formülü aşağıda verilmiştir: [128]

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n \quad (4.2)$$

Burada “x” sırası ile her bir bağımsız değişkenin değeridir. “a” katsayıları ifade etmekte olup, sayısı seçilen değişkenlerin sayısına bağlıdır. [128]

Bu yöntem, oldukça başarılı bir şekilde basit bina tipleri ve hatta tesisat sistemlerinde kullanılmaktadır, fakat değişken seçiminin kullanıcıya bırakılması çeşitli sakıncalar doğurmaktadır. Kullanıcı, değişkeni bilmediğinden ya da önemsiz gördüğünden çok önemli bir değişkeni göz önüne almayabilmektedir. Değişkenlerin seçiminde maliyetle çok sıkı ilişkili olanlar tercih edilir, birbiriyle çok basit ilişkili olanlar göz önüne alınmaz ve değişken sayısının veri noktaları sayısının altında kalması sağlanır. [128]

Değişkenler arasındaki bağıntılar lineer olabildiği gibi pek çok durumda eğrisel ya da kırıklı olabilir.

Hangi eğrinin kullanılacağına karar vermek için, değişkenlerin dağılım grafiğini elde etmek yardımcı olacaktır. Eğrilerin verilere uygun olarak geçirilmesinde bilgisayar programları kullanmak hız kazanılmasını sağlar. [128]

Regresyon modelleri, model içinde değişkenlerin paraya ilişkin öğelerinin birleştirilmesini sağlamaktadır.

Değişkenler için birim fiyatlar sabitler içine dâhil edilirler. Bu zamanla sabit modelleri üretir. Bunların enflasyona göre düzeltilmesi gerekir. [4]

Bu model konut, laboratuvar, banka, bürolar, mağazalar, endüstri yapıları, apartmanların inşaat maliyeti hesaplamasında kullanılır. Yöntemin parametreleri oluşturulan modellere göre değişmektedir.

Regresyon analizine dayalı maliyet tahmin yöntemi için kullanılacak modelin uygulama adımları aşağıdaki gibidir:

- 1) Belirlenen kıstaslara uygun gözlemler alınır.
- 2) Modelde kullanılacak maliyeti etkilediği düşünülen değişkenler belirlenir. Çoklu regresyon analizinde daha çok “stepwise” yöntemi kullanılarak bağımsız değişkenler, tanımlanmış istatistiksel kriterlere göre denkleme alınıp çıkarılırlar. Alınacak ya da çıkarılacak bağımsız değişken kalmayınca kadar devam edilir.
- 3) Değişkenlerin tespitinden sonra gözlemler doğrultusunda oluşturulan serpilme diyagramları üzerinde regresyon doğrusu çizilir. Önceden gerçekleştirilmiş projeler göz önüne alınarak tahmin edilen değer ile gözlenen değer arasındaki farkın karesini minimum yapmaya çalışan en küçük kareler metodu ile ilişki kurulmaya çalışılır. [115]
- 4) Oluşturulan tahmin modeli sınanır yani hesaplama sonuçları değerlendirilir. Bu değerlendirme üç gruptan meydana gelir. Birincisi, modelin konu alanı ile ilişkili kuramsal ya da önsel kıstaslar, ikincisi istatistik kıstaslar (birinci dereceden kıstaslar), üçüncüsü ise ikinci dereceden sınamalar olarak isimlendirilmektedir. [22]

Birincisi parametrelerin işaretleri ile ilgilidir. Eğer parametrelerin işareti kuramsal hipotezde belirtilen ile uyuşmuyorsa parametre tahminleri kabul edilmez. Fakat eğer belirtilen durumda kuramsal hipotezin geçerli olmaması için sağlam sebepler varsa kabul edilmektedir.

İkinci olarak gelen istatistik kıstaslarda ise bağımlı değişkendeki toplam değişimin yüzde kaçını bağımsız değişkenlerin açıkladığını gösteren belirlilik katsayısı (korelasyon katsayısının karesi) ile denklemin parametre tahminlerinin maliyet üzerinde anlamlı bir etkilerinin olup olmadığının (t testleri) sınanmasıdır. Eğer $r^2=0,90$ ise regresyon doğrusu gözlem verilerine iyi bir uyum göstermekte ve kartezyen ekseninde maliyetin kendi ortalaması etrafındaki değişiminin %90'ını açıklayabilmektedir. [22]

İkinci dereceden sınamalar da yöntemin varsayımlarının sınanmasıdır. Bu sınamaların en önemli kıstaslarından birisi “ardışık bağımlılık” diğeri de “çoklu doğrusallıktır. Çoklu doğrusallık açıklayıcı değişkenler arasında doğrusal ilişkilerin bulunduğunu belirtmek için kullanılır. Değişkenler arasındaki karşılıklı bağımlılık SPSS programındaki tolerans kavramıdır. [22]

Son zamanlarda parametrik maliyet modelinin oluşturulmasında yapay sinir ağıları metodu da kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalar bu tekniğin inşaatta kullanışlılığını gösterse de yapay sinir ağıları metodu türeme sürecinin açıklanmasının zorluğundan kara kutu olarak kabul edilmektedir. Metodoloji aynı zamanda model gelişimi sırasında bağlantı ağırlıklarının yerleşiminde deneme-yanılma gerektirir. Fakat genetik algoritma gibi tekniklerle bu sorun ortadan kalkmıştır. Yapay sinir ağıları ve genetik algoritmalar ile parametrik tahmin metodu yapay zekâ teknikleri ile ön tahmin kısmında açıklanmaktadır. [98]

Krig parametrik modelin başarısını tahmini yapılan bina projelerinin tekrarlanabilir karakteristiklerinin yakalanmasına bağlı olduğunu açıklamaktadır. [98]

5. aşama, modelin limitlerinin belirlenmesidir. Parametrik model sınırlı bir veri setinden elde edilmektedir. Bu nedenle oluşturulan model, modelde kullanılan değişkenlerin değer aralıkları için geçerlidir.

Enterpolasyon (interpolation) daha doğru yapılır ve ekstrapolasyon (extrapolation) tahminin geçerli olduğu aralık üzerinde her zaman dikkatli yapılmalıdır. Ekstrapolasyon bu aralık üzerinde doğruluğu kanıtlanamayan sonuçlar üretecektir. [98]

6. aşama, model gelişim sürecinin dokümantasyonudur. Modelin varsayımları ve limitleri modelin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için dokümente edilmelidir. Modeldeki ve verilerdeki belirsizlikler mutlaka not edilmelidir. Veri koleksiyonundaki bilgiler ve ifadelerin anlamları bütün hesaplama metotları ile model gelişimi dokümente edilmelidir.

Regresyon analizine dayalı parametrik ön tahminin avantajları şunlardır:

Birim metot mikro seviyede, daha detaylı iken parametrik metot daha makro seviyede, daha geneldir.

Parametrik tahmin farklı tasarım alternatiflerini değerlendirir.

Parametrik maliyet tahmin modeli organizasyonun tecrübelerini ve inşaat projelerindeki uzmanlaşma derecelerini yansıtır. Daha verimli ve hızlı tahmin süreci sağlar. Sistematik ve miktarsal yaklaşım tahmin sürecindeki subjektifliği azaltır ve tutarlı tahminler oluşturur. [98]

Regresyon analizine dayalı ön tahmin yönteminin dezavantajları:

Tanımlayıcı regresyon modellerinin pratikteki doğrulukları yayınlanmış teorik bilgilere göre daha azdır. Bu modellerin ön tasarım evresinde tüm binanın maliyetinin tahmin edilmesi amacıyla ve bakım-işletme maliyetlerinin tahmini için kullanılması gerektiği belirtilmektedir. [128]

Yanlış değişken seçimi yapılabilir. Değişken seçiminde maliyet ile çok sıkı ilişkisi bulunanlar seçilmelidir. Ancak birbirleri ile çok basit ilişkili olan değişkenlerin seçilmesi yanlış sonuç verir. [35]

Bu yöntemle oluşturulan modellerden bazıları şunlardır:

4.1.6.1 Regresyon Analizine Dayalı Parametrik Ön Tahmin Örnek Çalışmaları

Kouskoulos ve Koehn Çalışması

Bu yöntemin kullanılması fikrinin ilk olarak Loughborough Teknik Üniversitesi İnşaat Yönetimi Prof. E.G.Trim tarafından ortaya konmasından sonra Kouskoulos ve Koehn tarafından 1974’de 1963–1972 yılları arasında 38 binalık bir örnekleme dayanarak, 6 bağımsız değişkenin indeksleri ile bir çoklu regresyon analizi sonucu ön maliyet tahmin fonksiyonu olarak geliştirilmiştir. [98]

Bu fonksiyon,

$$C = -81,49 + 29,23.V_1 + 10,97.V_2 + 6,23.V_3 + 0,167.V_4 + 5,26.V_5 + 30,9.V_6 \quad (4.3)$$

C : Birim alan (m^2) başına maliyet. ($\$/m^2$)

V_1 : Yerleşim indeksi (Amerika’da) (Bina Yapım Maliyet Verileri’nin Building Construction Cost Data yayınlarından)

V_2 : Fiyat indeksi. (İnşa edilen yıla bağlı olarak)

V_3 : Bina tipi.

V_4 : Yükseklik indeksi. (Kat sayısı)

V_5 : Kalite indeksi. Bu indeks ile,

1. Yapımda kullanılan malzeme ve işçilik kalitesi,
2. Bina kullanımı,
3. Tasarım gücü,
4. Malzeme tipi ve bileşenlerde kullanılan kalite ölçülür.

V_5 şu şekilde belirlenir:

$$V_5 = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k I_i \cdot C_j \quad (4.4)$$

k : bina bileşenlerinin sayısı

C : I.'inci bileşenin maliyetinin payı

I : Bileşenlere uygulanan 1 ile 4 arasındaki tamsayı (şöyle, böyle, ortalama, güzel ve mükemmeli ifade etmek üzere)

Bu modelde bina bileşeni sayısı sekizdir. Bunlar binanın kullanımı (çok kullanıcı, tek kullanıcı, karışık vb.), bina tasarımı (minimum, ortalama, yüksek yükler, v.b.), dış duvarlar, su tesisatı, döşemeler, elektrik tesisatı, HVAC (ısıtma-havalandırma tesisatı), asansördür.

V_6 : Teknoloji indeksi. (Yeni teknolojik ürünlerin kullanımı ile azalan maliyetleri ifade etmek için oluşturulmuştur.

$V_6=1$ ise bina normal durumda,

$V_6<1$ ise teknolojiden dolayı maliyet azalmakta,

$V_6>1$ ise artan maliyetler için kullanılmaktadır.

Örneğin, kimya laboratuvarı için 1.45, bankalar için 1.75 katsayısı kullanılmaktadır. [16]

G. Schaffier Çalışması,

Bu model 1978 yılında Almanya'da G. Schaffier tarafından yapılmış bir çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilmiş modeldir. Bu denklem daha önceden gerçekleştirilmiş 63 adet örnek proje verileri ile 4–20 katlı apartman tipi konut binaları için oluşturulmuştur. [16]

Bu denklem:

$$\begin{aligned} ISB/ HN1 = & -579.274 + 133.213(BRI/ HN1) + 13.096(HN1/ ANO) + 1406.445(FF/ NF) \\ & - 0,413.(VF/ GZ) + 4,760.(ENT/ AWO) + 61,496.(AUF/ HN1) \end{aligned} \quad (4.5)$$

ISB : Toplam bina maliyeti

HN1: Ana faydalı alan 1(m^2)

BRİ : Toplam bina hacmi (m^3)

ANO : Kullanıcı başına yaşama alanı (m^2)

FF : Fonksiyonel alanlar (m^2) (Binanın çeşitli tesisat merkezleri alanları, kalorifer dairesi, havalandırma alanı gibi.)

NF : Faydalı alanlar (Tümü) (m^2)

VF : Sirkülasyon alanı (m^2)

GZ : Kat adedi

VF / GZ : Kat alanı başına ortalama sirkülasyon alanı (m^2)

ENT : Havalandırılan mahallerin hacmi (m^3)

AWO : Daire sayısı (Konut birimi sayısı)

AUF : Bina dış kabuğu alanı (m^2) (Çatı, temel, dış duvarlar, pencereler, toprak ve havayla bütünleşen tüm yüzeyler) [16]

Khalil, Assaf, Rahman Çalışması

Bu çalışma [65] bir su saklama rezervuarı inşaatı için ön yatırım maliyeti tahmini amacıyla gerçekleştirilmiştir. STATISTICA programı kullanılarak modelleme yapılmıştır.

İlk olarak potansiyle bağımsız değişkenler belirlenmiş, daha sonra regresyon prosedürü uygulanmış ve regresyon analizi sonuçlarının incelenmesi ile model kabul edilebilir ise durulmuş edilemezse bağımsız değişkenlerin belirlenmesi aşamaından itibaren yeniden başlanmıştır.

Bağımlı değişken birim kapasite maliyetidir. Bağımsız değişkenler ise kapasite-yükleme kapasitesi (m^3), süre-projenin süresi (ay) ve ulaşımdır. (access)

Ulaşım, saha ve uzaklık değişkenlerinin birleşimidir. Uzaklık değişkeni, projenin gerçekleştirildiği sahanın yüklenicinin merkezinden uzaklığıdır. Ulaşım değişkenlerinin bileşenlerinin ağırlıkları aşağıda görülmektedir.

Tablo 4.2: Ulaşım (access) Değişkeni Bileşenleri ve Ağırlıkları

Faktör	Aralık	Ağırlık
Sahanın çevresi	Kolay / Kırsal	1
	Orta / Banliyöde	2
	Zor / Kentsel	8
Uzaklık (km)	≤40	1
	≥41 ≤250	3
	≥251	8

Gerçekleştirilen çoklu regresyon analiz sonucu aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

$$C(OR) = -2,107 \times 10^5 + 64,8022 \times Kapasite - 8,09423 \times e^{süre} + 28219 \times ulasim \quad (4.6)$$

Murat Çıracı Çalışması

T.C. Toplu Konut İdaresi Başkanlığı tarafından adına Murat Çıracı tarafından 1996 yılında yaptırılmış bir çoklu regresyon analizi sonucu oluşturulan bir modeldir. Türkiye’de inşa edilen 1-17 katlı 28 konut tipi ve 22 adet bağımsız değişkenle aşağıdaki brüt kat alanı bina maliyeti denklemi konut projelerinde kullanılmak üzere oluşturulmuştur. Denkleminde bağımsız değişken sayısı 5 adede indirgenmiştir. [16]

$$TL / m^2 .BKABM = -279816 + 9637.(AFA/KUS) + 1057819.(SA1/AFA) + 83921.(YEA/BKA) + 341557.(PKB/DDA) + 621.(BY) \quad (4.7)$$

BKABM: Brüt kat alanı bina maliyeti

AFA/KUS : Kullanıcı sayısı başına ana faydalı alanlar

SA1/AFA : Konut içi sirkülasyon alanları/ana faydalı alanlar

YEA/BKA : Yapı elemanları alanı/brüt kat alanı

PKB/DDA: Dış pencere kapı boşlukları/dış duvar alanları

BY : Bina yüksekliği

Nelsen, Power, Federle Çalışması

1998 yılında yayınlanan bu çalışmada [87] Lotus 1–2–3 makro uygulaması geliştirilerek kullanıcıyı veritabanı oluşturmada, basit istatistik manipülasyonlar kullanarak maliyet modelleri geliştirmede destekler. Bu programla oluşturulan modeller tüm bina maliyeti için aralıkların tespiti olabileceği gibi, aşağıdaki bina bileşenlerinin maliyet aralıkları için de olabilir.

Tablo 4.3: Nelsen, Power ve Federle Çalışmasındaki Maliyet Bileşenleri

Genel Koşullar	Dış Cephe Kaplaması	Mekanik
Saha Geliştirme	İç Bitirmeler	Yangın Önleme
Temel ve Toprak Seviyesi Döşeme	Ekipman & Özel İnş.	Elektrik
Üst Yapı (Structure)	Taşıyıcı Sistemler	Toplam

Çalışmada 3 proje tipi incelenmiştir: ofis binaları, süpermarketler, sürekli bakım merkezi.

Analizler çoklu regresyon analizi ile gerçekleştirilmiştir. Modelin kabul edirliliği iki istatistik parametre ile belirlenmiştir. R^2 , S.E. R^2 0,85'ten büyük olmalı. Ve S.E. x değişkenin katsayısının üçte birinden fazla olmaması.

Bu şartları sağlarsa sonlu ortalama değer tahmini için kullanılır. Aynı zamanda güvenlik aralığında ve ortalama hata karesinin kullanılması ile range hesaplanmaktadır.

Analizde kullanılacak projeler VAX bazlı muhasebe programından alınan geçmiş veriler ile elde edilmiştir. 11 maliyet bileşeni yukarıdaki tablodaki gibi belirlenerek veritabanındaki projeler bu 11 bileşende toplanarak toplam maliyet bu 11 maliyet bileşeninin toplamı ile belirlenmektedir.

Lotus bazlı spreadsheet'e doğru olarak aktarmak için ilave bir yazılım kullanılmıştır. Bu program ASCII verisini muhasebe programından ayırarak spreadsheet tarafından kullanılabilir duruma gelmesini sağlar. Maliyet kodlaması kontrolü ardından kullanıcının yeni proje hakkında bir soru serisini cevaplandırması istenir. Bu girdiler zaman ve yerleşim doğrulamasıdır. Yayınlanan maliyet indeksleri ile veri normalizasyonu sağlanır. Bu sayede geçmiş veri şu ana ve ideal ortalama yerleşime ayarlanmaktadır.

Kodlama ve normalizasyondan sonra regresyon modellerinin oluşturulması aşaması gelmektedir. Regresyon modelleri yukarıdaki tablodaki 11 bileşen ve toplam maliyet için hesaplanmıştır. Değişken listesi aşağıdaki şekilde gibidir.

Bu değişkenlerden,

Skin to plate oranı: dış cephe alanı / tüm inş. alanı

Bölme yoğunluğu: $2 * (\text{ortalama duvar uzunluğu} / \text{ortalama oda sayısı})$

Ortalama oda büyüklüğü: ortalama oda alanı.

Ortalama duvar uzunluğu: proje alanı / kapı sayısı

Skin to plate oranı genelde 0.04 (geniş) – 0,12 (yüksek ölçüde bölümlenmiş alan)

Oluşturulan programın kullanılması ile kullanıcı ekrandaki düğmeler ile her maliyet bileşeni için regresyon modelleri üretebilir.

Bileşenin üzerine tıklayınca aşağıdaki şekildeki gibi veritabanındaki o bileşenle ilgili özet bilgileri gösterir.

Kullanıcının model oluştururken yönlendirilmesi için ekranın üst köşesindeki alan düğme serilerini içerir.

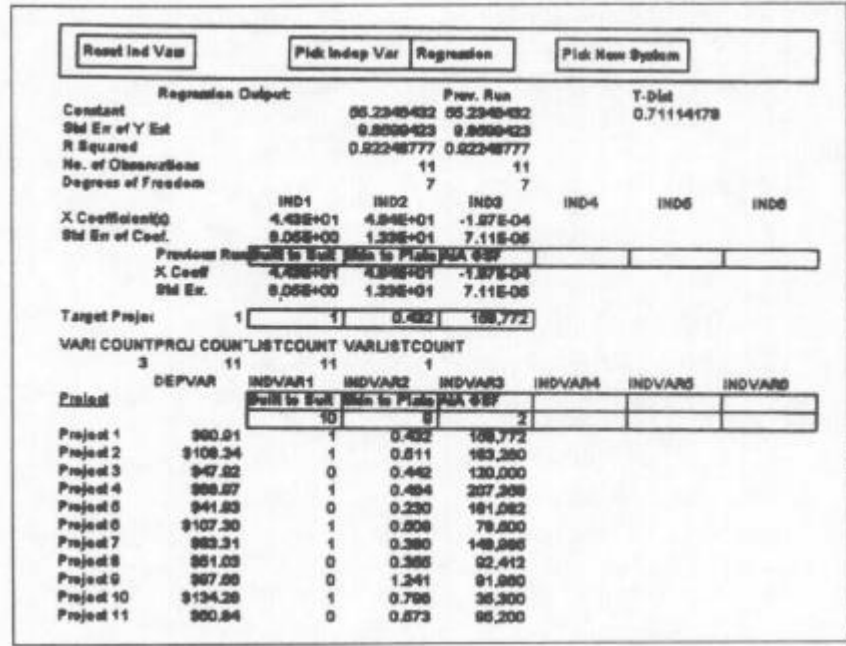
Pick indep. Var. (bağımsız değişkenleri yakala) düğmesi mümkün tüm değişkenleri gösterir. Mantıksal değişken seçiminden sonra program ilave seçim ya da değişken seçimi tamamlanması seçeneklerini sunar. Kullanıcı bu işlemi de sonlandırmalı ve regresyon başlatılmalıdır.

Tablo 4.4: Nelsen, Power ve Federle Çalışmasındaki Bağımsız Değişkenler

Ofis Binaları	Sürekli Bakım Merkezleri	Süpermarketler
Zaman indeksi	Zaman indeksi	Zaman indeksi
Yerleşim indeksi	Yerleşim indeksi	Yerleşim indeksi
Brüt inşaat alanı	Brüt inşaat alanı	Brüt inşaat alanı
Skin / plate oranı	Skin / plate oranı	Skin / plate oranı
Site acreage	Site acreage	Kaplanacak saha alanı
Akustik tavan yüzdesi	Apartman sayısı	Akustik tavan yüzdesi
Dış cephede cam yüzdesi	Park için araç sayısı	Dış cephede cam yüzdesi
Bölme yoğunluğu	Bölme yoğunluğu	Kaplanan döşeme alanı
Kaplanan döşeme yüzdesi	Müşterek kullanım alanı	Kaplanan döşeme yüzdesi
Derin temeller gerekli mi?	Derin temeller gerekli mi?	Satış Alanı
Kat sayısı	Kat sayısı	Depo Alanı
Taşıyıcı sistem prekast mı?	Taşıyıcı sistem ahşap mı?	Dock Alanı
Dış cephe prekast mı?	Asansör durak sayısı	Tavan Alanı
İç inşaat built-to-suit mi?	Kişisel mutfaklar var mı?	Dış yüzey alanı
	Apartmanda pişirme izni varm ı?	Döşeme alanı
	Birimler düşük gelirli mi?	Cam alanı
	Ek bina mı?	
	Duvar içi mekanik üniteler kullanıldı mı?	
	Bakıcı çağrı sistemi var mı?	
	Saha alanı / brüt inşaat alanı oranı	
	Dış cephede tuğla yüzdesi	
	Dış cephede yalıtım yapıldı mı?	

Oluşturulan modelin kontrolü şu süreçte gerçekleşir: Değişkenin modelde içerilip içerilmemesi gerektiği kontrol edilir. Değişkenin X katsayılarının 1/3'ünden fazla standart sapmaya sahip olmamalı. Diğer R^2 değeri. $R^2 > 0,85$ olmalıdır. Uygun model bulunana kadar yukarıdaki süreç devam eder.

Model oluşumundan sonra tahmin penceresi ekrana gelir. Burada her altı çizili hücrede kullanıcının girmesi gereken parametrelerin bilinen değerleri, regresyon modellerinin herhangi birinde aktif olmasa da model değişimi durumunda sorun yaşamamak için, kullanıcı tarafından doldurulmalıdır.



Şekil 4.4: Nelsen, Power ve Federle Çalışmasındaki Program Görüntüsü

Bazı parametreler projenin erken aşamasında bilinmeyebilir bu durumda örneğin tahmini kapı sayısının girilmesi ile bölme yoğunluğu (partition density) otomatik olarak hesaplanmaktadır. Diğer bir çözüm ise geçmiş projelerin ortalama değeri alınarak hücre doldurulur.

Proje spesifik olarak başlangıç tarihine ayarlanır. Bu özellik projenin başlangıç tarihinden bir veya daha fazla yıl sonra başlanacak olması durumunda kullanışlıdır. Tüm tahmin bileşen tahmininde yerleşim doğrulaması yapılır.

Son girdi tahmin aralığıdır. Kullanıcıdan istenen altı çizili hücre mid-range olarak etiketlenmiştir. Tahminler için istatistiksel aralığı belirler. % 50 girilmesi durumunda hücreye gerçek projelerin maliyetleri % 25 daha az olabilir ya da yukarıda olabilir.

Firmalar bu aşamaları izleyerek kendi konsept tahmin sistemlerini oluşturabilir.

Bu çalışmada Lotus 1-2-3 kullanılmıştır fakat Visual Basic veya C++ ile sistem gereksinimleri azaltılabilir ve programlama güncellemeleri kolaylaştırabilir.

Yüksek korelasyon olmadıkça evet/hayır değişkenleri kullanılmamalı.

Örnek projeler için tahminler ve gerçekleşen değerler aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 4.5: Nelsen, Power ve Federle Çalışmasındaki Tahmini-Gerçekleşen Karşılaştırması

Maliyet Bölümü	En Düşük Tahmin	Ortalama Tahmin	En Yüksek Tahmin	Gerçekleşen
Saha Hazırlık	\$5,85	\$6,89	\$7,92	\$5,47
Temel	\$2,30	\$3,15	\$4,00	\$2,01
Taşıyıcı Sistem	\$9,21	\$12,07	\$14,93	\$16,87
Dış Cephe	\$9,02	\$11,45	\$13,89	\$10,78
Bitirmeler	\$10,26	\$12,32	\$14,37	\$17,60
Ekipman	\$0,00	\$1,94	\$5,76	\$0,03
Taşıma Sistemleri	\$0,87	\$1,36	\$1,84	\$0,94
Mekanik	\$12,55	\$14,17	\$16,10	\$13,66
Elektrik	\$11,54	\$14,47	\$17,40	\$12,13
Genel Koşullar	\$5,87	\$6,86	\$7,86	\$7,58
Toplam	\$74,42	\$82,08	\$89,75	\$88,24

Gerçek değerlerin çoğu tahmin aralığına düşse de bazıları girmemektedir.

Bu örnekte, saha, kabuk, bitirmeler, genel koşullar ve toplam onaylama testlerini geçmiştir. Geri kalanlar için model geliştirilmelidir. Çünkü ekipman, taşıma, mekanik, yangın önleme, elektrik sistemleri, istatistik gereksinimleri sağlamaz.

Maliyet tahminleri buradaki bölümlerden kullanıcı tarafından incelenmeli.

Temel ve mekanik sistemler geçerli değişkenleri içerir. Fakat $R^2 < 0,85$ büküm noktalarında 0,82 ve 0,79 da. Geri kalan maliyet bölümleri istatistik kriterlerini karşılamaz. Maliyet bileşenlerinden tahminlenen maliyetin aralık içerisinde olmayan dördü içinde ikisi geçerli modele sahip değildir. Diğer iki aralık dışında bulunan maliyet bileşenleri geçmiş verilerdeki aralıkların ötesinde ya da yakın proje girdilerine sahip olduğu içindir.

Saeed Karshenas Çalışması

Karshenas çalışmasında, çok katlı binalarda maliyetin, yükseklik ve alan ile bağıntılı olarak nasıl değiştiği regresyon analizlerini kullanılarak incelemiştir. [128]

1984 yılında gerçekleştirdiği çalışmasında toplam bina maliyetini elde edebilmek için parametrik maliyet eşitliği regresyon analizi kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışma çok katlı ofis binaları için gerçekleştirilmiştir. 1961–1974 yılları arasında inşa edilen 24 ofis binası verisi kullanılmıştır. [98]

Karshenas yaptığı çalışmada tüm binaları ABD’den seçmiştir. Bu büro binaları normal kat yüksekliklerine ve açıklıklarına sahiptir. Bağıntuların kurulabilmesi için gerekli veriler Engineering News Record’dan alınmıştır. Yollar, açık alanlar, artıkların uzaklaştırılması gibi belirli bazı iş kalemleri tüm binalarda bulunmadığından maliyetleri toplam maliyetlerden çıkarılmıştır. [128]

Her binanın yapım yılı ve yeri farklı olduğundan bu maliyetleri karşılaştırabilmek için bütün maliyetler Marshall ve Swiff Yayıncılık Şirketi tarafından yayınlanan çelik iskeletli yapılar için maliyet indeksi kullanılarak Mart 1982 tarihi için ve yer olarak da New York için dönüştürülmüştür. [128]

Karshenas, elde ettiği verileri bir koordinat düzlemi üzerine işleyerek bu dağılıma uygun bir fonksiyon seçmiştir. Seçilen fonksiyon aşağıda görülmektedir:

$$\ln C = -0,0235 + 1,1045 \ln A + 1,1268H \quad (4.8)$$

Burada,

C : toplam bina maliyeti

A : tipik döşeme alanı

H : bina yüksekliğidir.

Daha sonra Karshenas tahmini maliyet ile gerçek maliyet arasındaki farklılığı ifade etmek üzere denkleme E sabit değişkenini ilave etmiştir. Dolayısıyla denklem aşağıdaki gibi değişir.

$$\ln C = -0,0235 + 1,1045 \ln A + 1,1268.H + E \quad (4.9)$$

$$C = A^{1,1045} \times H^{1,1268} \times e^{-0,0235} \times E \quad (4.10)$$

Denklemin belirlilik katsayısı $r^2 = 0,90$ olarak bulunarak bu denklemin bina maliyetindeki sapmaları % 90 oranında gösterebilmektedir. Geri kalan % 10 ise malzemelerin niteliği ve kullanılan işgücü gibi modelde yer almayan faktörlerdendir.

Bowlby ve Schriver Çalışması

Bu çalışmada [98] 1972–1982 yılları arasında binaların m² maliyetini belirlemek için F.W. Dodge İnşaat Sözleşmeleri verilerini kullanarak 157.855 projeyi veritabanından ayırmışlardır. Önemli olarak değerlendirilen parametreler şunlardır:

Kat sayısı

Toplam bina alanı

Metropolitan veya kırsal yerleşimde olması

Kuzey eyalette kış başlangıcı olması

Bina tipi

Bina çerçeve tipleri

İnşa edilen yer (Amerika'daki) [98]

Fulden Baran Çalışması

1993 yılında Fulden Baran [9] toplu konut projelerinde ön maliyet tahmini ile ilgili bir analiz sonucu aşağıdaki regresyon denklemlerini elde etmiştir. Bunlar m² birim maliyet ve faydalı alan birim maliyeti denklemleridir:

$$BM=584226+232840(DKA/BIA)+1343688(TA/BIA)+444239(FA/BIA)-1742(FA/BKS) \quad (4.11)$$

$$FABM = 2323876+ 275455(DKA/BIA) + 1961234(TA/BIA) - 1753291(FA/BIA) \quad (4.12)$$

DKA: Dış kabuk alanı

BIA: Brüt inşaat alanı

TA: Taban alanı

FA : Faydalı alan

BKS : Birim konut sayısı

Mike Bauer Parametrik Çalışması

Bauer [148] tarafından 1998’de AACE International’da, gerçekleştirilmiş proje verileri kullanılarak regresyon analizi sonucunda bir parametrik maliyet tahmin modeli oluşturulmuştur.

Parametrik maliyet hesaplaması yöntemi geçmiş projelere ait verilerin istatistiksel analiziyle oluşturulan regresyon modeli ile bina maliyetini projenin büyüklüğünü, çapını belirten birkaç fiziksel ölçüt ya da parametre ile hesaplamaya çalışan bir yöntemdir. Bu teknik veya programatik verileri-parametreleri maliyete çeviren bir veya daha fazla algoritma veya maliyet tahmin ilişkilerinden meydana gelmektedir. Genellikle algoritmalar regresyon analizinden geliştirilir. Ancak yapay sinir ağları gibi diğer analitik metotlar da kullanılmaktadır. Proje hakkında fazla bilgi sahibi olunulmadığı erken aşamalarda maliyet ve değer hesaplamalarında kullanılabilecek çok kullanışlı modellerdir.

Bu modeldeki bina sistemi CSI’nin Unifomat hesap standardına göre oluşturulmuştur. Model bir binayı oluşturan sistemlerin her biri için oluşturulmuş algoritmaların setinden oluşmaktadır.

Bu maliyetler yüklenicinin genel gider ve karı ile tüm işgücü ve malzeme maliyetlerini kapsamakta fakat arsa, peyzaj, otopark, havagazı, elektrik, su, şebeke maliyeti gibi şantiye ile ilgili maliyetleri, mobilya ve üretim araçları maliyetlerini ve olasılıklarını ve güvenceyi içermemektedir. Güvence risk analiz teknikleri ile tahmin edilmektedir.

İnternet ile güncelliğini koruyan uzman bir sistem olan bu parametrik maliyet tahmin modelinin geçerliliği genellikle parametre girdi değerlerinin kesin aralıkları ile sınırlıdır. Bu model ABD’de çelik ya da betonarme taşıyıcı sisteme sahip, 7 katı aşmayan bürolar, mağazalar gibi ticari yapılar ve endüstri yapılarının maliyet tahmininde kullanılabilmektedir. Fakat konut, ahşap binalar ve 7 kattan daha fazla kata sahip binalar ile yüksek kalitedeki elemanlarıyla inşa edilmiş binalarda bu yöntem kullanılmamaktadır.

Ek D'deki tablo D.1'deki forma girdi parametrelerinin girilmesi sonrasında, uzman sistem regresyon analizi ile bina maliyet değerini hesaplamaktadır. Parametrelere ilişkin ölçüm standardı model çalışması içinde aşağıda bazı parametreler için belirtilmiştir.

Kat yüksekliği tek katlı binalarda döşeme ile tavan arasındaki mesafe, 7 kata kadarki çok katlı binalarda her katın döşeme üstünden sonraki katın kat döşeme üstüne kadar ki mesafelerin ortalamasıdır. Çok katlı binalarda temel döşemesinden çatı tavanına kadar mesafe kat sayısına bölünerek ortalama kat yüksekliği belirlenir.

Kullanılabilir döşeme alanı duvardan duvara merdiven boşlukları ve dolapları kapsayacak şekilde ölçümlenir. Çok katlı binalarda bodrum katların alanının yarısı olmak üzere diğer tüm katların alanının tamamı ölçülür.

Kat sayısı, bodrum katları katları da içerek şekilde kat sayısıdır.

Köşe sayısı, binanın dış cephesinin sahip olacağı köşe sayısıdır. Örneğin kare bina, 4, L şeklindeki bina 6 köşe sayısına sahiptir.

Tek katlı binalarda üstyapı kalitesi / hizmet indeksi için bir ya da iki seçilmelidir.

Dış bitirmeler kalitesi 1–10 arasında duvarlar, pencereler ve kapıları içerecek ortalama kalite ve hizmetini yansıtır.

İç bitirmeler kalitesi de bölmeler, zemin kaplamaları, tavanlar vb. iç bitirmelerin ortalama kalite ve hizmetini belirtir.

Mekanik servisler kalitesi de HVAC, yangın yalıtımı, su tesisatı vb. ortalama kalite ve hizmetini belirler.

Elektrik servis kalitesi de aydınlatma, havalandırma tesisatını içeren elektrik servislerinin ortalama kalite ve hizmetini belirler.

Eskalâsyon faktörü modeli 1995 yılı doları bazlı rölatif değerini ayarlamak için kullanılır. 1,0 ile 2,0 arasında değer verilmesi istenmekte, varsayılan olarak 1,0 değeri gözükmektedir.

Yerleşim faktörü, yerel koşulların farklılıklarını hesaplamalarda içermek için kullanılmaktadır. 3 değer sunulmaktadır. Varsayılan ABD ortalaması 1,0'dir.

Yerel işçilik faktörü, üretkenliği etkileyen yerel koşullar için modeli ayarlamak için kullanılır. 4 değerli skala kullanılmaktadır. Bu parametre için varsayılan değer ortalama - 1,10'dur.

Modelin çıktıları, iki ana bölümde yeni pencerelerde sunulmaktadır. Hesap kartı, girdi parametrelerinin özeti ve tahmin sonuçlarından oluşan çizelgedir. Modelin her kullanımında, yeni sonuçlar penceresi oluşmaktadır ki bu şekilde alternatif tahminler karşılaştırılabilir. Her pencere, sistemi kontrol eden normal pencere gibi kullanılarak ayarlanır. [16]

Karşılaştırılacak binalara ait iyi kayıtların bulunması daha yüksek doğrulukta bir tahmin yapabilmeyi sağlamaktadır. [97] Seçilen parametrelere tam olarak karşılık gelen birim oranlar için iyi bir veri bankası şarttır. [96]

Şematik çizimler hazır olduğu durumda bu yöntem birkaç parametre ile uygulanarak maliyet hesaplanabilir. [97]

Parametreler Construction Specification Institute tarafından geliştirilen hesap kodlarına (code of accounts) dayandırılabilir. [96]

Örnek: Aşağıdaki örnekte bir ofise ait belirli olan aşağıdaki ölçütlere göre bir altındaki tablodaki gibi hesaplama yapılmaktadır. Kar dâhil toplam maliyet \$1.328.300'dir. m² net alan başına maliyet: \$38.00'dir. [96]

Parametre Ölçütleri:

1. Döşeme Alanı	6.400 ft ²
2. Net Alan	35.000 ft ²
3. Kat Sayısı	6 adet
4. Park Alanı	100 araba
5. İç Bölmeler	20.000 ft ²
6. Dış Duvar	19.200 ft ²

Maliyet hesabı tablo 4.6'da görülmektedir.

Tablo 4.6: Parametrik Maliyet Hesaplama Modeli Örneği

	CODE	UNITS	UNIT COST	TOTAL
Dış Duvar	2	19,200 sq.ft	6.00	115,200
Çatı	1	6,400 sq.ft	2.00	12,800
Döşeme	2	35,000 sq.ft	0.10	3,500
Temel	1	6,400 sq.ft	6.00	18,400
Asansörler	3	6 kat	10,000	60,000
HVAC	2	35,000 sq.ft	6.00	210,000
Elektrik	2	35,000 sq.ft	6.00	210,000
Tesisat	2	35,000 sq.ft	6.00	210,000
Bitirmeler	5	20,000 sq.ft	5.00	100,000
Otopark	4	100 araba	100.00	10,000
Kapılar ve	6		2.00	<u>38,400</u>
Ara Toplam				1,008,300
G&A	%10			100,000
Güvence	%10			100,000
				1,208,300
Kar	%10			120,000
		Toplam Maliyet		1,328,300

4.1.7 Fonksiyonel Elemanların Analizine Dayalı Maliyet Tahmin Yöntemi

Bu yöntemde inşaat dolaysız maliyeti fonksiyonel elemanlar bazında gerçekleştirilen analizler sonrasında örnek ya da tip projeler kullanılarak ön tahminlerin gerçekleştirildiği yöntemlerdir.

Aşağıda bu amaçla gerçekleştirilmiş örnek bir çalışma gösterilmektedir.

A. E. Erdem [34] 1996 yılındaki çalışmasında konut projelerinde ön tasarım aşamasında kullanılmak üzere fonksiyonel elemanlara dayalı bir maliyet planlama ve tahmin modeli geliştirmiştir.

Bu modelde ülke düzeyinde konut stoğunu temsil etmek üzere 30 adet konut projesi seçilmiştir. Bölge olarak İstanbul belirlenmiş ve İstanbul'daki Ataköy toplu konutları, Smko Blokları, Kozyatağı STFA Blokları, Halkalı Toplu Konutları uygulamaları seçilmiştir.

8093 adet plan şeması toplanmıştır. Plan tipine (kare, dikdörtgen, h, yıldız biçimde) fonksiyonel birim sayısına, konut alanı büyüklüğüne, oda sayılarına göre, sınıflandırmaya tabi tutulmuşlardır. rneklemede kat yüksekliği, yapım teknolojisi, kat sayısı kriterleri göz önüne alınmamıştır.

Konut projeleri arasından betonarme kolon kiriş sistemde, kat yüksekliği 2.90 m ve kat sayısı da 2–5 kat arasında olan konutlar seçilmiştir. Aynı zellikleri taşıyan en az 3 proje seçilmiştir. Bu projelerin birim inşaat alanı başına düşen ana ve alt fonksiyonel eleman miktar analizleri yapılmış ve geliştirilen modelde veri olarak kullanılmıştır. rnek sayısı bina tasarımında çok fazla sayıda alternatif tasarım yapılabilmesinden dolayı yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Ana ve alt fonksiyonel eleman miktar analizleri gerçekleştirilerek inşaat nitelik sınıfının belirlenmesinde kullanılmak üzere kaplama malzeme alternatifleri geliştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan fonksiyonel eleman sınıflandırması aşağıdaki gibidir:

1. Alt kabuk
2. Ara döşemeler ve merdivenler
3. Yan kabuk

3.1. Pencereler

Pencere doğramaları

Pencere camı

Kaplama malzemesi

3.2. Dış kapılar

3.3. Dış duvarlar

4. Üst kabuk

4.1. Oturtma çatılar

4.2. Teras çatılar

5. Düşey bölücüler

5.1. İç kapılar

5.2. İç duvarlar

6. Taşıyıcı sistem

6.1. Taşıyıcı iskelet

6.2. Temeller

İnşaat kalite sınıfına bağlı olarak kaplama malzemeleri alternatifleri seçiminde maliyet tahmini yapımında Türkiye Cumhuriyeti (TC) BİB'nin belirlediği kaplama malzemeleri esas alınmıştır. TC BİB'nin BFA'lerinde yer alan ve en çok kullanılan kaplama malzemeleri seçilmiştir. Ancak bu sınıflamada aynı grupta yer aldıkları halde maliyetleri birbirlerinden oldukça farklı kaplama malzemeleri de bulunmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada maliyet tahminleri sadece uygulamalarda belirtilen kaplama malzemeleri için geçerlidir. Her kompozit eleman için 15 adet farklı fiyat ve nitelikte kaplama malzemesi alternatifi seçilmiştir.

Kaplama malzemelerinin kalite sınıfları değiştikçe birim maliyetleri de değişecek dolayısıyla inşaat birim maliyeti de değişim gösterecektir. Aynı zamanda kısa aralıklarla piyasada kullanılan malzeme fiyatları da takip edilerek piyasa fiyatları ile de maliyet tahmini yapılabilir.

Çinko işleri, yağmur boruları vb. gibi iş kalemleri toplam bina inşaat maliyeti içinde ihmal edilmişlerdir. Çünkü bunlar hem toplam inşaat yapım maliyetinde çok küçük bir yüzde oluşturmakta hem de bunlarda ölçüm zorlukları yaşanmaktadır. [34]

Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda bina inşaat maliyetinin oluşumunda kullanılan kaplama malzemeleri ile birlikte binanın kat sayısının, kat alanı büyüklüğünün, plan tipinin ve kattaki daire adedinin maliyetin oluşumunda önemli rol oynadıkları tespit edilmiştir. Modelin geliştirilmesinde tüm bu bileşenler gözönüne alınmıştır. Microsoft Excel yazılım programı ile bilgisayar ortamında inşaat nitelik sınıfına, bina kat sayısına, kattaki daire sayısına bağlı olarak maliyet analizleri toplam inşaat maliyeti ve fonksiyonel elemanlar bazında elde edilmiştir.

Bu yöntemde iki aşamada tahmini maliyete ulaşılmaktadır. İlk aşamada fonksiyonel elemanların miktarlarının belirlenmesi, ikinci aşama kaplama malzemeleri alternatiflerine göre maliyetlendirilmesi sonucu elde edilen fonksiyonel elemanların maliyetlerinin toplanarak toplam ön maliyet tahminine erişilmesidir.

Fonksiyonel eleman miktarları,

1. arazinin TAKS ve KAKS değerlerinin bilinmesi ile taban alanı ve katların alanı ile kat sayısının belirlenmesi ile,
2. kattaki fonksiyonel birimin bilinmesi ile
3. plan tipinin bilinmesi ile
4. plan tipi ve kattaki fonksiyonel birim sayısının bilinmesi ile belirlenebilmektedir.

1. yöntemin uygulaması arsanın belirli olmasından sonra, 2., 3. ve 4. yöntemlerde belirtilen değerlerin bilinmesinden sonra Erdem'in çalışmasındaki eklerdeki plan tiplerine, kat alanı ve büyüklüklerine, oda sayılarına ve kattaki daire sayılarına göre sınıflandırılmış ve yapılan her sınıflama için ortalama fonksiyonel eleman miktar analizleri gerçekleştirilmiş 30 tip proje arasından uygun olanı seçilerek hesaplanır. Burada örneklem sayısının yetersiz olduğu çalışmanın başlangıcında anlatılmıştır. Daha fazla sayıda proje ile tip proje sayısı artırılarak daha doğru ve alternatif çözümlere ulaşılabilirdi.

Miktar hesaplamasının ardından binanın istenen kalite seviyesine göre seçilecek kaplama malzemeleri Erdem'in çalışmasındaki eklerdeki ilgili föyden fonksiyonel elemanlara dayalı olarak maliyet hesaplaması yapılabilir. Daha sonra bu elemanların maliyetleri toplanarak toplam inşaat maliyetine ulaşılır.

Çok sayıda göz önüne alınması gereken maliyet kriterinin olmasından dolayı (kat yüksekliği, kat sayısı, plan şeması, kat alanı, oda sayısı, iklim koşulları, kullanıcı istekleri, arsa şartları, zemin şartları, manzara yönü, kaplama malzeme fiyatları vb.) bu türlü bir seçimin bilgisayar ortamında daha doğru ve kolay olacağı tespit edilmiştir. Bilgisayar ortamında uzman sistemler olarak adlandırılan algoritmik yapılar içinde bu çok sayıdaki oluşum kriterinin tamamının birbirleri ile ilişkileri ve toplam bina inşaat maliyeti üzerindeki etkileri, çok daha kolay bir şekilde değerlendirilebilir.

Ayrıca bu yöntemle yapılan maliyet analizleri bir süre sonra bir maliyet veri bankası oluşturacak ve maliyetin oluşumu ile ana ve alt fonksiyonel elemanlara dağılımı daha etkin bir şekilde kontrol altına alınabilecektir.

4.1.8 Beklenen Değer (Expected Value) Tahmin Yöntemi

Bu model, geçmişte gerçekleştirilen projelerin maliyet bileşenlerinin istatistiksel analizi sonucu belirlenen aritmetik ortalamalar ve standart sapmalar kullanılarak ön maliyet tahmininin gerçekleştirildiği bir yöntemdir. Her bir maliyet bileşeninin ortalama maliyetine, sahip olduğu belirsizlik olasılık değerinin yüzdesel olarak katılması ile toplam maliyetin hesaplandığı yöntemdir.

Bu modelin uygulaması aşağıdaki adımlardan meydana gelir:

- 1) Proje tipi seçilir.
- 2) Belirli kıstaslar göz önüne alınarak benzer projeler proje veritabanından süzülür.
- 3) Seçilen projelerin maliyet bileşenlerinin değerleri de otomatik olarak alınır.
- 4) Bu maliyet değerleri DİE Bina İnşaat Maliyet İndeksi ve İTO indeksleri ile belli bir tarihe, trend analizi ile gelecekteki bir tarihe güncellenir.
- 5) Güncellenen proje bileşenlerinin maliyet değerleri istatistiksel yazılımda değerlendirilerek maliyet bileşenlerinin ortalama değeri belirlenir.

- 6) Hesaplanan bu değerin sahip olduğu belirsizlik olasılık değeri de yine istatistiksel analiz programı vasıtasıyla normal dağılım fonksiyonu gibi uygun yaklaşımlarla standart sapmasının belirlenmesi ile hesaplanır.
- 7) Bileşenlerin hepsi için belirlenen bu olasılık değerleri ile elemanların ortalama maliyetleri çarpılır.
- 8) Daha sonra bulunan bu değerlerin toplamı beklenen toplam inşaat maliyetini verir. [92]

Yukarıdaki işlemler aşağıdaki formül ile ifade edilebilir:

$$C(i) = \sum_j^n p_j x_{ij} \quad (4.13)$$

C : i projesi için beklenen maliyet değeri, YTL

p_j : x bileşenin olasılık değeri, $0 \leq p_j \leq 1$

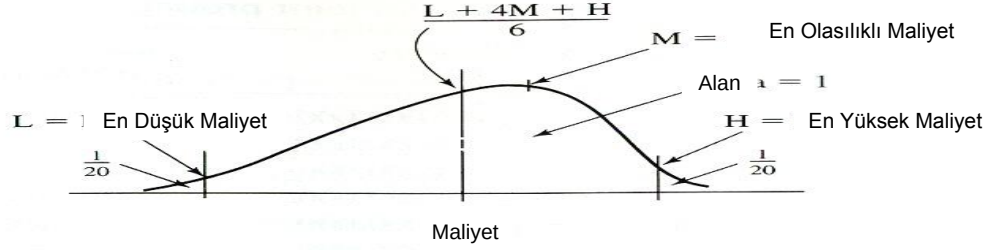
x_{ij} : maliyet bileşeni

4.1.9 Range Yöntemi

Bu yöntem, edinilen bilgilerdeki ve uygulanan yöntemlerdeki zayıflıkları dikkate alarak hesaplamadaki olası hatalara dikkat çekmektedir. Maliyet bir rastgele değişken olarak kabul edilmektedir. Bir rastgele değişken de istatistiksel anlamda bilgi kümesinin çıktıları için sayısal değer verilmiş bir fonksiyondur. [92]

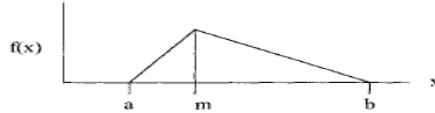
Bu modelde her bir maliyet bileşeni için üç farklı hesaplama yapılır. PERT için geliştirilen bir metoda dayanan bu yöntemde bir *en muhtemel*, bir *iyimser* (en düşük), bir de *kötümser* (en yüksek) maliyet hesaplaması elde edilir. Bu hesaplamaların beta dağılımına karşılık geldiği varsayılmaktadır. Bu dağılım birçok özelliği bakımından maliyet hesaplaması için uygundur. Örneğin, sadece pozitif değerli maliyetler kullanılabilir, normal ya da t dağılımında ise negatif değerlere de yer verilmektedir.

Bu hesaplamadaki beta dağılımı şekil 4.5'deki gibi sola eğimlidir. [91] Fakat simetrik ve sağa eğimli olan dağılımlar da kullanılabilir. Olasılık dağılım eğrisinin altındaki alan 1dir.



Şekil 4.5: Range Yönteminde Kullanılan Beta Dağılım Eğrisi

Ayrıca üçgen olasılık dağılımı da uygun olduğu durumlarda alınabilir. Back, Boles ve Fry, 2000 yılındaki çalışmasında Teksas'taki bir büyük hükümet ajansında suçlarla ilgili hapishane, karakol ve diğer binaların geçmiş inşaat maliyetlerini modellemek için aşağıdaki gibi üçgen olasılık-yoğunluk fonksiyonunu seçmiştir. [8] Bu fonksiyonun oluşturulması için parametrelerin en küçük kareler yöntemi ile belirlenmesinin uygun olduğunu bulmuştur.



Şekil 4.6: Range Yönteminde Kullanılan Üçgen Olasılık Dağılımı

Bu yöntemde en düşük ve en yüksek oluşabilecek maliyet daha önceden inşaatı tamamlanan yapıların maliyetleri örnekleminde istatistiksel analiz programı ile hesaplanmaktadır. Bir maliyet bileşeni için ortalama değer ve varyansı aşağıdaki gibi hesaplanır: [42]

$$E(C_i) = \frac{L + 4M + H}{6} \quad (4.14)$$

$$\text{var}(C_i) = \left(\frac{H - L}{6} \right)^2 \quad (4.15)$$

$E(C_i)$: i bileşeninin beklenen, ortalama maliyet değeri, YTL, $i=1,2,3,\dots,n$

L : i bileşeninin en düşük maliyet değeri, YTL, $i=1,2,3,\dots,n$

M : en olasılıklı, model maliyet değeri, YTL, $i=1,2,3,\dots,n$

H : i bileşeninin en yüksek maliyet değeri, YTL, $i=1,2,3,\dots,n$

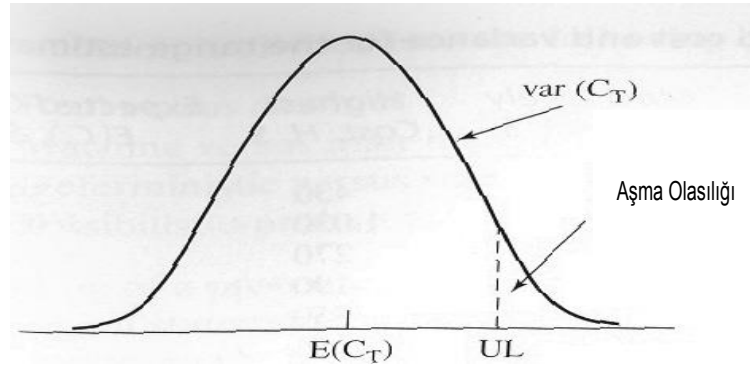
$\text{var}(C_i)$: i bileşeninin maliyet dağılımının varyansı , $i=1,2,3,\dots,n$

Aşağıdaki adımlar doğrultusunda tahmin işlemi gerçekleştirilir.

- 1) Proje tipi seçilir.
- 2) Maliyeti tahmin edilecek projeye benzer niteliklerdeki projeler firmanın veritabanından ya da bir araştırma sonucu firma dışından elde edilir.
- 3) Bu maliyet değerleri DİE Bina İnşaat Maliyet İndeksi ve İTO indeksleri ile belli bir tarihe, trend analizi ile gelecekteki bir tarihe güncellenir.
- 4) Veritabanından seçilen projelerin maliyet bileşenlerinin her biri için gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonucunda en düşük, en yüksek ve en olasılıklı (ortalama) maliyet değeri ile beklenen değerleri ve varyansları hesaplanır. Bu işlemler istatistiksel analiz programları ile yukarıdaki formüller ifade edilmiş hesaplamalarla yapılır.
- 5) Daha sonra her bir bileşenin birbirinden bağımsız olması ön koşuluyla toplamaları alınır. Oluşan toplam maliyet dağılımı yaklaşık olarak normal dağılımda olmaktadır.
- 6) Bu dağılım sonucunda toplam maliyetin beklenen değeri ve varyansı belirlenmiş olur.

Toplam maliyetin beklenen değeri bileşenlerinin beklenen değerlerinin toplamı, varyansının da tüm bileşenlerinin varyansının toplamı olması gerektiğini belirten merkezi limit teoremine uyduğundan tüm değerlerin toplanması sonucu oluşan toplam maliyet dağılımının, bileşenlerin her birinin beta dağılımında olmasına rağmen yaklaşık bir normal dağılım eğrisi oluşturduğu kabul edilir.

Bu dağılım sonucunda toplam maliyetin beklenen değeri ve varyansı belirlenmiş olur. [92] Bu işlemler aşağıdaki gibi ifade edilebilir:



Şekil 4.7: Range Yönteminde Kullanılan Normal Dağılım Eğrisi

$$E(C_T) = E(C_1) + E(C_2) + \dots + E(C_n) \quad (4.16)$$

$$\text{var}(C_T) = \text{var}(C_1) + \text{var}(C_2) + \dots + \text{var}(C_n) \quad (4.17)$$

$E(C_T)$: birbirinden bağımsız i bileşen dağılımlarının toplamından oluşan toplam beklenen maliyet.

$\text{var}(C_T)$: birbirinden bağımsız i bileşen dağılımlarının toplamından oluşan toplam maliyetin varyansı.

Elde edilen bu beklenen maliyet dağılımı kullanılarak belirlenen bir maliyet değerini aşma olasılığı belirlenebilir. Ya da teklif verileceği zaman alt ve üst sınırların belirlenmesi için kullanılabilir. İlk açıklanan yani üst maliyet limitini aşma olasılığı tespiti için aşağıdaki formül kullanılabilir:

$$Z = \frac{UL - E(C_T)}{[\text{var}(C_T)]^{1/2}} \quad (4.18)$$

UL : üst limit maliyeti, YTL

Bulunan bu z değeri standart normal dağılımda bu değere karşılık gelen olasılık değeri okunarak aşma olasılığı (riski) $0,5 - \text{Pr}(z)$ formülü ile hesaplanır. [92]

PERT uygulamalarında aynı koşullarda tekrarlanan aktiviteler için en düşük ve en yüksek maliyetler yirmide bir kez yanlış bulunmuştur. Fakat en muhtemel değer gerçekleşen değere çok yakın bir değer olarak gerçekleşmiştir. [92]

Avantajları:

- Bu hesaplamayla en yüksek belirsizliğe sahip bileşenler tespit edilir. Daha sonra bu bileşen ya da bileşenler üzerinde yoğunlaşarak varyasyonu azaltmak için daha fazla bilgi toplanılmaya çalışılır.

4.1.10 Varyasyon İndirgeme Yöntemi (Successive Estimating)

Kuzey Avrupa’da oldukça sıkça kullanılan bu yöntem Danimarka Teknik Üniversitesi’ndeki Prof.Steen Lichtenberg tarafından ağ-bazlı planlama ve programlama için olduğu kadar maliyet hesaplaması için de geliştirilmiştir. İstatistik ilkeleri ile istatistiksel analiz programı kullanılarak benzer özelliklerdeki projelerin analizi ile doğruluk arttırılmakta ve hesaplama süresinin azaltılması sağlanmaktadır. [92]

Bu model aşağıdaki adımlar doğrultusunda uygulanır:

- 1) Proje tipi seçilir.
- 2) Belirli kıstaslar göz önüne alınarak benzer projeler veritabanından süzülür.
- 3) Bu projelerin maliyet değerleri DİE Bina İnşaat Maliyet İndeksi ve İTO indeksleri ile belli bir tarihe, trend analizi ile gelecekteki bir tarihe güncellenir.
- 4) Veritabanından seçilen projelerin maliyet bileşenlerinin her biri için gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonucunda ortalama maliyet değeri ile standart sapmaları hesaplanır. Bu elemanların belirlenmesinde tüm projelerde mevcut olması sağlanmalıdır.
- 5) Daha sonra bu belirsizliklerin karesi alınır ve elemanların maliyet değerlerinin varyansları bulunur, tüm elemanların varyansları toplamının da karekökü alınarak toplam maliyetteki belirsizlik bulunur.

- 6) En büyük sapma miktarına sahip olan eleman üzerinde odaklanılır. Bu sefer o eleman kendi içinde parçalanarak analiz edilir ve içindeki alt elemanların her birinin standart sapmasının karesi alınır, toplamalarının karekökü de hesaplanarak o elemanın yeni belirsizliği hesaplanır.
- 7) Yeniden toplam projenin belirsizliği hesaplanır. Eğer sonuç yeterli değilse aynı süreç yeterli doğruluk derecesine ulaşılan kadar tekrar edilir. [97, 212]

Avrupalı tasarımcılar ve inşaatçılar alt elemanlara uniform seviyede detaylara ayrılmış bütün elemanlardan oluşan projede kullanılan successive tekniğinin geleneksel yaklaşımların %20'si kadar çaba gerektirdiğini söylemektedirler. Aynı zamanda hesap uzmanları gerçekte projedeki belirsizliklerin nerede olduğunu da farkında olurlar. Geri kalan zamanda belirsizlik oranının düşük olduğu malzemeleri tasarımda kullanarak toplam maliyetteki doğruluk derecesini daha da artırabilmektedirler. [97]

4.1.11 Simülasyon Yöntemi (Stokastik Modeller)

Simülasyon yöntemi, yapı modelinin tasarım değişkenleri ve çevresel faktörleri ile bir sistem olarak ele alındığı ve bu sistemin davranışlarının genellikle bilgisayar ortamında kopya edilmeye çalışılarak değişkenlerin birbirleri üzerindeki ve maliyet üzerindeki etkilerinin incelendiği bir yöntemdir. [115]

Nispeten basit sistemlerin davranışlarını matematiksel formüllerle ifade etmek mümkündür. Fakat değişken sayısının fazla olduğu ve bağıntılar da belirsizlik bulunan ekonomik sistemlerde formülasyona ve çözüme gitmek güçtür. Bu gibi durumlarda çeşitli varsayımlarla sistemin muhtemel davranışlarını simüle eden modeller kurulur. [4]

Sadece bir veya birkaç değişkene bağlı olarak ifade edilen istatistikî regresyon ya da deneysel matematiksel modellerde sadece kendi oluşturduğumuz veritabanları üzerinden işlem yapılabilirdi. Oysaki inşaat sektöründe bazıları birbirine bağımlı bazıları bağımsız olmak üzere maliyeti etkileyen çok fazla değişkenin bulunması regresyon ve matematiksel modellerin başarı derecesini düşürmektedir.

Simülasyon modelinde oluşturulan sistemde tecrübeler doğrultusunda tahmin edilebilen ya da bazısı tahmin edilemeyen iç ve dış birçok değişken bulunmaktadır. Örneğin bir duvar ekibinin birim zamanda ördüğü ortalama duvar alanı bellidir. Fakat bu değer her durumda geçerli olmayan ideal şartlarda tespit edilmiş bir değerdir, örneğin uzun süreli çalışmaların gerektiği zamanlarda ekibin performansı azalabilir ya da hava şartları, salgın hastalıklar gibi daha önceden tahmin edilemeyen sebeplerden ötürü ekip her zaman için aynı performans düzeyinde çalışmamaktadır. “Simülasyon modelinin amacı bu çok sayıdaki bağımsız değişkenin sonuç (maliyet) üzerindeki ortak etkilerini incelemektir.” [34]

Örneğin uzun süreli bir inşaat projesinde ülkemiz koşullarında enflasyonun 3 ya da 4 sene içinde ne olacağını tahmin edebilmek, şu andaki ekonomik göstergeler olumlu gidişat gösterse de siyasi ve sosyal birçok gelişmeden çok çabuk etkilenmesinden dolayı, sağlıklı bir tahmin imkansızdır ki sadece enflasyonun etki etmediği de hatırlatılırsa simülasyon modellerinin avantajları daha da ortaya çıkar. [34]

Simülasyonun 3 temel özelliği söz konusudur.

- 1) Direkt deneyimlerden, özel sistemler oluşturulması gerekeceğinden maliyeti yükseltmesi bakımından kaçınır.
- 2) Simülasyonda sabit karakterli matematiksel problemlere değil, deneysel ve hataya bağlı gözlemlere ihtiyaç duyulur. İstatistikî analizler test edilerek performans hakkında sonuca varılır.
- 3) Bu sonuç operasyonel araştırma alanının gelişmesine kadar uzanır. Bilimsel araştırma ve operasyonel araştırma arasındaki fark, daha sonra incelenen pek çok olaydaki değişkenliğin artmasıdır. [115]

Simülasyon modeli ile ulaşılmak istenen hedef toplam proje maliyeti için kümülatif dağılım fonksiyonunu oluşturmaktır. Bu fonksiyonun doğruluğu ve sermaye hacmi konusunda dağılım fonksiyonunu hesaplamak için genelde Monte Carlo simülasyonu kullanılmaktadır. [4]

“Monte Carlo simülasyonunun iki önemli özelliği; [4]

1. Belirsizliği de hesaba katıp olası bir tahminde bulunmaktadır.

2. Bilgisayar sistemini geniş çapta kullanılması iletişim ile bilgi akımı bu sisteme dayandırılmıştır.

Monte Carlo simülasyonunda üç önemli ihtiyaç vardır.

1. Oluşturulan modeldeki ana değişkenlerin birbirinden bağımsız, birbirinin maliyetine etki etmeyecek şekilde seçilmesi gereklidir ve yapının buna uygun alt sistemlere ayrılması,
2. Proje maliyeti ile ilgili enformasyonun güvenilir olması,
3. Değişkenlerin her birinin olasılık dağılımının bilinmesi, modele en uygun düşen dağılımın saptanarak uygulanmasıdır. [4]

Monte Carlo simülasyonu, kesin olarak tahmin edilemeyen kontrollü faktörlerle ilgilenir. Modelde analizin rastgele sayılar ile uygulanmasından dolayı bu modele, Monte Carlo denilmektedir. Bu rastgele sayılar en doğru şekilde bilgisayar yardımıyla belirlenmelidir. [115]

Monte Carlo analizinin adımları şunlardır:

1. Proje tipi seçilir.
2. Belirli kıstaslar göz önüne alınarak firma veritabanındaki ya da firma dışı gerçekleştirilecek projeye benzer projeler süzülür.
- 3) Bu projeler için maliyet değerleri DİE Bina İnşaat Maliyet İndeksi ve İTO indeksleri ile belli bir tarihe, trend analizi ile gelecekteki bir tarihe güncellenir.
- 4) Maliyet planındaki temel kategoriler belirlenir ve her biri için dağılımlar tanımlanır.
- 5) Her dağılım için bilgisayar yardımıyla rastgele sayılar (birim fiyat oranları) üretilir.
- 6) Rastgele seçilen birim fiyat oranları, ölçülen miktarlar ile çarpılır. (genelde toplam brüt inşaat alanı başına maliyetler belirlendiği için TAKS ve KAKS sonucu belirlenen alanlar ile çarpılır.)

7) Altıncı adım her kategori için tekrarlanarak toplandığında toplam proje maliyetine ait bir sonuca ulaşılır. Bu n kez tekrar edilir. (N=100, 200, 300...)

8) N tane tahminin kümülatif frekans eğrisi ve histogramı çizilir. N sayısı ne kadar büyük olursa daha düzgün bir kümülatif frekans eğrisi ve histogramı elde edilecektir. [91]

9) Bu grafikler yardımıyla da benzer bir yapının tahmin edilen maliyetinin yüzde kaç olasılıkla gerçekleşebileceği öğrenilir. Dolayısıyla tahminin doğruluğu ölçülebilir. [91]

Bazı simülasyon yaklaşımları, örnek çalışmaları şunlardır:

Flanagan Çalışması

1990 yılında Flanagan tarafından geliştirilen bu model ön tasarım aşamasında kullanılmakta olup değişkenler arasındaki ilişkinin bağımsız olmasından hareket ederek yapıyı fonksiyonel elemanları düzeyinde incelenmektedir. İstatistiksel dağılım olarak da beta dağılımını kullanmıştır. [4]

Touran Çalışması

1993 yılında yaptığı araştırmada Flanagan'ın aksine değişkenler arasında bir ilişkinin varlığını kabul etmiş ve incelemesini imalatlar düzeyinde gerçekleştirmiştir. Touran istatistiksel dağılım olarak lognormal dağılımı tercih etmiştir. [4]

Nilüfer Yaylagül Çalışması

1994 yılında Flanagan'ın yaklaşımına benzeyen bir açıdan Yaylagül [138] değişkenlerin bağımsız olduğu, normal dağılıma sahip fonksiyonel elemanlar düzeyinde bir çalışma hazırlamıştır. Bu çalışmada 30 ayrı nizamdaki, 5–6 katlı, sadece konut fonksiyonlu, İstanbul'da inşa edilmiş konut projeleri alınarak simülasyon analizine tabi tutulmuştur. Sadece inşaat işleri incelenmiş, tesisat vb. kalemler katılmamıştır. Aşağıdaki fonksiyonel eleman sınıflandırması kabul edilmiştir.

1. Alt kabuk
2. Dış bölücü
3. İç bölücü
4. Yatay bölücü
5. Çatı
6. Merdiven
7. Pencere
8. Dış kapı
9. İç kapı
10. Taşıyıcı iskelet

Bu çalışmada şu kabuller yapılmıştır:

- Fiyatlandırmada 1993 yılı BİB BFA esas alınmıştır.
- Tüm örneklerde aynı malzeme alternatifleri kullanılmıştır.
- Bu malzemeler BİB BFA deki kalitesi yüksek malzemelerden oluşmaktadır.
- Fonksiyonel elemanların birim maliyetleri baz alınmıştır. Bu elemanların 1 m² döşeme alanı başına düşen maliyetidir.
- Döşeme alanına dayalı 1 m² taşıyıcı sistem maliyeti gözlemlenen 30 projede aynı çıkmıştır. Bu sebeple taşıyıcı sistem fonksiyonel elemanlar arasından analiz sırasında elenmiştir.
- 9 fonksiyonel elemanla analiz gerçekleştirilmiştir.
- Tesisat vb. kalemler dâhil edilmemiştir.
- 4.00 m * 4.00 m akslarla, 150*150*60 cm sömelli, 30*30*30 cm bağ kirişli, 40*40*60 cm kolonlu temel kabulü yapılmıştır.

Simülasyon analizinde dağılımlar SPSS ile elde edilmiştir. Rastgele sayılar tablolardan elde edilmiştir. Her fonksiyonel eleman için tahmini maliyet elde edilmiş bunların toplanmasıyla m² döşeme alanı başına birim maliyet elde edilmiştir.

Selda Arpacı Çalışması

1995 yılında S. Selda Arpacı [4] konut projelerinin ön maliyet tahmininde simülasyon yaklaşımı ile ilgili çalışmasındaki örnekleme 4 ya da daha fazla katlı zemin katlarında dükkan olmayan sadece konut amaçlı kullanılan binaları seçmiştir. İncelem sonucunda görülmüştür ki uygulamada daha çok konutlar 5–6 katlı binalar şeklinde bulunmaktadır bu nedenle daha fazla 5–6 katlı binalar örnekleme kullanılmıştır. 29 proje seçilerek 2. keşifleri üzerinden inşaat işleri ele alınmıştır. İmalatlar bazında gerçekleştirilen maliyet analizinde ağırlıklı maliyet bileşenleri, iş kalemleri tespit edilmiş ve bu iş kalemleri iş gruplarına dönüştürülmüştür. Bu iş grupları şunlardır:

Kapı, pencere ve cam işleri

Beton işleri

Duvar işleri

Ahşap, plastik işleri

Bitirmeler

Bu iş gruplarının maliyetleri toplam inşaat alanına bölünerek m2 birim maliyetleri bulunmuştur. Bu iş grupları istatistiksel analizler sonucunda edinilen bilgilere göre inşaat maliyetinin %76.64'ünü oluşturmaktadır. Uygun dağılım olarak normal dağılım seçilmiştir. Daha sonra analiz başladığında bitirmelerin diğerleri ile ilişkisinin az bulunmasından dolayı elenmiştir. Daha sonra kovaryans matrisinde negatif sonuçlar vermesinden dolayı da ahşap, plastik işlemler elenmiştir. Devam eden simülasyon sürecinde üç ilişkili iki ilişkisiz maliyet bileşenleri şeklinde analiz sürdürülmüştür. Elle 100 kez simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon sonucunda inşaat maliyetinin % 76.64'ü bulunan olasılık değeri ile ilişkili ve ilişkisiz maliyetlerin toplamı şeklinde belirlenmiştir. Bu değer %100'e tamamlanarak toplam inşaat maliyeti tespit edilmiştir. Ayrıca kazı, madeni aksam vb. inşaat maliyetine ilave edilmemiştir; bunların maliyetleri ayrı hesaplanarak ilave edilmelidir.

Emine Okuyan Simülasyon Çalışması

1995 yılındaki çalışmasında Emine Okuyan [40] okul inşaat projelerinin maliyet tahmininde Monte Carlo simülasyon tekniğini kullanmıştır. 1984–1994 yılları arasında İstanbul'da inşa edilmiş 16 adet okul inşaatı incelenmiştir. Projeler iki ayrı grup halinde ele alınmış; birinci grupta ana proje maliyet bileşeni olan inşaat maliyetini oluşturan maliyet bileşenleri, ikinci grupta ise projeyi oluşturan ana maliyet bileşenleri şeklinde ele alınmıştır.

İnşaat maliyeti alt bileşenleri:

1. El ile kazılar	14.001–14.045
2. Bina inşaatında makinalı kazılar	15.00/1–15.140/2
3. Beton imalatı	16.001–16.059
4. Taş işleri	17.001–17.143
5. Tuğla duvar işleri	18.001–18.178/9
6. Çatı işleri	18.211–18.264
7. Beton büz yapılması	18.401–18.459/1
8. Temel ve çatı yalıtımları	18.461/1–19.084/1
9. Kalıp ve iskeleler	21.001–21.068
10. Ahşap inşaat	21.126–21.281
11. Ahşap parke ve küpeşteler	21.286–21.313
12. Ahşap kapı doğramaları	22.001–22.043

13. Demir inşaatı	23.001–23.101
14. Demir kapı ve pencereler	23.111–23.255
15. Tenekecilik işleri	24.001–24.064
16. Boya, badana ve cila işleri	25.001–25.064/3C
17. Döşeme ve duvar kaplaması	25.081–26.661
18. Sıvalar	25.081–27.564
19. Mozaik ve şap işleri	27.565–27.587
20. Cam işleri	28.001–30.101
21. Madeni aksam	A1-C5

Ana maliyet bileşenleri ise

İnşaat

Müşterek tesisat

Elektrik tesisatı

Kalorifer tesisatı

Sıhhi tesisat

Tüm maliyetlerin Türkiye’deki enflasyondan arındırılması için hepsi Türk lirasından Dolara çevrilmiştir. Ele alınan bu maliyet bileşenlerinin istatistikî analizi yapılmıştır. Tüm bileşenlerin kendi aralarında aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları belirlenmiştir. Her maliyet bileşeni arasında var olabilen maliyet korelasyonu araştırılmıştır. Korelasyon katsayıları Lotus programı ile hesaplanmıştır. Bu araştırma sonucunda korelasyon katsayıları küçük olan veya korelasyonun tespiti açısından yeterli düzeyde data elde edilemeyen maliyet bileşenleri bağımsız bileşen olarak kabul edilmiştir.

İnşaat projelerindeki maliyet dağılımı olarak lognormal dağılıma uygun olduğu esas alınmıştır. Fakat kullanılan simülasyon tekniği ve testi açısından lognormal kabul edilen maliyet bileşenleri lognormal dağılımdan normal dağılıma dönüştürülmüştür.

Dönüştürülmüş lognormal maliyet bileşenleri üzerinden, Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılarak inşaat projeleri maliyet tahmini modeli oluşturulmuştur. Monte Carlo tekniğinde kullanılan rastgele sayılar Lotus paket programından yararlanılarak elde edilmiştir.

Simülasyon 1000 kez tekrarlanmıştır. Elde edilen maliyet bileşenlerinin uygunluğu Kolmogorov-Smirnov uygunluk testi ile kontrol edilmiştir. Test sonuçlarının 0.05 güven seviyesiyle uygun olduğu gözlenmiştir.

Simülasyon ile elde edilen maliyet bileşenleri kullanılarak simüle edilmiş kümülatif maliyet eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen kümülatif maliyet ile gerçek kümülatif maliyetin karşılaştırması yapılmıştır. Toplam simüle edilmiş maliyet ile gerçek toplam maliyet arasında görülen farklılıklar makro ve mikro düzeyde görülen inşaat sektörü parametreleri şeklinde incelenmiştir. Söz konusu parametreler, daha sonra her maliyet bileşeni düzeyinde ele alınarak tahmini inşaat toplam maliyeti, simüle edilmiş maliyet bileşenlerinin parametrelerle düzeltilmiş değerlerinin toplamı şeklinde ifade edilmiştir. Ayrıca benzerlik ve kontrolün sağlanması için her bir proje tek tek ele alınarak projeyi meydana getiren iş kalemleri kendi aralarında gruplandırılmıştır. Bu gruplandırma BİB birim fiyat tarifindeki gruplandırmadır.

Simülasyon analizine dayalı maliyet tahmin yöntemi uyguladığında şu avantajları sunar:

- Her çeşit girdi dağılımını kullanır.
- Birbirine bağlı girdileri ele alır.
- Projeyi değerlendirmede kullanılan ayarlanmış iç verim oranı dönüşümü ya da yaşam dönemi maliyeti gibi çoğu ekonomik metotlar ile simülasyon uygulanabilir.

- Simülasyon risk düşüncesine kişisel olarak katılmaya ve proje seçiminde kişinin riski ortaya koymasına müsaade eden bir fonksiyon oluşturulmasına imkân verir. [4]

Dezavantajı ise araştırmacılar simülasyon tekniğini öğrendikten sonra onu analitik yöntemlerin daha uygun olduğu durumlarda da kullanmaktadırlar.

4.1.12 Boyutsuz Büyüklükler ile Maliyet Tahmin Yöntemi

İTÜ İnşaat Fakültesi öğretim üyelerinden Dr. Murat Kuruoğlu tarafından geliştirilmiştir. Bu ön tahmin yapı türü ve inşaat alanına dayalı bir sistematik yaklaşım içinde gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem ile konut inşaatlarının % 80'ini oluşturan dolaysız maliyet hesaplanmakta ve bu değere bağlı bir katsayı yardımıyla gider kalemlerinin ilave edilmesi ile toplam inşaat maliyeti hesaplanmaktadır. [72]

Bu yaklaşımda konut inşaatları belirli kalite sınıflarına ayrılmış, her yapı türünden bir örnek alınarak metrajı ve piyasa rayıçlarına dayalı olarak maliyetleri belirlenmiş ve yapılan bir istatistiksel analiz sonucu oluşturulmuş boyutsuz büyüklüklere göre dolaysız maliyet hesaplanmıştır. Daha sonra bir ihaledeki teklif fiyatı dolaysız maliyetlerin bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir:

$$\text{Teklif Fiyatı} = \text{Toplam Maliyet (TM)} + \text{KAR} + \text{RİSK} \quad (4.19)$$

$$\text{Toplam Maliyet} = \text{İnşaat Maliyeti (İM)} + \text{Genel Giderler (GG)} \quad (4.20)$$

$$\text{İnşaat Maliyeti} = \text{DM} + \text{ŞG} + \text{GG} + \text{Kar ve Risk} \quad (4.21)$$

Boyutsuz büyüklüklere göre maliyet tahmin yönteminde sonuç olarak da teklif fiyatı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. [72]

$$\text{Teklif Fiyatı} = \text{DM} + \text{ŞG} + \text{GG} + \text{KAR ve RİSK} \quad (4.22)$$

Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda diğer gider kalemlerinin dolaysız maliyete bağlı olarak ifade edilmesinde yukarıdaki formül aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\text{Teklif Fiyatı} = \text{DM} + \text{K1} * \text{DM} + \text{K2} * \text{DM} + \text{KAR ve RİSK} \quad (4.23)$$

K1: Şantiye Gider Payı

K2: Merkez Gider Payını ifade etmektedir.

Bu model konut projesi maliyet tahmini hesaplamasında örneklenmiştir.

Metot: Bu yöntemdeki tahmini maliyet hesabı aşamalar şeklinde aşağıdaki gibidir.
[72]

1) Yapı Sınıfının Belirlenmesi: Bayındırlık Bakanlığı mimarlık ve mühendislik bedellerinin hesaplanmasında kullanılan m² yapı yaklaşık birim maliyetleri sınıflandırmasında belirtilen III-a sınıf yapıya yakın özellikte olan alt sınıf, diğerleri de malzeme kalitesinin artması sonucunda oluşan orta ve üst sınıf standardındaki yapılardan oluşan 3 çeşit sınıf arasında bir seçim yapılır.

2) İnşaat Alanı Hesabı: Bu işlem bölgenin imar yönetmeliklerine göre m² cinsinden yapılır. İnşa edilecek arazi üzerinde taban alanı, TAKS katsayısına göre belirlenir fakat yoldan çekme uzaklıklarına göre hesap yinelenir KAKS katsayısına göre de binanın yüksekliği ve kat yüksekliğinden kat sayısı hesaplanır. Bodrum kat sayısı da arazinin durumu ve binanın arazideki yönüne göre bulunur. Binadaki betonarme plaklar ile birlikte temel ve çatı alanlarının toplamı ile toplam inşaat alanı (TİA) hesaplanmaktadır.

3) İmalat Kalemlerinin Metraj Tahmini: Bu yaklaşımda imalatlar kaba ve ince imalatlar olmak üzere iki ana gruba bölünmektedir. Alt başlıklar aşağıdaki gibidir:

Kaba İnşaat İmalat Kalemleri

Kazı ve dolgular

Betonlar

Duvar imalatlar

Kalıp ve iskele imalatları

Nervürlü demir imalatları

Çatı imalatları

İnce İnşaat İmalat Kalemleri

Kapı-pencere ve doğrama imalatı

Marley imalatları

PVC doğrama imalatları

Ahşap ve laminant parke imalatları

Demir doğrama ve alüminyum imalatları

Sıva ve şap işleri

Boya ve badana işleri

Yer ve duvar kaplama işleri

Kartonpiyer işleri

Cam işleri

Yağmur oluk ve inişleri

Sıhhi tesisat

Kalorifer tesisatı

Doğalgaz tesisatı

Elektrik işleri

Asansör işleri

Yukarıda belirtilen kaba ve ince inşaatlara ait imalatların metraj tahmini, her bir sınıfa ait her imalat maliyeti hesabı için kullanılabilecek Bayındırlık Bakanlığı poz numaraları doğrultusunda yapı sınıfına göre seçilen imalatların pozları alınarak metraj katsayıları ile inşaat alanının çarpılması ile imalatlara ait tahmini metraj bulunmaktadır.

4) İmalat Kalemlerinin Maliyetinin Tahmini: Yukarıdaki işlem sonrasında hesaplanan imalat kalemlerinin metrajları piyasadan toplanan malzeme birim fiyatları ile çarpılarak imalatın yaklaşık maliyeti bulunmaktadır.

$$\text{Poz maliyet} = \text{Metraj} * \text{Piyasa (Rayiç) Birim Fiyatı} \quad (4.24)$$

5) Toplam İnşaat Dolaysız Maliyetinin Tahmini: Poz maliyetinin pozun toplam maliyet içindeki ağırlığına bölünmesi sonucu toplam inşaat dolaysız maliyeti bulunur.

$$\text{Toplam İnşaat Dolaysız Maliyeti} = \text{Poz Maliyeti} / \text{Maliyet Ağırlığı} \quad (4.25)$$

6) Yaklaşık Maliyet ve Teklif Fiyatının Belirlenmesi: Yeni ihale yasasındaki kar ve riski içeren yaklaşık maliyet formülünde toplam dolaysız maliyet değerinin yerine konması ile yaklaşık maliyet hesaplanmış olur:

$$\text{Yaklaşık Maliyet} = 1,25 * \text{İmalat Miktarı} * \text{Gerçekçi Fiyat} + \text{KDV} \quad (4.26)$$

Örnek: Daire alanı 120–130 m² olan, odalarda marley yerine III. sınıf parke, salonlarda II. sınıf parke, ıslak zeminlerde standardın üzerinde kalitede seramik malzemesi, metal aksamın yeralacağı balkon korkulukları ve blok giriş kapısı mahallerde kutu kesitli profiller yerine alüminyum eloksanlı malzeme veya ferforje imalatı gibi detaylar sonucu 3. kategori konut projesi olduğu bulunur.

Daha sonra inşaat alanının hesabı şu şekilde hesaplanır. TAKS ve yola göre çekme mesafeleri göz önüne alınarak temel alanı 500 m², KAKS göz önüne alınarak da binanın zemin+7 kat olması, arazi üzerindeki yerleşiminden dolayı da 1 adet bodrum kat olmasına karar verilmiştir. Zemin kattan itibaren % 16 çıkma yapılması, son katta bir çıkma daha yapılması, çatı katta dubleks kat yapılması için son kat döşemesinin %35 kadar eğik bir plak yapılması durumunda da toplam inşaat alanı 5.921,94 m² hesaplanır.

Daha sonra bu değer ile betonlar imalat kaleminin seçilmesi ile ilgili imalata ait pozlar bulunur.

İlgili poza ait metraj katsayıları alınarak yukarıda belirlenen toplam inşaat alanı ile çarpılarak betonlar imalat kaleminin yaklaşık metrajı hesaplanır. Metrajları yaklaşık olarak belirlenen pozlar Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Birim Fiyat Analizlerinden birim fiyatlar alınarak ve dip toplamı alınarak betonlar imalat kalemi için toplam maliyet aşağıdaki gibi bulunur. Betonlar imalat kalemi için toplam imalatın % 9.72'si olduğu okunur ve bu oran kullanılarak toplam projenin imalat bedeli

$$111.223,98 \text{ YTL} / 9.72 \% = 1.144.279,61 \text{ YTL hesaplanır.}$$

Proje aşamalarına göre maliyet dağılımı istenirse maliyet dağılımı yüzdeleri toplam maliyet ile çarpılarak hesaplanması istenen kısma göre ilgili bütçe hesaplanabilir. Bundan sonra proje bedelinin kaba ve ince imalat olarak dağılımı hesaplanır. Daha sonra oranlar ile toplam maliyetin pozlara göre dağılımı için bulunur.

Daha sonra birim fiyatların karlı-karlısız olması durumuna göre Kar ve Risk ilavesi (%25) ve ayrıca KDV (%18) ilavesi yapılır. Yeni ihale yasasına göre bu ilaveler ile yaklaşık maliyet ve teklif fiyatı aşağıdaki hesaplanır.

$$1.25 * 1.144.279.32 * 1.18 = 1.687.812 \text{ YTL}$$

4.1.13 Oran (Faktör) Yöntemi

Bu yöntem genel olarak bir maliyetin diğer bir maliyetin oranı ya da faktörü olarak hesaplanması esasına dayanmaktadır. Örneğin, binanın elektrik, havalandırma, ısıtma sistemleri ile birlikte toplam maliyetinin kabuğunun maliyetinin 1,6 gibi bir değer ile çarpılması sonucu ya da her bir inşaat elemanının maliyetinin ekipman maliyetinin bir değer ile çarpılması sonucu bulunarak toplamlarından da toplam maliyetin bulunması gibi. Bu gibi faktörlere maliyet-oran faktörleri denir.

Metodoloji makine/ekipman maliyeti * “faktör” + güvence ile tahmini içermektedir.
[118]

Bu yöntemi uygulamak için çok iyi bir veri tabanına ihtiyaç vardır. Bu metotla gerçekleştirilen hesaplamalardaki doğruluk oranı +/-20 %'dir. [5]

Örneğin bir ürünün oluşturulabilmesi için belli bir süreçten geçmesi gereken bir kimyasal tesisteki ekipman maliyetinin toplam inşaat maliyetine oranının, aynı sürece sahip başka bir tesisin büyüklük ya da kapasitesi dikkate alınmadan aynı oranda alınarak maliyeti tahmin edilmektedir. Bununla ilgili bir örnek aşağıda gösterilmektedir:

Örnek: Aynı prosese sahip 2,5 milyon dolara malolan inşa edilmiş bir tesiste ekipman maliyeti 1 milyon dolardır. Yeni tesisteki ekipman maliyeti 2,4 milyon dolar hesaplanmışsa bu tesisin toplam inşaat maliyeti ne olacaktır?

Yeni tesisin toplam inşaat maliyeti = $2,4 / (1,0 / 2,5) = 6$ milyon Dolar.

Tez kapsamında iki türlü tahmin öngörülmektedir. Birincisi ekipman maliyetinden direkt toplam bina maliyeti, ikincisi ise ekipman maliyetinden fonksiyonel elemanların maliyetleri dolayısıyla toplam bina maliyeti tahminleridir.

İlk tahmin türü aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır.

- 1) Proje tipi seçilir. (genellikle endüstriyel tesisler, petrokimyasal tesisler)
- 2) Belirli kıstaslar göz önüne alınarak benzer projeler proje veritabanından süzülür.
- 3) Proje veritabanından seçilen projelere ait ekipman maliyetleri - toplam bina maliyeti verileri elde edilir.
- 4) Bu projeler için maliyet değerleri DİE Bina İnşaat Maliyet İndeksi ve İTO indeksi ile belli bir tarihe, trend analizi ile gelecekteki bir tarihe güncellenir.
- 5) Bu veriler istatistiksel analiz programında değerlendirilerek ortalama makine-ekipman maliyeti ile toplam inşaat maliyeti arasındaki oran belirlenir.
- 6) Yeni tesisin ekipman maliyeti hesaplanır.
- 7) Belirlenen proje tipi için ekipman maliyeti/toplam inşaat maliyeti oranı ile yeni projenin ekipman maliyeti çarpılarak toplam inşaat maliyeti hesaplanabilir.

İkinci tür de ise yukarıdaki metodolojideki 5. aşamadan itibaren farklılık bulunmaktadır.

İlk dört aşama aynı şekilde gerçekleştirildikten sonra geçmiş proje maliyetleri istatistiksel yazılım ile analiz edilerek ekipman maliyetlerinden diğer maliyet bileşenlerinin değerlerini bulmak için gerekli ortalama faktör ya da yüzde cinsinden değerler hesaplanır. Daha sonra yeni tesisin ekipman maliyeti hesaplanır. Önceki aşamada belirlenen ekipman maliyeti – fonksiyonel eleman maliyetleri arasındaki oranlar ile yeni tesisin fonksiyonel elemanlarının maliyetleri belirlenir. Fonksiyonel elemanların maliyetlerinin toplamı sonucunda da toplam inşaat maliyeti hesaplanabilir.

Çoğu kimyasal ve petrokimyasal tesisler için makine maliyeti tek başına yaklaşık toplam capital harcamalarının 20–35% ini oluşturmaktadır. [132] Dolayısıyla doğru hesaplanmalıdır. Ekipman maliyetleri aşağıdaki kaynaklar kullanılarak hesaplanabilir:

- önceki proje ekipman maliyetleri
- ön satıcı rayiçleri
- basılı ekipman maliyet verisi
- götürü kotlardan veya
- bilgisayar destekli tahmin programları.

Amerika’daki dış kaynaklar

Richardson Eng. Serv. --- Ekipman maliyetlerini içerir. Yılda 4. kez güncellenir.

RS Means

Conceptual Cost Estimating kitabı maliyet /büyüklük makineler için

Guthrie proses tesisler için yatırım maliyeti tahminine veri sağlar (malzeme eskimekte)

Questimate--- PC bazlı tahmin yazılımı ICARUS Corp.

Makine maliyetini toplam proje maliyeti ile beraber tahminini vermektedir. Yılda iki kez güncellenmektedir. Basit bilgiler gerekli makine maliyet için.

Timberline

Precision Est. Software PC bazlı tahmin programı [133]

Ekipman maliyetinden toplam inşaat maliyetine fonksiyonel elemanların bazında hesaplayarak toplam maliyete geçiş aşağıdaki denklem aracılığıyla mümkündür. [71]

$$C = \left(C_e + \sum_i f_i C_e \right) (f_i + 1) \quad (4.27)$$

C : tahmini maliyet,

C_e : birincil ekipman maliyeti,

f_i : bina elemanlarının maliyetini hesaplamak için kullanılacak oranlar, ekipman maliyetine ilişkilendirilecek oranlar,

i : bina elemanlarını temsil etmek üzere 1,..., n sayıdır.

Bu sistem baz ekipman ve projeksiyonel maliyetlere nelerin dahil olduğuna dair bilgisi olan hesap uzmanları tarafından iyi bir hesaplama aracı olarak kullanılabilir. [96]

Oranlar ya da faktörler çeşitli tekniklerle hesaplanabilmektedir. Yapı sahibinin firmanın tecrübe edindiği projelerinin istatistiksel analizleri, yüklenici firmaların maliyet analizleri, haber dergileri, hükümet kayıtları kaynak olarak kullanılabilir. [42] Önerilen faktörler ve güvenceler her projede aynı şekilde uygulanamaz. Projeye özel faktör ve güvenceyi belirlemek için tecrübe ve muhakeme sonucu önerilen faktörlere ve güvenceye modifikasyonlar yapılmalıdır. [118]

Yukarıdaki metodoloji ile aşağıdaki hususlar göz önüne alınarak bilimden öte sanat olan (black art) tahmin işlemi gerçekleştirilmelidir. Bu yöntemde 4 önemli husus bulunmaktadır:

İyi muhakeme - metodolojideki faktörleri ve sonuçları ayarlama, modifiye etmek için iyi muhakeme kullanılmalı.

Tecrübe - hem genel hem de belirli bir proje tipi ile ilgili tecrübelerle sahip kişiler ile çalışılmalı ya da gerçekleştirilen tahminler incelenmelidir.

Süreklilik - sürekli aynı ekiple çalışıldığında bu ekip geçmiş projelerden edinecekleri tecrübelerle hatalarını azaltacak, metodolojilerini, faktörlerini ve güvencelerini daraltacaklardır.

Bütünlük ve veritabanı - her tesis için proje maliyet tecrübesi veritabanı her yerleşim için ayrı inşa edilmelidir. Her yerleşim, iklim koşulları, işçilik maliyeti, verimlilik, çalışma alanı bakımından farklılıklara sahip olabilir. Yanlış tahminlerin sebeplerinden en büyüğü farklı setten bir faktör ya da oran kullanmasındandır. [118]

Bu çerçevede gerçekleştirilmiş bazı çalışmalar şunlardır:

Leese Faktöriyel Tahmin Sistemi (FACTEST)

Mike G. Leese [75] çalışması 1988 yılındaki çalışması kapsamında FACTEST faktöriyel tahmin sisteminden bahsetmektedir.

Bu bilgisayar programı bir tesisteki 50 bölümdeki 1000'e yakın ana tesis makinelerinin maliyetini ve ardından toplam tesis yatırım maliyetini hesaplayabilmektedir.

FACTEST bir kimyasal tesiste yedi fonksiyonel disiplin belirler.

1. Ana Tesis Bileşeni Montajı
2. Boruların yerleştirilmesi
3. Aygıtlar
4. Elektrik Montajı (bina)
5. Taşıyıcı sistem
6. Civil
7. Yalıtım, Boyama, Yangın önleyici malzemelerin uygulanması (fireproofing)

Bunlar ilgili ana tesis bileşeni ile ilişkilendirilerek maliyetleri tahmin edilebilir.

Seçilen bilgi ve kullanıcı tarafından girdi ile veritabanını kullanarak yedi fonksiyonel disiplinin maliyetini hesaplar.

Bunların toplamı + MPI maliyeti ---- ana tesis montajlı bileşeni maliyetini verir.

Program net montajlı maliyetini MPI'nın tesisteki toplayarak net yatırım maliyetini bulur. Yedi fonksiyonel disiplin maliyetinde değışiklik yapılabilir.

İlave olarak FACTEST toplam yatırım maliyetini de aşağıdaki gibi hesaplar.

Bu tahmin için gerekli veriler şunlardır.

- süreç akış diyagramı
- her ana tesis bileşeninin maliyeti (rayiç ya da tahmini bedeli)
- genel tipi ve layoutu hakkında bilgi (yaklaşık yüksekliği, tesis yapılarının) inşaat tipik malzemelesi
- tesisin genel olmayan nitelikleri

FACTEST 50 farklı faktör referansı MPI montajının tipini, karmaşıklığını kapsayan

Her faktör referansı MPI maliyetine faktörün sayısal değeriine ilişkin denkleme karşılık gelir.

FDC / MPI Cost --- Func.

Modifikasyon faktörleri yapılabilir. MPI disiplinleri

4.1.14 Maliyet – Kapasite Faktörleri ile Tahmin Yöntemi

Bu yöntem, genellikle endüstriyel tesislerin fakat havalimanı vb. gibi binaların maliyetlerinin tesisin kapasitesindeki değışimin maliyet üzerindeki etkisini ifade eden maliyet – kapasite faktörleri ile tahmin edildiği bir yöntemdir.

İnşaatı gerçekleştirilecek endüstriyel tesis ya da havalimanı vb. binalar için veritabanındaki daha önce yapılmış benzer tesislerin kapasite ve inşaat maliyet değeri göz önüne alınarak gerçekleştirilen maliyet-kapasite istatistiksel analizi sonucu maliyet – kapasite faktörleri elde edilmektedir.

Bu kapasite ve maliyet değerleri iki boyutlu koordinat düzlemine yerleştirildiğinde lineer olmayan bir eğilim göze çarpmaktadır. Bu ilişki aşağıdaki gibi ifade edilmektedir. Bu üssel ilişki eşitliğin her iki tarafının logaritması alınarak lineer ilişkiye dönüştürülür.

$$(2.\text{tesis} \text{in maliyeti} / 1.\text{tesis} \text{in maliyeti}) = (2.\text{tesis} \text{in kapasitesi} / 1.\text{tesis} \text{in kapasitesi})^x \quad (4.28)$$

$$\ln (2.\text{tesis} \text{in maliyeti} / 1.\text{tesis} \text{in maliyeti}) = x \ln (2.\text{tesis} \text{in kapasitesi} / 1.\text{tesis} \text{in kapasitesi}) \quad (4.29)$$

Bu dönüşümden sonra maliyet – kapasite faktörü basit lineer regresyon analizi ile bulunur. Maliyet-kapasite faktörü ortaya çıkan lineer doğrunun eğimidir.

Maliyet-kapasite faktörleri ile ön tahmin aşamaları şunlardır:

1. Proje tipi belirlenir.
2. Belirli kıstaslar göz önüne alınarak benzer projeler proje veritabanından süzülür.
3. Proje veritabanından seçilen projelere ait kapasiteleri (tesis üretim kapasitesi vb.) - toplam bina maliyeti verileri elde edilir.
4. Belirlenen proje maliyetleri ve kapasiteleri gözönüne alınarak yukarıda açıklandığı gibi istatistik yazılımı tarafından gerçekleştirilen lineer regresyon analizi sonucunda bu proje tipi için kapasite-maliyet faktörü belirlenir.
5. Bu aşamada belirlenen proje tipi için ortalama birim kapasite maliyeti ve ortalama kapasite değeri alınır ya da veritabanındaki en benzer projenin birim kapasite maliyeti ile kapasite değeri alınır.
6. Yeni projenin kapasite değeri belirlenir.
7. Aşağıdaki formüle göre sistem tarafından yeni projenin maliyeti hesaplanır.

$$C_F = f \left[C_k (R)^x \right] \quad (4.30)$$

C_F : tesisin yatırım maliyeti,

C_k :bilinen tesisin yatırım maliyetini,

R :tesislerin kapasitelerinin oranını,

x : maliyet-kapasite faktörünü ifade etmektedir.

Bu denklem dolaysız ve dolaylı maliyetler göz önünde bulundurularak şu şekilde de ifade edilmektedir.

$$C_F = f[D(R)^x + I] \quad (4.31)$$

Bu denklemde yukarıdaki denklemden farklı olarak kullanılan D , dolaysız maliyetleri I ise dolaylı maliyetleri ifade etmektedir. [53]

Bu yöntem için yurtdışında yapılan çalışmalardan birinin bir kısmı aşağıdaki tablo 4.7 ile açıklanmaktadır. [52] Bu tabloda çeşitli kimyasal tesislerin ve rafineri ünitelerinin tipik tesis üretim kapasitesi, maliyet kapasitesi faktörü ve bir ünite için yatırım tutarı belirtilmektedir.

Bu yöntem ile maliyet tahminini gerçekleştirebilmek için gerekli parametreler, tesis tipi, tesisin kapasitesi, inşaatın yapıldığı yıl ve yerdir.

Örnek: 1988 yılının Aralık ayında yılda 80 Mlb bütanol üretebilecek bir tesisin yatırım maliyetinin 30 milyon dolar olduğu birim maliyet yöntemine göre belirlenmiştir. (tablodan 750 dolar değeri alınarak ve 80 Mlb tona çevrilerek yatırım maliyeti hesaplanır) 1987 yılında aynı tipteki fakat bu sefer yılda 20 Mlb üretim kapasitesine sahip bir tesisin yatırım maliyeti hesaplanmak istenmektedir. Zaman ayarlaması için 1988 yılı için kimyasal tesis inşaat maliyet indeksi değeri olarak 349, 1987 yılı için 324 alınacaktır. Bunun için yukarıdaki ilk formülde, tablodan alınan maliyet kapasitesi faktörü değeri kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Yatırım maliyeti} = 30 \times \left(\frac{20}{80}\right)^{0,4} \times \left(\frac{324}{349}\right) = 16.0 \text{ milyon dolar hesaplanır. [53]}$$

Tablo 4.7: Proses Tesisleri için Tipik Birim Yatırım Maliyet Verisi,
Aralık 1988

Ürün ya da Proses	Üretim	Tipik Tesis	Sabit Yatırım	Maliyet-Kapasite
Kimyasal Tesisler	1000 ton / yıl		Ton/yıl	
Asetik Asit		10	600	0,68
Aseton		100	300	0,45
Amonyak		100	225	0,53
Amonyum Nitrat		100	45	0,65
Bütanol		50	750	0,40
Klorin		50	520	0,45
Etilen		50	245	0,83
Etilen Oksit		50	940	0,78
Formaldehit		10	1500	0,55
Glikol		5	2740	0,75
Metanol		60	200	0,60
Nitrik Asit		100	65	0,60
Polietilen (Yüksek Yoğunluk)		5	3000	0,65
Propilen		10	300	0,70
Sülfürik Asit		100	30	0,65
Üre		60	120	0,70
Rafineri Üniteleri	1000		Bbl/gün	
Alkylation		10	1800	0,60
Coking (delayed)		10	2425	0,38
Coking (akışkan)		10	1500	0,42
Cracking (fluid)		10	1500	0,70
Cracking		10	450	0,70
Damıtma (atm.)		100	300	0,90
Damıtma (vac.)		100	180	0,70
Hydrotreating		10	300	0,65
Reforming		10	2740	0,60
Polimerizasyon		10	450	0,58

Örnek.3: Endüstriyel tesis dışında bir örnek olarak yurtiçi havalimanına bir ek bina ve yeni uluslararası havalimanı inşaatı maliyet tahmini ile ilgili Amerika’da 1996 yılında yapılmış bir çalışmada Donald ve Christopher üç büyüklük cinsi belirlenmiştir ki bunlar, yıllık yolcu sayısı, havalimanı alanı ve çıkış sayısıdır. İlave yurtiçi bina maliyeti için 1993–1998 yılları arasında açılan 5 havalimanı projesi ele alınmış, bu projelerin yıllık yolcu sayısı-inşaat maliyeti, havalimanı alanı-inşaat maliyeti ve çıkış sayısı-inşaat maliyeti değerleri alınarak maliyetler 1994 yılına indirgenmiş ve istatistiksel analiz ile değerlendirilmişlerdir. Daha sonra log-log grafik düzeninde olacak şekilde bu değerler işaretlenmiştir.

En küçük kareler yöntemi ile gerçekleştirilen regresyon analizine göre tespit edilmiştir ki ek bina maliyeti en yüksek korelasyonlu grafiği havalimanı alanı vermiştir. Kapasite maliyet faktörü $R=1,2$ bulunmuştur. Yeni havalimanı için ise 1994–1999 yılları arasında açılan 8 örnek havalimanı proje alınarak regresyon analizi gerçekleştirilmiş ve en yüksek korelasyonu ise yıllık yolcu kapasitesi vermiştir. Bu analiz sonucunda kapasite-maliyet faktörü, $R=2,9$ bulunmuştur. Fakat bu durumlar ek binada $2.136,8m^2 - 13.935 m^2$ arasındaki alan değeri için; yeni havalimanı için 10-35 milyon yıllık yolcu sayısı için geçerlidir.

Bu çalışmada örnek olarak $93.000 m^2$ alanı kaplayacak bir havalimanı ek binası Dallas/Fort Worth Havalimanına 1994 yılında ilavesi maliyeti hesaplanmaktadır.

İlk olarak yapısal bakımdan benzer bir havalimanı bulunur. Bu havalimanı örnekte 1993 yılında operasyona açılan O’Hare terminalidir. Bu proje 557 milyon dolarlık inşaat maliyeti ve $105.910 m^2$ alana sahiptir.

$$C_{Dal} = C_{Oha} \left(\frac{A_{Dal}}{A_{Oha}} \right)^{1,2} \quad (4.32)$$

$$C_{Dal} = \$557milyon \left(\frac{93.000}{105.910} \right)^{1,2} = \$476 \text{ milyon bulunur.}$$

ENR şehir indeksleri ile de güncellenerek ek havalimanı inşaatı maliyeti 337 milyon Dolar bulunmuştur. Dallas’taki terminal ilavesi 1993–1994 güncellemesi de yapılmalıdır. [103]

4.2 Benzer Proje ile Karşılaştırma Tekniğine Dayalı Ön Tahmin Yöntemleri

Benzer proje ile karşılaştırma yöntemleri gerçekleştirilmesi düşünülen yapıya benzer geçmişte tamamlanmış maliyeti bilinen bir yapı ile karşılaştırma yapılarak yapı maliyetini etkileyen faktörlerin değişimi oranında dönüştürme işlemleri yapılması sonucu yeni yapılacak yapının maliyetinin hesaplandığı yöntemlerdir. [16]

Bu yöntemler aşağıdaki aşamalar doğrultusunda uygulanır:

- 1) İlk önce maliyeti bilinen yeni inşa edilecek yapıya benzeyen bir yapı bulunur.
- 2) Daha sonra yeni yapıdaki malzeme, inşaat metodu ve benzeri diğer değişiklikler için ayarlamalar, dönüştürmeler yapılarak yeni yapının maliyeti bulunur.

Bu yöntem doğrultusunda yapılan çalışmalar şunlardır:

4.2.1 İlk Maliyet Tahmin Yöntemi

1977 yılında Belfield ve Everest (erken maliyet tahmini yöntemi) tarafından yapılan ilk maliyet tahmini yöntemi çalışmasında farklı kalite tercihlerinin yapı maliyeti üzerindeki etkileri açıklanarak daha doğru bir ön tahmine ulaşılmasını sağlamak hedeflenmiştir. [16]

Bu modeller “Architect’s Journal” dergisinin 1 Haziran 1977’deki sayısında depolar, 14 Eylül 1977’deki sayısında fabrika binaları ve bağlı ofisleri maliyet hesaplarında uygulanmıştır. Şekillerde görülmektedir. [16]

Bu çalışmada bina maliyetine etki eden temel faktörler şunlardır:

1. Kalite standardı ve yapım şekli
2. Bina büyüklüğü ve biçimi (m^2 brüt inşaat alanı)
3. Şantiye yeri
4. Binanın başlangıç ve bitiş tarihleridir.

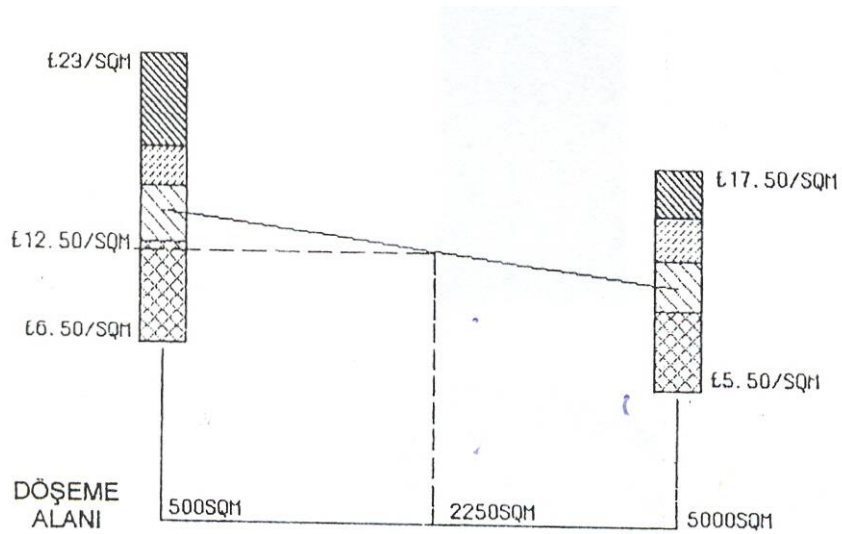
Bu model fonksiyonel elemanlara dayalı olarak geliştirilmiştir. Kalite sınıfı beş çeşit değerlendirilmiş ve her kalite sınıfında yapı elemanlarının hangi nitelikleri kapsaması gerektiğini belirten şekil 4.9’daki kalite çubuk diyagramları meydana getirilmiştir. [16]

Aynı özelliklere sahip binalarda, m^2 maliyetin daha çok binanın biçimi ve büyüklüğü ile değiştiği kabul edilmiştir. Seçilen bina tipi için, minimum ve maksimum alanına ait mevcut maliyet serilerinden kalite sınıfları dikkate alınarak histogramlar meydana getirilmiştir. Buradaki seriler 1’den 5’e olmak üzere en düşük maliyetliden en yüksek maliyetliye kadar sıralanmıştır. [16]

Bu modelde maliyet tahmini yapmak için bir *tasarım-maliyet seçim kartı* olarak adlandırılan çalışma tablosu oluşturulmuştur. Bu tabloda alttaki alan matrisinde 10 temel bina elemanı için en düşük fiyattan en yüksek fiyata kadar derecelendirilmiş iki tane maliyet histogramı bulunmaktadır. Bu histogramlardan bir tanesinde alan minimum- m^2 maliyet maksimum, diğesinde ise m^2 maliyet minimum-alan maksimumdur. Histogramlar kalite çubuk diyagramlarında gösterilen niteliklere göre derecelendirilmiştir. Kullanıcı her eleman için istediği kalite sınıfındaki dereceye göre o elemanın kalite sınıfına ait aralıktaki noktayı tespit eder.

O bina elemanı için minimum ve maksimum alana göre tespit edilen histogramdaki kaliteye ait noktalardan bir doğru geçirilir. Daha sonra bina alanı için seçilen alan matrisindeki değerden dik çıkılarak doğruyu kestiği noktadaki değer tespit edilir ki bu değer o bina elemanının m^2 maliyet değeridir.

Minimum ve maksimum alan histogramlarındaki değerlerin tespitinden sonra bu m^2 maliyet değeri enterpolasyon ile hesaplanmaktadır. [16]



Şekil 4.8: Bina büyüklüğüne bağlı m^2 maliyet hesabı

Bu işlemler 10 bina elemanının her biri için uygulanarak hepsinin m² maliyet değerleri bulunur. Bu değerlerin toplamı ile seçilen yapı için m² maliyet değeri hesaplanmış olur. Yardımcı işler de ayrı olarak hesaplanarak bu değere m² maliyet biçiminde katılmalıdır.

Yerleşim faktörü katsayıları, tasarım-maliyet seçim kartı ile bulunmuş m² maliyetlerin, şantiye yerine göre düzenlenmesini yani dönüştürülmesini sağlamaktadır. Maliyetlerin güncellemesi “AJ ihale fiyatları tahmini (AJ Forecast Of Tender Prices)” ile yapılmaktadır. [16]

Fakat alan ile m² maliyet arasındaki doğrusal bir ilişkili olduğu örneklerle ispatlanmamıştır. [16]

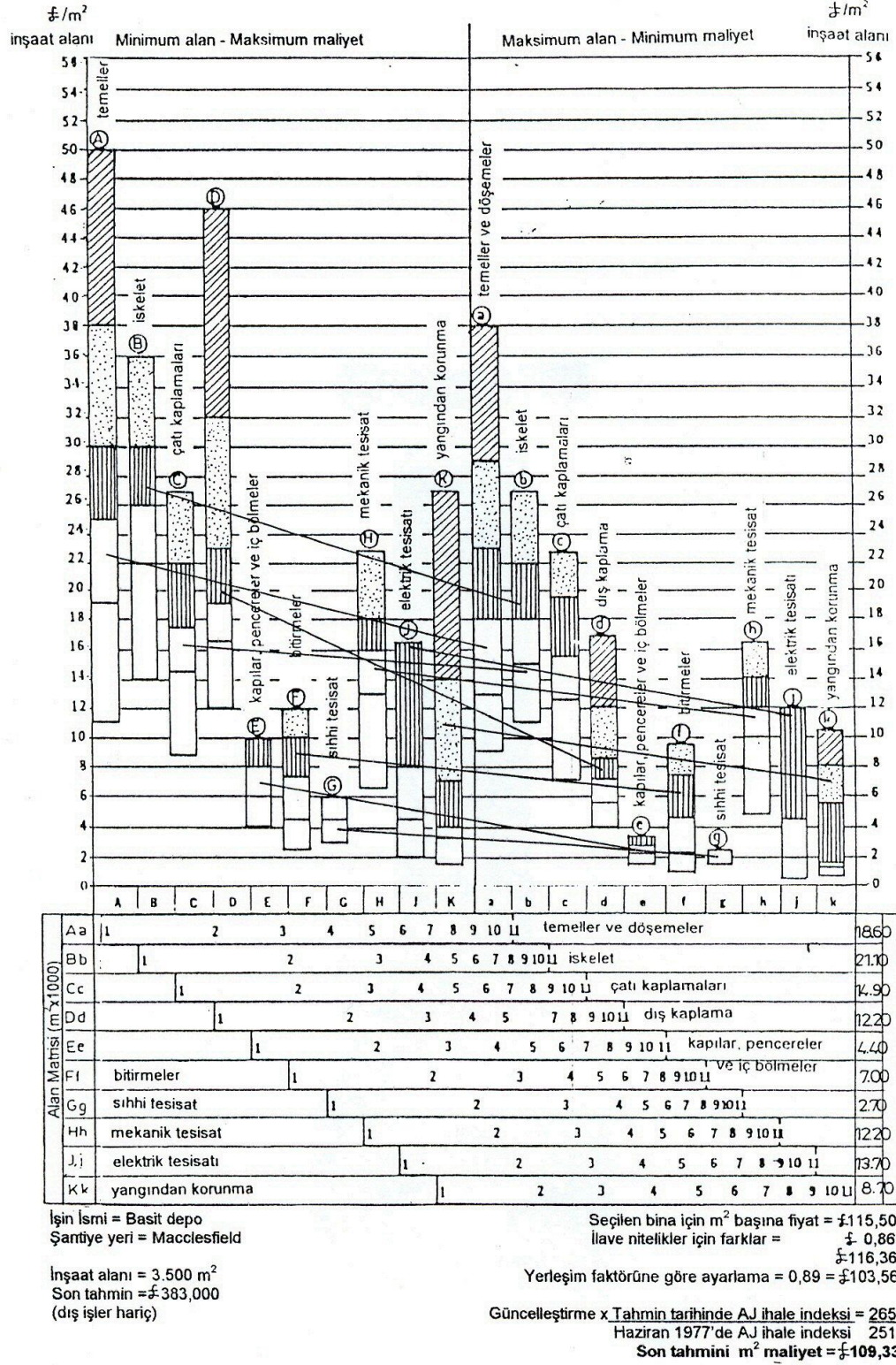
4.2.2 Erken Maliyet Tahmini Yöntemi

1985 yılındaki erken maliyet tahmini yönteminde P.Brandon, G.Moore ve P.Main tarafından yukarıdaki uygulamalardan (14 Eylül 1977 tarihli AJ'deki uygulama) fabrika binaları için olan hesaplama bilgisayar yazılımı haline getirilmiştir. Bu modelde alan arttıkça m² maliyetin doğrusal olarak azaldığı kabul edilmiştir. [16]

Bu maliyet tahmin modelinde maliyeti etkileyen tüm tasarım faktörleri gözönüne alınmamış; maliyeti en fazla etkilediği düşünülen kalite, büyüklük, yerleşim ve zaman faktörleri alınmıştır. [16]

4.2.3 Elemanlara Dayalı Maliyet Analizi ile Karşılaştırma Yöntemi

1986'da Ivor H. Seeley tarafından yapılan çalışmada maliyeti hesaplanacak binaya benzer bir binanın elemanlara dayalı maliyet analizi alınarak yeni binanın, örnek binadaki elemanlardan farklı özelliklerinin belirlenmesinden sonra bunların maliyette meydana getirdiği farklılıkların hesaplanmasıyla yeni binanın eleman maliyetlerinin toplanması sonucunda yeni bina maliyeti bulunur. [16]



Şekil 4.9: Tasarım – Maliyet Seçim Kartı ile Maliyet Hesabı

Örnek: 1500 m² döşeme alanına sahip bir fabrika binası için hesap tarihi olarak Ocak 1983 alınarak maliyet tahmini yapılmıştır. Bu yöntemi kullanmak amacı ile Kasım 1979 tarihinde ihale edilmiş 1600 m² lik fabrika binasının maliyet analizleri kullanılmıştır. Mevcut ve yeni fabrika binasının özellikleri aşağıdaki tabloda görülmektedir. Her iki fabrika da bodrum ve birinci kata sahiptir. [16] Yeni binanın eleman maliyetleri hesaplanırken, bütün elemanlara dayalı maliyetlerin maliyet indeksi kullanılarak güncelleştirilmesi yapılmıştır. [16]

Bina maliyet indeksi (Kasım 1979) -160

Bina maliyet indeksi (Ocak 1983) – 225

$225/160 \times 100 = 40$ dolayısıyla inşaat maliyetlerindeki artış oranı %40 olarak hesaplanmıştır. [16]

Kat yüksekliği miktarındaki azalmanın, bina maliyetinde de aynı oranda azalmaya neden olacağı kabul edilmiş fakat bunun neden böyle kabul edildiği belirtilmemiştir. [16]

Tablo 4.8'deki karşılaştırma sonrasında maliyet tahmini yapılan değişikliklerle sonlandırılır.

4.2.4 İlk (ön) Tahmin Yöntemi

1986 yılında Douglas Ferry ve Peter Brandon tarafından yapılan çalışmada m² maliyeti belirli olan bir binanın maliyet verilerinden yararlanarak yeni binanın maliyeti hesaplanmaya çalışılmıştır. [128]

Bu yöntemde örnek proje ile maliyeti hesaplanacak proje arasındaki bina maliyeti farkları hesaplanmakta ve toplam bina maliyeti bulunmaktadır.

Dönüştürme işlemleri sırasında göz önüne alınan faktörler şunlardır:

1. Piyasa koşulları,
2. Büyüklük, kat adedi gibi biçim farklılıkları
3. Yapı kalite seviyesi

Tablo 4.8: Elemanlara Dayalı Maliyet Analizi Yöntemindeki Örnekteki Mevcut ve Yeni Fabrikanın Özellikleri

	Mevcut Fabrika Binası	Yeni Fabrika Binası
Döşeme Alanı	1600 m ² (800+800)	1500 m ² (750+750)
Duvar / Döşeme Oranı	0,75	0,79
Kat Yüksekliği	8,40 m (4,80 + 3,60)	8,10 m (4,50 m + 3,60m)
Bina Maliyet İndeksi	Kasım-1979 – 160	Ocak-1983 – 225
Cephe Tuğlaları		Cephe tuğlaları %0,1 daha
Bölme Miktarı		%10 daha fazla
Sıhhi Tesisat		%25 artış var
Çöp Borusu Sistemi		%5 artış var
Püskürtgeç Tesisatı		Tahmini maliyet: 11.000
Şantiye İşleri Miktarı		%25 azaltma var

4. Tesisat sistemi farkları

5. Arsa ve zemin farkları

6. Diğer etkenler şeklindedir.

Karşılaştırmalar sırasında yayınlanmış enformasyon ile de karşılaştırma yapılmalıdır.

Örnek: Zemin katı mağaza ve kalan 3 katı büro olarak kullanılan toplam 4 katlı, 1500 m² toplam alana sahip bir büro binasına benzeyen zemin katı mağaza ve üst katları büro olarak kullanılacak 2400 m² toplam inşaat alanına sahip yeni 6 katlı bir büro binası için maliyet tahmini hesabı aşağıdaki gibi 6 aşamada dönüştürme uygulanarak yapılacaktır.

1. Piyasa koşulları için dönüştürme:

Bu dönüştürme işlemi, zaman içinde maliyetlerdeki değişme ile inşa edilen bölgedeki ortalama gelir ile marjinal gelir eğrilerinin farklılaşmasından meydana gelen bölgesel farklılaşma ve taşıma mesafelerindeki farklılaşmaları kapsamaktadır. Benzeyen projenin inşa edildiği tarih ile yeni proje için teklif verileceği tarih arasındaki inşaat maliyetlerinde (işgücü, malzeme ve araç-makine makine fiyatlarındaki artışlar ayrı hesaplanarak) %10 artış meydana geldiği belirtilmektedir.

Bu durumda benzeyen projenin yeni m2 maliyeti: $200 * \%10 = 220$ YTL olacaktır.
Bu aşamada inşaat maliyet indeksleri ile güncelleme yapılabilir.

2. Biçimsel farklılıklar:

Bu dönüştürme işlemi de karşılaştırılan binalar arasındaki plan biçimindeki farklılıkların ki bunun çok az olması gerekir, kat sayısındaki artış ya da azalışların ayarlanması işlemlerini kapsar. Benzeyen binadaki mağazalar toplam döşeme alanının $\frac{1}{4}$ 'ünü yani 375 m^2 ($1500/4=375\text{m}^2$) kaplamaktayken, 6 katlı yeni binada 500 m^2 'ye ($3000/6=500 \text{ m}^2$) çıkmaktadır. Mağazalar da genelde alıcının düzenlemesi için ince inşaatı tamamlanmadan bırakıldığı için bu durum da m2 birim maliyeti azaltacaktır.

Bu durumda yapılan çalışmalar ve incelemeler sonrasında binada mağazalarda 30 YTL /m² azalma, büro katlarında ise 10 YTL/m² artış hesaplanmıştır. Bu durumda,

Mağazalar: $500 \text{ m}^2 * (220-30) = 95.000$ YTL

Büro katları: $2500 \text{ m}^2 * (220+10) = 575.000$ YTL

Toplam: $95000+575000=670000$ YTL

Yeni birim maliyet: $670000 \text{ YTL} / 3000 \text{ m}^2 = 223,333$ YTL

3. Nitelik farkları

Bu aşamada malzeme farklılıkları hesaplanmakta ve bununla ilgili dönüştürme işlemleri yapılmaktadır. Yeni binanın toplam döşeme alanının $\frac{2}{3}$ 'ünde 1 YTL/m² daha pahalı malzeme kullanılacağı kabul edilmiştir. Bu durumda,

$3000 \text{ m}^2 * \frac{2}{3} = 2000 \text{ m}^2$

$2000 \text{ m}^2 * 1 \text{ YTL/m}^2 = 2000$ YTL

$2000 \text{ YTL} / 3000 \text{ m}^2 = 0,667 \text{ YTL/m}^2$

Dış duvar alanının döşeme alanının %10'u kadar olacağı ve toplam duvar alanının %25'inin de doğal taş ile kaplanacağı kabul edilmiştir. Doğal taş kaplamanın yapay taştan 1.5 YTL/m² daha pahalı olacağı belirlenmiştir.

Bu durumda,

$$3000 \text{ m}^2 * \%10 * \%25 * 1,5 \text{ YTL} = 6.187,5 \text{ YTL}$$

$$6.187,5 \text{ YTL} / 3000 \text{ m}^2 = 2,0625 \text{ YTL} / \text{m}^2 \text{ ilave maliyet meydana gelecektir.}$$

Nitelik farklarının m^2 maliyetteki toplam değışikliğı,

$$223,3333 + 0,6670 + 2,0625 = 226,0628 \text{ YTL} / \text{m}^2$$

4. Kapsam farkları

Yeni binada dekorasyon işlerinin de yüklenici tarafından yapılması istenmektedir. Ödeme kiracılar tarafından yapılacaktır. Öncelikle benzer binanın keşif özetlerinden dekorasyon maliyetleri hesaplanır. Bu maliyetin 20.000 YTL olduğu belirlenmiştir.

$$20.000 \text{ YTL} / 3000 \text{ m}^2 = 6.666,7 \text{ YTL} / \text{m}^2$$

$$6.666,7 * \%110 = 7.333,34 \text{ YTL} / \text{m}^2 \text{ (maliyetlerdeki artış \%10)}$$

$$7.333,34 * 4/3 * 5/6 = 8.148,15 \text{ YTL}$$

$$226,062 \text{ YTL} - 8.148 \text{ YTL} = 0.217,913 \text{ YTL} / \text{m}^2$$

5. Tesisat sistemindeki farklar

Tesisat sistemleri pıssu, temizsu, ısıtma, gaz, elektrik, haberleşme, asansör tesisatları gibi alt sistemlere ayrılır. Toplam maliyet içindeki payları oldukça fazla olduğu belirtilmiş bu yüzden bu dönüştürme modelinde yer almıştır. Örnek binadaki tesisat sisteminin maliyeti 45.000 YTL'dir. Bu durumda,

$$45.000 \text{ YTL} / 1500 \text{ m}^2 = 30 \text{ YTL} / \text{m}^2$$

$$30 \text{ YTL} * \%10 = 33 \text{ YTL} / \text{m}^2$$

Yeni inşa edilecek binada ise 84.000 YTL tutarındadır. Bu durumda tesisat m^2 birim maliyet,

$$84.000 / 3000 \text{ m}^2 = 28 \text{ YTL} / \text{m}^2 \text{ olacaktır.}$$

$33 - 28 = 5$ YTL / m² azalma meydana gelecektir yeni binanın tesisat sistemi dolayısıyla inşaat maliyetinde. Bu durumda yeni binanın m² birim maliyeti

$217,913 - 5 = 212,913$ YTL / m² bulunur.

6. Arsa ve zemin farkları

İnşa alanındaki zemin farklılığından dolayı yeni binanın temeli için 90 adet metresi 50 YTL olan 6 m uzunluğunda kazıklar gerekmektedir. Bu durumda yeni binanın maliyeti,

$90 \text{ adet} * 6\text{m} * 50 \text{ YTL} / \text{m} = 27.000 \text{ YTL}$

$27.000 \text{ YTL} / 3000 \text{ m}^2 = 9 \text{ YTL} / \text{m}^2$

$212,913 \text{ YTL} / \text{m}^2 + 9 \text{ YTL} / \text{m}^2 = 221,913 \text{ YTL} / \text{m}^2$ olacaktır.

7. Diğer faktörler

Yeni binanın yapı sahibi, inşaatın olabildiğince kısa sürede bitmesini istemektedir. Bu durumda iki ihtimal vardır. Birincisi işçi sayısını artırmak, diğeri işçilerin çalışma saatlerini artırmak. Bu durumların % 2,5 lik bir maliyet artışı meydana getireceği öngörülmüştür.

Bu durumda son olarak yeni binanın m² maliyeti,

$221,913 * \%2,5 = 227,461 \text{ YTL} / \text{m}^2$ bulunur.

4.2.5 Döşeme Alanına Dayalı Eleman Modeli ile Tahmin Yöntemi

1991 yılında yine Douglas Ferry ve Peter Brandon tarafından yapılan bu çalışma ise 1962’de kurulan BCIS veri tabanındaki elemanlara ait maliyet analizlerinden yararlanılarak eleman maliyetlerinde kalite, zaman ve miktar ayarlaması yapıldıktan sonra eleman maliyetleri toplanmakta ve toplam bina maliyeti hesaplanmaktadır. [16]

Bu modelde ilk maliyet formülü aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$C = \sum_{E=1}^6 (t.q.q_u.R)E \quad (4.33)$$

C: Maliyet

E: Ana eleman kategorileri (altyapı, üstyapı, dış bitirmeler, tesisat, servisler, dış işler)

t: Zaman ayarlaması (tüm elemanlar aynı indeks ile güncellenmeyecektir. Örneğin, servis bina elemanı, mekanik ve elektrik servisleri fiyat indeksi ile güncelleştirilecek, diğer elemanlar ise bu servisler dışındaki bina işleri için teklif fiyat indeksi ile güncelleştirilecektir.)

q: Kalite ayarlaması (örnek bina ile eldeki proje arasındaki karşılaştırma yapılarak ayarlama yapılır.)

q_u : Miktar ayarlaması (genellikle lineer olduğu kabul edilir, örnek bina maliyetinde alan yerine yeni binanın alanı konularak hesaplanır.)

R: Eleman birim maliyeti (döşeme alanı başına maliyet)

Daha sonradan bu modelin detay derecesi artırılarak ilk modeldeki 6 eleman kendi içinde elemanlara ayrılarak eleman sayısı 32'ye çıkarılmıştır. [16]

Örneğin, üstyapı, çatı, iskelet, dış duvarlar, döşemeler, merdivenler, pencereler ve dış kapılar, iç duvarlar ve bölmeler, iç kapılar olarak kendi içinde elemanlara bölünmüştür. Yeni formül de aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$C = \sum_{E=1}^{32} (t.q.q_u.R)E \quad (4.34)$$

4.2.6 RS Means m² Tahmin Yöntemi

1988–1996 yılları arasında Means (m² maliyet yöntemi) tarafından yapılan çalışma ile yapının m² maliyeti yaklaşık olarak elde edilebilmektedir.

Bu yöntemde kullanılan girdi parametreleri bina tipi, kat sayısı, dış duvar tipi, kat yüksekliği toplam brüt inşaat alanı, bina çevre uzunluğu, bodrum katın var olup olmaması, ayarlamalar, ilaveler, inşaatın yapıldığı yer ve inşaatın yapıldığı yıldır. [100]

Bu yöntemde ilk olarak R.S.Means Company, Inc. Tarafından geliştirilmiş olan Square Foot Cost maliyet veri tabanında (1992) bulunan 60 farklı bina tipinden uygun olanı seçilir. Daha sonra toplam brüt inşaat alanı belirlenir. Eğer belli değilse oda sayısı, araç sayısı gibi bilgiler ile Boyut Tanımlama Tablosu [20] kullanılarak toplam brüt inşaat alanı hesaplanır. Örneğin oda sayısı bilinmesi durumunda 1 oda için brüt alan ile çarpılarak toplam brüt inşaat alanı hesaplanır. Daha sonra brüt inşaat alanının tipik brüt inşaat alanının alt ve üst sınırları arasında bulunup bulunmadığı veri tabanının kullanılması için kontrol edilir.

Bodrum kat hariç kat sayısı hesaplanır. Daha sonra binanın çevre uzunluğu hesaplanır. Bu hesaplama için binanın kare ya da dikdörtgen şeklinde bir geometriye sahip olduğu kabul edilir.

Kare ise toplam brüt inşaat alanının karekökü bir kenarın uzunluğunu verecektir. Buradan karenin çevresi hesaplanır. Dikdörtgen ise toplam brüt inşaat alanı değerinden kenarlar birbirine en yakın değerler olacak şekilde belirlenir.

Çevre hesabından sonra döşeme üstünden döşeme üstüne binanın normal kat yüksekliği hesaplanır. Daha sonra veri tabanındaki tahmini yapılacak bina tipine ait dış duvar tiplerinden uygun olanı seçilir. Bu seçime göre veri tabanından alınan birim m^2 maliyeti üzerinde bir de çevre ve kat yüksekliği ayarlamaları da yapıldıktan sonra tahmini yapılan binaya ait birim m^2 inşaat maliyeti bulunur. Bu değer ile daha önce bulunan toplam brüt inşaat alanı çarpılarak toplam bina inşaat maliyeti bulunur.

Bodrum katın bulunması durumunda veritabanından alınan m^2 inşaat maliyeti değeri ile bodrum kat alanı çarpılarak bodrum katın bulunmasından dolayı oluşan ilave maliyet bulunur.

Binaya ait saat sistemi, kapalı sistem kamera, asansörler, güvenlik aydınlatma sistemi, duman dedektörü, ses sistemi, TV anten vb. işlerden oluşan ayarlamaların maliyeti miktar bilgileri ile Square Foot Cost maliyet veri tabanındaki birim fiyat değerleri ile çarpılması ile hesaplanarak toplamı alınır ve böylece ayarlamaların toplam maliyeti belirlenmiş olur. Daha sonra ilavelerin maliyeti hesaplanır. Bunlar araba yolu, otopark, çevre düzenleme gibi işlerdir. Bu işler hakkındaki var olan miktar bilgileri ile tüm bina tipleri için ortak hazırlanmış İlaveler tablolarındaki birim fiyat değerleri çarpılarak toplamaları alınır.

Toplam inşaat maliyetine bodrum kat, ayarlamalar ve ilavelerden doğan ek maliyetler katılır.

Son olarak yer ve zaman ayarlaması yapılarak maliyet tahmini işlemi sonlandırılır.

(İnşaatın yapılacağı yıla ait tahmini maliyet indeksi / veri tabanının son güncellendiği yıla ait gerçek maliyet indeksi) * toplam inşaat maliyeti işlemi sonucu zaman ayarlaması gerçekleştirilir. Yer ayarlaması için inşaatın yapılacağı yere ait maliyet indeksi ile az önce bulunan maliyetin çarpılarak 100'e bölünür ve böylece tahmini toplam maliyet elde edilmiş olur.

Ayrıca m³ maliyetler de kullanılarak özellikle proses endüstrisindeki benzer genel olmayan tavan yükseklikleri ve asma katları bulunan binaların maliyet tahmininde pratik olmaktadır. [70]

4.2.7 RS Means m² Ticari Bina Modeli Yazılımı

Bina tipi, toplam kat sayısı, dış duvar tipi, toplam brüt inşaat alanı, inşaatın yapıldığı yıl ve inşaatın yapıldığı yer parametreleri girilerek tahmin gerçekleştirilir. [100]

İlk olarak R.S.Means Company, Inc. tarafından geliştirilmiş olan Commercial Foot Cost maliyet veri tabanındaki 46 farklı ticari bina tipinden uygun olanı seçilir. Daha sonra toplam brüt inşaatı, bodrum kat hariç toplam kat sayısı belirlenir. Daha sonra veri tabanındaki maliyet tahmini yapılacak bina tipine ait dış duvar tiplerinden uygun olan biri seçilir. Son olarak inşaatın yapılacağı yerin posta kodu ya da eyalet-şehir girilerek tahmin sonlandırılır.

4.2.8 RS Means Konut Modeli Yazılımı

Bu yazılımda ise R.S.Means Company, Inc. tarafından geliştirilen “Residential Foot Cost” maliyet veri tabanı kullanılmaktadır. İlk olarak dört farklı kalite seviyesinden uygun olanı seçilerek toplam brüt inşaat alanı belirlenir. Daha sonra bodrum hariç kat sayısı girilir. Veri tabanındaki maliyet tahmini yapılacak bina tipine ait dış duvar tiplerinden uygun olan biri seçilir. Son olarak da inşaatın yapılacağı yer posta kodu ya da eyalet – şehir olarak yazılarak tahmin işlemi sonlandırılır. [100]

4.2.9 RS Means Birim Maliyet Çarpanı (UCM), Toplam Maliyet Çarpanı (TCM) Yöntemi

RS Means 1992 yılında da büyüklüğe bağlı olarak **birim maliyet çarpanı ve toplam maliyet çarpanı yöntemlerini** geliştirmiştir. Buradaki büyüklük için karşılaştırma birimleri m2 alan, m3 hacim, bir otopark için araç sayısı, hastanede yatak sayısı, endüstriyel tesislerde kapasite olabilir.

Bu yöntemde projeler konut ve ofis binaları gibi tasarım ile yapım aşamalarında büyük miktarda benzerlik gösteren binalar için basit ve farklılık gösteren laboratuvarlar, hastaneler için kompleks projeler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bina maliyetinin büyüklüğü ile ters orantılı olduğu düşüncesinden hareket ederek büyüklük faktörüne göre maliyet çarpanları saptanarak, bunların hem basit hem de kompleks projelerde kullanılması için tablolar ve grafikler hazırlanmıştır. [20]

Bu çalışmada,

1) İlk olarak inşa edilmek istenen yapı R.S.Means Company, Inc. tarafından geliştirilmiş olan Square Foot (SF) Base Size maliyet veri tabanından 60 farklı bina tipinden biri seçilir. [20]

2) Toplam brüt inşaat alanı bilinmiyorsa oda sayısı, araç sayısı vb. bilgi mevcutsa Boyut Tanımlama Tablosu’ndaki değerler kullanılarak toplam brüt inşaat alanı elde edilir. Bu değer maliyeti tahmin edilecek binanın toplam brüt inşaat alanının tipik brüt inşaat alanı alt ve üst sınırları içerisinde olup olmadığı veritabanını kullanabilmek açısından kontrol edilir.

Eğer elde edilen brüt inşaat alanı değeri tipik brüt inşaat alanı ile aynı ise bu durumda veri tabanındaki o bina tipine ait medyan birim m² inşaat maliyeti ile binanın toplam brüt inşaat alanı çarpılarak toplam bina inşaat maliyeti hesaplanır. Fakat eğer brüt inşaat alanı tipik değer ile aynı değilse bu durumda Büyüklük Faktörü (Size Factor) hesaplanır. Bunun için tahmini yapılacak binanın brüt inşaat alanı, veri tabanındaki o bina tipine ait tipik brüt inşaat alanına bölünür.

3) R.S.Means tarafından yapılan basit veya kompleks bina tanımlarına göre tahmini yapılacak binanın hangi tip olduğuna karar verilir.

4) Birim Maliyet Çarpanı (Unit Cost Multiplier) 3 yöntemden biri kullanılarak hesaplanır. Birincisi büyüklük faktörü – birim maliyet çarpanı grafiğinden (şekil 4.8) okuyarak, ikincisi UCM-SF formüllerini kullanarak ki bunlar:

Basit binalar için:

$$UCM = SF^{0.1} \quad (4.35)$$

Kompleks binalar için:

$$UCM = SF^{-0.4} \quad (4.36)$$

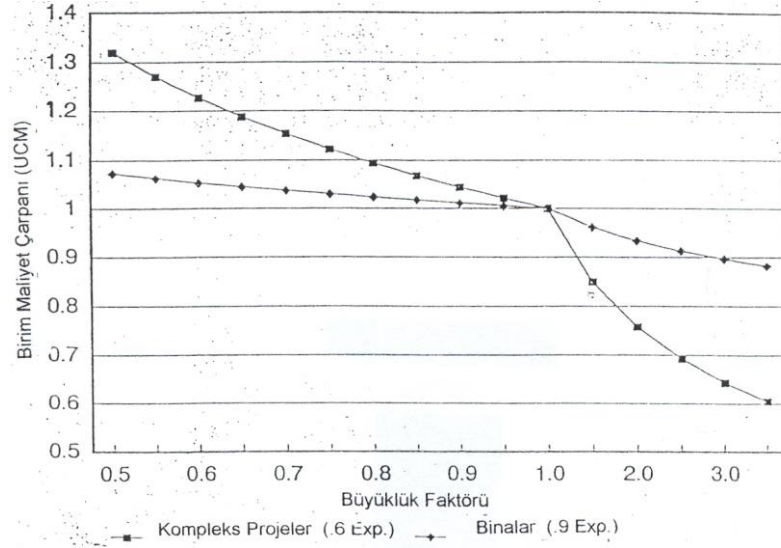
Üçüncü yöntem ise şekil 4.8'deki UCM-SF-TCM dönüşüm tablosunu kullanmaktır. [20]

5) Tahmini yapılacak bina tipine ait m² inşaat maliyeti ile Unit Cost Multiplier çarpılarak maliyeti tahmin edilen binanın m² maliyeti belirlenir.

6) Elde edilen m² maliyet değeri ile binanın brüt inşaat alanı çarpılarak toplam bina inşaat maliyeti hesaplanır.

7) Son olarak zaman ve yer ayarlamaları zaman ve yere bağlı maliyet indeksleri ile yapılarak tahmin sonlandırılır.

Toplam Maliyet Çarpanı tahmin yöntemindeki tek farklılık binanın basit veya kompleks kararından sonra şekil 4.9'daki tablodaki [20] toplam maliyet çarpanı ile çarpılması sonucu direkt toplam maliyetinin bulunmasıdır. Geri kalan adımlar birim maliyet çarpanı ile aynıdır.

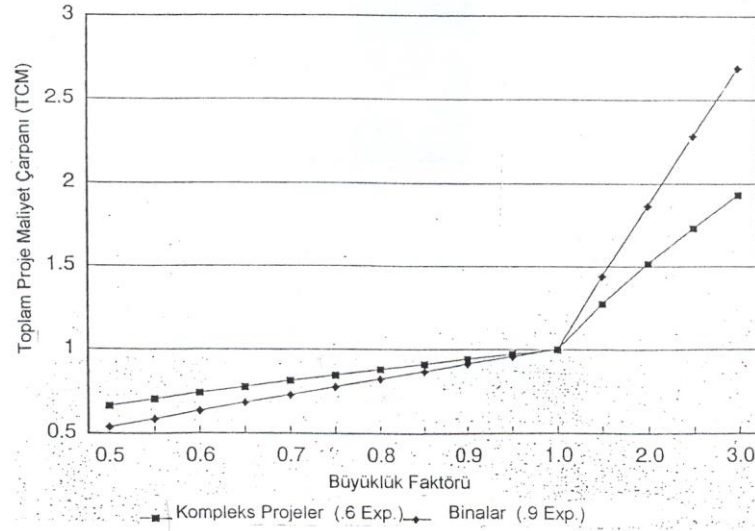


Şekil 4.10: Birim Maliyetleri Dönüştürme Grafiği

4.2.10 R.S.Means Çabuk Maliyet Hesaplayıcısı Yazılımı

Bu yazılım ile de ön maliyet tahmini işlemi gerçekleştirilebilmektedir. 60 farklı bina tipi için oluşturulmuş veritabanından uygun olan bina tipinin ve ardından toplam brüt inşaat alanının girilmesinin ardından yazılım tarafından belirlenen değer daha sonra inşaatın yapıldığı yer ve yıla göre güncellenerek tahmin sonlandırılmaktadır. [100]

Gerekli parametreler, bina tipi, toplam brüt inşaat alanı veya birim sayısı, inşaatın yapıldığı yer ve inşaatın yapıldığı yerdir. Bu yazılım R.S. Means Company, Inc tarafından geliştirilmiş olan Square Foot Base Size maliyet veri tabanını kullanmaktadır. [20]



Şekil 4.11: Toplam Maliyetleri Dönüştürme Grafiği

4.2.11 RS Marshall & Swift Konutlarla İlgili Tahmin Yöntemi

RS Marshall & Swift tarafından da ön maliyet tahmin yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlardan biri konutlarla ilgili tahmin yöntemidir. Bu tahmin yönteminde Marshall & Swift tarafından geliştirilmiş 3 ayda bir güncellenen Square Foot Costs maliyet veri tabanında bulunan tek katlı ev, alçak katlı apartman, kasaba ev ve çiftlik evi tiplerinden maliyeti tahmin edilmek istenen biri tahminci tarafından seçilir. [100]

Daha sonra inşaata ait altı farklı kalite seviyesinden biri seçilir. Binanın bodrum kat dâhil toplam kat sayısı belirlenir. Daha sonra veritabanından bina tipi, kat sayısı ve inşaat kalite seviyesi göz önünde bulundurularak en uygun olan m² birim maliyet verisi dolar cinsinden seçilir. Bodrum kat dâhil toplam kat alanları belirlenir. Bu seçilen birim maliyet ile bodrum kat dâhil toplam brüt inşaat alanı ile çarpılarak toplam bina inşaat maliyeti bulunur. Daha sonra yer ve zaman maliyet indeksleri ile ayarlama yapılarak tahmin sonlandırılır.

4.2.12 Marshall & Swift Ticari Binalarla İlgili Yöntem

Marshall & Swift tarafından geliştirilen bir diğer yöntem de ticari binalarla ilgili yöntemde ise Marshall & Swift tarafından geliştirilmiş 3 ayda bir güncellenen Commercial Square Foot Costs maliyet veri tabanından 270 farklı ticari kurum ve ziraatla ilgili bina tipinden tahmin edilecek olan tip seçilir. [100]

Daha sonra 6 farklı kalite seviyesinden biri seçilir. Binanın bodrum kat dâhil toplam kat sayısı da belirlendikten sonra veri tabanından belirtilen bina tipi, kat sayısı ve kalite seviyesi göz önünden bulundurularak en uygun olan $\$/m^2$ maliyet verisi seçilir.

Konutlarla ilgili tahmin yönteminde olduğu gibi bodrum kat dâhil tüm kat alanları da belirtildikten sonra binanın toplam brüt döşeme alanı ile seçilen $\$/m^2$ birim maliyet çarpılarak toplam bina inşaat maliyeti bulunur. Daha sonra bu tahmini maliyet üzerinde yer ve zaman ayarlaması yere bağlı ve zamana bağlı maliyet indeksleri ile yapılır.

Marshall & Swift ayrıca konutlarla ve ticari binalarla ilgili tahmin yazılımı da geliştirmiştir. Bu yazılımlardaki girdi parametreleri, bina tipi, inşaat kalitesi, toplam kat sayısı, toplam brüt kat alanı ve inşaatın yapıldığı yerdir.

4.2.13 Marshall & Swift Konutlarla İlgili Tahmin Yazılımı

Konutlarla ilgili yazılım da Marshall & Swift tarafından geliştirilmiş ve 3 ayda güncellenen Residential Square Foot Costs maliyet veri tabanını kullanmaktadır. Bu yazılım kullanımında ilk olarak tek katlı ev, dubleks ev, alçak katlı ev, apartman, kasaba ev ve çiftlik evi tiplerinden uygun olan biri seçilir. 6 farklı kalite seviyesinden biri seçilerek, binanın bodrum kat dâhil toplam kat sayısı belirlendikten sonra yazılım tarafından otomatik olarak en uygun $\$/m^2$ verisi belirlenerek yazılıma binadaki bodrum kat dâhil kat alanlarının toplamı girilir.

Daha sonra inşaatın yapılacağı tarih ay ve yıl olarak yer de posta kodu olarak girilerek toplam inşaat maliyeti yer ve zaman ayarlaması yapılmış bir şekilde bulunur. [100]

4.2.14 Marshall & Swift Ticari Binalarla İlgili Tahmin Yazılımı

Ticari binalarla ilgili tahmin yazılımında ise yukarıdaki ticari binalarla ilgili yöntemdeki gibi aynı veritabanını kullanan yazılımdan 270 farklı ticari kurum ve ziraatla ilgili bina tipinden maliyeti tahmin edilecek olan bina tipi belirlendikten sonra 6 farklı kalite seviyesinden biri seçilir.

Daha sonra bodrum kat dâhil toplam kat sayısı ve bodrum kat dâhil kat alanlarının toplamı belirlenerek inşaatın yapılacağı tarih ay ve yıl olarak yer de posta kodu olarak girildikten sonra bu ticari binanın maliyet tahmini elde edilir. [100]

4.2.15 SAYLOR Company, Inc. Ticari Binalar İçin m² Maliyet Tahmin Yöntemi

Saylor Company, Inc. tarafından geliştirilen ticari binalar için m² maliyet tahmin yönteminde ise yine SAYLOR Company, Inc. tarafından geliştirilen Commercial Square Foot Costs maliyet veri tabanından 65 farklı ticari bina tipinden maliyeti tahmin edilecek binaya uygun olan biri bina tipi ve bu bina tipine ait dış duvar tiplerinden uygun olanı seçilir. Bu iki seçime bağlı olarak veri tabanından birim m² inşaat maliyeti elde edilir. [100]

Birim m² inşaat maliyeti daha sonra 4 farklı deprem bölgesinden birine göre ayarlanır. Bu elde edilen m² inşaat maliyeti brüt inşaat alanı ile çarpılarak toplam bina inşaat maliyeti elde edilir. Ayrıca bodrum katın olması durumunda veritabanında bodrum brüt kat alanları için tanımlanmış olan birim m² inşaat maliyetlerinden uygun olanı seçilir. Daha sonra bodrum kat m² inşaat maliyeti üzerinde bodrum kat yüksekliğindeki farklılıktan kaynaklanan ayarlama yapılır.

Ayarlama sonucu elde edilen bodrum kat m² inşaat maliyeti ile bodrum kat brüt inşaat alanı çarpılarak bodrum kat toplam inşaat maliyeti elde edilir ki bu maliyet de daha önce hesaplanan inşaat maliyetine ilave edilerek toplam bina inşaat maliyeti elde edilir.

Son olarak zaman ve yer maliyet indeksleri ile ayarlamalar yapılarak tahmini maliyet elde edilir.

4.2.16 SAYLOR Company, Inc. Konut Binaları İçin m² Maliyet Tahmin Yöntemi

SAYLOR Company, Inc. tarafından geliştirilen konut binaları için m² maliyet yönteminde yine SAYLOR Company, Inc. tarafından geliştirilen Residential Square Foot Costs maliyet veri tabanından 6 farklı inşaat kalite seviyesinden uygun olan biri ilk olarak seçilir. [100]

Daha sonra bina tipine ait dış duvar tiplerinden biri seçilir. Bu seçimlere göre veri tabanından birim m^2 inşaatı maliyeti elde edilir. Daha sonra bu m^2 maliyet ile brüt inşaat alanı çarpılarak toplam bina inşaat maliyeti elde edilir.

Bodrum kat olması durumunda veri tabanındaki bodrum kat duvar tiplerinden uygun olan biri seçilerek bodrum kata ait birim m^2 inşaat maliyeti elde edilir ve bodrum kat brüt inşaat alanı ile çarpılarak bodrum kata ait toplam inşaat maliyeti elde edilir. Bu elde edilen maliyet ile daha önceden hesaplanan bina maliyeti toplanarak toplam inşaat maliyeti elde edilir.

Garajın olması durumunda veri tabanından 1, 2 veya 3 arabalık olması durumlarından biri seçilerek garaja ait birim m^2 inşaat maliyetine ulaşılır. Garajın brüt inşaat alanı ile bu m^2 maliyet çarpılarak toplam garaj inşaat maliyeti elde edilir. Daha sonra az önce elde edilen bina maliyetine garaj maliyeti de ilave edilerek toplam inşaat maliyeti bulunur. Son olarak yer ve zaman indeksleri ile tahmini maliyetler güncellenerek tahmin işlemi sonlandırılır.

4.2.17 SAYLOR Company, Inc. S.A.F.E Yazılımı

SAYLOR Company, Inc. tarafından hazırlanan S.A.F.E. Yazılımı ile tahminde SAYLOR Company, Inc. tarafından geliştirilmiş olan S.A.F.E.' ya ait veritabanından ticari bina tiplerinden uygun olan biri daha sonra dış duvar tipi seçilir. Bina çevre uzunluğu belirlenir. Normal kat yüksekliği ve bodrum kat hariç toplam kat sayısı da belirlenir. [100]

Binaya ait taban alanı belirlenir. Bodrum kat varsa toplam brüt döşeme alanı yazılır. Son olarak şehir kodu yazılarak inşaatın yapılacağı yer belirtilerek tahmin sonlandırılır.

4.2.18 BCIS m^2 Maliyet Tahmin Yöntemi

İngiltere'deki Bina Maliyeti Enformasyon Servisi tarafından geliştirilen m^2 maliyet tahmin yönteminde Birleşik Krallık Maliyet Tahmincileri Enformasyon Servisi'ne ait Square Foot Costs maliyet veri tabanındaki 7 farklı iş tipinden birinin seçimi yapılır. [100] Bunlar:

Düşey yönde binayı büyütme

Yatay yönde binayı büyütme

Sadece taşıyıcı sistem inşası

Yeni binaya benzetme

Eski binaya benzetme

2) Daha sonra veri tabanındaki 9 farklı bina tipi ana grubu altında bulunan çok sayıdaki bina tipinden uygun olan seçilir. Bunlar

100. Kamu binaları

200. Endüstri binaları

300. İdari, ticari ve koruma binaları

400. Sağlık hizmeti veren binalar

500. Kültür binaları

600. Dini binalar

700. Eğitim ve bilim binaları

800. Konutlar

900. Diğer binalar

Tümü

3) Beş farklı kalite seviyesinden uygun olan biri seçilir. Bu şekilde ilk üç adım sonunda uygun £/m^2 değerine ulaşılmış olur.

4) Toplam brüt inşaat alanı hesaplanır

5) Bina toplam brüt inşaat alanı ile veri tabanından alınan £/m^2 değeri çarpılarak toplam bina inşaat maliyeti bulunur.

6) Son olarak toplam bina inşaat maliyet üzerinde zaman ve yer ayarlaması yere bağlı maliyet indeksi ve zamana bağlı maliyet indeksi ile gerçekleştirilir.

4.2.19 Esra Bostancıoğlu Konut Binalarında Maliyeti Etkileyen Faktörler ve Faktörlere Dayalı Maliyet Tahmin Çalışması

1999 yılında Esra Bostancıoğlu çalışmasında 3–10 katlı ahşap konut inşaatı maliyetini etkileyen faktörlerin maliyet ile ilişkisini baz alarak bir maliyet tahmin modeli geliştirmiştir. [16]

Bu modelde maliyeti etkileyen faktörler olarak kalite, kat adedi, plan biçimi, bina büyüklüğü, kat yüksekliği, kattaki daire adedi, bodrum durumu ve sirkülasyon alanı olarak belirlemiştir. Yapılan literatür araştırmasında iklimsel koşullar, bölgesel koşullar, arsa özellikleri, imar koşulları, yönetmelikler, çeşitli yasalar gibi faktörler ön tahmin aşamasında müdahale edilemeyeceği bölgesel ve yerleşim yerine bağımlı faktörler olduğu için yapım teknolojisi ve üretim ölçeği faktörü ise çok kapsamlı faktörler olduğu için çalışma kapsamına alınmamıştır.

Bu çalışmada dönüştürme modeli geliştirilmiştir. Bir proje baz proje olarak seçilmekte, ve bu projenin m^2 maliyeti, dönüştürme modeli ile diğer projelerin m^2 ve toplam maliyetlerini hesaplamak için kullanılmaktadır. Yeni projenin özellikleri, maliyeti etkileyen faktörler açısından baz projenin özellikleri ile karşılaştırılmaktadır. Yeni projenin m^2 maliyeti, yeni projenin özelliklerinin baz projenin özelliklerinden farkı ile belirlenmektedir.

Esra Bostancıoğlu tarafından geliştirilen dönüştürme modeli 3–10 katlı geleneksel ahşap kalıp sistemiyle inşa edilecek konut binalarının maliyetinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Teknoloji faktörü göz önüne alınmamıştır. Arsa ve altyapı maliyetleri, mekanik, elektrik ve tesisat maliyetleri, inşaat maliyetleri içinde de nakliye ait maliyetleri ve inşaat madeni aksamına (çok az değerde zaten) ait maliyetleri kapsamamaktadır. Bu değerler istenirse ayrı olarak hesaplanıp bu yöntem ile hesaplanan değere ilave edilebilir.

Bu yöntemde 9 adet maliyeti etkilediği varsayılan faktör grubu oluşturulmuştur. Bunlar kalite, kat adedi, plan biçimi, tesisat sınıfı, bina büyüklüğü, kat yüksekliği, kattaki daire adedi, bodrum durumu ve sirkülasyon alanı olarak belirlemiştir.

Bütün faktör gruplarından en düşük maliyeti verecek olan baz konut tasarlanmış, mimari ve betonarme projeleri çizilmiş, metraj Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatlarına dayanarak keşif özetleri hazırlanarak toplam proje maliyeti arsa ve altyapı maliyetleri mekanik, elektrik ve tesisat işleri maliyetleri ve inşaat maliyetleri içinde de nakliye ait maliyetleri ve çok az değerde olan inşaat madeni aksamına ait maliyetler dışında hesaplanmıştır. Bu değerler istenirse ayrı olarak hesaplanıp bu yöntem ile hesaplanan değere ilave edilebilir.

Toplam inşaat alanına bölünerek baz binanın m² başına maliyeti hesaplanmıştır. Sonra faktör grubu sınıfları belirlenirken baz binanın özellikleri sabit tutularak, bir faktöre ilişkin özellikler değiştirilerek yeniden proje tasarlanmakta ve bu 28 farklı projenin maliyetleri baz projenin maliyeti hesaplandığı şekilde hesaplanmaktadır. Daha sonra projelerin m² maliyetleri, faktör grupları içinde karşılaştırılmaktadır. Faktör grubu içinde yer alan projenin m² başına maliyeti, baz projenin m² başına maliyetine bölünerek dönüştürme katsayıları belirlenmektedir.

Yeni projenin maliyeti, yeni projenin baz projeden değişen özelliklerine göre dönüştürme katsayıları belirlenmekte ve aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$TL / m^2 YB = TL / m^2 BB + TL / m^2 BB * \left(\sum DK_{K1} - \sum DK_{K0} \right)^{I_z} \quad (4.37)$$

$$\sum DK_1 = DK_{K1} + DK_{KDA1} + DK_{PB1} + DK_{DB1} + DK_{TS1} + DK_{KA1} + DK_{KY1} + DK_{SO1} + DK_{BO1} \quad (4.38)$$

$$\sum DK_0 = DK_{K0} + DK_{KDA0} + DK_{PB0} + DK_{DB0} + DK_{TS0} + DK_{KA0} + DK_{KY0} + DK_{SO0} + DK_{BO0} \quad (4.39)$$

$TL / m^2 YB$: Yeni binanın m² maliyeti

$TL / m^2 BB$: baz binanın m² maliyeti

$\sum DK_{K1}$: yeni binanın dönüştürme katsayıları toplamı

$\sum DK_{K0}$: baz binanın dönüştürme katsayıları toplamı

DK_{K1} : yeni binanın kalite sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{KDA1} : yeni binanın kattaki daire adedi sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{PB1} : yeni binanın plan biçimi dönüştürme katsayısı

DK_{DB1} : yeni binanın daire büyüklüğü sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{TS1} : yeni binanın tesisat sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{KA1} : yeni binanın kat adedi sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{KY1} : yeni binanın kat yüksekliği sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{SO1} : yeni binanın saydamlık oranı sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{BO1} : yeni binanın bodrum durumu sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{K0} : baz binanın kalite sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{KDA0} : baz binanın kattaki daire adedi sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{PB0} : baz binanın plan biçimi dönüştürme katsayısı

DK_{DB0} : baz binanın daire büyüklüğü sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{TS0} : baz binanın tesisat sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{KA0} : baz binanın kat adedi sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{KY0} : baz binanın kat yüksekliği sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{SO0} : baz binanın saydamlık oranı sınıfı dönüştürme katsayısı

DK_{BO0} : baz binanın bodrum durumu sınıfı dönüştürme katsayısı

I_z : zaman indeksi (inşaat maliyet indeksi değeri)

Bu yöntem ile yatırımcı daha fizibilite aşamasında tasarımla ilgili ekonomik kararlar alabilir. Örneğin, faktör gruplarında yer alan projelerin çeşitli kombinasyonları ile çok sayıda projenin m² başına inşaat maliyet değeri hesaplanıp, maliyet haritaları hazırlanarak, iki faktör bakımından eşit m² maliyete sahip binalar tespit edilebilir. Aynı şekilde, faktör gruplarında yer alan projelerin daire başına ve toplam maliyetleri hesaplanıp, maliyet haritaları hazırlanarak eşit daire başına ve eşit toplam maliyete sahip binalar belirlenebilir. Böylelikle dairelerin ekonomikliğini karşılaştırılabilir.

Kullanımı kolay, az zaman alan bir yöntemdir.

Bu model ile elde edilen 7 adet projenin m² maliyetleri keşif yöntemi ile imalatlara dayalı olarak hesaplandığında meydana gelen sapma oranı % 0,3- %7,1 arasındadır. Bu değer RS Means'in ön tasarım aşamasında dönüştürme yöntemi için +-%15 hata payı vermesi göz önüne alınarak elde edilen sonucun oldukça iyi bir sonuç olduğu ifade edilebilir. [16]

Yöntemin dezavantajı ise arsa ve altyapı maliyetleri, mekanik, elektrik ve tesisat maliyetleri, inşaat maliyetleri içinde de nakliyeye ait maliyetleri ve inşaat madeni aksamına ait maliyetleri kapsamadığından toplam maliyetin direkt olarak elde edilememesidir.

Örnek: Ankara'da m² maliyeti 2005 yılı 300 YTL olan bir konut projesi baz proje olarak seçilerek aynı yerleşimde yeni bir konut projesi inşaat maliyeti nakliye giderleri ve inşaat madeni aksamına ait maliyetler hariç hesaplanacaktır.

Bu yeni konut projesi 1.sınıf kalitede, 3 katlı, dikdörtgen biçiminde 100 m², 2,80 kat yüksekliğine, katında 2 daire olan bodrumlu, asansörlü, 0,30 saydamlık oranına sahip olacaktır. Baz proje ise, 3.sınıf kalitede, 5 katlı, kare biçiminde, daire büyüklüğünün 120 m² olduğu, 2,70 m kat yüksekliğine sahip, katında 4 dairesi olan, bodrumsuz, asansörlü ve 0,20 saydamlık oranına sahip olacaktır. Bu durumda baz projenin dönüştürme katsayısı,

$1+1+1+1+1+1+1+1,011+1=9,011$ hesaplanır.

Yeni projenin dönüştürme katsayısı ise

$1,280+1,083+1,014+1+1,020+1,083+1,048+1,000+1,019=9,547$ bulunur.

Aradaki fark: $9,547 - 9,011 = 0,536$ hesaplanır. Bu değer maliyet tahmini yapılacak projenin m² başına maliyetinin, baz projenin m² başına maliyetine göre yüzde olarak farkıdır. Dolayısıyla yeni konut projesinin m² maliyeti,

$0,536 * 300 \text{ YTL/m}^2 = 460,8 \text{ YTL/m}^2$ olarak bulunur.

Toplam inşaat alanı 900 m² ise inşaat maliyeti $460,8 \text{ YTL/m}^2 * 900 \text{ m}^2 = 414.720$ YTL hesaplanır.

4.3 Yapay Zekâ Tekniklerine Dayalı Maliyet Tahmini Yöntemi

Maliyet tahmini amacıyla kullanılan yapay zekâ teknikleri yapay sinir ağları, bulanık mantık ve uzman sistemler ile genetik algoritmalarlardır.

4.3.1 Yapay Sinir Ağları (YSA) İle Tahmin Yöntemi

Yapay zekâ çalışmaları sırasında ortaya çıkan farklı alanlardan biri de Yapay Sinir Ağları (YSA) ile tahmin yöntemidir. YSA'lar 1950li yıllarda ortaya çıkmalarına rağmen 1980'lerin ortalarında genel amaçlı kullanım için gereken seviyeye ulaşmışlardır. Bu tahmin yöntemi, insan beyninin ana işlem elemanı olan nöronun şekilsel ve işlevsel açıdan basit bir biçimde taklit edilerek biyolojik sinir sisteminin basit bir simülasyonunun oluşturulduğu programlardır.

Yapay sinir ağları tahmin yöntemi, en basit şekilde bir örnekler kümesi yardımıyla parametrelerin uyarlanabilmesini sağlayacak bir matematiksel formül için yazılan bilgisayar programı olarak tanımlanabilir.

Haykin [142] tarafından yapılan daha kapsamlı tanımda ise bir sinir ağı basit işlem birimlerinden meydana gelen deneyimsel bilgileri biriktirmeye yönelik doğal bir eğilime sahip ve bunların kullanılmasını sağlayan yoğun bir şekilde paralel dağıtılmış bir işlemci olarak ifade edilmektedir. Bu işlemcinin iki bakımdan beyin ile benzerlik gösterdiği açıklanmaktadır:

1. Bilgi, ağ tarafından bir öğrenme süreciyle çevreden elde edilir.

2. Elde edilen bilgileri biriktirmek için sinaptik ağırlıklar (nöronlar arası bağlantı güçleri) kullanılır. [142]

Özellikle “Evrensel Fonksiyon Yakınsayıcı Yöntem” olarak tanınmalarından dolayı tahmin amacıyla sıkça kullanılmaktadırlar. [142]

Yapay sinir ağları çalışmalarında 1970’ten itibaren hızlı bir düşüş gerçekleşmiştir, fakat 1999’lardan itibaren düşük maliyetli bilgisayarlar ve daha hızlı programlanabilme bakımlarından dolayı yeniden araştırmalar hız kazanmıştır.

İnsan beyinde yaklaşık olarak 100 trilyon neron 10^{15} bağlantı ile birbirine bağlanmıştır. Yapay sinir ağları ise basit işlem elemanlarını içerir veya bağlantı setleriyle birbirine bağlı yapay nöronlar içermektedir. İşlem elemanları ağ mimarisine ve paradigmasına göre farklı yapılarda ayarlanmakta ve organize edilmektedir

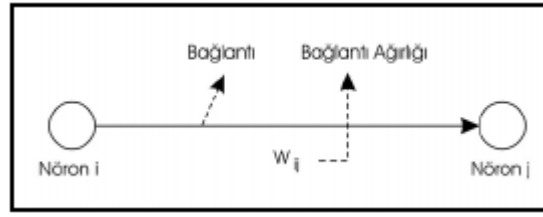
İnşaat sektöründe yapay sinir ağları uygulaması 1980lerin sonuna dayanmaktadır. 1994 yılında sinir ağları süreç optimizasyonu, sismik felaket tahmini, kalıp sistemi seçimi, maliyet tahmini amacıyla kullanılmaya başlamıştır. [122]

YSA’lar fazla sayıda bağlantılara sahip olması ve karmaşık yapıları sebebiyle bu amaca yönelik olarak hazırlanmış özel yazılımlar ile çalıştırılmaktadırlar.

YSA kullanılarak Siqueira (1999) tarafından alçak katlı çelik binaların, Moselhi (1998) tarafından değişiklik talimatlarının, Hegazy ve Ayed (1998) tarafından otoyol projelerinin (highway), Creese ve Li (1995) tarafından köprülerin maliyet tahmini gerçekleştirilmiştir. [122]

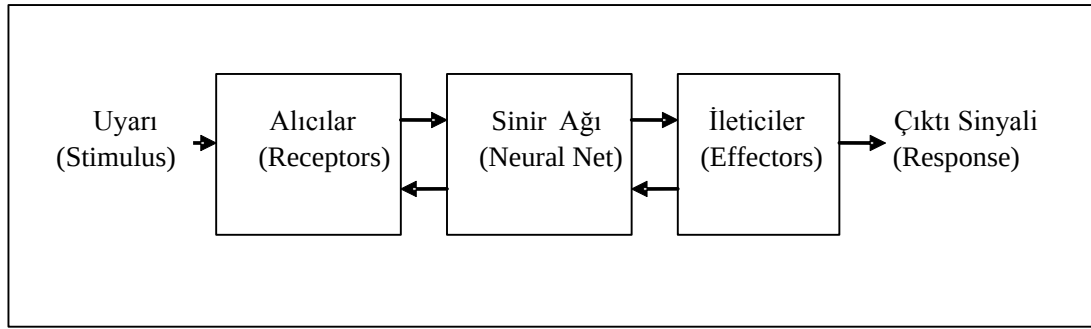
Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

YSA’lar üç ana elemandan meydana gelmektedir. Bunlar temel işlem elemanı olan nöron, girdi ve çıktı yolunu sağlayan bağlantı ve bu bağlantıların sağlamlığını gösteren bağlantı ağırlığıdır.



Şekil 4.12: Yapay Sinir Ağlarının Temel Elemanları

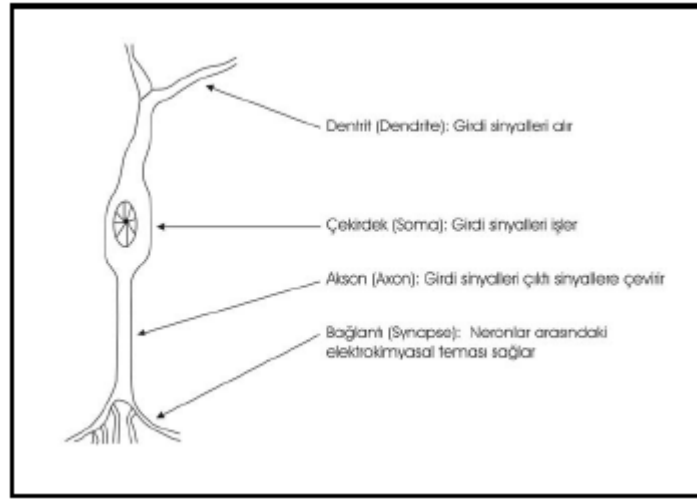
Haykin (1999) insan beyninin çalışma sistemini aşağıdaki şekilde ifade etmektedir. Bu sistemde sürekli olarak beyin dışarıdan ya da başka bir organdan gelen uyarıları alıcılar aracılığıyla sinir ağına iletmekte, burada işleminden geçirerek ileticiler aracılığıyla dış ortama veya diğer organlara iletmektedir. Bu sistemde beyin sinir sisteminin merkezidir ve beyin temel yapı taşları ise sinir hücreleri yani nöronlardır. [142]



Şekil 4.13: Sinir Sisteminin Blok Diyagramı

Bir biyolojik nöronun yapısı aşağıdaki şekilde görülmektedir. Biyolojik nöron dört ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar dentrit (dendrite), çekirdek (soma), akson (axon) ve bağlantı ya da sinaps (synapse). Bu yapıda dentritler girdi kanalları olarak diğer nöronların sinapsları vasıtasıyla girdilerini alırlar. Daha sonra çekirdek gelen bu uyarıları işleyerek bir çıktıya dönüştürür. Bu çıktı akson ve sinapslar vasıtasıyla diğer nöronlara iletilir. [142]

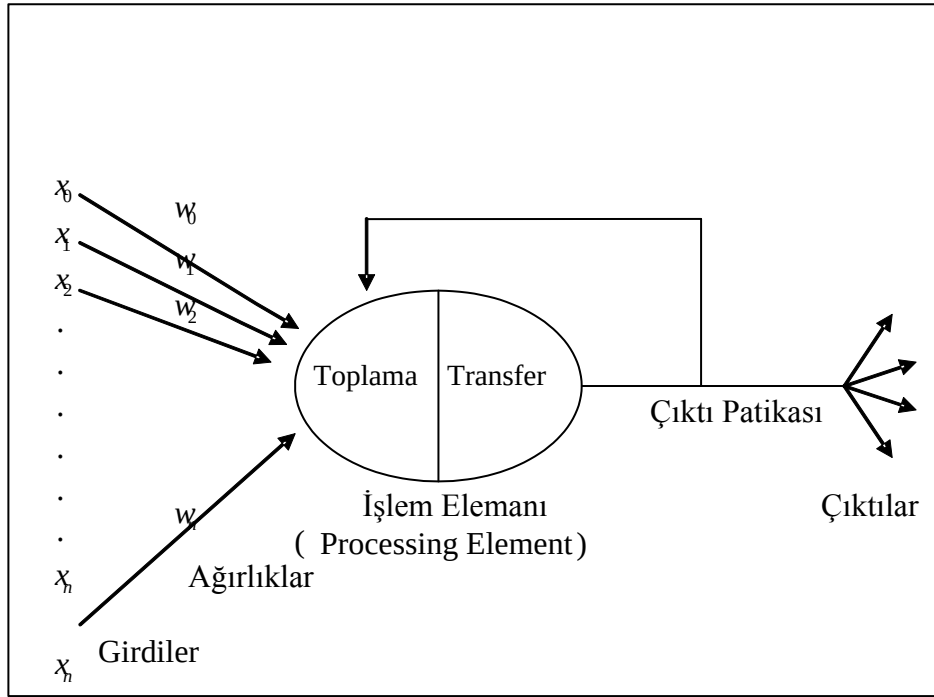
Bir yapay nöronun yapısında ise aşağıdaki şekilden de görüleceği gibi biyolojik nöronun dört ana fonksiyonunun simüle eden bir sistem bulunmaktadır. Bu şekilde girdiler $x(i)$ ($i=0,1,\dots,n$) sembolü ile ifade edilmiştir.



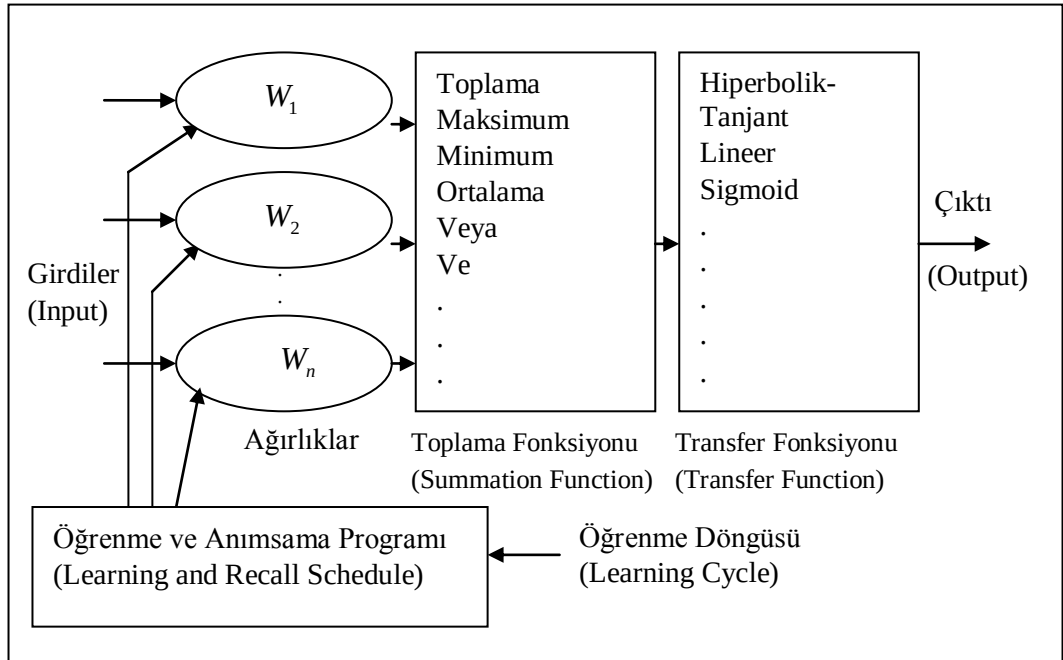
Şekil 4.14: Bir Biyolojik Nöronun Yapısı

Bu girdilerin her biri $w(i)$ sembolü ile gösterilen bağlantı ağırlıkları ile çarpılır. En basit yapıda bu çarpımlar toplanır ve bir transfer fonksiyonuna gönderilir. Transfer fonksiyonu genelde doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Bu fonksiyon aldığı değeri bir algoritma ile gerçek bir çıktıya dönüştürür. Transfer fonksiyonu işlemi öncesinde sisteme uniform dağılmış bir rassal hata ilave edilebilmektedir. Bunun sebebi insan beyninin içinde bulunduğu ortamın şartlarından etkileniyor olmasıdır. Bu rassal hatanın kaynağı ve büyüklüğü ağıın öğrenme işlemi sürecinde belirlenir. Fakat henüz bu rassal hata uygulaması tam olarak yerleşmemiştir. İlave olarak bazı ağlarda transfer fonksiyonu çıktısı üzerinde ölçeklendirme, sınırlandırma ve benzeri başka işlemler de yapılabilmektedir. [142]

Bu elektronik uygulama değişik ağ yapılarında farklı toplama ve transfer fonksiyonları kullanabilir. Kullanılabilecek fonksiyonlardan bazıları bir sonraki şekilde daha ayrıntılı verilen yapay nöron yapısında gözükmektedir. [142]



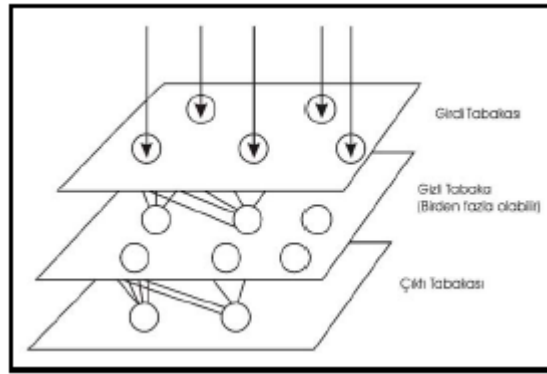
Şekil 4.15: Yapay Nöronun Yapısı



Şekil 4.16: Yapay Nöronun Detaylı Yapısı

Ayrıca uygulamacı kendi fonksiyonunu oluşturarak toplama fonksiyonu olarak kullanabilir. Bazı toplama fonksiyonları, transfer fonksiyonuna iletmeden önce sonuçları üzerinde tüm aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılan ilave işlemler yapabilir. Tüm işlem elemanları aynı aktivasyon fonksiyonunu kullanır. Bu işlem toplama fonksiyonunun çıktısının zamana bağlı değişmesini sağlamak için yapılmaktadır. Fakat bu aktivasyon fonksiyonu literatürde tam olarak gelişmediği için çoğunlukla birim aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılan, bir aktivasyon fonksiyonu kullanılmaması ile aynı anlama gelen fonksiyon kullanılmaktadır. [142]

YSA’larda yapay nöronlar basit bir şekilde kümelendirilmektedir. Bu kümeleme tabakalar halinde gerçekleştirilmektedir ve daha sonra bu tabakalar bir diğerine ilişkilendirilmektedir. Genelde tüm YSA’lar aşağıdaki şekildeki gibi bir yapıya sahiptirler. [142]



Şekil 4.17: YSA’ların Genel Yapısı

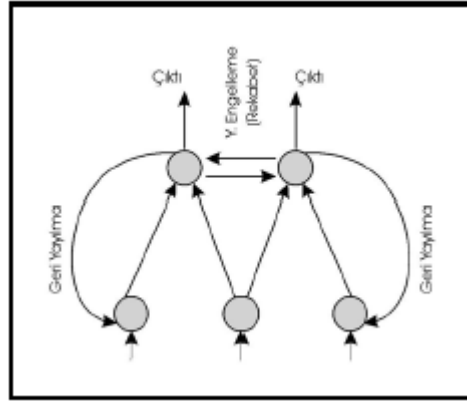
Bu yapıda girdi tabakasındaki nöronlar girdileri almak için, çıktı tabakasındaki nöronlar çıktıları iletmek için dış mekânla bağlantı halinde, geri kalan diğer nöronlar da sadece ağ içinde bağlantıları olacak şekilde gizli tabakadadırlar. Girdi ve çıktı tabakaları tek tabakadan oluşmakta iken gizli tabaka sayısı birden fazla olabilir.

Bu yapıda tabakalandırma üç kısımdan oluşmaktadır.

1. nöronları tabakalar halinde gruplandırmak,
2. tabakalar arasındaki bağlantıları gruplandırmak ve
3. toplama ve transfer fonksiyonlarını gruplandırmaktır.

YSA’larda nöronlar diğer nöronlara farklı şekillerde bağlanabilmektedir.

Birçok ağ yapısında, gizli tabakadaki bir nöron sadece bir önceki tabakanın tüm nöronlarından sinyal almakta nöron işlemini tamamladıktan sonra ise çıktısını bir sonraki tabakanın tüm nöronlarına göndermektedir. Bu yapı ağın çıktısı için bir ileri besleme yolu oluşturur. Bu bir nörondan diğerine olan iletişim hattı, sinir ağları için önemli bir parçadır. Bazı ağlarda, bir nöron aynı tabakadaki diğer nöronlara engel (inhibit) oluşturabilir. En çok çıktı tabakasında kullanılan bu engelleme yanıl engelleme (lateral inhibition) veya rekabet (competition) olarak adlandırılmaktadır. Diğer bir bağlantı şekli de geri yayılma (feedback). Geri yayılma bağlantıda, bir tabakanın çıktısı önceki tabakaya gönderilmektedir. Günümüzde çeşitli profesyonel yazılımlar kullanıcıya bu bağlantılar üzerinde istediği gibi ekleme, kaydırma ve kontrol işlemi yapabilmesine imkân vermektedir. Aşağıdaki şekilde yanıl engelleme ve rekabet kavramları birlikte örneklenmektedir. [142]



Şekil 4.18: Geri Yayılma Bağlantı Yapısı

Basit bir yapay nöron aşağıdaki genel denklem ile ifade edilebilmektedir. [142] Tek nörondan oluşan bir sinir ağı olarak düşünülebilir.

$$y_i = \Psi(g(x)) = \Psi\left(w + \sum_{j=0}^n w_j x_j\right); x_i = (x_0, x_1, \dots, x_n) \in R \quad (4.40)$$

$$\Psi(.) = \begin{cases} 1; g(.) \geq 0 \\ 0; g(.) < 0 \end{cases} \quad (4.41)$$

Bu gösterimde, y_i çıktı değeri, $\Psi(.)$ transfer fonksiyonunu, $g(x)$ toplama fonksiyonunu, w_j bağlantı ağırlıklarını ifade etmektedir.

Bir sinir ağı tabakalar halinde sıralanmış birçok nörondan oluşmaktadır. Bu nedenle yukarıdaki denklemin bütün bir sinir ağının matematiksel gösterimini verecek şekilde düzenlenmesi gerekir.

$y = f(x_0, x_1, x_2, \dots, x_n)$ fonksiyonel ilişkisini modelleyen bir sinir ağı yapısı düşünüldüğünde bu yapının girdi tabakasında $n+1$ nöron ve çıktı tabakasında bir adet nöron olacaktır. Sinir ağının gizli tabaka içermemesi durumunda ağın fonksiyonel gösterimi yukarıdaki denklemdeki gibi olacaktır. Girdi tabakasında hiçbir işlem yapılmamasından ve çıktı tabakasında da tek nöron olmasından dolayı sinir ağı işlem yapılan tek nörona sahiptir ve fonksiyonel gösterimi yukarıdaki gibidir. Sinir ağının gizli tabaka içermesi durumunda işlem yapılan nöron sayısı artacağından fonksiyonel yapı değişecektir. [142] Bu durumda,

$$y_k = f_k \left(a_k + \sum_{j \rightarrow k} w_j f_i \left(a_j + \sum_{i \rightarrow j} w_{ij} x_j \right) \right) \quad (4.42)$$

Bu denklemde y_k çıktı değerlerini, f_k çıktı tabakası transfer fonksiyonunu, a_k çıktı tabakasına ait sapma değerini, w_j çıktı tabakasına ait ağırlıkları, f_i ve a_j sırasıyla gizli tabakaya ait transfer fonksiyonunu ve sapma değerini, x_j girdi değerleri ve w_{ij} ise i girdi elemanını j gizli elemanına bağlayan ağırlığı belirtmektedir. [142]

İki gizli tabaka bulunması durumunda ise denklem aşağıdaki gibi değişiklik gösterecektir. Gizli tabaka sayısı arttıkça aşağıdaki denklemdekine benzer şekilde fonksiyonel denklem de değişecektir. [142]

$$y_l = f_l \left(a_l + \sum_{k \rightarrow l} w_l f_k \left(a_k + \sum_{j \rightarrow k} w_{jk} f_j \left(a_j + \sum_{i \rightarrow j} w_{ij} x_j \right) \right) \right) \quad (4.43)$$

Belirli bir amaca yönelik olarak bir ağ yapılandırılmasının tamamlandıktan sonra, bu ağ artık eğitime hazırdır. Deneyim yoluyla öğrenme gerçekleşerek bağlantı ağırlıkları belirlenmektedir.

Genelde başlangıç ağırlıkları rassal olarak seçilmekte ve eğitime işlemi başlamaktadır.

Eğitme işlemi için iki yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan birincisi yönlendirmeli (supervised), diğeri yönlendirmesiz (unsupervised) eğitmedir. Yönlendirmeli eğitimde, girdi ve çıktı verilerinin hepsi kullanılır. İlk olarak ağ rassal olarak belirlenen başlangıç ağırlıklarını kullanarak girdileri işler ve çıktıyı istenilen çıktı ile karşılaştırır. Bulunan hatalar sistem içerisinde geri gönderilerek ağı kontrol eden bağlantı ağırlıkları güncellenir.(tweaked) Bu işlem defalarca tekrarlanır ve bağlantı ağırlıkları sürekli olarak ayarlanır. [142]

Eğitme sırasında kullanılan veri seti “eğitme veri kümesi (training set)” olarak adlandırılır ve bu set bağlantı ağırlıkları belirleninceye kadar defalarca işleminden geçirilir. Gereken testlerin yapılabilmesi için yeteri miktarda veri seti bulunmalıdır. Ağın hafızaya alma sürecinin yeterli olup olmadığının belirlenebilmesi için yönlendirmeli eğitimde veri setinin bir bölümü, eğitim sonrasında gerekli testlerin gerçekleştirilebilmesi için ayrılmalıdır. Sistemin eğitimi istenilen noktaya veya doğruluğa ulaşınca kadar sürdüğü ve bir de diğer araçlarla birleşmesi durumunda eğitimi günlerce sürebilmektedir.

Bir ağda meydana gelen problemler genel olarak iki sebepten dolayıdır. Bunlardan biri grubun ağ yapısından kaynaklanan diğeri de kullanıcının tercihi ve yaratıcılığına bağlı olan eğitim kurallarını kapsamaktadır. Eğitim sırasında ağırlıkların ayarlanabilmesi için çeşitli eğitim kuralları bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanı geriye doğru hata beslemesidir. (geri yayılma)

Eğitim konusunda bir önemli husus da aşırı eğitimden kaçınılmalı ve eğitim uzunluğu iyi ayarlanmalıdır. YSA veri setinin genel istatistiksel trendine göre kendisini biçimlendirir, eğitmeye devam edilmesi durumunda ağ öğrenmeye devam edecektir. Bu durumda ağ veri setinden hatalı ilişkiler çıkartmaya başlayabilir.

Yönlendirmesiz eğitimde (adaptif eğitim) ise hiçbir dış müdahale olmadan girdilerin ağ tarafından analiz edilerek analiz sonucunda bağlantılar oluşturulmaktadır. Ağa girdi sağlanmakta fakat beklenen çıktı değerleri sağlanmamaktadır. [142]

Kullanılan ağların çoğu yönlendirmeli eğitmelidir. Bu konudaki araştırmacıların en ünlülerinden Tuevo Kohonen doğru cevabı bilmenin yararlarından yararlanmadan öğrenen çok sayıda bağlantısı olan tek tabakaya sahip bir ağ geliştirmiştir.

Tuevo'nun geliştirdiği ağda bağlantı ağırlıkları için başlangıç değerleri verilmesi ve girdi değerlerinin normalize edilmesi gereklidir.

Daha sonra Kohonen çalışmalarını bu standart yapının dışındaki ileri besleme ve geri yayılma yaklaşımlarına yöneltmiştir. Kohonen'in çalışmasının esasını nöronları belirli alanlara gruplandırmakla ilgilidir. Bir alanın içerdiği nöronlar topolojik olarak sıralanmıştır. Topoloji, matematiğin bir dalıdır ve geometrik yapıyı değiştirmeden bir boyuttan diğerine haritalamanın (mapping) nasıl yapılacağı ile ilgilenir. Yapay sinir ağları modellerinde şu anda deney aşamasında olan topolojik sıralamanın olması durumunda kendi kendine öğrenen ağlar elde edilmesi mümkün olabilir.

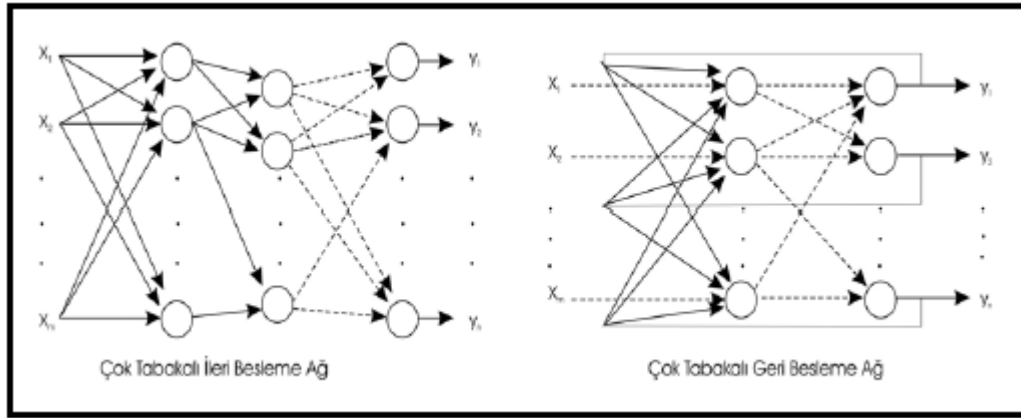
Yapay sinir ağlarının öğrenme sürecinde etkili elemanlar şunlardır. Birincisi her işlem elemanın girdilerine ait değişken bağlantı ağırlıklarını ayarlayan **renme fonksiyonudur**. İkincisi renme fonksiyonunun gerekli ayarlamaları yapabilmesi için o anki çıktı ile istenilen çıktı arasındaki farkı, hatayı hesaplayan ve gerektiğinde transformasyon uygulayan **hata fonksiyonudur**. Bu hata literatürde cari hata olarak adlandırılır ve bu hata veya transformasyonu sağlanmış hali genellikle önceki tabakaya geri yayılır ve bu değer bir sonraki öğrenme döngüsünde öğrenme fonksiyonu tarafından bağlantı ağırlıklarını ayarlamak için gerekiyorsa kullanılır. nc eleman da **renme oranıdır**. Öğrenmenin hızı ve işlevi bakımından önemlidir. Bir ağın ne kadar eğitileceği öğrenme oranına bağlıdır. renme oranı ağın karmaşıklık düzeyi, büyüklüğü, mimarisi, kullandığı öğrenme kuralı ve istenilen doğruluk derecesi gibi faktörlere bağlıdır. Pek çok öğrenme fonksiyonu öğrenme oranı için belirli standartlara sahiptir. renme oranı genellikle (0,1) gibi bir aralık içinde belirlenir. Bu aralıkta küçük değer alınması yavaş bir öğrenme süreci getirecektir. Aynı zamanda maksimum doğruluk derecesine yakınsamayı getirebilecektir. [142]

Yapay Sinir Ağları eşitleri

YSA'lar genel olarak üç kritere göre sınıflandırılmaktadır:

1. kriter öğrenme yöntemidir. Yönlendirmeli ve yönlendirmesiz olmak üzere iki tip öğrenme algoritması vardır. [142]
2. kriter ağın kullanıldığı veridir. Kalitatif ve kantitatif olmak üzere iki temel veri türü vardır.

3. Kalitatif verilerle çalışan ağlar, yönlendirmeli ya da yönlendirmesiz öğrenme yöntemlerinden hangisini kullanırlarsa kullansınlar sınıflandırma ağları olarak, kantitatif verileri kullanan yönlendirmeli eğitime ise regresyon olarak adlandırılmaktadır.
4. kriter ağın yapısıdır. İleri beslemeli, geri beslemeli ve hem ileri hem geri beslemeli olmak üzere üç tip ağ vardır. İleri besleme sinir ağlarında işlem elemanları arasındaki bağlantılar bir döngü oluşturmazlar ve bu ağlar girdi veriye hızlı bir şekilde çıktı üretirler. Geri beslemesi ağlarda (recurrent networks) ise bağlantılar döngü içerirler ve hatta her seferinde yeni veri kullanabilmektedirler. Bu tür ağların eğitime süreci daha uzundur. Aşağıdaki şekilde çok tabakalı ileri ve geri beslemeli ağ yapısı gösterilmektedir. [142]



Şekil 4.19: İleri Beslemeli ve Geri Beslemeli Ağ Yapıları

En çok bilinen ve kullanılan ağlar arasında hata algoritması genellikle geri yayılma ile eğitilen çok tabakalı perceptron4 (Geri-Yayılma Ağ – Backpropagation Network), radyal tabanlı fonksiyon (radial basis function), Hopfield ve Kohonen sayılabilir. [142]

Yapay Sinir Ağlarının Avantajları:

1. Doğrusal olmayan yapı – gerçek hayattaki olası doğrusal olmayan yapıları göz önüne alabilmektedir.
2. Öğrenme – eğitime ve başlangıç tecrübesi ile veriyi kullanarak öğrenme yeteneğine sahiptir.
3. Yerel İşlem ve Esneklik – geleneksel işlemcilerdeki gibi tek bir merkezi işlem elemanının her hareketi sırayla gerçekleştirmez.

4. Her biri büyük bir problemin parçası ile ilgilenen çok sayıda basit işlem elemanlarından oluşmaktadır ve bağlantı ağırlıklarının ayarlanabilmesi gibi bakımlardan ötürü oldukça esnek bir yapıya sahiptir. Bazı işlem elemanlarının ağdan çıkarılması ya da olmaması durumunda, bilgi bütün ağ boyunca yayılı olduğundan bazı bilgilerin kayıp oluşu veya yok edilişi, ağın performansının tamamen düşmesine sebep olmayacaktır. Bu özellik, hesaplamada ufak bir eksikliğin kötü sonuçlara yol açabileceği kritik ortamlarda çok faydalı olacaktır. [143]
5. Gerçek zamanlı işlem – YSA hesaplamaları paralel olarak yürütülebildiğinden gerçek zamanlı işlem yapılabilir. [142]
6. Genelleme – YSA’ ya öğrenilmesi gereken girdi/çıktı ilişkilerinin örnekleri verilir. Daha önceden karşılaşılmamış durumlarda bilinen örnekleri kullanarak genelleme yapabilmektedir. Hatalı (noisy) ve kayıp veriler için çözüm üretebilmektedir.
7. Hafıza – işlem elemanları arasındaki ağırlıklı bağlantılar sayesinde dağıtılmış hafızada bilgi saklayabildikleri söylenebilir.
8. Kendi ilişkilerini oluşturma – YSA, bilgilere göre kendi ilişkilerini kurmaktadır.
9. Sınırsız sayıda değişken ve parametre ile çalışılabilmektedir.
10. Eksik bilgileri tamamlama - Eksik bilgiye sahip bir örnek verildiğinde ağ, eksik örnekteki kayıp olan bilgiyi belleğinde bulunan tam örnekteki bilgilerle bağdaştırarak eksik örnekteki kayıp bilgiye karşılık gelen tam örnekteki bilgiyi bulabilir
11. Kendi kendine adapte olma - YSA kendi kendine öğrenme yeteneğine sahiptir. Ortamda bazı değişiklikler olduğunda bu tür sinir ağları bu yeni duruma kendilerini adapte edebilir
12. Paralel düşünülen çok fazla parametre gerektiren kompleks durumlarda kullanılabilirlik
13. Programlama hızı [142]

Dezavantajları:

1. Yapay sinir ağları belli bir belirsizliğe sahiptirler. Alınan çıktının doğruluğundan emin olmak için bütün girdilerin denenmesi gerekmektedir.

Çok büyük ve kompleks bir ağda böyle bir testin mümkün olmaması bakımından ağın performansı ile ilgili istatistiksel tahminlerle yetinilmek zorundadır.

2. Bir diğer zorluk da, yapay sinir ağları kendilerinin problemleri nasıl çözdüklerini açıklayamazlar. Örneğin bizim bir insanı uzun yıllar sonra geçmesine rağmen tanımamızı açıklamaya benzer. Ağlar öğrendiklerini kendi içlerinde farklı ifade şekilleri veya koruma şekilleri ile saklarlar. Bu sebeple analizleri de çok zor hatta imkânsız olmaktadır.

3. Çok sayıda eğitim örneği gerekmektedir.

4. Eğitimde kullanılan verinin organizasyonuna ve hazırlığına ve aynı zamanda ağın yapısına duyarlıdır. [142]

4.3.2 Bulanık Mantık Metodu (Fuzzy Logic Concepts)

Bulanık mantık kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A.Zadeh'in bu konu üzerinde hazırladığı ilk makalelerini yayınlamasıyla ortaya çıkmıştır. Klasik mantıkla karmaşık ve belirsizliklerle dolu sistemleri modellemek ve kontrol etmek çok zordur. Bu nedenle bulanık mantık belirsizlikleri tanımlamak ve belirsizliklerle çalışabilmek için kurulmuş matematiksel bir düzen olarak tanımlanabilmektedir. [146]

Bulanık mantık, mantık kurallarının esnek ve bulanık bir şekilde uygulanmasıdır. Klasik (boolean) ikili mantıkta "doğru" ve "yanlış" ya da "1" ve "0"lar vardır, buna karşın bulanık mantıkta, ikisinin arasında bir yerde olan önermeler ve ifadelere de izin verilebilir ki, gerçek hayata baktığımızda hemen hemen hiçbir şey kesinlikle doğru veya kesinlikle yanlış değildir. Yani değeri 0.32 olan bir ifadenin anlamı %32 doğru %68 yanlış demektir. Gerçek hayatta önermeler genelde kısmen doğru veya belli bir olasılıkla doğru şeklinde değerlendirilir. [144]

Bulanık mantık ile matematik arasındaki temel fark bilinen anlamda matematiğin sadece aşırı uç değerlerine izin vermesidir. Klasik matematiksel yöntemlerle karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek işte bu yüzden zordur, çünkü veriler tam olmalıdır. Bulanık mantık kişiyi bu zorunluluktan kurtarır ve daha niteliksel bir tanımlama olanağı sağlar.

Bir kişi için 18,5 yaşında demektense sadece geç demek birçok uygulama için yeterli bir veridir. Böylece azımsanamayacak ölçüde bir bilgi indirgenmesi söz konusu olacak ve matematiksel bir tanımlama yerine daha kolay anlaşılabilen niteliksel bir tanımlama yapılabilecektir. [146]

Bulanık mantık, inşaat sektöründeki belirsizliklerin maliyet hesaplamalarında dilsel (linguistic) ifadelerle, iddialarla değerlendirilip sayısal şekle dnştrlerek, katlanılacak riskin içerildiği hesaplama yöntemidir. Belirsizlikler, geçmişteki bilgilerin yetersizliğinden, yeni bir teknolojinin denenmesinden, işin büyüklüğünden ve riskinden kaynaklanabilir.

Bulanık mantığın da belli sınırları bulunmaktadır ve bu sınırlar makama, ele alınan eleman ve şartlara göre değişmektedir. Fakat bu sınırlar klasik mantıktan daha esnek yapıdadır. İşte bu esneklik sayesinde bulanık mantık uygulandığı her alanda çok daha hassas sonuçlar vermektedir. [145]

Bulanık sistemler, eğitilebilir dinamik sistemlerdir. Bir fonksiyonu, çıktıların girdilere ne şekilde bağlı olduğunun matematiksel modelini bilmeksizin tahmin etmektedirler. Sayısal, bazen dilsel örnek verilerden “deney yoluyla” öğrenmektedir. Uyarlanabilir bulanık sistemler karmaşık süreçleri kontrol etmeyi, neredeyse bizler gibi öğrenebilmektedirler. [145]

Bulanık mantık yaklaşımı, makinelere insanların özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve nsezilerinden yararlanarak çalışabilme yeteneği verir. Bulanık mantık klasik mantığın aksine iki seviyeli değil, çok seviyeli işlemleri kullanmaktadır. [143]

Bulanık sistemler, teorik ve matematik aksiyonlu yaklaşımlardan bağımsız bir çözüm algoritması içerdiğinden, herhangi bir sistemin modellenmesinde yaklaşık ve kolay çözüm verir.

Elde edilebilen tüm sayısal ve sözel bilgiler çözüm algoritmasına katılarak anlamlı çözümlere varılabilir. Bu bakımdan bulanık yöntem uzman kişilerin de vereceği sözel bilgileri işleyerek toptan çözüme gitmeye yarar. [143]

Zadeh, olasılık teorisinin gerçek problemlerdeki belirsizlikleri ele almada yetersiz olduğuna vurgu yapmaktadır.

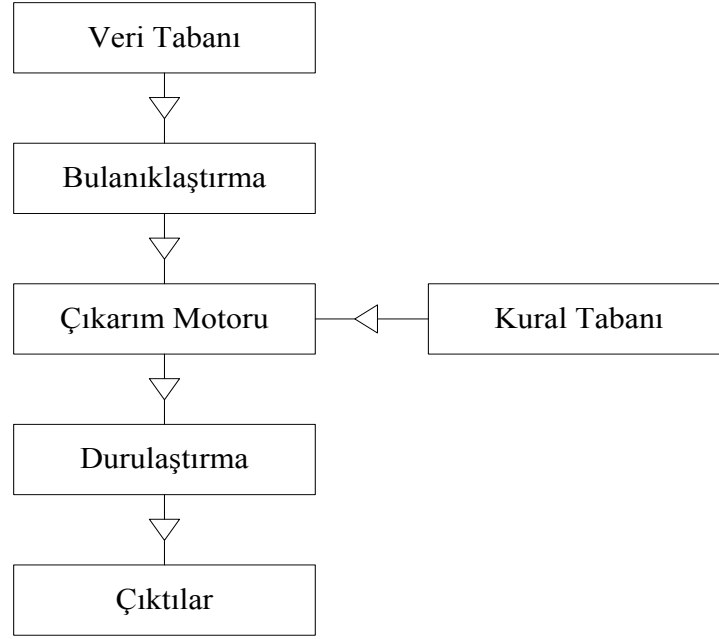
Zadeh, olasılık teorisinin verimliliğini arttırmak için bulanık teorisinde kullanılan tekniklere ve kavramlara başvurulması gerektiğini söylemektedir. Yani, a) olasılık teorisi ve bulanık mantığın birbirinden farklı olduğu, b) belirsizlikle ilgilenirken olasılık teorisinin yeterli gelmediği ve c) olasılık teorisi ile bulanık mantık birbiriyle çelişmekten çok birbirini tamamladığı söylenebilir. [143]

Bulanık mantığın uygulama alanları çok geniştir. Sağladığı en büyük fayda ise “insana özgü tecrübe ile öğrenme” olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanımasıdır. Bu nedenle lineer olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için özellikle uygundur. [146]

Genel olarak bir bulanık denetleyici şekil 4.20’deki gibi veri tabanı, bulanıklaştırma, kural tabanı, çıkarım motoru ve durulaştırmadan meydana gelmektedir. [143]

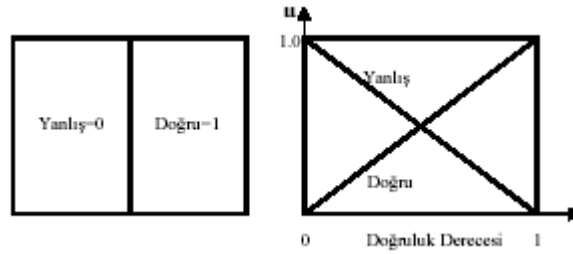
Bulanık mantık ile modelleme yaparken girdi ve çıktı değişkenleri genelde kullanımı basit olan üçgen üyelik fonksiyonları ile alt kümelerle ayrılarak bulanıklaştırılır. Bunun için çok küçük, küçük, orta, büyük ve çok büyük gibi, değişkene bağlı olarak sözel ifadeler kullanılır.

Örneğin “orta yaş” kavramında kavramın sınırları kişiden kişiye değişiklik gösterir ve esin sınırları söz konusu olmadığı için bu kavram matematiksel olarak da kolayca formülle ifade edilemez. Ancak genel olarak 35 ile 55 yaşları orta yaşlılık sınırları olarak düşünülebilir. Bu durumda bu kavramı grafik olarak ifade etmek istediğimizde karşımıza şekil deki gibi bir eğri çıkacaktır. Bu eğriye “üyelik eğrisi” adı verilir ve kavram içinde hangi değerlerin hangi ağırlıkta olduğunu gösterir. Bir fuzzy kümesi kendi üyelik fonksiyonu ile açık olarak temsil edilebilir.



Şekil 4.20: Bulanık bir Denetleyicinin Yapısı

Farklı ve çelişen iki nesne aynı bulanık kümesinin üyeleri olabilirler. “Doğru” ve “Yanlış”ı tanımlamadaki fark şekil 4.21’de keskin kümeler ve bulanık kümeleriyle gösterilmektedir. Bir bulanık kümesinde önemli olan her bir elemana atanan doğruluk derecesidir. [143]



Şekil 4.21: Keskin Kümelerle ve Bulanık kümelerle “Doğru” ve “Yanlış” tanımı

Üyelik fonksiyonları üçgen, çan eğrisi vb. gibi çeşitli şekillerle ifade edilebilir. Üyelik fonksiyonu şekilde de görüldüğü gibi 0 ile 1 arasındaki her değeri alabilir. Böyle bir aitlik fonksiyonu ile “kesinlikle ait” veya “kesinlikle ait değil” arasında istenilen incelikte ayarlama yapılabilmektedir.

Bulanık mantıkta fuzzy kümeleri kadar önemli bir diğer kavram da linguistik değişken kavramıdır.

Linguistik değişkenler “sıcak” veya “soğuk” gibi kelimeler ve ifadelerle tanımlanabilen değişkenlerdir. Bir linguistik değişkenin değerleri fuzzy kümeleri ile ifade edilir. Örneğin, oda sıcaklığı linguistik değişken için “sıcak”, “soğuk” ve “çok sıcak” ifadelerini alabilmektedir ve bu üç ifadenin her biri ayrı ayrı fuzzy kümeleri ile modellenmektedir. [146]

Daha sonra işlem sırası, girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları arasındaki ilişkiyi belirleyen kuralların bulunduğu kural tabanının oluşturulmasına gelir. Kural tabanı oluşturulurken ya mevcut verilerden hareket edilir veya tecrübelerden yararlanılır. Kural tabanı sözel cümleciklerden oluşur. [143]

Bulanık mantık ile modellemede, kural tabanı bir çeşit mantıksal ifade olan *EĞER-İSE* yapısıyla oluşturulur. *EĞER* kısmı, girdi bulanık kümelerinden, *İSE* kısmı çıktı bulanık kümesinden değişkenleri içerir. *EĞER-İSE* ifadeleri *VE* veya *VEYA* bağlaçları ile birbirine bağlanır. Mesela X_1 ve X_2 girdi değişkeni, Y çıktı değişkeni olmak üzere ve tüm değişkenlerin “küçük“, “orta“ ve “büyük“ gibi üçer alt kümesi olduğu kabul edilirse, yazılabilecek kurallardan birisi: *EĞER X_1 küçük ve X_2 orta İSE Y büyüktür* şeklinde olabilir. [143]

Kurallar oluşturulduktan sonra, girdi değişkenlerinin bulanık alt kümelerinin her farklı kombinasyonu için çıktı değerleri hesaplanır. Bulanık kurallara karar vermekteki en basit yöntem, örnek veriler kullanmak ve bulanık çıkarım yöntemiyle gerekli kuralları çıkarmaktır.

Bulanık çıkarım motorunda, bulanık deneysel veriler kurallar çerçevesinde bulanık mantık yürütülerek mantıksal hale dönüştürölmektedir. Bu bulanık bilgilerden yararlanabilmek ve kesin sayılar haline dönüştürebilmek için bu bilgilerin durulaştırılması gerekmektedir. Bir bulanık küme işleminin sonucundaki bulanık kümenin tek sayı haline dönüştürölmesi işlemine *durulaştırılma* adı verilir. En çok kullanılan durulaştırma yöntemleri, en büyük üyelik ilkesi, ağırlıklı ortalama yöntemi, ağırlık merkezi yöntemi, ortalama en büyük yöntem (maksimumların ortalamasını alma), toplamların merkezi, en büyük alanın merkezi, en büyük ilk veya son üyelik derecesidir. Bunlardan birkaçının açıklaması aşağıda verilmektedir. Durulaştırma işlemlerinde en çok kullanılan yöntem ağırlık merkezi yöntemidir

En büyük üyelik ilkesinde bulanık küme içinde en büyük değere sahip eleman “kesin değer” olarak alınır. Fakat birden fazla maksimum değeri olması halinde bu algoritma ile karar vermek oldukça güçleşir. Ayrıca konveks olmayan bulanık kümelerde yanlış sonuçlar çıkabilmektedir.

Maksimumların ortalamasını alma (The Mean of Maximum Method (MOM)) metodunda birden fazla maksimum noktası olması halinde çözüm üreten bir yöntemdir. Maksimum değerlerin ortalaması “kesin değer” olarak alınır

Alan merkezi yöntemi (The Center of Area Method – COA) ya da ağırlık merkezi de denilen bu yöntem en çok kullanılan netleştirme yöntemlerinden biridir ve ağırlık merkezi hesaplanarak yapılmaktadır

Bulanık mantıkta da klasik mantıkta olduğu gibi işleçler (operator) vardır, örneğin and, or, not ... gibi. Fakat bunlar kendine has işlemlerdir örneğin başka yaklaşımlarda olmasına rağmen “and” işlemi genelde çarpma olarak ifade edilir veya “not” işlemi de birden çıkarma şeklinde ifade edilir.

Bunlar;

AND: $A=0.2 \quad B=0.8 \Rightarrow A \text{ and } B = (A) * (B) = 0.2 * 0.8 = 0.16$
NOT: $A=0.4 \Rightarrow \text{not } A = 1 - (A) = 1 - 0.4 = 0.6$
şeklinde örneklenebilir.

Teorik alanda ortaya konulan ilerlemelere rağmen üyelik fonksiyonlarının geçerliliği, bu fonksiyonların üretiliş şekilleri ve bulanık çıkarım kurallarına dair bazı operasyon teknikleri üzerinde tartışmalar hala devam etmektedir.

Ancak, bulanık mantığın akıl yürütmeden pratik uygulamalara kadar değişen çeşitli mühendislik disiplinlerinde önemli bir rol oynadığı kesindir.

Bulanık mantık yaklaşımının en büyük avantajı, gerekli kural tabanı oluşturularak deneysel verilerin doğrudan kullanılabilmesidir. Faktörlerin birbiriyle etkileşimi ve çelişkisini tutarlı bir şekilde ancak tecrübeli bir mühendis tartabilir ve en makul kararı verme aşamasında var olan bütün bilgileri ancak o kullanabilir. Bu sebeple matematik bağıntılarla güçlükçe ifade edilen deneysel veriler çok daha kolay bir şekilde dikkate alınabilmektedir.

YSA ve Fuzzy Logic tekniklerinin beraber kullanımı ile daha etkili sistemleri tasarlamak mümkündür, fakat bu işlem ortaya çıkan sistemi çok yavaşlatmaktadır ve bu tekniklerin birleştirilmesi yöntemi henüz geliştirme ve test aşamalarında. [144]

Bulanık Mantık Teorisinin Avantajları

1. İnsanın düşünme tarzına yakındır.
2. Uygulanışında matematiksel model gerekmektedir.
3. Yazılımın basit olması nedeniyle ekonomik olması.
4. Bulanık mantık uzman bilgisini kullanmaya imkan sağlar, bu bilgiyi tutarlı ve yapısal bir yolla işleme yeteneğine sahiptir. [143]

Bulanık Mantık Teorinin Dezavantajları

1. Uygulamada kullanılan kuralların oluşturulması uzmana bağlıdır.
2. Üyelik fonksiyonlarının deneme - yanılma yolu ile belirlenmesi sebebiyle uzun zaman alabilmektedir.
3. Kararlılık analizi zor gerçekleştirilir. [144]

4.3.3 Genetik Algoritmalar

Genetik Algoritmalar (GA), doğal seçim ve doğal genetik mekanizmasına dayalı arama algoritmalarıdır. [64]

Genetik Algoritmalar (GA) bir amaç fonksiyonunu maksimize veya minimize etmek üzere optimizasyon problemlerinin çözümünde doğadaki genetik yasalara benzer kurallar aracılığıyla en iyiye yaklaşma olanağı sağlayan yaklaşımdır. Doğadaki biyolojik süreçteki gibi güçlü olanın yaşamını sürdürmesi, güçsüz olanın ise ölmesi prensibini esas alarak, farklı birçok çevrede güçlü olanın yaşamını sürdürmesi için verimlilik ve etkinlik arasındaki dengeyi sağlamaya çalışarak problemleri çözmeye çalışmaktadır. [143]

GA ile problemlerin çözümü için problemlerin genellikle rakamlarla (çoğunlukla 0 ve 1) gösterilmeleri gerekir. Bunlara biyolojide olduğu gibi *gen* denilir.

Genler kromozomlar oluşturur ve her bir kromozom problem için alternatif bir çözümü ifade eder. Genetik algoritmalarda önemli olan en iyi çözümü bulabilmektir. Bu sebeple problemi çözmek için sadece gösterimi sağlamak yetmez. Her kromozomun problem çözümüne uygunluğunu gösteren bir *uygunluk fonksiyonu* gereklidir.

Bir genetik algoritma belirli sayılardaki kromozomlar üzerinde işlem yapmaktadır. Seçilen iki kromozomu belirli bir seçme kistasına göre genetikte çaprazlamaya karşılık gelecek şekilde birleştirerek yeni kromozomlar oluşturur. Bazı durumlarda daha hızlı çözüme ulaşabilmek için kromozom üzerinde bilgi değişikliği yapmak gerekir. (mutasyon). Eski kromozomlar ile üretilen yeni kromozomlar uygunluk fonksiyonunu kullanarak daha sonraki adımlarda yeni kromozomları oluşturacak kromozomlar setini belirlemek için bir değerlendirme operasyonundan geçirilir. (yeniden üretim) Daha iyi sonuçlar üretilinceye kadar bu çaprazlama, mutasyon, değerlendirme ve yeniden üretim işlemleri devam eder ve en sonunda en yüksek uygunluk fonksiyonuna sahip olan kromozom çözüm kromozomu aynı zamanda problemin de çözümü olarak tespit ve kabul edilir. [143]

Genetik algoritmalar ayrık değişkenlerin kullanıldığı algoritmalarlardır. Bu algoritmalar yapısal optimizasyon çözüm uzayı gibi zaman alıcı ve karmaşık çözüm uzayları ve bilinen doğrusal programlama metotlarıyla çözülemeyen optimizasyon problemlerinin çözümünde esnek ve oldukça etkili sonuçlar vermektedir.

Diğer optimizasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında, GA bir topluluktaki (popülasyon) her bir bireyin yönlendirmesiyle arama yapmakta iken, Monte Carlo yöntemi yönlendirilmeyen rastgele arama yapmaktadır. GA, bireylerin uyumluluğunun artması durumunda arama alanında radikal ve yerel olmayan atlamalar yapabilmekte iken “simulated annealing” ise arama alanında artan hareketle işlemi yapmaktadır. Sonuç olarak GA birden fazla cephede aynı anda optimum çözümü aramaktadır ve dolayısıyla yerel bir optimumda sıkışma riski minimumdur. [143]

4.3.4 Uzman Sistemler ile Tahmin

İnsan bilgisi ve tecrübelerine dayalı olan davranışların bir bilgisayar ortamına aktarılarak tasarlanmış sistemlerdeki karşılaşılan problemlere uzman bir kişiye ihtiyaç duymadan çözümler arayan bilgi tabanlı sistemlerdir.

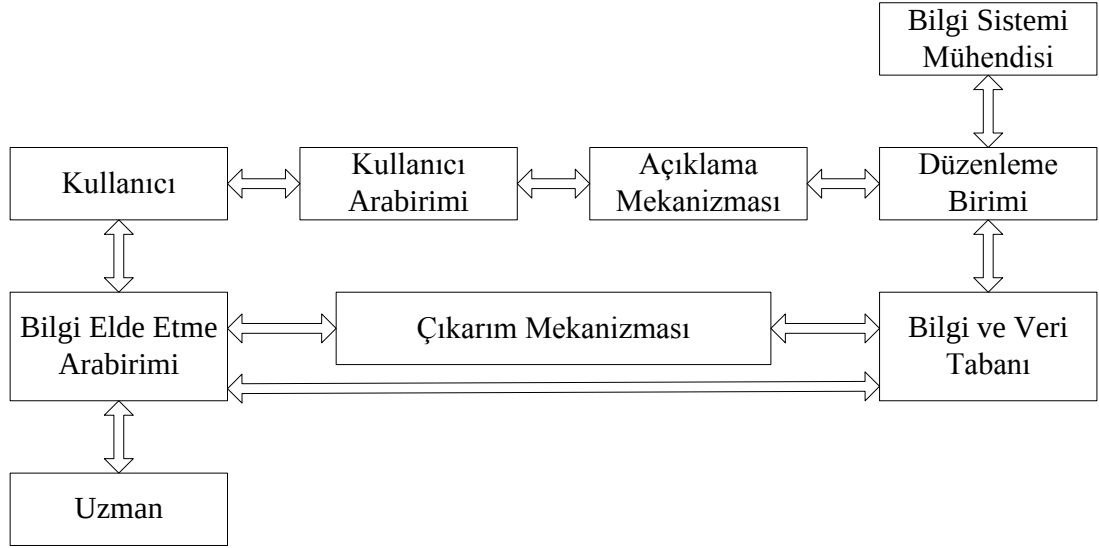
Uzman sistemler (US) bilgisayara bir problem sunulduğunda o problemi o konunun uzmanı ne şekilde çözüyor ise o şekilde çözebilen yapay zekâ programlarının oluşturulduğu sistemlerdir. Bir US'in ne kadar iyi olduğu, bir problem karşısında konunun uzmanı tarafından çıkarılan sonuca ne kadar yakın olduğu ile ölçülür.

Aşağıdaki şekilde bir uzman sistemin yapısı gösterilmektedir. Bu yapıda, ilk olarak problem sahası ile ilgili uzmanlık bilgilerinin toplandığı bir *bilgi ve veri tabanı* bulunmaktadır. Bu bilgi tabanı değişmeye ve gelişmeye açıktır ve bu özelliği ile statik olması gereken program bölümünden ayrılır.[143]

Bir uzman sistemin bilgisi gerçekler ve sezgisel bilgiden oluşmaktadır. Gerçekler; genel kabul görmüş ve söz konusu alandaki uzmanların üzerinde hemfikir olduğu bilgi setini, sezgisel bilgi ise; daha çok uygulamayı gerçekleştiren kişinin özelinde olan, iyi bir kararın göreceli olarak az tartışılan kuralları; akıl yürütme yeteneği, sorgulama kuralları gibi problemle ilgili alandaki uzmanlardan elde edilen bilgi setini ifade eder.

Uzman sistemlerin ikinci önemli elemanı bilgi ve veri tabanındaki bilgileri bir uzman gibi kullanarak sonuçlar üreten bir *çıkarım mekanizması*dır. Bir uzman sistem, gerçek bir uzmanda olduğu gibi, olasılıklı nedensellik ilkesine göre çıkarımlarda bulunmaktadır. Örneğin eğer “a” durumu/olayı söz konusu ise, “b” durumu, aksi durumda “c” durumu gibi çıkarımda bulunurken her bir durum ve bunlara ilişkin koşullar tanımlanırken olasılık tanımlarına uygun bir kesinlik değeri kullanılmaktadır. [143]

Uzman sistemlerde bulunan diğer elemanlar ise aynı bir uzman gibi sonuçları ve verilen kararları nasıl ve neden oluşturduklarını açıklayan bir *açıklama mekanizması* ile bilgisayarla kullanıcının doğal dilde haberleşmesini sağlayan bir *kullanıcı ara birimi* vardır.



Şekil 4.22: Uzman Sistemin Yapısı

Bilgi tabanında bilgiler genel olarak kurallar; (*EĞER-İSE*), bilinen gerçekler, bilgi sınıfları, prosedürler ve algoritmalar şeklindedir.

Uzman sistemlerin en önemli avantajları şunlardır: [143]

- Yüksek performans, uygun yanıt süresi, yüksek güvenilirlik, anlaşılabilirlik ve esneklik gibi kaliteyi arttıran genel karakteristiklere sahiptirler.
- Kullanıcıya, sistemin sonuç çıkarma yöntemini açıklaması ve o konudaki uzmanlığı rahat ve kolay bir şekilde sunarak yardımcı olması itibarıyla zeki bir öğreticidir.
- Problem çözümünde hataları minimuma indirmektedir.
- Mühendislik analizi amacıyla geliştirilmiş olan yazılımlarla uyumludur.
- İçerik ve elemanın en uygun seçimi için geniş bilgi bankasını kısa sürede tarar ve çok fazla miktardaki bilgiyi, belirli bir uygulama problemin çözümü için beceriyle kullanırlar.

Bir US bilgiyi sembolik olarak ifade eder, kıyaslama işlemini inceler ve açıklar, ayrıca probleme ait alanları belirler. Bu işlemleri yapacak bir uzmanın uzun bir süre ileri düzeyde bir eğitim alarak yıllarca bu konuda tecrübe edinmesi gerekecektir ki bu da süre ve maliyet açısından oldukça külfetlidir.

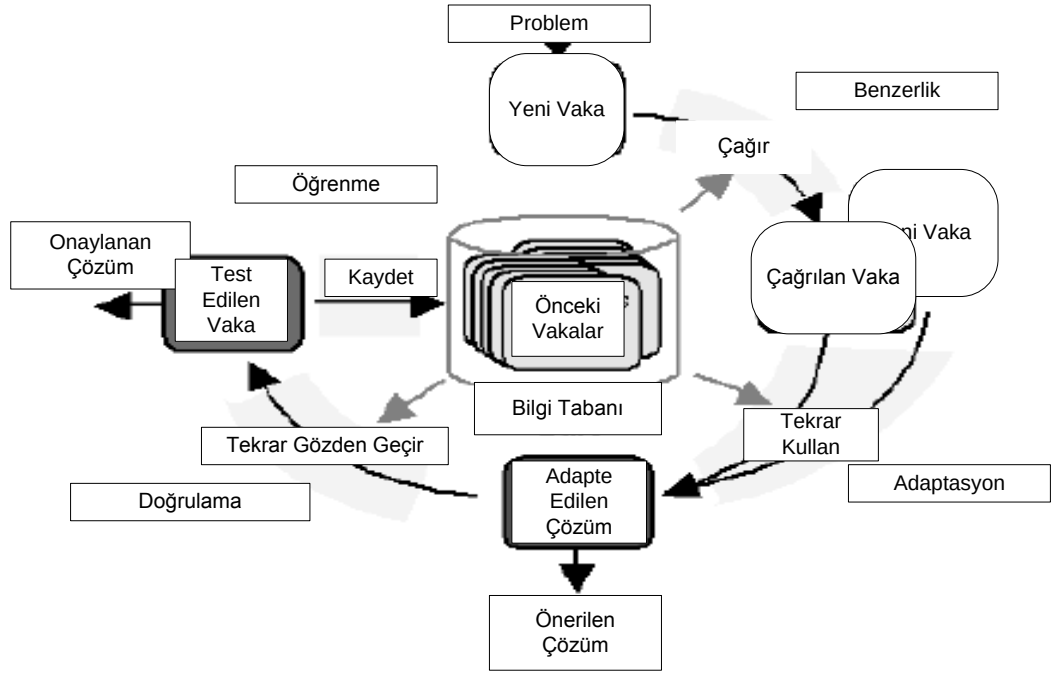
Bunların yanında uzman sistemlerin bazı kısıtları vardır: Bunlardan en önemlisi bilginin toplanması ve uzmandan alınması problemidir. Bir uzman bilgilerini, tecrübesini, yeteneklerini kurallar halinde ifade edemeyebilir. Bu durum bunların bir kısmının kurallar halinde programlanamaması sonucunu doğurur. Bu nedenle bilgi edinme konusunda araştırmalar devam etmektedir. [143]

US'de veri tabanında kesin olarak belirlenmemiş yeni durumlar ortaya çıktığında probleme çözüm üretilemez, problemi çözmek için gerekli bütün bilgiler sınırları ile önceden bilinmelidir. Başka bir ifade ile eğer incelenen durum bilgi tabanında *EĞER-İSE* şeklinde tasarlanmış kuralların *EĞER* kısmında belirtilen durumlara %100 uyum sağlamaz ise problemlere çözüm getirilemez. Örneğin, oda sıcaklığı 20 derece olduğunda termostatin kapanması istendiğinde oda sıcaklığı 19.9999 olsa bile sistem termostatu kapat önerisi vermez. Hayatta her şeyi böyle kesin sınırları ile söylemek mümkün değildir. Bu sebeple, US'ler beklenmeyen durumlarda önemli açıklar verebilirler. Buna ilave olarak programdaki hataları bulmak için yapılan testlerin doğal olarak güvenilirmez olduğu da söylenmektedir. Bu kısıtların yanı sıra uzman sistemlerin, uzmanlara göre, beklenmeyen durumlar için yaratıcı yanıt bulma, öğrenme ve algılama yoluyla tecrübe gibi, özelliklere sahip olmama gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

4.3.5 Vaka Tabanlı Gerekçeleme

Vaka Tabanlı Gerekçeleme (VTG) kural tabanlı gerekçelemeye dayanan uzman sisteme bir alternatif sistemdir. VTG'de gerekçeleme hafıza ve tecrübeye dayanır. Bir vaka tabanlı gerekçeleyci yeni problemleri eski problemleri çözmek için kullanılan çözümleri adapte ederek çözer.

Bir VTG sistemi geçmiş durumları depolar, organize eder daha sonra eldeki probleme benzer durumları seçer ve önceki vakalara dayalı olarak bir çözüm adapte eder. [106]



Şekil 4.23: Vaka Tabanlı Gerekçeleme Süreci

VTG sistemleri son zamanlarda inşaatın her dalında geliştirilmektedir. Örneğin, mimari, taşıyıcı sistem tasarımı, süre ve/veya maliyet tahmini, inşaat prosesi, güvenlik planlaması ihale kararı alma, inşaat metodu seçimi ve yönetim. vb.

VTG yaklaşımı problemlerin çözümü için tecrübelerin kullanımına dayalı uzman muhakemelerine benzemektedir. Uzmanlar yeni bir problemi aşağıdaki gibi çözmektedir. 1. problemi tanımlayan anahtar nitelikleri gözlemleme 2. bu nitelikleri tecrübelerindeki önceki benzer problemlerde belirler. 3. tecrübe edilen benzer problemlerin temelinde yeni problemin yönünü tahmin eder.

Bir VTG sistemi uzmanların gerekçeleme ile benzerlikleri gözönüne alınarak aşağıdaki 2 alt süreçten meydana gelmektedir.

(1) Geçmiş vakalar, bir vaka tabanında depolanır.

(2) Yeni bir vaka sisteme sunulduğunda, VTG sistemi, kullanıcı tarafından tanımlanmış benzerlik fonksiyonu ile hesaplanan benzerlik yüzdesine göre bir veya daha fazla yeni vakaya benzer depolanmış vakaları çağırırlar.

(3) Kullanıcılar yeni vakayı çağrılan vaka(ları) adapte ederek çözmeye çalışır ve adaptasyon depolanan vakalar ile yeni vaka arasındaki farklılıklara dayanır ve yeni vaka çağrılan geçmiş vakalar ile yakın eşleşmedikçe çağrılan vaka(lar) revize edilir.

(4) Yeni çözüm test boyunca depolanan vakaların bir parçası olarak tutulur.

Bu araştırmada bir VTG sistemi ESTEEM yazılım firması tarafından üretilen bir VTG geliştirme aracı ile geliştirilmiştir. Her nitelik için değişkenler ESTEEM tarafından önerilen “Evet veya Hayır”, “Metin”, “Sayısal”, “Bir Liste”, “Vaka” alternatiflerinden biri ile tanımlanmalıdır. “Sayısal” ve “Bir Liste” girdi ve çıktı değişkenlerini sunmak için adapte edilmiştir. Bu çalışma benzerlik yüzdesini hesaplamak için aşağıdaki eşitliği kullanmıştır.

$$BenzerlikYüzdesi(N, S) = \frac{\sum_{i=1}^n f(N_i, S_i) \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \times 100(\%) \quad (4.44)$$

Bu denklemde N , yeni vakayı; S , vakatabanında depolanan vakayı; n , her vakadaki değişken sayısını; $i = 1, \dots, n$ tekil değişkeni; f , N ve S vakalarındaki i değişkeni için benzerlik fonksiyonunu ve w_i i değişkenin önem ağırlığıdır.

Benzerlik fonksiyonu değişkenlerin değerine dayalı olarak belirlenir. Sayısal veri için, aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır N_i ve S_i yeni vakanın değişkeni ve depolanan vakanın değişkeni ve % 10 yazar tarafından belirlenen yeni ve depolanan vakaların değişkenlerinin değerleri arasındaki eşleşme toleransını tanımlayan eşleşme aralığıdır. Eğer yeni vakanın değişkeninin değeri, aşağıdaki eşitliği sağlarsa, $f(N_i, S_i)$ 1 dir, yok eğer sağlamazsa 0'dır.

$$\left| \frac{N_i - S_i}{S_i} \times 100 \right| \leq 10(\%) \quad (4.45)$$

Kategorisel veri için (bir listedeki bir değer) eğer yeni vakanın değişkeninin listesi tam olarak depolanan vakanın değişkeninin listesi ile eşleşirse $f(N_i, S_i)$ 1'dir, aksi durumda 0'dır.

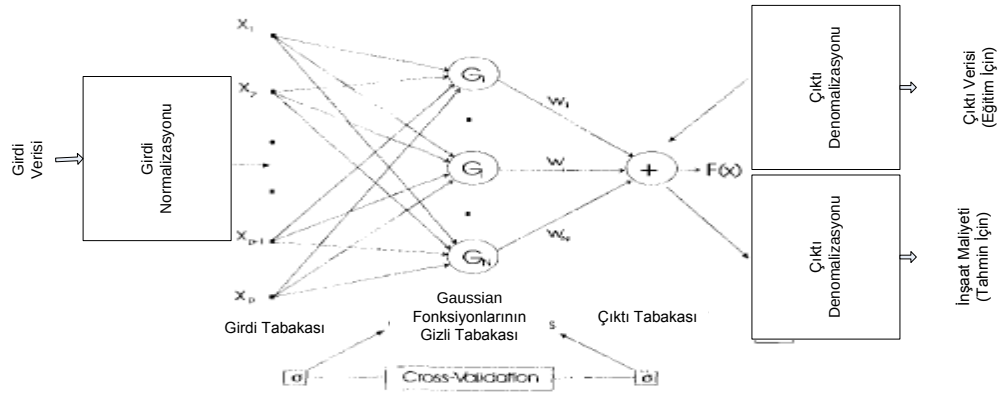
Değişkenlerin önem ağırlığı (w) otomatik olarak ESTEEM tarafından önerilen mevcut algoritmalar ile hesaplanır ki bu algoritma gradient descent metodudur. Çünkü bir değişkene diğerlerinden daha fazla önem vermek zordur. Tüm vakaların benzerlik yüzdesi hesaplandıktan sonra vaka tabanındaki maliyet verisi düzenlenir, derecelenir. En üstte derecelenen vakaya karşılık gelen maliyet yeni inşaat projesi için tavsiye edilen maliyet olarak seçilir. Bu prosedür aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır.

Şekil 4.24: Vaka Tabanlı Gerekçeleme Modeli

Adeli ve Wu YSA Çalışması

Düzenlenmiş ağlar ile gerçekleştirilen tahminin sonucu sadece eğitim örneklerine bağlıdır. Sınır ağının mimarisine, öğrenme parametrelerine ve sistemi eğitmek için gerekli tekrar sayısına bağlı değildir.

Ohio Ulaştırma Departmanında 242 örnek betonarme kaldırım inşaatı maliyetleri alınmıştır. Oluşturulan modellerde örneklem iki eşit sayıda bölünmüştür. 121 tanesi eğitim için geri kalan 121 tanesi de modeli onaylamak için kullanılmıştır. Maliyet faktörleri, miktar ve kaldırım kalınlığıdır. İlk örnekte miktar, ikinci örnekte ise miktar ve kaldırım kalınlığı girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. İlk modeldeki eğitim ve doğrulama hata oranları %16 - %18 arasındadır. İkinci modeldeki doğrulama (validation) hata oranı ise %5'tir.



Şekil 4.25: İnşaat Maliyet Tahmini İçin Oluşturulmuş Sinir Ağı Yapısı

Problem bir standart terim ve bir regularization terim içeren hata fonksiyonu ile ifade edilmiştir. Sonraki terimin amacı maliyet tahminini mevcut veri noktaları dışında da geliştirmektir. RNN’de varsayımlar sadece fonksiyonun sürekliliği ve genel düzgünlüğüdür.

Avantajları:

RNN matematik temele dayalıdır. Daha güvenilir ve tahminlenebilir maliyet tahminidir. Bu sinir ağlarının sonuçları sadece eğitim örneklerine dayalıdır. Dolayısıyla objektif bir maliyet tahminicisidir.

Karayolu inşaatı maliyet verisindeki karmaşıklık oransal olarak hesaba katılmıştır.

Kaçınmanın imkânsız olduğu öngörülme ve miktarlaştırılamayan faktörlerden kaynaklanan karmaşıklıktan kaynaklanan genelleme hatası örnek sayısının artışıyla yok edilir.

Mason, Kahn Konut Projelerinde Bulanık Mantık Uzman Sistemi ile Hafriyat Tahmini Çalışması

Mason ve Kahn 1997 yılında bulanık mantık teorisini kullanarak Orta Doğu'daki büyük ölçekli bir konut projesi için ön hafriyat maliyet tahmini için bulanık uzman sistem geliştirmiştir. [80]

Bir uzman metodunda kurallar iki cümleden oluşur. Önde gelen cümle ya da cümleler ve sonra gelen cümledir. (sonra gelen de cümlelerden oluşabilir fakat maliyet hesaplamasından ötürü tek cümle olmalıdır.) Önde gelenler maliyet bileşeni (cost drivers) ile ilgilidir, sonra gelen maliyet. Önde gelenler eğer doğru ise sonra gelen de doğru olacaktır. Fakat önde gelenlerden bir tanesi yanlış olursa sonra gelende yanlış olacaktır. Sonra gelen cümle bir parasal değer de olabilir, bir formül de olabilir. Formül olması durumunda sadece önde gelen cümle ya da cümleler doğru ise formül uygulanır. [80]

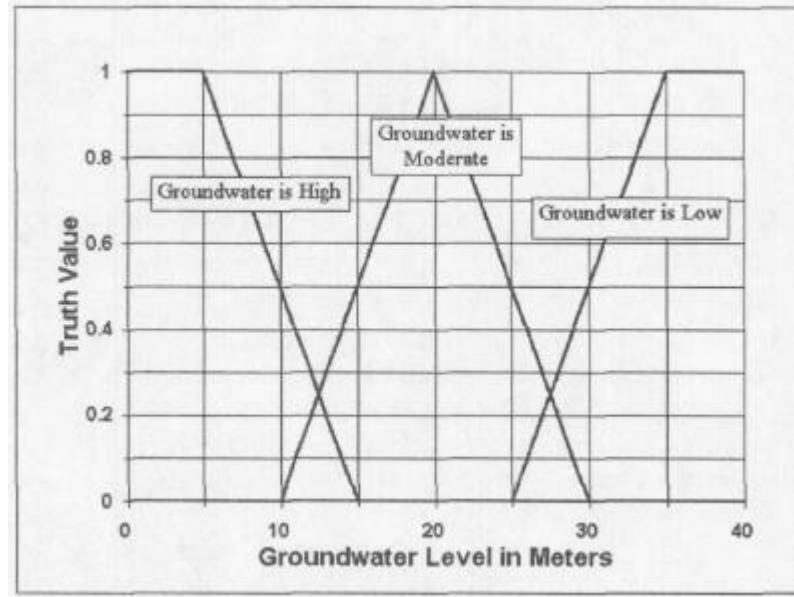
Eğer kurallarla tahmin yakalanacaksa önde gelen cümleyi doğru ya da yanlış olarak cevaplanacak bir soru olarak bilgisayar rutin bir şekilde ilerler. Bu sorulara sistem 3 şekilde cevap alır: Birincisi kullanıcıya direkt sorarak, ikincisi standart tablolarında ya da geçmiş veride cevap arar, üçüncü olarak da diğer bir kuralı sorgulayarak, bu kuralın sonucunun önde gelenin doğru ya da yanlış olduğunu işaret etmesi ile.

Fakat bu sistemlerde şu problemlerle karşılaşmaktadır: ilk olarak kullanıcı kuralların ön kısmındaki sorulara belirsiz tasarım şartları veya saha koşullarından dolayı evet veya hayır diye cevap veremeyebilir, ikincisi sonucun belki ya da olasılığa sahip durumları sözkonusu olabilir. Üçüncüsü eğer maliyet tahmin ilişkileri kesin sayısal doğrulukla bilinmiyorsa kuralları organize etmekte zorlanılabilir tüm bu sorunlar bulanık üretim kuralı ile hafifletilmiştir.

Bir bulanık üretim kuralı yukarıdaki geleneksel üretim kuralına, önde gelen ve sonra gelen cümlelerdeki koşulları sözel ifadelerle değiştirerek doğruluk ataması dışında, benzeyen bir kuraldır. Dolayısıyla örneğin “eğer yeraltı suyu seviyesi yüksek, yüzeye yakın ise, inşaat maliyeti yüksek olacaktır” kuralında yeraltı suyunun yüksekliği bir bulanık set ile belirtilir.

Yeraltı su seviyesi yüksek için bulanık set tüm olası yeraltı suyu seviyelerine doğrulukların atanması ile elde edilir. Eğer bir derinlik kesinlikle yüksek değilse bu derinliğe “0” değeri atanır. Kesinlikle yüksek olarak düşünülen değere ise “1” değeri atanır. Diğer durumlar için de 0 ile 1 arasında bir değer atanır ki seviyenin yüksek olduğuna rölatif inancı yansıtır.

Aşağıdaki şekilde “yeraltı su seviyesi yüksek” fikrini tanımlayan bir bulanık set “yeraltı suyu seviyesi orta yükseklikte” ve “yeraltı suyu seviyesi alçak” bulanık setleri ile birlikte gösterilmektedir.



Şekil 4.26: Yeraltı Su Seviyesi İçin Bulanık Kümeler

0–5 m. arasındaki yeraltı su seviyesi için 1 doğruluk değeri atanmıştır. Bu aralıkta kesinlikle yeraltı su seviyesi yüksek kabul edilmiştir. Ancak eğer yeraltı su seviyesi 15 m.den daha derinde ise bu durumda kesinlikle yüksek olmadığı ifade edilmesi amacıyla 0 değeri atanmıştır. 5–15 m. arasında yüksek ifadesi derinlikle lineer azalır.

Aynı zamanda 5–15 m arasında şekilden de gözüktüğü gibi hem yüksek hem de orta yüksek düşünülür fakat bunlar farklı doğruluk değerlerine sahiptir.

Yukarıdaki şekildeki bulanık setteki her noktanın doğruluk değeri şekildeki eğrilerden elde edilebilir ki bunlar üyelik fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır. Üyelik fonksiyonları düz çizgilerle sınırlı değildir. Su seviyesi uzayı sıfırdan 40’ m. ye kadardır.

Bulanık uzman sistemler geleneksel sistemlerden farklı olarak önde gelen ve sonra gelen cümlelerin bulanık setlerle ifade edilir. Bulanık ve bulanık olmayan setler aynı sistemde birlikte kullanılabilir. Bir diğer farklılık da sonuca ulaşmak için kullanılan gerekçelemesidir. Geleneksel sistemlerde doğru ya da yanlış şeklinde bir sonuca ulaşılır. Örneğin “yeraltı suyu seviyesi 2–4 m arasında ise hafriyatın m^2 maliyeti 140 dolardır” ifadesinde varsayımı kullanarak 2-4m arasındaki yeraltı suyundan dolayı gerçekten m^2 maliyetin 140 dolar olacağı sonlandırılır. Bu durumun tersi yani 2-4m arasında değil ise m^2 maliyeti 140 dolar olmayacaktır. Bulanık mantıkta bu tip gerekçeleme uygun değildir. Aslında bulanık mantıkta çok çeşitli gerekçeleme yolları vardır. Fakat en çok kullanılan bu min-max olarak isimlendirilen prosedürdür.

Bu örnekte hafriyat maliyetini hesaplayabilmek için hem grafik olarak maliyeti iki değişkene bağlı olarak daha rahat ifade etmek hem de basit bir tabloda sistem için oluşturulan kuralları göstermek kolaylığı bakımından iki değişken alınmaktadır. Aynı zamanda iki değişkeni tanımlayan bulanık setler de üç set ile sınırlandırılmıştır. İlk değişken *yeraltı suyu seviyesidir*. İkincisi *inşaat sırasında bölgedeki politik kararlılıktır* ki bu yüklenici performansını ve programını etkilediği gibi malzeme, işçilik, altyüklenici maliyetlerini de etkileyecektir. Her iki değişken üçer bulanık set ile ifade edilecektir. Bir de tahmini maliyet için oluşturulacak üç bulanık set ile toplam 9 bulanık kural hafriyat maliyeti ile değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklayacaktır.

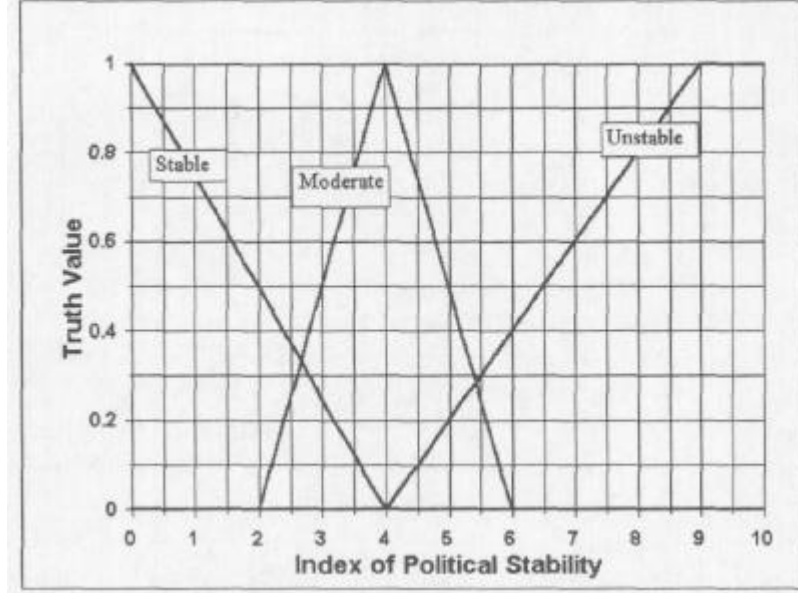
Tipik bir kural: eğer (yeraltısuyu seviyesi yüksek) ve (politik kararlılık, kararsız durumda) ise (inşaat maliyeti yüksek olacak) şeklinde olacaktır.

Aşağıdaki 4 adımda sistem inşa edilecektir:

- 1.adım. Maliyet değişkenlerini açıklayan bulanık kümelerin oluşturulması
2. adım. Hafriyat maliyetini tasvir eden bulanık kümenin oluşturulması
3. adım. Sistemin kurallarının belirlenmesi
4. adım. Maliyetleri tahmin etmek için çıkarım prosedürünün uygulanması

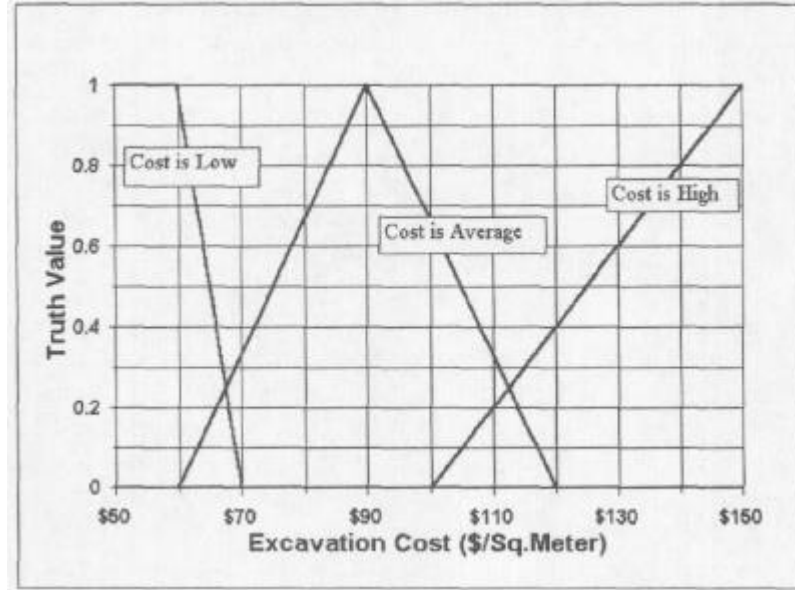
İlk adımda maliyet değişkenlerine ait bulanık setler ifade edilecektir. Yeraltı suyu seviyesi için üç fikir bulunmaktadır: yüksek, orta, alçak şeklinde.

Üç fikir için aitlik fonksiyonları da aşağıdaki yukarıdaki grafikte gözükmemektedir. Politik kararlılık için de kararlı, orta kararlı, kararsız olmak üzere üç fikir ve bu üç fikir için aitlik fonksiyonları da aşağıdaki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 4.27: Politik Kararlılık İçin Bulanık Kümeler

2. adımda tahmini maliyet için bulanık set oluşturulmaktadır. Bunun için maliyetin yüksek, orta ve düşük fikirleri oluşturulmuştur. Bunların aitlik fonksiyonları aşağıdaki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 4.28: Hafriyat Maliyetleri İçin Bulanık Kümeler

3.adımda sistemin kurallarının belirlenmesi aşaması gelmektedir. Önde gelen kısım yeraltı suyu seviyesi ve politik kararlılık ile ilgili iki cümle, sonraki tek cümle içerecektir. Her bir maliyet değişkeni için üçer bulanık set bulunmasından $3*3= 9$ adet maliyet değişkenlerinin kombinasyonu olacaktır. Aşağıdaki tabloda 9 kuralı da göstermektedir. 1’den 9’a kadar numaralandırılmışlardır. Bu 9 kombinasyonun her biri için kurallar oluşturulması gerekir.

Tablo 4.9: Sistem için 9 Kural

Politik Kararlılık	Yeraltı Suyu Seviyesi		
	Yüksek	Orta	Düşük
Kararsız	1. Yüksek	2. Ortalama	3. Ortalama
Ortalama	4. Yüksek	5. Ortalama	6. Düşük
Kararlı	7. Ortalama	8. Düşük	9. Düşük

Örneğin 1. kural şu şekilde okunmalı “ Eğer yeraltı suyu seviyesi yüksek ve politik kararlılık kararsız ise hafriyat maliyeti yüksek olacak.”

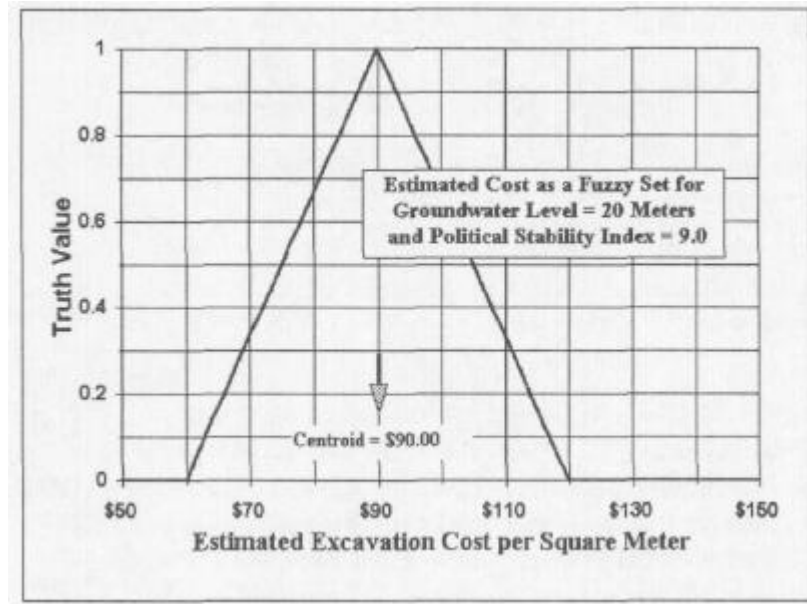
4. adımda çıkarım-sonuç alma prosedürü uygulanacaktır. Maliyet tahmini ilk olarak bulanık set olarak üretilecektir.

Hafriyat maliyetini belirten bulanık setin üyelik fonksiyonunu anlamak için gerekçeleme prosedürü oldukça basittir. Her kural için, hafriyat maliyetini tanımlayan bulanık setteki maliyetlere atanan doğruluk değeri yeraltı suyu seviyesi ve politik kararlılık ile ilişkili doğruluk değerlerinin minimumundan daha büyük olamaz. Ancak biraz sonraki örneklerde görülecektir ki hafriyat maliyetini elde etmek için birden fazla kural kullanılabilir. Bu durumda tekil kuralların sonuçlarının toplamı olarak ifade edilecektir.

Bir sonuç çıkarmak için ilk adım maliyet değişkenlerini belirten çeşitli bulanık fikirlerin doğruluk değerlerini tespit etmektir. Bunun nasıl yapıldığı kullanıcının ne kadar doğrulukla maliyet değişkenlerinde kullanılan sayısal temeli tahmin etme yetisine bağlıdır. Bu bakımdan üç olası durum vardır, bunlar aşağıdaki örneklerde gösterilecektir.

Kullanıcının bilgisi rölatif olarak doğru, örneğin kullanıcı yeraltısuyu seviyesini m cinsinden ve politik kararlılığı da 1den 10a skalada bir sayı olarak oldukça doğru biçimde sağlayabilmektedir. Yeraltı suyu seviyesini (YSS) 20m ve politik kararlılık indeksini de (PKİ) 9 olarak tahmin etmektedir. Bu durumda şekle göre kullanıcı yeraltı suyu seviyesini 1 doğruluk değeri ile orta olduğunu, yüksek ve düşük için 0 doğruluk değerinde olduğunu bildirmektedir. Politik kararlılık için de şekle göre 1 doğruluk değeri ile kararsız olduğunu belirtmektedir. Aynı zamanda kararlı ve orta kararlı fikirleri için doğruluk değerleri 0dır. Bu bilgiler doğrultusunda yukarıdaki matrikse dönersek 2. kural için, iki değişken, dayanak için de 1'dir. Her ikisi de 1 değerine sahip olduğu için sonuca atanacak maksimum doğruluk değeri 1'dir. Bundan başka geri kalan kurallar için doğruluk değeri 0'dır. Diğer kurallar için atanabilecek maksimum doğruluk değeri 0'dır. Buna göre sadece 2. kural 0'dan büyük değerde doğruluğa sahip olacak ve sonuç hafriyat maliyeti ortalama bulanık set olacaktır. Aşağıdaki şekilde bu durum gösterilmektedir.

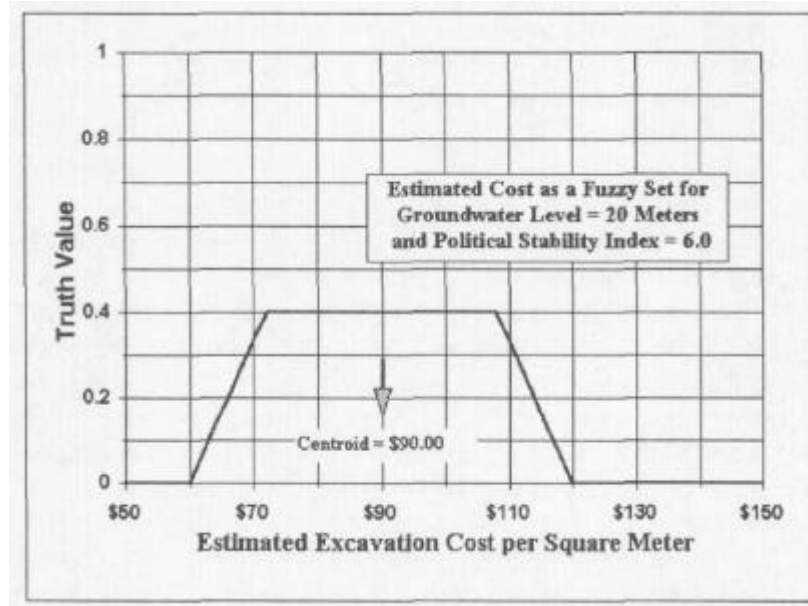
Sonuç bir bulanık set olarak üretilmektedir ve onu bulanıksızlaştırmak istenebilir. Bulanıklığı gidermek için çeşitli yöntemler vardır: biri üyelik fonksiyonunun ağırlık merkezine eşittir, şekilde gösterilmektedir.



Şekil 4.29: YSS 20 m. ve PKİ 9.0 iken Sonuç

Diğer bir durum ise yeraltı su seviyesinin 20 m, politik indeksinde 6 olduğu durumdur. Bu durumda politik indeksin 6 olmasından dolayı “politik kararlılık kararsız” fikrinin doğruluk değeri 0,4’e düşecektir. Bu nedenle hafriyat maliyetine atanan maksimum doğruluk değeri ortalama 0,4’tür. Diğer kurallar 0’dan büyük değildir. Bu durumdaki hafriyat maliyeti için oluşan eğri aşağıdaki şekilde görülmektedir.

Şimdiye kadar sadece bir kuralın 0’dan büyük olduğu durumlar söz konusu oldu. Bu sefer maliyet tahmincisinin yeraltı suyu seviyesinin 5m, politik kararlılık indeksinin de 5,0 olduğuna inanmaktadır. İlk şekilden 5 mde 1,0 doğruluk değeri ile yeraltısı seviyesinin yüksek olduğu, diğer setler için 0dır. İkinci şekilden de politik indeksin 5,0 değerinde 0,2 doğruluk değeri ile kararsız ve 0,5 doğruluk değeri ile orta kararlıdır. Bu nedenle aşağıdaki matriste koyu olarak gösterilen iki kural burada çalışmaktadır.



Şekil 4.30: YSS 20 m. ve PKİ 6.0 iken Sonuç

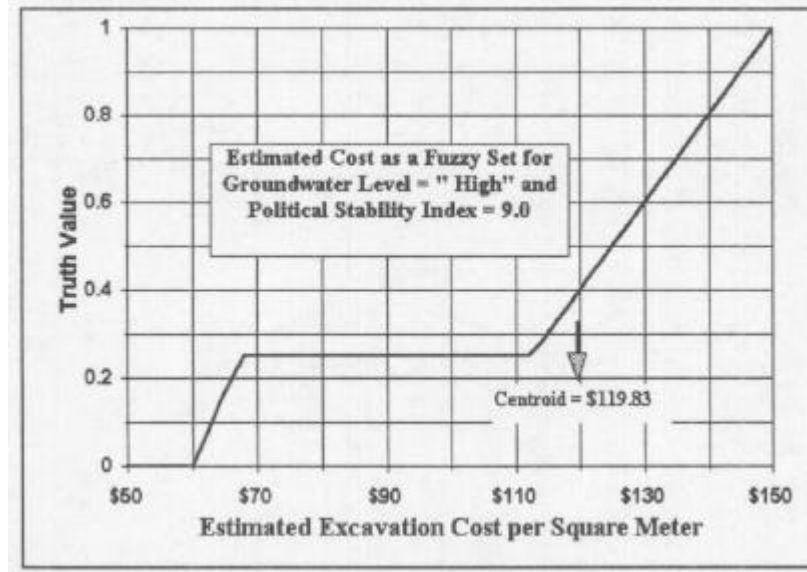
Tablo 4.10: Bulanık Mantık Örneğinde Uygulanan Kurallar

Politik Kararlılık	Yeraltı Suyu Seviyesi		
	Yüksek	Orta	Düşük
Kararsız	1. Yüksek	2. Ortalama	3. Ortalama
Ortalama	4. Yüksek	5. Ortalama	6. Düşük
Kararlı	7. Ortalama	8. Düşük	9. Düşük

Sonucun 1. kuralla maksimum doğruluk değeri 0,2, 4. kuralla 0,5'tir. Her iki kuralda hafriyat maliyetinin yüksek olduğu fikrini dolayısıyla anlatmaktadır. Ancak iki kuralda 0'dan büyük doğruluk değerine sahip olduğundan seçim varsa doğruluk değerlerinin maksimumunu alarak bulanık setleri toplarız. Sonuç aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

Bir diğer durum ise kullanıcının bilinen sözel ifadeyi kullanarak maliyet değişkeni ile ilgili fikrini belirtmesi durumudur. Bulanık yaklaşımın olası avantajlarından birisi de budur. Tam doğru olarak maliyet değişkenlerinin değerlerini ifade etmesi gerekmemektedir. Örnek olarak kullanıcı yeraltı su seviyesinin yüksek olduğuna fakat politik indeksin 9 değerinde olduğuna inanmaktadır.

Bu örnekte yeraltı suyu seviyesi numerik olarak ifade edilmemiş ilk şekildeki bulanık set olarak açıklanmıştır. Buna göre ilk şekilde “yeraltısuyu seviyesi orta yükseklikte” fikri de 0'dan farklı doğruluk değerine sahip “yeraltı suyu seviyesi yüksek” bulanık setinin de geçerli olduğu 10–15 m aralıkta. Bu sebeple 10–15 m aralıkta yeraltı su seviyesi hem yüksek hem de orta yüksek kabul edilecektir. Buna göre kullanıcı yeraltı suyu yüksek derken doğruluk değeri 1 olan yeraltı suyunun yüksek olması fikrini değil aynı zamanda orta yüksek fikri doğruluk değerinin 0'dan farklı olduğunu da kapalı olara ifade etmektedir. Ortalama için atanan doğruluk değeri iki aitlik fonksiyonunun kesiştiği 0,25 değeridir. Bu değer yeraltı suyu seviyesinin yüksek olmasını belirtenle ortalamaya atanabilir maksimum değerdir. Bu 1.ve 2. kuralların birlikte 0'dan büyük olmasından dolayı birlikte uygulanır. Aşağıdaki şekilde bu işlem gösterilmektedir.



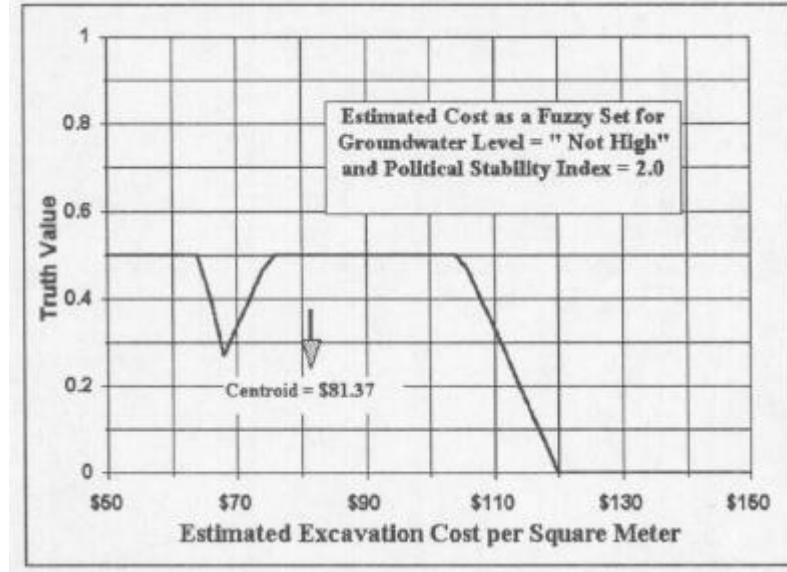
Şekil 4.31: YSS “Yüksek” ve PKİ 9.0 iken Sonuç

Bazen kullanıcı bilinmeyen bir sözel ifadeyi kullanabilir – kullanıcı bulanık set olarak tanımlanmayan bir maliyet değişkeni hakkında bir assertion yapmak istemesi durumu da sözkonusu olabilir. Örneğin kullanıcı yeraltı su seviyesinin yüksek olmadığını ve politik kararlılık indeksinin de 2 olduğunu belirtmektedir.

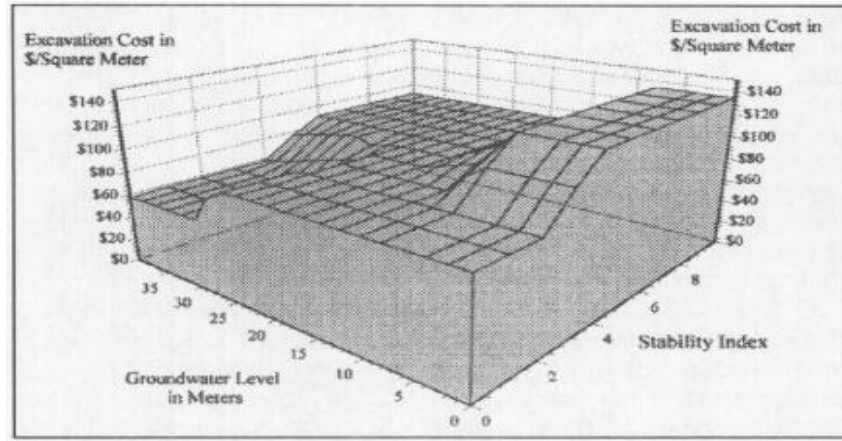
Bu durumda kullanıcı sözel şekilde bulanık set olarak belirtilmeyen bir ifade kullanmıştır. Bunun için yüksek yeraltı su seviyesi yüksek fikrine ait aitlik fonksiyonu 1’den çıkarılır. Bunun sonucunda matristeki 7., 8. ve 9. kuralların doğruluk değerleri 0’dan büyük değerler alır. Şekil 4.32’de bu duruma ait elde edilen hafriyat maliyeti gözükmemektedir.

İki değişkene sahip olunmasından dolayı yeraltı suyu seviyesi ve politik kararlılık için tüm tahmin edilen hafriyat maliyeti aşağıdaki şekilde çizilebilir.

Bu şekilden en düşük maliyet yeraltı su seviyesinin ve politik kararlılığın düşük olduğu alanda gözükmemektedir. Maliyet yeraltı su seviyesi ve politik kararlılık indeksin yüksek olduğu yerlerde yükseldiğini göstermektedir. Şekilde yüzey platolara ve eğrilere sahip, eğer daha fazla bulanık set alınsa idi daha düzgün, sürekli bir yüzey elde edilirdi.



Şekil 4.32: YSS “ Yüksek Değil” ve PKİ 2.0 iken Sonuç



Şekil 4.33: YSS ve PKİ’nin Fonksiyonu Olarak Tahmini Hafriyat Maliyeti

Bu şekilde doğruluk değerleri çizilmemiş sadece ağırlık merkezleri değerleri çizilmiştir. Bulanık mantık için kullanılabilecek yazılım Fuzzy Knowledge Builder’dır.

Doğan, Arditi ve Günaydın Genetik Algoritma Destekli YSA ve VTG ile Ön Tahmin Çalışması

Doğan, Arditi ve Günaydın [27] tarafından bu çalışma 2005 yılında yayınlanmıştır.

4–8 katlı konut projeleri taşıyıcı sistem maliyeti en iyi tahmini için GA destekli VTG modeli ve GA destekli YSA modelinin elektronik tablo simülasyonları karşılaştırılmaktadır.

29 konut projesi örnek proje olarak bir araştırma raporundan alınmıştır. Çok katlı bir betonarme konut projesinin yapım maliyetinde % 25 gibi bir yüzdeye sahip olan taşıyıcı sistem maliyeti göz önüne alınarak taşıyıcı sistem maliyetini etkileyen parametreler modellerde girdi parametresi olarak kullanılarak konut binalarının toplam maliyetinin önemli ölçüde azaltılması araştırılmıştır. Bu parametreler, binanın toplam alanı, toplam alanın tipik kat alanına oranı, toplam alanın zemin kat alanına oranı, kat sayısı, binanın konsol yönü, binanın çekirdeğinin yeri, binanın döşeme tipi, binanın temel sistemidir. Her iki model de çıktı değeri taşıyıcı sistemin m² maliyet değeridir.

Üç katmanlı bir yapay sinir ağının Hegazy ve Aayed tarafından yapılan elektronik tablo şeklindeki simülasyonu ile MS Excel tabanlı bir VTG yazılımı olan Induce-IT ‘den yararlanılarak geliştirilen bir VTG simülasyon şablonu eldeki maliyet verisine uyması için değişiklik yapılarak kullanılarak karşılaştırma yapılmaktadır. Bir de geliştirilen modellerin tahmin doğruluğunu artırabilmek için YSA’da hatayı minimuma çekmek ve VTG’de referans olaylarının skorları artırılmak üzere, elektronik tablolarla uyumlu çalışabilecek GA temelli MS Excel içinde ek bir araç çubuğu niteliğinde çalışan Evolver yazılımı kullanılarak optimum ağırlıkların belirlenmesi sağlanmıştır.

Geliştirilen YSA simülasyon modeli MS Excel’de Hegazy ve Aayed’in modelinden adapte edilen girdi-gizli-çıkış katmanlarına sahip 3 katmanlı bir çıkış düğümlü olan modeldir. Girdi katmanındaki düğüm sayısı yukarıdaki parametrelerin sayısı yani 8, örnek sayısı 29, çıkış katmanındaki düğüm sayısı 1 olarak YSA Excel simülasyonuna girilmiştir.

Bu modelin eğitim kümesi için 21, test kümesi için 8 örnek proje kullanılmıştır. İki kümeye ait ağırlık değerleri 0,5 olarak kullanıldığında ağırlıklı hata %11, ortalama tahmin doğruluğu %89 olarak belirlenmiştir.

VTG simülasyon modelinde ise Excel bazlı Induce-IT yazılımı kullanılmıştır.

Nümerik özelliklerin sayısı 4, sözel özelliklerin sayısı 5 ve çıktı özelliği 1, örnek proje sayısı 24, referans olay sayısı 5 olarak Excel'e girilmiştir. Referans olay kümesindeki tüm olaylara ait ortalama hata % 16, ortalama tahmin doğruluğu %84 olarak belirlenmiştir.

VTG çalışmasında GA kullanmak için, girdi veritabanındaki bir örnek olay çıkarılmış ve “değerlendirme örnek olayı” olarak adlandırılmıştır. Değerlendirme örnek olayıyla geriye kalan diğer örnekler arasındaki özelliklerin benzerlikleri özellik benzerlik denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra örnek olay benzerlikleri “değerlendirme örnek olayı” ve kalan diğer örnek olaylar arasında hesaplanmıştır. Bu çalışmada örnek olay benzerliğinde hükmeden bağlantı, girdi örnek olaylarından çıktı değeri değerlendirme örnek olayına en yakın olan örnek olayın örnek olay benzerliği (ÖOB) değerini GA ile maksimize etmektir. (1'e en yakın değere getirmektir.) Bu çalışmada varsayılan nüfus büyüklüğü 50'dir. Maksimum ÖOB değerini verecek optimum özellik ağırlıklarını bulmak üzere Evolver 15,000 kez çalıştırılmıştır. Bu süreç girdi veri tabanına sahip olduğu örnek olay sayısının büyüklüğünce her seferinde değişik bir örnek olayı “değerlendirme örnek olayı” olarak dışarı çıkarmak suretiyle tekrar edilmiştir. GA tarafından üretilen ağırlıkların ortalaması VTG simülasyonunda girilerek VTG'nin çalıştırılmasında kullanılmıştır.”

YSA'da girdi katmanından gizli katmana ve gizli katmandan çıktı katmanına bağlanan bağlantıların ağırlıkları ortalama hata değeri minimuma çekilmeye çalışılarak GA ile optimize edilmiştir.

“Libris Design” Kütüphane Maliyeti Tahmini Uzman Sistemi ile Ön Tahmin Çalışması

“Libris Design” Amerika'da Kaliforniya eyaletinde yapılacak kütüphanelerin tasarımında ve maliyet tahmininde kullanılmak üzere geliştirilmiş bir uzman sistemdir. [18]

Libris Design spesifik bir sandalyenin maliyetine kadar ayrıntılı hazırlanmıştır. Kolay ve hızlı tahmin gerçekleştirilebilmektedir. Alternatif tasarımlar değerlendirilebilmektedir. Yeni bir bina, binayı yeniden modelleme ve genişletme seçenekleri bulunmaktadır. Kullanıcı tamamlanmış şablon kullanarak tahmine başlar.

Bunlar güncel kütüphane planlarını kapsar. Bu kütüphane planları büyüklük ve tip bakımından çeşitlilik arzeder: küçük, geniş, ana ve dal.

Libris Design kütüphaneyi departmanlara ve bölümlere göre organize eder Örneğin, sirkülasyon hizmetleri, çocuk kütüphanesi gibi bölümlere ayırarak kütüphaneyi inceler. 400'den fazla önceden isimlendirilmiş olan alanlar bulunmakta ve bunlar için kullanıcının seçebileceği kütüphane mobilya ve ekipmanı yer almaktadır. Kütüphanenin alanı ve maliyet tahmini mobilya ve ekipman için aşağıdan yukarı tahmin prensibinden hesaplanır.

Sistemdeki varsayılan maliyetler Kaliforniya'da koşullara uygundur. Fakat şehir indeksleri ile bölgesel ve ulusal koşullar için ayarlanabilir.

Ayrıca önceden formatlanmış elli adet raporlama seçeneği bulunmaktadır. Proje bütçesi 20 yapım biriminden fazla birim içerecek şekilde hesaplanır.

İnşaat maliyetlerinde bölgesel faktörler ile ayarlamalar yapılabilir ve profesyonel ücretlerden, saha düzenlemesi, saha gelişimi, güvence ve mobilya-ekipman şeklinde ayrılarak hesaplama yapılabilir. [18]

Tasarım öncesinde kullanılabilecek ön maliyet tahmin yöntemleri iki evreye ayrılarak sınıflandırılabilir. Sadece arsanın yeri, bina tipi, brüt inşaat alanı ya da fonksiyonel birim sayısı veya da kapasitesinin bilinmesi ile gerçekleştirilecek tasarım öncesi evre – I tahmin yöntemleri; bu bilgilerin yanında toplam kat sayısı, bodrum katın olup olmadığı gibi bilgilerinde bilinmesi sonucu kullanılabilecek tasarım öncesi evre – II tahmin yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılabilir. [100] Aşağıdaki tabloda bu ayrım sonucundaki sınıflandırma görülmektedir.

Aşağıdaki tablodaki sınıflandırma ile birlikte eklerde tablo C.1'de hangi proje tipinde hangi yöntemin kullanılabileceği belirtilmektedir. Bu tabloda da konut, otel ve diğer yapıların inşaat maliyetini tahmin etmek üzere hangi yöntemin kullanılabileceği gösterilmektedir.

Tablo 4.11: Tasarım Öncesinde Kullanılabilecek Ön Tahmin Yöntemleri

Yöntemler	Tasarım Öncesi Evre I	Tasarım Öncesi Evre II
Birim Yöntem	X	
Hacim Yöntemi	X	
Alan Yöntemi	X	
Kat Kabuğu Yöntemi	X	
Nedensel (deneysel) Tahmin Yöntemi	X	X
Regresyon Analizine Dayalı Parametrik Maliyet Tahmin Yöntemi	X	X
Fonksiyonel Elemanların Analizine Dayalı Maliyet Tahmin Yöntemi		X
Beklenen Değer Tahmin Yöntemi	X	
Range Yöntemi	X	
Simülasyon Yöntemi	X	
Boyutsuz Büyüklükler ile Tahmin Yöntemi	X	
Oran (Faktör) Yöntemi	X	
Maliyet-Kapasite Faktörleri ile Tahmin Yöntemi	X	
İlk Maliyet Tahmin Yöntemi		X
Erken Maliyet Tahmini Yöntemi		X
İlk (ön) Tahmin Yöntemi		X
Döşeme Alanına Dayalı Eleman Modeli ile Tahmin Yöntemi	X	
RS Means m ² Tahmin Yöntemi		X
RS Means m ² Ticari Bina Modeli Yazılımı		X
RS Means Konut Modeli Yazılımı		X
RS Means Birim Maliyet Çarpanı, Toplam Maliyet Çarpanı Yöntemi	X	
R.S.Means Çabuk Maliyet Hesaplayıcısı Yazılımı	X	
Marshall & Swift Konutlarla İlgili Tahmin Yöntemi	X	
Marshall & Swift Ticari Binalarla İlgili Yöntem	X	
Marshall & Swift Konutlarla İlgili Tahmin Yazılımı	X	
Marshall & Swift Ticari Binalarla İlgili Tahmin Yazılımı	X	
SAYLOR Company, Inc. Ticari Binalar İçin m ² Maliyet Tahmin Yöntemi		X
SAYLOR Company, Inc. Konut Binaları İçin m ² Maliyet Tahmin Yöntemi		X
SAYLOR Company, Inc. S.A.F.E Yazılımı		X
BCIS m ² Maliyet Tahmin Yöntemi	X	
Esra Bostancıoğlu Konut Binaları Maliyeti Tahmin Çalışması		X
Yapay Zekâ Tekniklerine Dayalı Maliyet Tahmini Yöntemi	X	X

4.4 Maliyet İndeksleri ile Maliyetlerin Güncellenmesi

Maliyet indeksleri zamanla maliyette meydana gelen değişiklikleri gösterir. Maliyet indeksleri ile dört türlü işlem yapılabilir:

1. geçmişte inşa edilmiş bir binanın güncel maliyetini bulmak,
2. varolan trendlerin geliştirilerek gelecekteki projelerin maliyet tahminini hesaplamak,
3. sözleşmeleri değişen ekonomik koşullara ayarlamak,
4. ülkedeki çeşitli yerleşimler arasındaki inşaat maliyetlerini ayarlamak için kullanılabilir. [58]

Ülkemizde Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE) 02.03.1989 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan 357 Sayılı Kanun Hükmünde Kararnamenin 3. maddesi itibariyle kendisine verilen İnşaat Sektörü ile ilgili maliyetlerin değişimlerini dönemler itibari ile belirleme yetkisi ile inşaatla kullanılan girdi maddelerinin dönemler itibari ile maliyet değişimlerini belirlemek ve her dönem için bu değişimleri göstermek amacıyla bir " Bina İnşaatı Maliyet İndeksi " oluşturması hedeflenmiş, bu amaçla çalışmalara 1989 yılında başlanmış 1987 yılını milli gelir hesabına paralel olarak almak için temel yıl olarak alınmak istenmiş fakat yapılan çalışmalardan geriye dönüş olmadığından 1991 yılı temel yıl olarak 1992 yılında sonuçlandırılmıştır. Temel yılda ağırlıklar Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'nın fiyatları ile hesaplanmıştır. [126]

DİE Bina İnşaatı Maliyet İndeksi 3 aylık dönemler itibari ile hesaplanmaktadır. [126]

Bir yapının maliyeti bölgelerdeki iklim koşullarına göre değişeceğinden DİE tarafından hazırlanan inşaat maliyet indeksleri Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'nın 4 Ocak 1983 tarih ve 17918 sayılı Resmi Gazete'de yer alan ve Türkiye'yi inşaat yapım işlemleri açısından iklim koşullarına göre dört bölgeye ayıran genelgesine bağlı kalınarak, bu dört bölge üzerinden hesaplanmaktadır.

Bu bölgelerde yer alan illerin seçiminde illerin bölge içi ağırlıklarının bölgeyi temsil edebilecek nitelikte olmalıdır.

İşçilik, makine ve malzeme fiyatlarının düzenli olarak derlenmesinde eleman ve zaman açısından zorlukla karşılaşılmayacak olmasına dikkat edilmiştir. I. Bölge 6 ilden, II. Bölge 37 ilden, III. Bölge 33 ilden ve IV. Bölge 5 ilden oluşmaktadır. Bu nedenle, yüzölçümü itibari ile I. Bölge toplamının % 94'ünü oluşturan 4 il, II. Bölge toplamının % 62'sini oluşturan 12 il, III. Bölge toplamının % 61' ini oluşturan 6 il, IV. Bölge toplamının % 95'ini oluşturan 2 il ve toplam 24 ilden fiyatların derlenmektedir. 24 ilde her madde için üç ayrı işyerinden derlenmektedir. Bu fiyatlar her dönemin 3. ayının 15.günü itibariyle üreticiden, toptancıdan ya da perakendeciden yani inşaat firmaları ile müteahhitlerin alışveriş yaptıkları 1478 işyerinden toplanmaktadır.

İstatistiksel Hesaplama Yöntemi

İnşaat girdi miktarları yıllara göre fazla değişiklik göstermediğinden dolayı DİE indeks hesaplamalarında Laspeyres Formülü'nü kullanmaktadır. Tartılı bileşik fiyat indekslerinin en pratiği olan Laspeyres indeksi ile hesaplamada miktar, temel devre için bir kere elde edilmekte öteki devrelerde maddenin sadece fiyatları toplanmaktadır. Laspeyres indeksi her devrede, m. maddenin aynı miktarda satın alınabilmesi için temel devreye göre ne oranda para harcanacağını hesaplayan bir indekstir.

Laspeyres Formülü :

$$I_{01} = \frac{P_1 Q_0}{P_0 Q_0} \times 100 \quad (4.46)$$

0: Temel devre

1: Cari devre

I_{01} : Temel devreye göre hesaplanan cari devre indeksi

P_1 : Maddenin cari devre fiyatları

Q_0 : Maddenin temel devre miktarları

P_0 : Maddenin temel devre fiyatları

İndekste maliyet işçilik, makine ve malzeme olmak üzere üç ana gruptan oluşmaktadır.

İnşaat maliyet indeksinde bunlar kendi ağırlıkları ile ağırlıklandırılmıştır. DİE'nin bu çalışmasında arsa ve proje maliyeti, inşaat maliyetine dâhil edilmemiştir.

$$I_B = W_M \cdot I_M + W_{\dot{U}} \cdot I_{\dot{U}} + W_{MAK} \cdot I_{MAK} \quad (4.47)$$

W_M = Malzeme ağırlığı

$W_{\dot{U}}$ = Ücret ağırlığı

W_{MAK} = Makine ağırlığı

I_B = Bina inşaatı maliyet indeksi

I_M = Malzeme indeksi

$I_{\dot{U}}$ = Ücret indeksi

I_{MAK} = Makine indeksi

$$W_M + W_{\dot{U}} + W_{MAK} = 1 \quad (4.48)$$

İndeksi oluşturan üç ana gruptan işçilikte 20 maddenin, makinede 7, genel inşaat malzemelerinde 146, tesisat malzemelerinde 122 olmak üzere toplam 295 maddenin fiyatı derlenmektedir. Bu ana gruplar ve alt gruplar (maddeler) Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından belirlenmiş olan sınıflandırmadan yararlanılarak İnşaat İstatistikleri Şubesi'nce oluşturulmuştur. Bu sınıflandırma ve indeks hesaplamalarında göz önüne alınan maddeler ekte gösterilmektedir.

Türkiye'de yayınlanan diğer indeksler de aşağıdaki gibidir:

1) İstanbul Ticaret Odası (İTO) tarafından aylık olarak yayınlanan 1963 (=100) yılını ve 1968 (=100) yılını temel yıl olarak kabul edilen Toptan Eşya Fiyat İndeksleri (TEFE) içerisinde İnşaat Malzemeleri grubuna ait indekste yer vermektedir. Bu indeksler geometrik ortalama ile hesaplanmaktadır. İnşaat malzemeleri grubu indeksinin hazırlanmasında kullanılan malzemeler çimento, tuğla, kireç, kereste, putrel, çivi ve camdır.

2) Tübitak Yapı Araştırma Enstitüsü'nce (YAE) iki adet konut inşaatları için maliyet indeksi oluşturulmuştur.

Birincisi yığma ve betonarme iki adet konut inşaatının birinci keşif özetlerinden yararlanılarak 1968–1978 yılları birim fiyatları ile fiyatlandırılarak Ekim 1978’de bir araştırması yapılarak a.38 nolu ile yayınlanmıştır. Bu indekste sadece inşaatla ait kalemler bulunmaktadır, elektrik, kalorifer ve sıhhi tesisata ait değerler ayrı ayrı hesaplanamadığından alınmamıştır. 1968 (1968=0) yılı temel yıl olarak alınmıştır. Her iki konut projesi de yapım girdileri açısından analiz edilmiş, her yapım girdisi 1968 baz yılı rayiç fiyatları ile karlı ve karsız olarak değerlendirilmiş ve toplam maliyet içindeki ağırlıkları tek tek belirlenmiştir. 1968–1978 yılları arasında yıllık değişim oranları hesaplanmıştır.

Bu ağırlıklar ve değişim oranları kullanılarak malzeme, işgücü ve araç-gereç indeksleri 1968 baz yılına göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen indeksler DİE’nin TEFE’si yapı malzemeleri ve sanayi hammadde ve yarı mamulleri grupları ile karşılaştırılmıştır. İkincisi ise 1971–1980 yılları arasında 225 konut ünitesinin inşaatına ait 2. keşif özetlerinden yararlanılarak oluşturulan indekstir ve bu indeks Mayıs 1983 yılında “konut inşaatı maliyet indeksleri” olarak a.55 no ile yayınlanmıştır.

İkinci çalışmada aşağıdaki konut tipleri bulunmaktadır. 1971–1980 yılları Bayındırlık ve İskân Bakanlığı birim fiyatları ile fiyatlandırılarak, bu yıllardaki konut binaları maliyeti değişimleri indeks haline getirilmiştir. Birincisinde olduğu gibi bu çalışmada da malzeme, araç-gereç, işgücü ve genel inşaat maliyet indeksleri şeklinde yayınlanmıştır. Bu indeks sadece inşaat işlerini temsil etmektedir ve tesisat kalemlerinin inşaat işleri maliyet oranında arttığı kabul edilmektedir. [15] Her projede yer alan ayrı ayrı 60–70 adet imalat ve bunların analizi ile 125 adet kaynak girdisinin ağırlıkları ile indeks değerleri bulunmuştur. Her projeye ait maliyet indekslerinin ortalaması ile genel inşaat maliyet indeksi oluşturulmuştur. Bu çalışma devam etmemektedir. [15]

3) DİE tarafından yukarıdaki açıklamalara göre hazırlanan **Bina İnşaat Maliyet İndeksi** ve 1968 yılı temelli **Toptan Eşya Fiyat Endeksi**dir. 2003 Yılı bazlı Üretici Fiyat Endekslerinde ise inşaat sektörü ÜFE kapsamına alınmamıştır. Tablo 4.13’te Bina İnşaatı Maliyet İndeksi’nin üçer aylık dönemler halinde 1994–2005 arasındaki değerleri görülmektedir.

Tablo 4.12: Konut İnşaatı Maliyet İndeksi Hesaplamasında Kullanılan Projeler

Yapımcı Kuruluş	Konut tipi	Yapım Yeri	Konut Ünite Sayısı
Bayındırlık Bak.	Jand. Subay Loj.	Ankara	32
İmar İskân Bak.	2 katlı bodrumsuz	---	4
İmar İskân Bak.	2 katlı bodrumsuz	---	4
İmar İskan Bak.	5 katlı betonarme	Siirt	50
İmar İskan Bak.	5 katlı betonarme	Kırıkkale	100
T. Emlak Kredi Bank.	6 katlı betonarme	Elazığ	18
T. Emlak Kredi Bank.	4 katlı betonarme	Çankırı	23
T. Emlak Kredi Bank.	4 katlı betonarme	Siirt	24

Tablo 4.13: DİE Bina İnşaatı Maliyet İndeksi (1991=100)
(Üçer Aylık Dönemlik)

Yıl	I	II	III	IV	Ortalama
1994	451	582	629	730	598
1995	843	956	1058	1173	1007
1996	1415	1627	1907	2175	1781
1997	2659	3040	3680	4161	3385
1998	4906	5590	6241	6817	5889
1999	7734	8652	9749	10610	9186
2000	11837	12694	13647	14328	13126
2001	16864	19651	22112	23546	20543
2002	25112	27218	28897	30428	27914
2003	32811	33362	34198	35049	33855
2004	36776	38270	39605	40440	38773
2005	41482	42163	43332		

Ayrıca DİE Bina İnşaatı Maliyet İndeksi hesaplamasında göz önüne alınan maddeler de (işçilik, malzeme ve makine) ekler Tablo B.1’de verilmektedir.

4) ITU Fen Bilimleri Enstitüsü Öğrencileri tarafından iki çalışma yapılmıştır:

4.1) İlk çalışmada Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu tarafından 1985 yılından itibaren yayınlanan yapı sınıflarının m2 birim fiyatlarından yararlanılarak, 1985–1992 yılları arasında birim fiyat artışlarındaki artış oranlarını göstermek üzere 1988 temel yıl alınarak indeksleme çalışması yapılmıştır. Varolan indeks değerlerinin trend analizi ile yapı sınıfına göre 1992 m2 birim fiyat tahmini bulunmuştur. [15]

4.2) Bir diğer çalışmada 1978 yılında Tübitak Yapı Araştırma Enstitüsü tarafından yayınlanan a.33 nolu “İnşaat Maliyet İndeksleri ve Bina Yapım Girdilerinin Belirlenmesi” isimli yayının devamı olarak düşünülmüş ve hazırlanan çalışmadır.

Bu çalışmada Tübitak YAE tarafından 1968–1978 yılları arasında fiyatlandırılan Bayındırlık Bakanlığı betonarme karkasa sahip olan 20 dairelik konut projesinin birinci keşif özeti 1978–1991 yılları arasında da fiyatlandırılmıştır. 1968=100 kabul edilerek, bina yapım imalatlarının tek tek 1968–1991 yılları arasındaki indeksleri tespit edilmiştir. [15]

5) Esra Bostancıoğlu, 1992 yılındaki çalışması [15] kapsamında bilgisayar destekli betonarme konut inşaatı maliyet indeksi oluşturulması için bir yaklaşımda bulunmuştur. Bu çalışmasında 27 örnek proje alınmıştır. Bu 27 proje çeşitli kat sayılarına sahiptir. Fakat kat sayısının incelenen örneklerde iş kategorilerinin maliyetleri ağırlıklarında farklılık yaratmadığı görülmüştür. 4–19 katlı konut binalarından uygun ve mevcut olan projelere göre uygun dağılımda örneklem oluşturulmuştur. İndeks oluşturulmasında projelerin ikinci keşifleri kullanılmıştır. 60–70 adet iş kalemi yerine maliyetin % 84,49’ünü oluşturan iş kategorilerinin genel maliyet eğilimini vermesinden dolayı bu iş kategorileri ile indeks hesaplanmasına karar verilmiştir. Bu iş kategorileri aşağıda sınıflandırılmıştır.

1. kum çakıl serilmesi	15.140/2
2. demirsiz betonlar	16.001 – 16.015
3. demirli betonlar	16.022/1 – 16.059
4. kargir inşaat	17.001 – 17.143
5. duvar inşaatı	18.001 – 18.179/9

6. çatı örtüleri	18.211 – 18.264
7. dilatasyon fugaları	18.351 – 18.384
8. asmolen döşeme	18.321 – 18.330
9. beton büz	18.401 – 18.459/1
10. temel ve çatı yalıtımları	18.461/1 – 18.084/1
11. beton ve harç katkı işleri	19.087 – 19.103/4
12. kalıp ve iskeleler	21.001 – 21.068
13. ahşap inşaat	21.126 – 21.281
14. ahşap parke küpeşte ve lambriler	21.286 – 21.313
15. kapı doğramaları	21.001 – 22.043
16. pencere doğramaları	22.045 – 22. 079
17. betonarme demirleri	23.001 – 23.015
18. demir inşaatı	23.051 – 23.101
19. demir kapı, pencereler	23.111 – 23.255
20. tenekecilik işleri	24.001 – 24.064
21. boya, badana ve cila işleri	25.001 – 25.06/3C
22. döşeme ve duvar kaplamaları	25.081 – 26.661
23. derzler	27.101 – 27.105
24. sıva işleri	27.501 – 27.564
25. mozaik ve şap işleri	27.565 – 27.587
26. cam işleri	28.001 – 28.099

Bunlardan aşağıdaki 10 tanesi yukarıdakilerin 1992 yılı için % 84.49'unu oluşturmaktadır.

1. betonarme demirleri
2. kalıp ve iskeleler
3. demirli betonlar
4. sıva işleri
5. boya, badana ve cila işleri
6. duvar inşaatı
7. döşeme ve duvar kaplamaları
8. kapı doğramaları
9. mozaik ve şap işleri
10. demir kapı ve pencereler

Bu iş kategorileri belirlendikten sonra bunların indeks değerleri bu iş kategorilerinin her birinin kapsamına giren yapım işlemlerinin indeks değerleri incelenmiştir. Bu amaçla 1981–1992 Bayındırlık ve İşkân Bakanlığı Birim Fiyat Analizleri kullanılmıştır. Her iş kategorisinde onu kapsayan yapım işlemlerinin indekslerinin birbirlerine yakın değerler ve düzenli bir artış göstermesi sonucu, iş kategorisini temsil eden bir yapım işleminin indeks değerlerinin, iş kategorisi indeks değeri olarak kabul edilmesine karar verilmiştir. İş kategorisini temsil eden yapım işlemi seçilirken, örneklem grubunda en çok tekrar edenler seçilmiştir. Daha sonra iş kategorisi indeks değerleri ve iş kategorisi ağırlıkları kullanılarak betonarme konut inşaat maliyet indeksi oluşturulmuştur.

1981=100

1982=120,69...[15]

İndeks seçimi sırasında üç önemli husus bulunmaktadır:

- 1) Yapılacak binanın tipine ve inşaa edilecek bölgeye uygun bulunması
- 2) Seçilen indekslerden hangisi rölatif olarak en iyi sonucu vermektedir.
- 3) İndeksin nasıl oluşturulduğu ve potansiyel sınırlamaları bulunup bulunmaması. [58]

Yurtdışındaki örnekler incelendiğinde Amerika’da The Engineering News Record tarafından hazırlanan 21 farklı indeks inşaat endüstrisinde kullanılmak üzere bulunmaktadır. 4 kategoride sıralanabilir:

1. Genel amaçlı indeksler (ENR’S BCI, Means)
2. Yüklenici fiyat indeksleri (Turner, SH&G)
3. Değerlendirme indeksleri (Marshall&Swift, Boeck)
4. Özel-amaçlı indeksler (Nelson Refinery Costs, Chemical Engineering Plant Cost)

Amerika’da ve Kanada’da R.S.Means tarafından yılda dört kez 209 eyalet için yayınlanan ve baz yılı 1975 olan Historical Construction Cost Index ile The Engineering News Record tarafından haftalık yayınlanan Construction Cost Index kullanılmaktadır. ENR indeksleri inşaat malzemeleri maliyetlerinin değişimini gösterir. Fakat buradaki değerler malzemelerin inşaatla ne miktarlarda kullanıldığına, yönetimin etkinliğine, rekabet koşullarına, yüklenici karına dayanmamaktadır. Her iki indeks de tartılı bileşik maliyet indeksi yöntemi ile oluşturulmuştur. Historical Construction Cost Index’ in ENR den farkı, ağırlıkların, girdi miktarlarının yapım sırasındaki yıllık ortalama kullanımlarının hesaplanması ile bulunmaktadır. Yani örneğin 5 projedeki değerlerin ortalamasının alınması gibi. [31] Ayrıca Engineering News Record tarafından “Building Cost Index” de yayınlanmaktadır. Aralarındaki tek fark BCI’daki 68,38 usta işçi çalışma saati CCI de 200 saatlik genel işçi saatidir. [58]

İndekslerin kullanımı sırasında unutulmaması gereken noktalardan bir tanesi indekslerin istatistiksel ortalamalar olduğu, tipik maliyet eğilimini ifade ettikleridir.

Örneğin ENR'ın CCI, tipik ifadesini dört bileşenin geçmiş maliyet trendini içerdiği şeklinde ifade etmektedir. Bu nedenle herhangi bir indekste içeren bileşenleri özel bir bina projesi için kullanmak doğru olmayabilir. İkinci önemli nokta ise indekslerin teknolojik değişiklikler ya da bina inşaatı ve tasarım standartlarındaki değişiklikleri hesaba katmadığıdır.

Maliyet indekslerinden alınan değerler ile geliştirilen trendler ile geleceğe kestirim yapılır. Gelecekte maliyetin ne olabileceği yapılan trend analizi ile gerek yapı sahibi gerekse yüklenici bilgi sahibi olur. Trendlerin belirlenmesinden sonra, maliyet tahmini için çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan başlıcaları şunlardır:

1. Grafik Yöntemi
2. Yarı Ortalamalar Yöntemi
3. Hareketli Ortalamalar Yöntemi
4. En Küçük Kareler Yöntemi

1. Grafik Yöntemi: Bu yöntemde istatistik serisinin değerleri kartezyen ekseninde gösterildikten sonra bu değerler birleştirilerek ve nokta dağılımına uygun düşen grafikler çizilerek bu grafiklerden en uygun geleni tahmin grafiği olarak kullanılır. Bu grafik ile gelecek için aynı zamanda geçmiş için de tahmin yapılabilir. Bu yöntemin sakıncası tahmin grafiğinin sübjektif olmasıdır yani farklı iki kişi tarafından çizilen grafikler birbirinden farklı olabilir. [15]

2. Yarı Ortalamalar Yöntemi: Bu yöntemde ilk olarak istatistik verileri ile istatistik grafiği çizilir daha sonra istatistik serisi iki eşit parçaya bölünerek her iki grubun aritmetik ortalaması alınıp grafik üzerinde gösterilir. Bu ortalama değerlerin grafik üzerinde birleştirilmesi ile de tahmin doğrusu elde edilir. Tahminci bu grafiği geçmiş ya da gelecek dönemler için maliyet tahmininde kullanır. Bu yöntemin sakıncaları ise istatistik serisindeki veri adedi 7,9 vb. gibi tek sayıdan oluştuğunda ortadaki değer hesaba katılmayarak eksik tahmin yapılması ve gerçek değerlerin dağılımının her zaman doğru şeklinde olmamasıdır. [15]

3. Hareketli Ortalamalar Yöntemi: Bir istatistik serisinde her değer kendisinden önceki ve sonraki birkaç değer ortalaması alınması ile yeni seri oluşturulmuştur.

Bu serinin kartezyen eksenlerdeki değerlerinin grafik üzerinde birleştirilmesiyle maliyet tahmin grafiği elde edilir. Bu yöntemin sakıncası, serinin başındaki ve sonundaki bazı değerlerin kaybolmasıdır. Bu durum ağırlıklı ortalamaların hesaplanmasıyla giderilebilmektedir. [15]

4. En Küçük Kareler Yöntemi: Bu yöntemde, istatistik serisindeki değerler ile bu değerlerin arasından geçecek trendin, tahmin doğrusu ya da eğrisinin denklemine göre hesaplanacak teorik değerler arasındaki farkların karelerinin toplamının minimum olması istenir.

Aşağıdaki grafikteki Y1, Y2, Y3 değerleri arasından Y1', Y2', Y3' değerlerinden geçen trend doğrusu o şekilde hesaplanır ki aralarındaki farkların karelerinin toplamı en küçük değeri versin.

Parametreler şu denklemler ile hesaplanmaktadır: [15]

$$Y = na + b \sum X \quad (4.49)$$

$$XY = A \sum X + B \sum X^2 \quad (4.50)$$

Y: zamana bağlı değişken

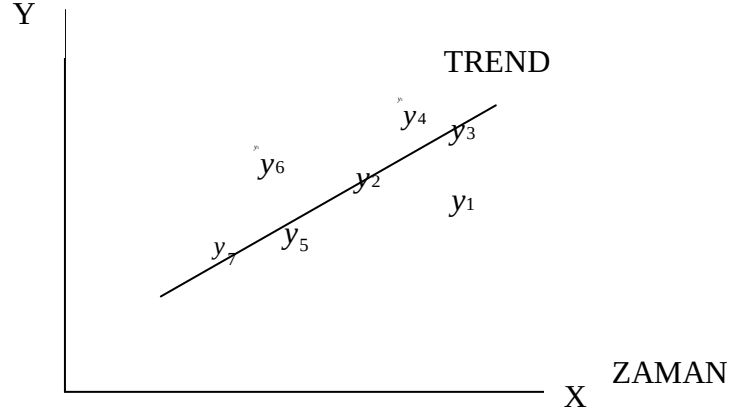
X: zaman

n: devre sayısı.

Trend hesabı basitleştirmek için trendin tam ortasındaki değer belli zaman aralıklarındaki farkın sabit olmasından dolayı orijin olarak kabul edilir ve x lere buna göre değer verilir.

$$\sum X = 0 \quad (4.51)$$

$$\sum Y = n.a \quad a = \frac{\sum Y}{n} \quad (4.52)$$



Şekil 4.34: Zaman-Maliyet Trend Eğrisi

$$\sum XY = b \sum X^2 \qquad b = \frac{\sum XY}{\sum X^2} \qquad (4.53)$$

Trend doğrusu eğrisel de olabilir: Parabolik, kübik, hiperbolik vb. bu sebeple öncelikle (x,y) grafiği çizilmesi gereklidir. Noktaların dağılımı hangi eğriye uyuyorsa, o eğrinin denklemi uygulanır. [15]

İndeksler düzgün ve doğru şekilde uygulandığında doğrulukları %20-%30 arasındadır. [97] Geçmişteki baz yılındaki bir maliyetin günümüzdeki güncellenmiş değerini bulmak için aşağıdaki formül kullanılır:

$$M_{yn} = \frac{I_{yn}}{I_{yb}} * M_{yb} \qquad (4.54)$$

M_{yn} : bugünkü maliyet

M_{yb} : baz yılındaki maliyet

I_{yn} : bugünkü indeks

I_{yb} : baz yılındaki indeks

Baz şehirden diğer şehre ayarlama yapmak için aşağıdaki formül kullanılır:

$$M_{s2} = \frac{I_{c2}}{I_{cb}} * M_{cb} \quad (4.55)$$

M_{s2} : baz şehirdeki maliyet

M_{sb} : 2 şehirdeki maliyet

I_{s2} : 2 şehirdeki indeks

I_{sb} : baz şehir indeksi

Her ikisini de birleştiren baz yılındaki baz şehirdeki maliyet değerini bugünkü ya da n yılındaki 2 şehirdeki değerini bulmak için aşağıdaki formül uygulanmalıdır:

$$M_{yn,s2} = \frac{I_{yn,c2}}{I_{yb,cb}} * M_{yb,cb} \quad (4.56)$$

$M_{yn,s2}$: 2 şehirdeki bugünkü (n yılındaki) maliyet

$M_{yb,cb}$: baz şehirdeki baz yıldaki maliyet

$I_{yn,c2}$: 2 şehirdeki bugünkü (n yılındaki) indeks

$I_{yb,cb}$: baz şehirdeki baz yıldaki indeks

Gelecekteki inşaat projelerinin maliyetini tahmin edebilmek için indeksler kullanılırken iki aşamada işlem gerçekleşir. İlk olarak projeksiyonel yıllık ortalama indeksin değişim oranı bulunur. Daha sonra inşaatın gelecekteki maliyeti hesaplanır. İlk aşama için son zamanlarda indekste meydana gelen değişiklik göz önüne alınabilir. Örneğin son 5 yılda indekste meydana gelen değişim ekonomik faktörler göz önüne alınarak gelecekte de devam edeceği şeklinde kabul edilip işlemler yapılabilir. Bunun için aşağıdaki formül kullanılabilir: [58]

$$r = \left(\sqrt[n]{\frac{\text{İndeks Yılı2}}{\text{İndeks Yılı1}}} - 1 \right) * 100 \quad (4.57)$$

Burada, r = yıllık ortalama değışim oran, n = 2. yıl – 1. yıl (ör: 2006–2001)

5. TÜRKİYE’DE İNŞAAT SEKTÖRÜNDE KULLANILAN ÖN MALİYET TAHMİNİ YÖNTEMLERİ

Türkiye’de inşaat sektöründe kullanılan ön maliyet tahmin yöntemlerini belirlemek üzere tez kapsamında bir anket düzenlenmiştir.

Bu anketin amacı 148 adet kaynak taranarak literatürde ve benzer çalışmalarda rastlanılan 3 ana başlık altında sınıflandırılan inşaat projelerinde kullanılabilecek 38 adet ön tahmin yönteminin kullanılabilirliğini ve meydana gelen sapmalarının sebeplerini konunun uzmanlarının vereceği yanıtlar doğrultusunda saptamak ve elde edilen verileri kullanarak, Türkiye koşullarına en uygun olan yöntem / yöntemleri belirlemektir.

İnternet üzerinden www.surveymonkey.com isimli web sitesi üzerinden kiralanan alan içerisinde hazırlanan 6 sayfadan oluşan e-anket, amacını belirten ön kapak ile birlikte çeşitli inşaat sektörü ile ilgili e-posta gruplarına ve Türkiye Müteahhitler Birliği üyesi firmaların iş geliştirme, teklif hazırlama ya da ihale grubu departmanlarına e-anket bağlantısını içeren e-posta ile gönderilmiştir.

Anket tasarımı maliyet tahmini konusunda yurtiçi ve yurtdışı kitap, tez, makale, web sayfası araştırmaları sonucuna dayalıdır. Anket 6 bölümden oluşmaktadır:

1. Bölüm: maliyet tahmincisi profil anketi
2. Bölüm: firma profil anketi
3. Bölüm: ön maliyet tahminin önemi ve yeri
4. Bölüm: ön maliyeti tahmini yöntemleri
5. Bölüm: maliyet verisi kaynakları
6. Bölüm: ön maliyet tahmini için gerekli bilgi, beceri ve verilerdeki eksiklikler.

Gönderilen e-postalardan 85 kişiden geri dönüş olmuştur.

Veri Analizleri ve Sonuçları

Maliyet tahmincisi profil anketinde anketi cevaplayanların adı-soyadı, firma adı, mesleği, eğitim durumu, firmadaki görevi ve görev süresi, firmada çalışılan proje sayısı, çalışılan projelerde hedeflenen maliyeti tutturma oranı ve yıl bazında genel iş tecrübesi soruları sorulmuştur.

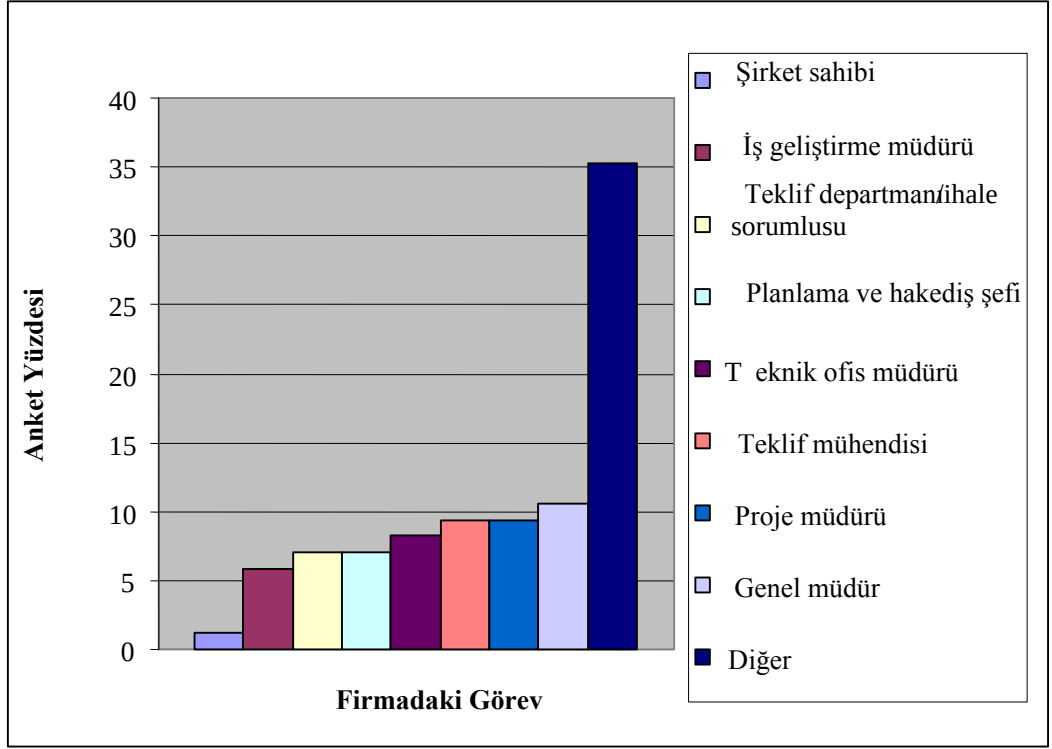
Anketi cevaplayanların % 70,6'sı inşaat mühendisi, % 11,8'i mimar ve geri kalan %17,6'sı makina mühendisi, işletmeci, muhasebeci ve iktisatçı gibi kişilerden oluşmaktadır.

86 kişiden bu soruyu cevaplayan 85 kişinin verdiği cevaplar doğrultusunda eğitim durumu lisans düzeyinde olanların oranı %58,8, yüksek lisans düzeyinde olanların %29,4 oranında, doktora seviyesindekiler ise % 3,5 oranındadır. Geri kalan %8,2'si lise, önlisans seviyesindedir.

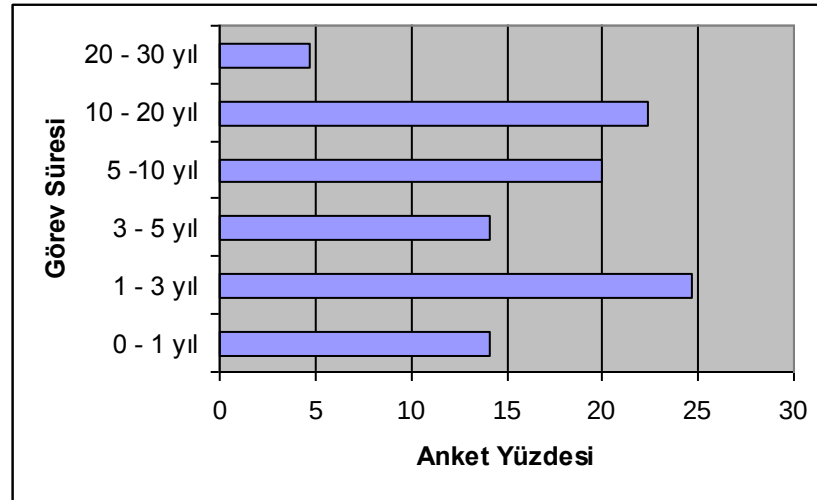
Firmadaki görevleri ile ilgili soruya verilen cevaplarda şekil 5.1'deki oranlarda cevap verenler belirlenmiştir. En yüksek oran % 10,59 oranı ile genel müdürler, %9,41 oranı ile proje müdürü ve aynı oranda teklif mühendisleri, %8,24 oranı ile teknik ofis müdürü, %7,06 oranı ile teklif departmanı müdürü, yine aynı oranla planlama ve hakediş müdürü, % 5,88 oranı ile iş geliştirme müdürü cevaplamışlardır. Diğer ile belirtilen grupta ise inşaat mühendisi, şantiye şefi, bölge müdürü, proje mühendisi, öğretim görevlisi, maliyet muhasebesi şefi vb. gibi görevler bulunmaktadır.

Anketi cevaplayanların firmadaki görev süreleri incelendiğinde, ağırlıklı olarak 1–3 yıl, 5–10 yıl ve 10–20 yıl çalışanlar gözükmemektedir. 1–3 yıl çalışanlar % 24,7'sini, 5–10 yıl çalışanlar %18,8'sini ve 10–20 yıl çalışanlar %22,4'sini oluşturmaktadır.

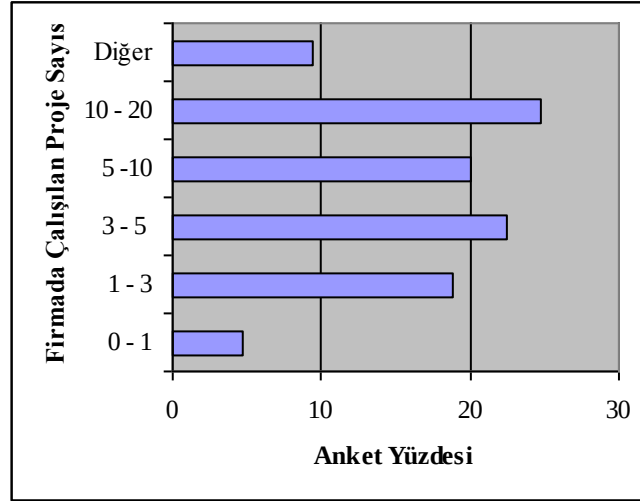
Anketi cevaplayanların firmada çalıştıkları proje sayısı şekil 5.3'teki grafikteki gibidir. Ağırlıklı olarak 3–20 arasında değişmektedir. %24,7'si 10–20 arasında, % 22,4 oranında 3–5 arasında ve % 20 oranında 5–10 arasındadır. Diğer cevaplar ise 30, 40–50, 100–200, 1247 gibi değerlerdir.



Şekil 5.1: Anketi Cevaplayanların Firmadaki Görevleri

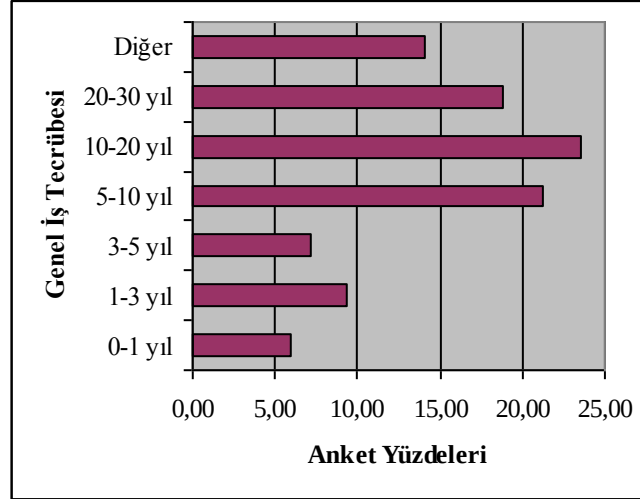


Şekil 5.2: Anketi Cevaplayanların Firmadaki Görev Süreleri



Şekil 5.3: Anketi Cevaplayanların Firmada Çalıştıkları Proje Sayısı

Anketi dolduranların genel iş tecrübesi ise şekil 5.4'deki grafikteki gibidir. % 23,5 ile en çok 10–20 yıl arasında genel iş tecrübesine sahip kişiler tarafından anket doldurulmuştur. Bu yüzdeye yakın değerde 20-30 yıl (%18,80) ve 5-10 yıl (%21,20) dır.



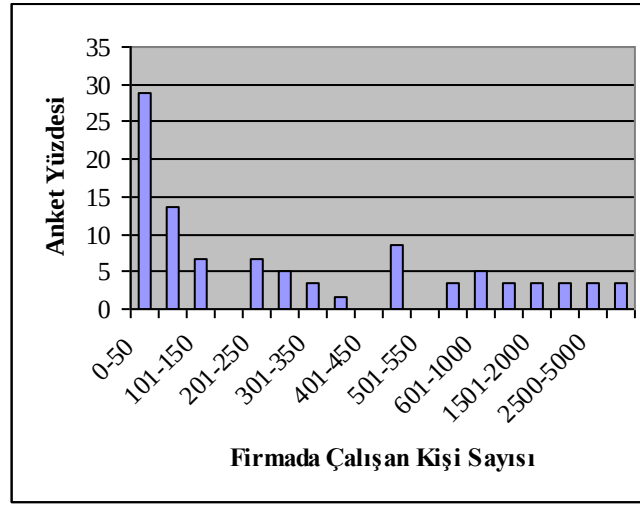
Şekil 5.4: Anketi Cevaplayanların Genel İş Tecrübesi

Çalışılan projelerde hedeflenen maliyeti tutturma oranı sorulduğunda kişilerin %34'ü firmalarının hedeflenen maliyetin projelerin % 81-90'ı arasında tutturulduğunu, %26'sı projelerin %71-80'i arasında tutturulduğunu, % 25'i projelerin %90-100'ü arasında hedeflenen maliyeti tutturduğunu belirtmiştir.

2. bölümde firma ile ilgili bilgiler sorulmaktadır. Ankette değerlendirilen firmaların büyüklüklerine göre kullandıkları, uyguladıkları ön tahmin yöntemleri farklılık göstermektedir. Watt bir firmanın büyüklüğünü firmada çalışan kişi sayısı, firmanın yıllık cirosu ve yıllık karının belirttiğine işaret etmektedir. (Cost Estimating Practices I UK)

Bu bakımdan bir karşılaştırma yapıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

İlk olarak ankete katılan firmalar, çalışan kişi sayıları bakımından şekil 5.5'teki grafikteki gibidir.



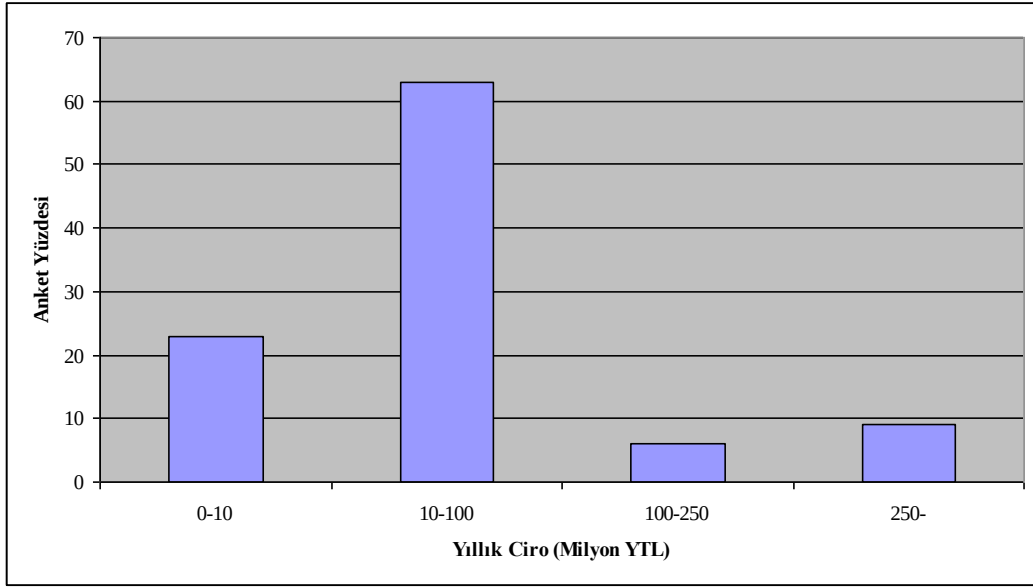
Şekil 5.5: Ankete Katılan Firmalarda Çalışan Kişi Sayısı

Anket ağırlıklı olarak 0–50 arasında işçi çalıştıran firmalar (%29) tarafından cevaplanmıştır. Ayrıca 51–100 ve 451–500 arasında işçi çalıştıran firmalar da anketi cevaplayan tüm firmaların %14 ve %8'dir.

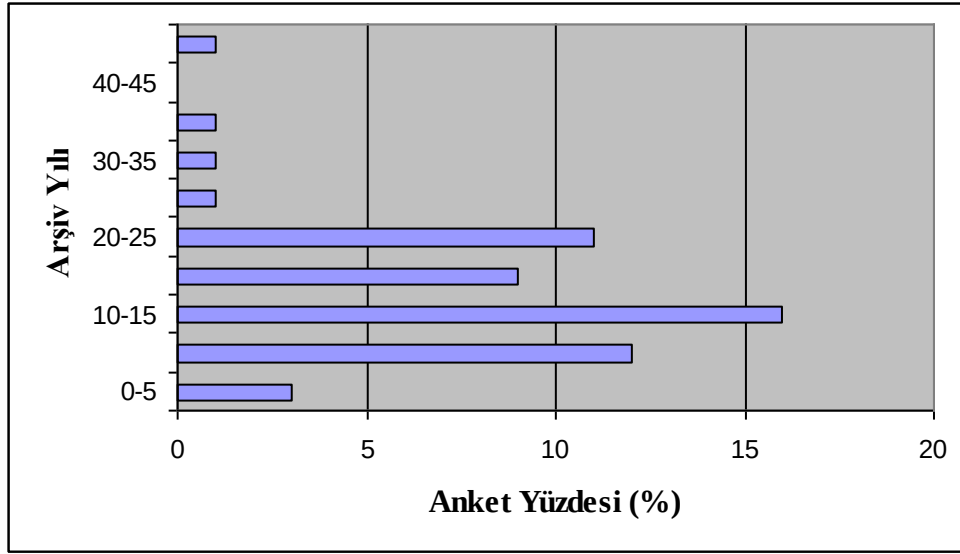
Firmaların yıllık ciroları sorulmuş ve alınan 44 yanıtla aşağıdaki grafik oluşturulmuştur. (şekil 5.6)

Ayrıca bir de firmaların yıllık karı sorulmuştur. 86 firmanın 25'i cevap vermiştir. Bu nedenle cevapların yetersizliğinden bu konu ile ilgili analiz gerçekleştirilememiştir.

Çalıştığınız firmanın arşivleri kaç yıllıktır sorusu sorulmuş aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Katılan firmaların arşivleri çoğunlukla 10–15 yıllıktır. (şekil 5.7)



Şekil 5.6: Ankete Katılan Firmaların Yıllık Ciro

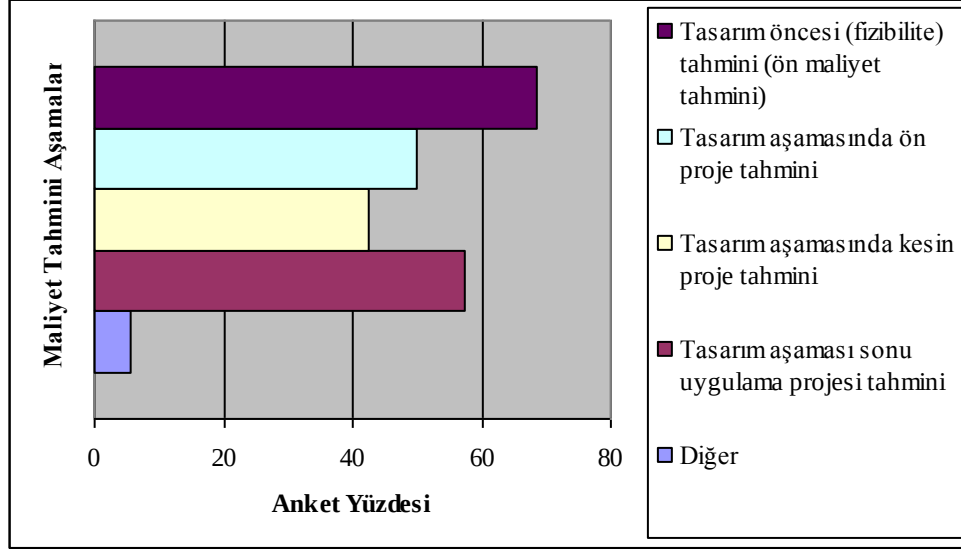


Şekil 5.7: Ankete Katılan Firmaların Arşiv Miktarı

Ankete katılan firmalara hangi aşamalarda maliyet tahminini gerçekleştirdikleri sorulmuş şekil 5.8'daki sonuçlar elde edilmiştir. Bu soruyu 86 firmadan 54'ü cevaplamıştır.

Diğer kısımlındakiler, ihale hazırlık aşaması, iş başında ve iş niteliğine göre değişmekte cevaplarını kapsamaktadır.

Firmaların faaliyet alanları sorulmuş 86 firmadan 64'ünden yanıt alınmış, 22'sinden cevap alınamamıştır. Alınan cevaplar doğrultusunda şekil 5.9'daki sonuçlar elde edilmiştir.



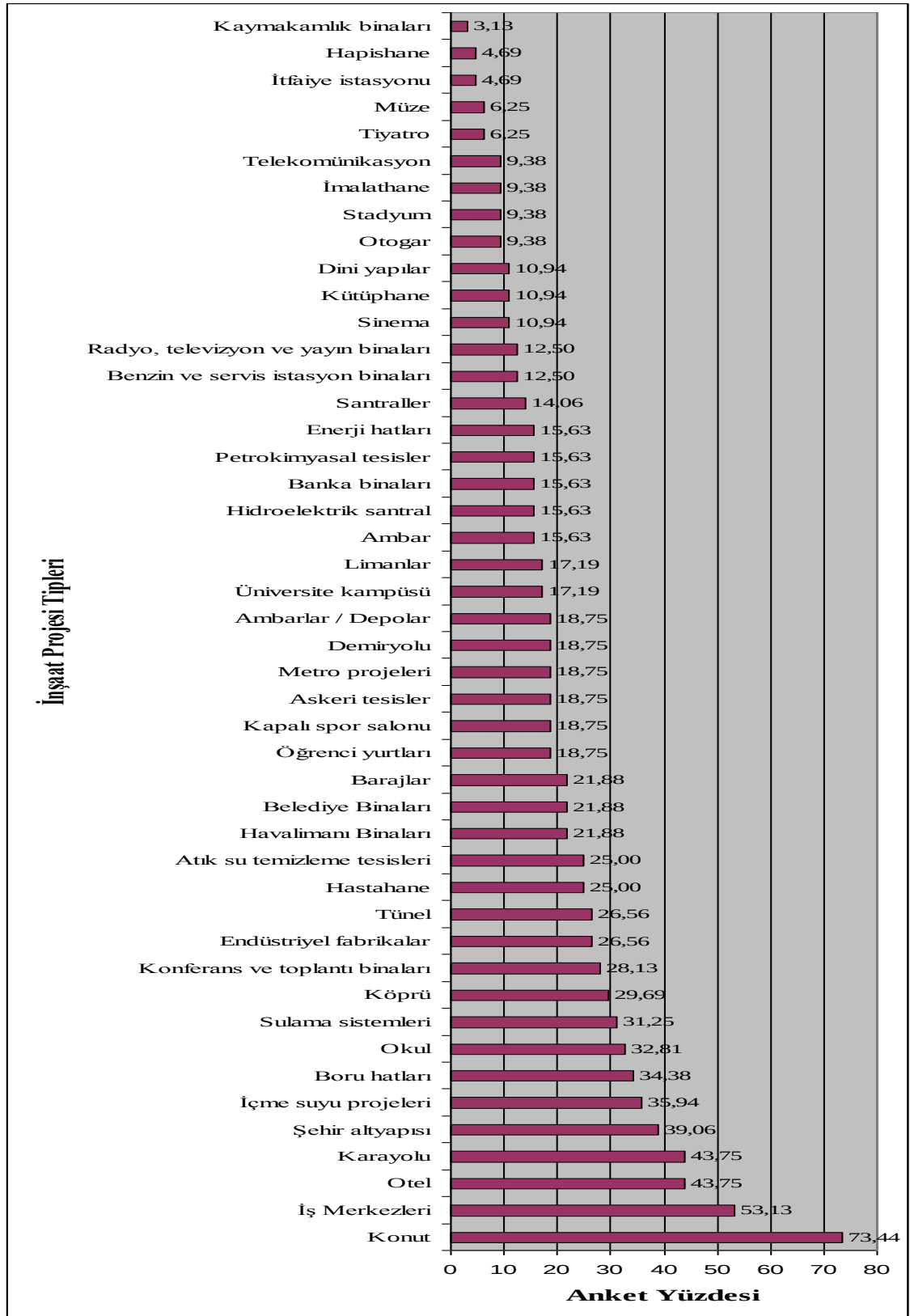
Şekil 5.8: Ankete Katılan Firmalardaki Maliyet Tahmini Aşamaları

Daha sonra firmalara ön maliyet tahminini hangi amaçla gerçekleştirdikleri sorulmuş ankete katılan firmalar tarafından 5li Likert skalasına göre eklerdeki Tablo E.1'deki amaçlar skorlanmıştır.

Ön maliyet tahmininin hangi büyüklükteki projelerde daha çok hazırlandığını belirlemek için ankete katılan firmalara hangi tipteki projeler için projelerin yüzde kaçında ön maliyet tahmini hazırladıkları sorulmuştur. Bu soruya 86 kişiden 53 kişi cevap vermiştir. Büyük çaplı projeler için şekil E.1'deki grafik elde edilmiştir.

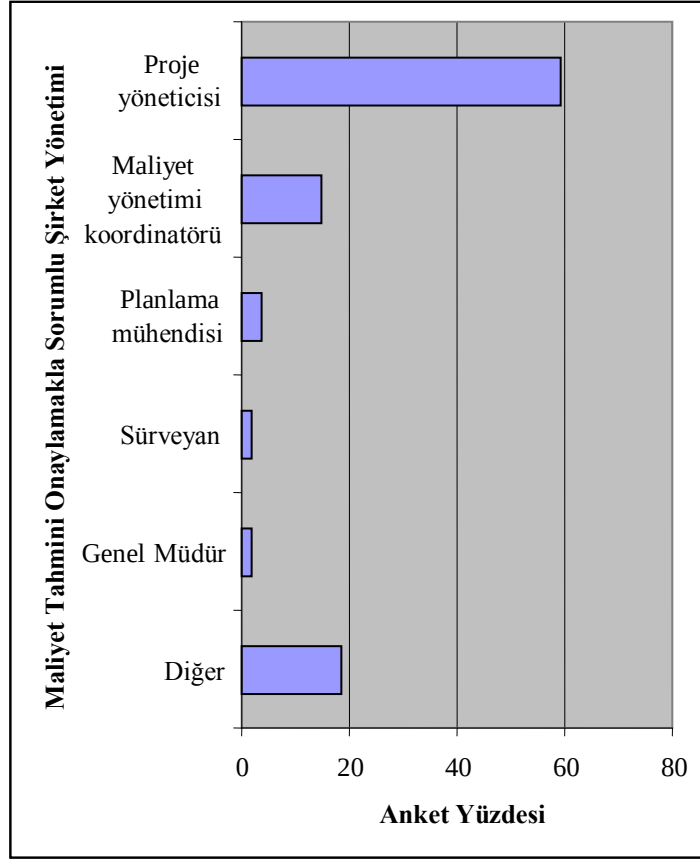
Küçük çaplı projelerde ise verilen cevaplar doğrultusunda eklerdeki şekil E.2'deki grafik elde edilmiştir.

Ankete katılan firmalara ön maliyet tahminini onaylamakla sorumlu şirket yönetimi sorulmuş 54 firmadan cevap alınmış, %59,3'ü proje yöneticisine bu sorumluluğu yüklemiştir. Diğer kişilerin de yüzde değerleri şekil 5.10'daki grafikte görülmektedir.



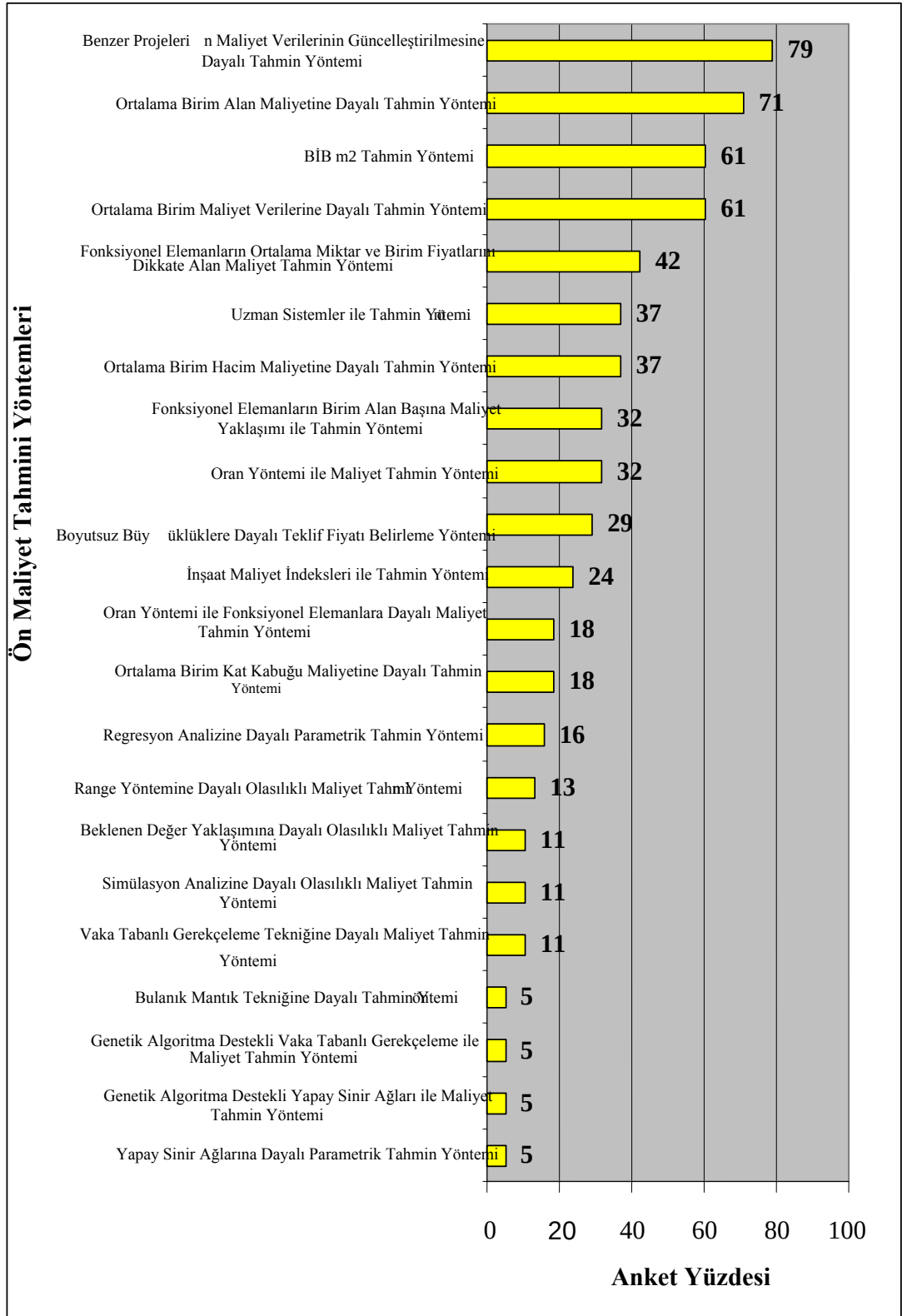
Şekil 5.9: Ankete Katılan Firmaların Gerçekleştirdikleri İnşaat Projeleri Tipleri

Anketin esas amacı olan soru Türkiye’deki inşaat firmalarında çalışan mühendis ve mimarlar ve diğer maliyetle ilgili kimseler tarafından bilinen ön tahmin yöntemleri ile ilgili elde edilen bilgilerin analizi sonucunda aşağıdaki grafik oluşturulmuştur. (Şekil 5.11)



Şekil 5.10: Ön Maliyet Tahminini Uygulamakla Sorumlu Şirket Yönetimi

Bilinen yöntemlerden hangilerini kullandıkları sorulan firmalarda Tablo 5.2’de gözüktüğü gibi 4 yöntem sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi, ortalama birim alan maliyetine dayalı maliyet tahmin yöntemidir. Veritabanındaki geçmiş projelerden yeni gerçekleştirilecek projeye benzer olanlar ayıklanarak gerekli güncellemelerin ardından m² birim maliyetleri alınarak yeni projenin m² birim maliyetinin bulunduğu yöntemdir.



Şekil 5.11: Ankete Katılan Firmalar Tarafından Bilinen Ön Maliyet Tahmin Yöntemleri

Tablo 5.1: Ankete Katılan Firmaların Kullandıkları Maliyet Tahmini Yöntemleri

Kullanılan Ön Tahmin Yöntemleri (1: hiçbir zaman, 2: nadiren, 3: bazen, 4: sıklıkla, 5: her zaman)						
Yöntemler	1(%)	2(%)	3(%)	4(%)	5(%)	Cevaplanma Oranı
Ortalama Birim Maliyetlerine Dayalı Tahmin Yöntemi	11	13	16	45	16	3,42
Ortalama Birim Alan Maliyetine Dayalı Tahmin Yöntemi	13	13	18	47	8	3,24
BİB m2 Tahmin Yöntemi	22	14	11	43	11	3,08
Ortalama Birim Hacim Maliyetine Dayalı Tahmin Yöntemi	35	27	14	19	5	2,32
Ortalama Birim Kat Kabuğu Maliyetine Dayalı Tahmin Yöntemi	51	22	16	8	3	1,89
Benzer Projelerin Maliyet Verilerinin Güncelleştirilmesine Dayalı Tahmin Yöntemi	19	5	22	38	16	3,27
Regresyon Analizine Dayalı Parametrik Tahmin Yöntemi	62	19	8	5	5	1,73
Yapay Sinir Ağlarına Dayalı Parametrik Tahmin Yöntemi	78	8	8	3	3	1,43
Vaka Tabanlı Gerekçeleme Tekniği İle Tahmin Yöntemi	62	19	11	5	3	1,68
Genetik Algoritma Destekli Yapay Sinir Ağları ile Maliyet Tahmin Yöntemi	76	16	0	5	3	1,43
Genetik Algoritma Destekli Vaka Tabanlı Gerekçeleme ile Maliyet Tahmin Yöntemi	76	16	3	3	3	1,41
Bulanık Mantık Tekniği ile Maliyet Tahmini Yöntemi	78	14	0	5	3	1,41
Simülasyon Analizine Dayalı Olasılıklı Maliyet Tahmin Yöntemi	62	22	3	5	8	1,76
Range Yöntemine Dayalı Olasılıklı Maliyet Tahmin Yöntemi	65	22	5	5	3	1,59
Beklenen Değer ile Olasılıklı Maliyet Tahmin Yöntemi	54	19	14	11	3	1,89
Boyutsuz Büyüklüklere Dayalı Teklif Fiyatı Belirleme Yöntemi	57	19	8	14	3	1,86
Oran Yöntemi ile Toplam Maliyet Tahmini Yöntemi	35	19	30	14	3	2,30
Oran Yöntemi ile Fonksiyonel Elemanlara Dayalı Maliyet Tahmin Yöntemi	46	19	24	8	3	2,03
İnşaat Maliyet İndeksleri ile Maliyet Tahmini Yöntemi	41	24	16	16	3	2,16
Fonksiyonel Elemanların Ortalama Miktar ve Birim Fiyatlarını Dikkate Alan Maliyet Tahmini Yöntemi	30	8	30	24	8	2,73
Fonksiyonel Elemanların Birim Alanı Başına Maliyet Yaklaşımı ile Tahmin Yöntemi	41	11	22	24	3	2,38
Uzman Sistemler ile Tahmin Yöntemi	41	16	5	27	11	2,51

İkincisi ortalama birim maliyetlere dayalı maliyet tahmin yöntemidir. Bu yöntemde otel binaları için yatak başına maliyet, tiyatro binasında koltuk başına maliyet geçmiş benzer binaların birim maliyetlerinin istatistiksel analizi sonrası ortalamaları alınarak yeni binanın maliyeti bulunur. Üçüncü yöntem, BİB m² tahmin yöntemidir. Dördüncüsü benzer projelerin maliyet verilerinin güncelleştirilmesine dayalı tahmin yöntemidir. Benzer bir proje alınmakta çeşitli güncellemeler ve ayarlamalar ile yeni projenin tahmini maliyeti hesaplanır.

5. sayfada maliyet tahmini sırasında kullanılan kaynaklar sorulmuştur. Tablo 5.12’de gözüken cevaplar alınmıştır. Görülmektedir ki her ne kadar gerçekçi kabul edilmese de alternatif kaynakların kıtlığı sebebiyle ankete katılan firmaların % 86’sı BİB Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetlerini kullanılmaktadır. Aynı zamanda aynı oranda BİB Birim Fiyat Analizleri de kullanılmaktadır.

Ayrıca bu grafikte göze çarpan bir diğer husus da firmaların % 78’inin kendi veritabanını kullanmasıdır. Piyasadan rayiçlerin toplanması oranı da düşük değildir. Bu oran % 69,4’tür.

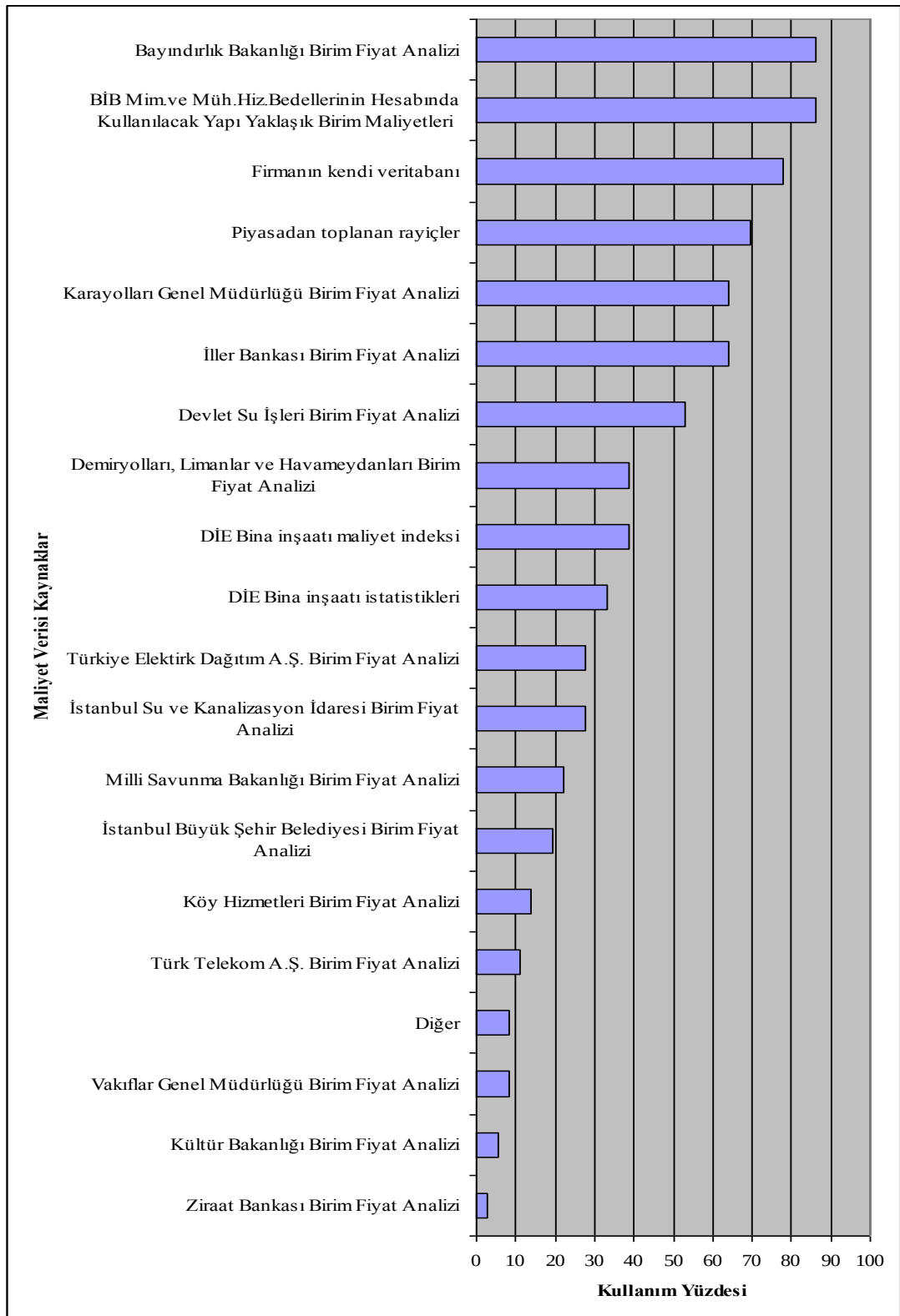
Diğer kaynaklar kısmında ise RS Means Cost Data, taşeron teklifleri verilmiştir.

Son sayfada anketle ilgili son soru olarak ön maliyet tahmini için gerekli bilgi, beceri ve verilerdeki eksiklikler sorulmuştur. Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. (şekil 5.13)

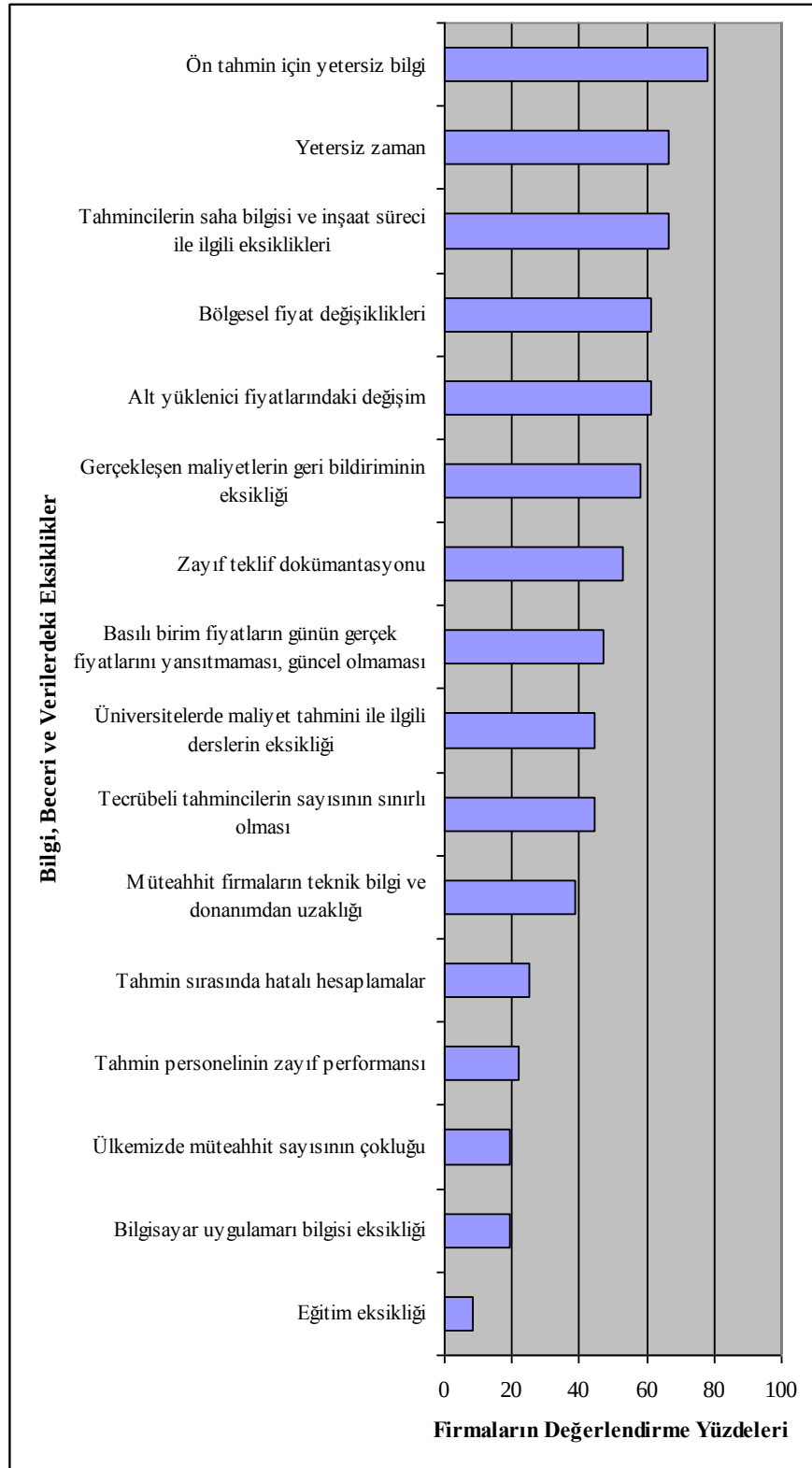
Ön tahmin için gerekli bilgi, beceri ve verilerdeki eksikliklerde en göze çarpan eksiklik firmaların % 78’i tarafından işaretlenen ön tahmin için yetersiz bilgidir. Daha sonra % 67 oranla yetersiz zaman ve tahmincilerin saha bilgisi ve inşaat süreci ile ilgili eksiklikleri gelmektedir.

Bölgesel fiyat değişiklikleri ve alt yüklenici fiyatlarındaki değişim % 61 oranında firmalar tarafından ankette seçilmiştir.

Gerçekleşen maliyetlerin geri bildiriminin eksikliği % 58 oranında ve zayıf teklif dokümantasyonu % 53 oranında seçilen eksikler arasında seçilmiştir.



Şekil 5.12: Ön Maliyet Tahmininde Kullanılan Maliyet Verisi Kaynakları



Şekil 5.13: Tahmin İçin Gerekli Bilgi, Beceri ve Verilerdeki Eksiklikler

Ayrıca % 47 oranında basılı birim fiyatların günün gerçek fiyatlarını yansıtmaması, güncel olmaması, % 44 oranında üniversitelerde maliyet tahmini ile ilgili derslerin eksikliği ve tecrübeli tahmincilerin sayısının sınırlı olması seçilmiştir. Maliyet tahmini ile ilgili derslerin eksikliği direkt olarak % 44lük bir oranda işaretlenirken eğitim eksikliği genel anlamda anlaşılacak olacak ki sadece %8 oranında işaretlenmiştir.

Müteahhit firmaların teknik bilgi ve donanımdan uzaklığı % 39 oranında seçilmiş, tahmin sırasında meydana gelebilecek hatalar da firmaların % 25'i tarafından seçilmiştir.

Tahmin personelinin zayıf performansı, tahmin sırasında meydana gelebilecek hatalardan sonra % 22lik oranda seçilmiştir. Ayrıca ülkemizde müteahhit sayısının çokluğu ve bilgisayar uygulamalarının eksikliği de % 19 oranında düşük seviyede seçilmiştir.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Türkiye’de inşaat sektöründeki projelerin ön maliyet tahmini için kullanılabilecek yöntemler literatür vb. 148 adet kaynak araştırması sonucu incelenmiş, araştırma kapsamında anket ve örneklerle tahmin yöntemlerinin Türkiye’de değerlendirmesi yapılmıştır.

38 adet ön maliyet tahmin ve hesaplama yöntemi Türkiye koşullarında kullanılmaları açısından incelenmişlerdir. Bu yöntemlerden en pratik olanları istatistik olasılık analizlerine dayalı yöntemlerden biri olan ortalama birim maliyetlerine dayalı maliyet tahmin yöntemleridir. En karmaşık olan yöntemler de gelişmekte olan yapay zekâ tekniklerine dayalı maliyet tahmin yöntemleridir.

Diğer yöntemlere gelince, diğer yöntemlerden regresyon analizine dayalı maliyet tahmin yönteminde incelenen projelerdeki maliyet verilerinden gerçekleşecek projeye benzer özellikleri fazla olanlarının mevcudiyeti çoğunlukla veri miktarının fazla oluşuyla mümkündür. Aynı koşullar simülasyon analizinde de geçerlidir. Varyasyon indirgeme, beklenen değer yöntemi ve range yöntemi gibi olasılık modelleri de veri sayısının miktarı ile doğru orantılı olarak daha gerçekçi daha gerçeğe yakın sonuçlar verecektir.

Türkiye’de ön maliyet tahmini amacıyla tezde bahsedilen yöntemlerden hangilerinin kullanıldığı, yapı maliyeti-kar marjı ve kalite dengesine yaklaşımlarına yönelik izledikleri politikaları tespit etmek amacıyla internet ortamında cevaplanan bir e-anket vasıtasıyla firmalara ve e-posta gruplarına internet sayfası bağlantısı gönderilerek gerçekleştirilmiştir.

Bu sonuçlardan anketin asıl amaçlarından biri olan en çok hangi yöntemlerin ön maliyet tahmin yöntemi olarak bilindiği sorusuna % 79 oranı ile benzer projeler ile karşılaştırma tekniğine dayalı tahmin yöntemi en fazla bilenen yöntem olarak seçilmiştir.

Benzer projeler ile karşılaştırma yöntemi % 71 oranla istatistik-olasılık analizine dayalı tahmin yöntemlerinden m2 alan başına maliyete dayalı tahmin yöntemi izlemiştir. Yapay zekâ teknikleri ise pek fazla bilinmemelerinden dolayı pek seçilmemiştir. (%5 oranında)

En çok kullanılan yöntemler sıralamasında ise ilk dört yöntem şunlardır:

1. ortalama birim alan maliyetine dayalı ön tahmin yöntemi,
2. ortalama fonksiyonel birim maliyetine dayalı ön tahmin yöntemi,
3. BİB m2 tahmin yöntemi (eklerdeki tablo A.1'deki değerlerle)
4. benzer projelerin maliyet verilerinin güncelleştirilmesine dayalı ön tahmin yöntemidir.

Gerçekleştirilmiş projeler ile ilgili bilgiler maliyet tahminleri sırasında en gerekli verilerdir. Bu yüzden inşaat sektöründeki tüm firmaların sistematik bir şekilde bilgisayarlar aracılığıyla inşaa ettikleri yapılara ait bilgileri kayıt etmelidirler. Gelişen bilgisayar teknolojisinin imkânlarından yararlanarak hem analizlerinde hem de tahmin hesaplamalarında daha hızlı, daha doğru sonuçlar elde etme yollarını aramalıdır.

Tahminci, tahmin yöntemi metodolojisi, bitmiş projelerden oluşan veritabanı ve güncelleme veritabanı dört unsuru ile ön tahmin süreci bütünleşik bir sistem olarak oluşturulmalı ve yürütülmelidir. Maliyet tahmini yapan mühendislerin dijital mühendis olmaları gereklidir. Yani inşaat, mekanik, elektrik, hukuk (kontrat ve ihale dökümanını yorumlayabilmek için) ve finans bilmeleri gerekmektedir. Uluslararası ihalelerde küresel firmaların maliyet tahmincileri bu özelliklere sahiptir.

İnşaat sektörü ulusal ve uluslararası ekonomik ve sosyal pek çok etkenden çabuk etkilenen sektörlerden biridir. Bu nedenle geleceğe kestirim yapılırken çok yönlü düşünülerek maliyet tahmin süreci gerçekleştirilmelidir. Özellikle istenen kaliteyi, belirlenen sürede, ön tahmin ile belirlenen bütçe dâhilinde gerçekleştirilmesi bakımından maliyet tahminin önemi daha ön plana çıkmaktadır.

Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı gerek ulusal gerekse uluslararası projeler olsun firmaların hem organizasyonel hem de teknolojik bakımdan maliyet tahmin sürecinde gereken ilgi ve önemi firma bazında göstermeleri kendi lehlerine sonuçlanarak maliyet tahmini otomasyonunun geliştirmelerine sebep olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Adell H., Wu, M.**, 1998. Regularization Neural Network for Construction Cost Estimation, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 124, 18-24.
- [2] **Akarca, H.**, 1992. Elemanlara dayalı maliyet analizi uygulamasında karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Akintoye, A., Fitzgerald E.**, 2000. A Survey of Current Cost Estimating Practises in the UK., *Construction Managements and Economics*, 18, 161-172.
- [4] **Arpacı, S.S.**, 1995. Konut Projelerinde Simülasyon Yaklaşımı ile Maliyet Tahmini, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **Ashworth, A.**, 1988. Cost Studies of Buildings, Longman Group, UK.
- [6] **Attoh, N.O.**, 2002. Probabilistic Analysis of Factors Affecting Highway Construction Costs: A Belief Network Approach, *Canadian Journal of Civil Engineering*.369-374.
- [7] **Ayaydın, E.**, 2000. Bir Yatırım Projesi İçin Uygulanan ve Önerilen Proje Yönetim Sistemi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Back W.E., Bolesi, W.W., Fry, G.T.**, 2000. Defining Triangular Probability Distributions From Historical Cost Data, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 126, 29-37.
- [9] **Baran, F.**, 1993. Konut Projelerinde, Öntasarım Aşamasında, Maliyet Tahmini İçin Bir Model, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **Bathurst, P.E., Butler, D.A.**, 1980. Building Cost Control Techniques and Economics, Heinemann, London
- [11] **Bent, J.A.**, 1989. Project Management For Engineering and Construction, The Fairmont Press, Inc., USA.
- [12] **Bent, J.A.**, 2001. Evaluating and Calculating Contingency, *AACE International Transactions*, RI21-RI24.

- [13] **Bledsoe, J.D.**, 1982. Successful Estimating Methods, RS Means Company, Inc., USA.
- [14] **BMBS**, 1992. Türk İnşaat Sektöründe Bina Yapımında Kullanılan Maliyet Verileri, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [15] **Bostancıoğlu, E.**, 1992. İnşaat maliyet indeksleri ve bilgisayar destekli betonarme konut inşaatı maliyeti indeksi oluşturması için bir yaklaşım önerisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Bostancıoğlu, E.**, 1999. Konut Binalarının Ön Tasarımının Evresinde Maliyeti Etkileyen Faktörler ve Faktörlere Dayalı Bir Maliyet Tahmin Yöntemi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Brown, J.A., Hajdaj, E.**, 2001. Government Computerized Cost Index, *AACE International Transactions*, ES51
- [18] **Campell, A.L.**, 2003. Magical Models, *Library Journal*, 128,3;38-40.
- [19] **Cook, P.J.**, 1982. Estimating for Contractor's: How to Make Estimates that Win Jobs, R.S. Means Company, Inc., USA
- [20] **Cox, B.J., Horsley, F.W.**, 1996. Square Foot Estimating Methods, RS Means Company, Inc., USA
- [21] **Curran, M.W.**, 1990. Range Estimating Reduces Iatrogenic Risk, *Transactions of AACE*, K.3.1-K.3.3.
- [22] **Çıracı, M.**, 1996. Konutlarda Maliyet Tahmini İçin Bir Model, Başbakanlık Toplu Konut İdaresi Başkanlığı, Ankara
- [23] **Çiçekyüzlü, N.**, 1994. Mevcut Verilere Dayalı Olarak Daire Maliyetlerinin Elde Edilmesi Yöntemi, Verilerin Karşılaştırılması ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] **Darragh J., Synder, J.S.**, 1993. Museum Design Planning and Building for Art, American Federation of Arts and the National Endowment for the Arts, Newyork, USA.
- [25] **Dell'Isola, A.J., Kirk S.J.**, 1981. Life-Cycle Costing For Design Professionals, McGraw-Hill, New York.
- [26] **Demiroğlu, İ.Ö.**, 2002, Cost Estimation and Computerization of Quantity Measurement in Civil Engineering Projects, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [27] **Doğan, S.Z., Arditi D., Günaydın, H.M.**, 2005. Bina Maliyeti Tahmininde GA Destekli YSA ile VTG Modellerinin Karşılaştırılması, 3. Yapı İşletmesi Kongresi, İzmir, 29/30 Eylül, 286-295.
- [28] **Duddy, G.H.S.**, 1996. Thirty five years of Hydroelectric Estimating, *AACE International Transactions*, ES171-ES179.

- [29] **Dysert L.R.**, 2003. Sharpen Cost Estimating Skills, *Cost Engineering*, 45, 6, 22-30.
- [30] **Dysert L., Scope**, 1997. Scope Development Problems in Estimating, *AACE International Transactions*, 128-131.
- [31] **Elçi, N.**, 1999. Konut Binalarında İmalat Girdileri, İmalat ve İmalat Grupları Bazında Maliyet ve Miktar Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] **Ellsworth, R.K.**, 1998. Cost-to-Capacity Analysis for Estimating Waste-to-Energy Facility Costs, *Cost Engineering*, AACE International, Morgantown, 40, 6,
- [33] **Emsley, M.W., Lowe, D.J., Duff, A.R., Harding A., Hickson, A.**, 2002. Data Modeling and The Application of A Neural Network Approach to The Prediction of Total Construction Costs, *Construction Managements and Economics*, 20, 465-472.
- [34] **Erdem, A. E.**, 1996. Konut Projelerinde, Ön Tasarım Aşamasında, Fonksiyonel Elemanlara Dayalı Maliyet Tahmini İçin Bir Model Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [35] **Eski, O.**, 1993. Avan (Ön) Proje Evresinde Bina Maliyetinin İnşaat İmalatlarına Dayalı Olarak Hesaplanmasına Yönelik Bir Model, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [36] **Ferry, D.J., Brandon, P.S.**, 1984. Cost Planning of Buildings, Billing and Sons Limited, Worcester, England.
- [37] **Fisk, E.R., Negele, J.R.**, 1988. Contractor's Project Guide To Public Agency Contracts, Wiley, New York.
- [38] **Flanagan, R., Tate, B.**, 1997. Cost Control in Building Design, Blackwell Science, UK.
- [39] **Genç, Ş.**, 1975. Bilgisayar Aracılığıyla Maliyetin Bina Parçalarına Göre Belirlenmesi, Tübitak, Ankara.
- [40] **Gould, F.E., Joyce, N.E.**, 2000. Construction Project Management, Printice Hall, Ohio
- [41] **Günaydın, H.M., Doğan, S.Z.**, A Neural Network Approach for Early Cost Estimation of Structural Systems of Buildings, *International Journal of Project Management*. 22, 7.
- [42] **Hadjisimeon, A., Popescu C.**, 2002. Construction Cost Estimating Software Survey 2001, *Cost Engineering*, 44,2, 36-37.
- [43] **Halpin, D.W.**, 1985. Financial and Cost Concepts for Construction Management, John Wiley & Sons, New York.

- [44] **Harbuck, H.R.**, 2002. Using Models in Parametric Estimating for Transportation Projects, *AACE International Transactions*, ES51-ES59.
- [45] **Haznedaroğlu, F.**, 1997. Yüklenici Firmalarda Maliyet Yönetim Sistemleri ve Büyük Ölçekli Bir Yüklenici Firmada Uygulama Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [46] **Hegazy, T., Ayed, A.**, 1998. Neural Network Model for Parametric Cost Estimation of Highway Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124, 3, 210-218.
- [47] **Heizelman, J.R.**, 1988. Estimating Factors for Process Plants, *AACE International Transactions*, V.3.1-V.3.7
- [48] **Helyar, F.W.**, 1978. Construction Estimating and Costing, McGraw-Hill, New York
- [49] **Hinojosa, L.C., Vazquez, M.R.**, 1993. Parametric Cost Estimating of Building Construction - US, Canada and Mexico, *Transactions of AACE International*, K.2.1-K.2.5.
- [50] **Hollmann, J.K., Dysert, L.**, 1989. Development of Conceptual Estimating Support Systems at Kodak, *AACE International Transactions*, B.3.1-B.3.8.
- [51] **Hollmann, J.K.**, 1994. A Parametric Building Cost Estimating System, *AACE International Transactions*, EST4.1-EST4.7
- [52] **Humphreys K.K.**, 1991. Jelen's Cost and Optimization Engineering, McGraw-Hill, Inc, USA.
- [53] **Humphreys, K.K.**, 1984. Project and Cost Engineer's Handbook, Markel Dekker, Inc., Newyork.
- [54] **Jaggar, D.**, 2002. Building Design Cost Management, Blackwell Science, UK.
- [55] **Jansma, G.L., Borcharding, J.D.**, 1988. Analysis of Nuclear Power Construction Costs, *AACE International Transactions*, ABI / INFORM Global, T.1.1-T.1.5
- [56] **Jeffery, J.R.**, 1996. Capital Cost Estimating for the Frontier Regions of the World: Questions a Savy Estimator Should Ask First, *Cost Engineering*, 38,6, 33-35.
- [57] **Johnson, J.A., Kwong A.K.H.**, 2001. Cost Modeling - Accurate Preconstruction Estimates Quicker, *AACE International Transactions*, S11-S13.
- [58] **Johnson, R.**, 1990. The Economics of Building: A practical guide for the design professional, John Wiley&Sons, Inc, New York

- [59] **Jones, W.B.**, 1996. A Spreadsheet Checklist to Analyze and Estimate Prime Contractor Overhead, *Cost Engineering*, 38,8; 22-27.
- [60] **Jrade, A.**, 2000. A Conceptual Cost Estimating Computer System for Building Projects, Yüksek Lisans Tezi, The Department of Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia Üniversitesi, Montreal, Quebec, Kanada.
- [61] **Jrade, A., Alkass, S.** A Conceptual Cost Estimating Computer System for Building Projects, *AACE International Transactions*, IT91, IT99.
- [62] **Jrade Ahmad, Alkass, S.**, 2002. An Integrated System for Conceptual Cost Estimating of Building Projects, *Cost Engineering*, 44,10, 28-35.
- [63] **Kartal, A.**, 1991. Proje Planlama ve Kontrol Tekniklerinin İnşaat Maliyet Muhasebesi İle Uyumlaştırılması, TC. Anadolu Üniversitesi Yayınları, Kütahya.
- [64] **Kaya, İ., Engin O.**, 2005. Kalite İyileştirme Sürecinde Yapay Zeka Tekniklerinin Kullanımı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Konya, 11, 1, 103-114.
- [65] **Khalil, M., Assaf, S.**, 1999. A Conceptual Cost Estimating Model for Water Reservoirs, *Cost Engineering*, 41, 5, 38-43.
- [66] **Kim, G.H., Seo, D.S., Kang, K.I.**, 2005. Hybrid Models of Neural Networks and Genetic Algorithms for Predicting Preliminary Cost Estimates, *Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE*, 19, 2, 208-211.
- [67] **Kim, G.H., An, S.H., Kang, K.I.**, 2004. Comparison of Construction Cost Estimating Models Based on Regression Analysis, Neural Networks and Case Based Reasoning, *Building and Environment*, 39, 1235-1242.
- [68] **Kim, G.H., Yoon, J.E., An, S.H., Cho, H.H., Kang, K.I.**, 2004. Neural Network Model Incorporating A Genetic Algorithm in Estimating Construction Costs, *Building and Environment*, 39, 1333-1340.
- [69] **Kinney, C.L., Soubiran, N.**, 2004. Interactive Roadmap to Conceptual Cost Estimating, 46(9), *AACE International Transactions*, Morgantown, USA.
- [70] **Kreps R.E., Slomba J.W.**, 1990. Conceptual Estimating Systems and Their Benefits, *AACE International Transactions*, 68-72.
- [71] **Kul, Ö.**, 2001. Türkiye'de Kamu Yatırımlarında Uygulanan Maliyet Tahmini ve Sapmaları ile Kullanılan BDMT Sistemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [72] **Kuruoğlu, M.**, 2003, İnşaatçılar İçin Yeni İhale Düzeninde Pratik Teklif Fiyatı Belirleme Yöntemi, İstanbul Ticaret Odası, İstanbul.

- [73] **Kwakye, A.A.**, 1997. *Construction Project Administration in Practice*, Addison Wesley Longman Limited, Harlow, England.
- [74] **Larson P.D.**, 2002. Conceptual Estimating, *AACE International Transactions*. ES71-ES73.
- [75] **Leese, M.G.**, 1988. Capital Plant Factorial Estimating System, *AACE International Transactions*, G.5.1-G.5.4.
- [76] **Liddy, W., Cross, J.**, 2002. Conceptual Estimating, Design-Build and The Steel Fabricator, *Modern Steel Construction*.
- [77] **Liu, M., Ling Y.Y.**, 2005. Modeling A Contractor's Markup Estimation, *Journal of Construction Engineering and Management*, 131, 4, 391-399.
- [78] **Madni, I.K.**, 1999. The Emperical Method of Budget Pricing for Prisons, *Cost Engineering*. 41, 4, 39-43.
- [79] **Masi J.G.**, Development and Maintenance of a Parametric Building Cost Estimating System, *Cost Engineering*, 45, 2, 33-37.
- [80] **Mason, A., Kahn, D.J.**, 1997. Estimating Costs with Fuzzy Logic, *AACE International Transactions*, 122-127.
- [81] **Mathur, K.S.**, 1989. Risk Analysis in Capital Cost Estimating, *Cost Engineering*, A¸ustos, 31, 8, 9-16.
- [82] **Mendel, T.G.**, 1989. Case History – *Parametric Estimating System*, *AACE International Transactions*, B.1.1-B.1.6.
- [83] **Merlin J.B.**, 1994. Parametric Estimation, *Cost Engineering*, 36, 1, 19-24.
- [84] **Meyer.E.R., Burns, T.J.**, 1999. Facility Parametric Cost Estimating, *AACE International Transactions*. T21-T26
- [85] **Michaels, J.V., Wood, W.P.**, 1989. *Design to Cost*, A Wiley-Interscience Publication John Wiley&Sons, New York.
- [86] **Mlakar, P.F., Brayant, L.M.** 1990. Direct Range Cost Estimating, *AACE International Transactions*, K.4.1-K.4.4.
- [87] **Nelson, C., Powell, D., Federle M.O.**, 1998. Computer Assistance in Conceptual Estimating for Buildings, *AACE International Transactions*, IT12-IT16.
- [88] **Newton, S.**, 1988. Cost Modeling Techniques in Perspective, *AACE International Transactions*, B.7.
- [89] **Oberlender, G.D., Trost, S.M.**, 2001. Predicting Accuracy of Early Cost Estimates Based on Estimate Quality, *Journal of Construction Enginering And Management.*, 127, 3,173-182.

- [90] **Okuyan, E.**, 1995. İnşaat Maliyet Simülasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [91] **Orhon, İ.**, 1996. İnşaat Sektöründe Bilgisayara Dayalı Bina Maliyet Sistemi Geliştirilmesi Araştırma Projesi Raporu, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [92] **Ostwald, P. F.**, 2001. Construction Cost Analysis and Estimating, Printice Hall, New Jersey.
- [93] **Özgür, M. N.**, 2003. İnşaat Mühendisliğinde Parametrik Yöntemle Teklif Hazırlama, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Ankara.
- [94] **Paek, J.H.**, 1994. Contractor Risks in Conceptual Estimating, *Cost Engineering*, 36, 12, 19-22.
- [95] **Pancarcı, A., Öcal, M.E.**, 2002. Yapı İşletmesi ve Maloluş Hesapları, Birsan Kitabevi, İstanbul.
- [96] **Patrascu, A.**, 1988. Construction Cost Engineering Handbook, Markel Dekker, Inc., Newyork.
- [97] **Paulson, B.**, 1984. Professional Construction Management, Mc-Graw Hill, USA.
- [98] **Phaobunjong, K.**, 2002. Parametric Cost Estimating Model for Conceptual Estimating of Building Construction Projects, Faculty of Graduate School of Texas at Austin, Amerika Birleşik Devletleri.
- [99] **Pilcher, R.**, 1994. Project Cost Control in Construction, Blacwell Scientific Publications, London, UK.
- [100] **Polat, D.A.**, 2004. Türkiye'de Tasarım Öncesi Evrede Bina Maliyeti Tahmini İçin Veri Tabanı Oluşturulmasına Yönelik Bir Model, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [101] **Popham, K.**, 1996. Cost Estimating Using Historical Costs, *AACE International Transactions*, ES141-ES145.
- [102] **Pulver H.E.**, 1940. Construction Estimates and Costs, New York : McGraw-Hill Book Company, Inc., USA.
- [103] **Remer, D.S., Wong, C.**, 1996. Cost Scale-Up Factors for Airport Construction, *Cost Engineering*, 38, 2, 24-26.
- [104] **Roney S.F.**, 1992. Square Foot Type Estimating for Construction, *AACE Internal Transactions*, 1, E.7.1-E.7.8.
- [105] **Rowings, J.E.**, 2003. The Civil Engineering Handbook

- [106] **Roy, R.**, 2003. Cost Engineering: Why, What and How?, Cranfield University, United Kingdom.
- [107] **R.S. Means** Estimating Handbook, 1990. RS Means Company Inc., Kingston, USA
- [108] **Samid, G.**, 1996. Estimation Knowledge: A Conceptual Framework for Cost Estimation, *Cost Engineering* 38, 5, 25-32.
- [109] **Samid, G.**, 1998. Top-Down (or Narrow-Down) Cost Estimation, *AACE International Transactions*, ES10-ES13.
- [110] **Sanders, S.R., Maxwell, R.R., Glagola, C.R.**, 1992. Preliminary Estimating Models or Infrastructure Construction, 34, 8, 7-13.
- [111] **Saner, C.**, 1993. 4-8 Katlı Konut Yapılarında Taşıyıcı Sistem Maliyetini Tahmine Yönelik Bir Yaklaşım Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [112] **Seeley, I.H.**, 1983. Building Economics : Appraisal and Control of Building Design Cost and Efficiency, Houndmills : Macmillan Education.
- [113] **Serpell, A.F.** 2005. Improving Conceptual Cost Estimating Performance, *AACE International Transactions*, Morgantown, WV, EST.13.
- [114] **Sey, Y.** Bina Maliyeti: Ders Notları, İ.T.Ü., İstanbul.
- [115] **Seyyar, B.**, 2000, Bina Tasarım Sürecinde Bilgisayar Destekli Maliyet Tahmin Sistemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [116] **Skitmore, M., Thomas, S.**, 2002. Analytical and Approximate Variance of Total Project Cost, *Journal of Construction Engineering and Management*, 128, 5, 456-460.
- [117] **Smith, N.J.**, 1995. Engineering Project Management, Blackwell Science Ltd., UK.
- [118] **Smith, R.S.**, 1997. Factored Estimating Guidelines – Refinery / Petrochemical Projects, *Cost Engineering*, Nisan, 39,4, 36-41.
- [119] **Sorguç, D., Kuruoğlu, M.**, İnşaat Yönetiminin Hizmet ve Uygulama Standardı Çevirisi, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul.
- [120] **Sönmez, R.**, 2004. Conceptual Cost Estimation of Building Projects with Regression Analysis and Neural Networks, *Canadian Journal of Civil Engineering*, August, 677-683.
- [121] **Sönmez, R.**, 2005. Review of Conceptual Cost Modeling Techniques, NRC Canada.

- [122] **Squeira, İ.**, 1999. Neural Network Based Cost Estimating, *Master of Applied Science*, The Department of Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia Üniversitesi, Montreal, Quebec, Kanada.
- [123] **Stark, S.**, 2002. Determining Construction Costs, *R&D Magazine*, 44, 5, 29-30.
- [124] **Stark, S.**, Current Construction Cost for New Laboratory Facilities, *Research & Development*, 29-30.
- [125] **Stewart, R.D.**, 1991. Cost Estimating, John Wiley&Sons, Inc., USA.
- [126] **T.C.Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü**, 2004. Dönemlere Göre Bina İnşaatı Maliyet İndeksi, Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara.
- [127] **Taştan, V.**, 2002. İnşaatıta DBASE Tabanlı Bir Maliyet Tahmin ve Kontrol Programı Düzenlemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [128] **Topçu, G.**, 1989. Yapı Üretim Sürecinde Maliyet İlişkin İşlemler: Tahmin, Planlama, Kontrol, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [129] **Touran, A., Zikas, D.**, 1980. Conceptual Estimator: A Computer Program for Residential Estimating, *American Association of Cost Engineers, Transactions of Associations of Cost Engineers*, K.5.1-K.5.4.
- [130] **Trost, S.M.**, 1998. A Quantitative Model for Predicting The Accuracy of Early Cost Estimates for Construction Projects in the Process Industry, *PhD Thesis*, Faculty of the Graduate College of the Oklohama State University, Stillwater, Oklohama, USA.
- [131] **Trost, S.M., Oberlender, G.D.**, 2003. Predicting Accuracy of Early Cost Estimates Using Factor Analysis and Multivariate Regression, *Journal of Construction Engineering and Management*, 129, 2, 198-204.
- [132] **Uppal K.B.**, 2001. Easy Factored Estimating and Process Cost Engineering, *AACE International Transactions*, ES61-ES66.
- [133] **Uppal K.B.**, 2001. Estimating? The Number/Confidence/Resources, or What?, *Cost Engineering*, 43, 2, 35-40.
- [134] **Uppal, K.B.**, 1993, A Different Approach to Factored Cost Estimating, *Transactions of AACE International*, L.8.1-L.8.6.
- [135] **Usta, S.H.**, 1994. Avan Proje Evresinde, Bina Maliyetinin Bina Elemanlarına Dayalı Olarak Hesaplanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [136] **Waier, P.R., Linde, C.W.**, 1993. Means Unit Price Estimating Methods, RS Means Company, Inc., USA.

- [137] **Wang, W.**, 2002. SIM-UTILITY: Model for Project Ceiling Price Determination, *Journal of Construction Engineering and Management*, 128,1, 76-84.
- [138] **Yaylagül, N.**, 1994. Bina Yapımında Simülasyon Yaklaşımı ile Maliyet Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [139] **Yang, I.T.** 2005. Simulation-Based Estimation for Correlated Cost Elements, *International of Project Management*, 23, 275-282.
- [140] **Yokoyama, K., Tomiya, T.**, 1982. The Integrated Cost Estimating Systems Technique for Building Cost, *Transactions of AACE*, B.6.1-B.6.6.
- [141] **Yu, W., Lai, C., Lee, W.**, 2006. A WICE Approach to Real-Time Construction Cost Estimation, *Automation in Construction*, 15, 12-19.
- [142] **Yurtoğlu, H.**, 2005. Yapay Sinir Ağları Metodolojisi ile Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği, DPT Uzmanlık Tezleri, TC Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- [143] **Toktaş, İ., Aktürk, N.**, 2004. Makina Tasarım İşleminde Kullanılan Yapay Zeka Teknikleri ve Uygulama Alanları, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 7-20.
- [144] <http://www.yapay-zeka.org/modules/icontent/index.php?page=33>
- [145] http://www.geocities.com/hacer_bulut2002/bulanik.html
- [146] <http://fatihunluweb.sitemynet.com/yz.htm>
- [147] http://www.die.gov.tr/yillik/14_Bina.pdf
- [148] <http://www.aacei.org/technical/costmodels/BuildingModel.shtml>

EK-A

Bu ekte Bayındırlık Bakanlığı m2 birim fiyat listesi ön maliyet tahminlerinde kullanılmak üzere verilmektedir.

Tablo A.1: Bayındırlık Bakanlığı m² Birim Fiyat Listesindeki Yapı Sınıfları ve m² Birim Fiyatları

YAPININ MİMARLIK HİZMETLERİNE ESAS OLAN SINIF	m ² Birim Fiyatı (YTL)
I.SINIF YAPILAR	
A GRUBU YAPILAR	51
3 m yüksekliğe kadar kâgir ve betonarme istinat ve bahçe duvarları	
Basit kümes ve tarım yapıları	
Mevcut yapılar arası bağlantı-geçiş yolları	
Baraka veya geçici kullanımı olan küçük yapılar	
Yardımcı yapılar (Müştemilat)	
Gölgelikler-çardaklar	
Üstü kapalı yanları açık teneffüs, oyun gösteri alanları	
ve bu gruptakilere benzer yapılar.	
B GRUBU YAPILAR	89
Basit padok, büyük ve küçük baş hayvan ağılları	
Su depoları	
İş yeri depoları	
ve bu gruptakilere benzer yapılar.	
II. SINIF YAPILAR	
A GRUBU YAPILAR	141
Kuleler, ayaklı su depoları	
Palplanj ve ankrajlı perde ve istinat duvarları	
Kayıkane	
ve bu gruptakilere benzer yapılar.	
B GRUBU YAPILAR	193
Seralar	
Pnömatik ve şişirme yapılar	
Hangar yapıları	
Tek katlı ofisler, dükkan ve basit atölyeler	
Semt sahaları (Müştemilatlı)	
Tarım ve endüstri yapıları (Tek katlı prefabrike binalar, tesisat ağırlıklı ağıllar, fidan yetiştirme ve bekletme tesisleri)	
Yat bakım ve onarım atölyeleri, çekek yerleri	
Jeoloji, botanik ve tema parkları	
Mezbahalar	
ve bu gruptakilere benzer yapılar	
III. SINIF YAPILAR	

Tablo A.1'in Devamı

A GRUBU YAPILAR

315

Okul ve mahalle ölçeği spor tesisleri (Temel eğitim okullarının veya işletme ve tesislerin spor salonları, jimnastik salonları, semt salonları)
Katlı garajlar
Hobi ve oyun salonları
Ticari bürolar (üç kata kadar-üç kat dahil - asansörsüz, kalorifersiz)
Alışveriş merkezleri (Semt pazarları, küçük ve büyük hal binaları, marketler)
Basımevleri, matbaalar
Soğuk hava depoları
Konutlar (dört kata kadar-dört kat dahil - asansörsüz, kalorifersiz)
Benzin istasyonları
Kampingerler
Küçük sanayi tesisleri (Donanımlı atölyeler, ticarethane, dükkan, imalathane, dökümhane)
Semt postaneleri
ve bu gruptakilere benzer yapılar

B GRUBU YAPILAR

359

Kreş-Gündüz bakımevleri
Otel ve moteller (1 ve 2 yıldızlı oteller, 2. sınıf moteller)
Entegre tarım ve endüstri yapıları
İdari binalar (İlçe tipi hükümet konakları, vergi daireleri)
Gençlik Merkezleri
Belediyeler ve çeşitli amaçlı kamu binaları
Lokanta, kafeterya ve yemekhaneler
Temel eğitim okulları
Küçük kitaplık ve benzeri kültür tesisleri
Jandarma ve emniyet karakol binaları
Sağlık tesisleri (Sağlık ocakları, kamu sağlık dispanserleri, sağlık evleri, sağlık merkezleri)
Ticari bürolar (Kaloriferli ve asansörsüz veya kalorifersiz ve asansörlü)
Halk evleri
Pansiyonlar
150 kişiye kadar cezaevleri
Fuarlar
Sergi salonları
Konutlar (asansörlü ve/veya kaloriferli)
Marinalar
Gece kulübü, diskotekler
İtfaiye kurtarma istasyonları
Misafirhaneler
Büyük çiftlik yapıları
ve bu gruptakilere benzer yapılar

IV. SINIF YAPILAR

Tablo A.1'in Devamı

A GRUBU YAPILAR

406

Özelliği olan büyük okul yapıları (Spor salonu, konferans salonu ve ek tesisleri olan eğitim yapıları)
Poliklinikler ve benzeri sağlık yapıları (Hastaneler hariç)
İl tipi hükümet konakları (Büyük idare binaları ve büyükşehir belediye binaları)
Yüksek okullar ve eğitim enstitüleri
Ticari Bürolar (Asansörlü ve kaloriferli)
150 kişiyi geçen cezaevleri
Kaplıcalar, şifa evleri v.b. termal tesisleri
Rehabilitasyon ve tedavi merkezleri
İbadethaneler (Dini yapılar 1000 kişiye kadar)
Sanayi tesisleri ve fabrikalar (Fen ve sanat yönünden nitelikli)
Aqua parklar
Müstakil spor köyleri (yüzme havuzları, spor salonları ve stadlar)
Özellikli müstakil konutlar (Villalar, teras evleri, dağ evleri, kaymakam evi)
Apartman tipi konutlar (Bina yüksekliği 21.50 m.'yi aşan, asansörlü ve/veya kaloriferli)
Yaşlılar Huzurevi, kimsesiz çocuk yuvaları, yetiştirme yurtları
Büyük alışveriş merkezleri
ve bu gruptakilere benzer yapılar

B GRUBU YAPILAR

448

İş Merkezleri
Araştırma binaları ve laboratuvarlar
Metro istasyonları
Stadyum, spor salonları ve yüzme havuzları
Büyük postaneler (merkez postaneleri)
Otobüs terminalleri
Satış ve sergi binaları (showroomlar)
Eğlence amaçlı yapılar (çok amaçlı toplantı, eğlence ve düğün salonları)
Banka Binaları
Otel ve moteller (3 ve 4 yıldızlı oteller ile 1.sınıf moteller)
Normal radyo ve televizyon binaları
Özelliği olan genel sığınaklar
ve bu gruptakilere benzer yapılar

C GRUBU YAPILAR

539

Hastaneler (150 yatağa kadar)
Büyük kütüphaneler ve kültür yapıları
Bakanlık binaları
Yüksek öğrenim yurtları
Arşiv binaları
Büyük Adliye Sarayları
ve bu gruptakilere benzer yapılar

V. SINIF YAPILAR

Tablo A.1'in Devamı

A GRUBU YAPILAR	668
Radyo-TV istasyonları	
Özelliği olan askeri yapılar ve ordu evleri	
Büyükelçilik yapıları, vali konakları ve 600 m2 üzerindeki özel konutlar	
Borsa binaları	
Üniversite kampüsleri	
Alışveriş kompleksleri (İçerisinde sinema, tiyatro, sergi salonu, kafe, restoran, market bulunan)	
ve bu gruptakilere benzer yapılar	
B GRUBU YAPILAR	809
Kongre merkezleri	
Müze, sergi, kütüphane kompleksleri	
Olimpik spor tesisleri-hipodromlar	
Bilimsel araştırma merkezleri, AR-GE binaları	
Havaalanları	
İbadethaneler (1000 kişinin üzerinde)	
ve bu gruptakilere benzer yapılar	
C GRUBU YAPILAR	924
Hastaneler (150 yatağın üstündeki hastaneler ve özelliği olan ihtisas hastaneleri)	
Üst donanımlı kompleks oteller ve tatil köyleri (5 yıldızlı)	
Büyük radyo ve televizyon binaları	
ve bu gruptakilere benzer yapılar	
D GRUBU YAPILAR	1.103
Opera, tiyatro, bale yapıları, konser salonları ve kompleksleri	
Restore edilecek yapılar ve tarihi ve eski eserler niteliğinde olup, yıkılarak orijinaline uygun olarak yapılan yapılar	
ve bu gruptakilere benzer yapılar	

EK-B

Bu ekte DİE Bina İnşaatı Maliyet İndeksi Hesaplamasında Kullanılan İşçilik, Makine ve Malzemelerin listesi verilmektedir.

Tablo B.1: Bina İnşaatı Maliyet İndeksinde Kullanılan İşçilik, Makine ve Malzemeler

<u>Madde Adı</u>	<u>Ölçü</u>
İŞÇİLİKLER	
Ustahklar	
Fayans kaplama ustası	saat
Mermer kaplama ustası	saat
Mozaikçi ustası	saat
Doğramacı ustası	saat
Sıvacı ustası	saat
Betoncu ustası	saat
Dülger ustası	saat
Sıcak demirci ustası	saat
Soğuk demirci ustası	saat
Boyacı ustası	saat
Badanacı ustası	saat
Usta Yardımcılıkları	saat
Mozaikçi usta yrd.	saat
Sıvacı usta yrd.	saat
Duvarcı usta yrd.	saat
Soğuk demirci usta yrd.	saat
Diğer işçilikler	saat
Makinist	saat
Düz işçi (inşaat işçisi)	saat
Erbab işçi	saat
Çırak	saat
MAKİNELER	
Makineler	
Ekskavatör (100 hp – 1 yd3)	saat
Traktör ripper (td 25 veya emsali 185 dhp->ripper)	saat
Kompresör (b) (210 cfm’lık kompresör+hortum ve tabancalar)	saat
Betoniyer (motoru ile takriben 250 litrelik)	saat
Vibratör (2½ hp gücünde, 9-16 yd3/saat kapasiteli)	saat
Fore kazık delgi makinası (40 hp gücünde, bağlantılar dahil)	saat
Beton yapma tesisi (1000 litre kapasiteli, 50 m3/saat)	saat
MALZEMELER	
Genel İnşaat Malzemeleri	
Esas İnşaat Gereçleri	
Ocak taşı (08.021’den)	m ³
Çakıl (tuvenan agregadan el ile elenmiş yıkanmış) (08.001’den)	m ³
Çakıl (tuvenan agregadan en az iki sınıf karışık) (08.005’den)	m ³

Tablo B.1'in Devamı

<u>Madde Adı</u>	<u>Ölçü</u>
Kum (elenmesi gerekmeyen ince agrega) (08.001'den)	m ³
Kum (tuvenan agregadan el ile elenmiş yıkanmış) (08.003'ten)	m ³
Kum (tuvenan agregadan en az iki sınıf karışık) (08.004'ten)	m ³
Kum (ince siva veya derz kumu) (el ile elenmiş yıkanmış) (08.006'dan)	m ³
Çimento (portland-torbalı) (ts-19, pç 325)	ton
Kireç (söndürülmemiş parça kalker kireci) (ts-30)	kg
Tuğla (dolu harman) (19x9x5 cm.) (ts-704)	adet
Tuğla (yatay delikli duvar) (19x19x8.5 cm.)	adet
Tuğla (yatay delikli duvar) (19x19x13.5 cm.)	adet
Tuğla (düşey delikli duvar) (19x19x8.5 cm.)	adet
Tuğla (düşey delikli duvar) (19x19x13.5 cm.)	adet
Tuğla (düşey delikli duvar) (19x9x8.5 cm.)	adet
Kiremit (alaturka)	adet
Kiremit (oluklu) (ts-562)	adet
Kiremit (mahya) (ts-562)	adet
Briket (boşluklu beton için) (10x19x39 cm.) (ts-406) (08.601'den)	adet
Briket (boşluklu beton için) (20x19x39 cm.) (ts-406) (08.601'den)	adet
Su (şantiyede kullanım)	m ³
Fabrikasyon B160 betonu harcı (yerine basılması dahil) (pompalı fiyatı dahil)	m ³
Fabrikasyon B225 betonu harcı (yerine basılması dahil) (pompalı fiyatı dahil)	m ³
Fabrikasyon B300 betonu harcı (yerine basılması dahil) (pompalı fiyatı dahil)	m ³
Patlayıcı ve Yanıcı Gereçler	
Benzin	kg
Mazot (motorin)	kg
Elektrik ceryanı (şantiyede kullanılan)	Kwat-saat
Ahşap İnşaat Gereçleri	
Çam kerestesi (1.sınıf) (ts-1264,1265) her boyutta biçilmiştir.	m ³
Çam kerestesi (2.sınıf) (ts-1264,1265) her boyutta biçilmiştir.	m ³
Çam kerestesi kullanılmış (ts-51) her boyutta biçilmiştir.	m ³
Kayın kerestesi (ts-801) her boyutta biçilmiştir.	m ³
Yuvarlak yapı oldunu (beyaz çam-kökner) (1.sınıf) (ts-1264)	m ³
Yuvarlak yapı oldunu (beyaz çam-kökner) (2.sınıf) (ts-1264)	m ³
Parke (işlenmiş meşe) (1.sınıf) (ts-73) (22 mm. kalınlıkta)	m ²
Parke (işlenmiş meşe) (2.sınıf) (ts-73) (22 mm. kalınlıkta)	m ²
Parke (işlenmiş kayın) (1.sınıf) (ts-73) (22 mm. kalınlıkta)	m ²
Parke (işlenmiş kayın) (2.sınıf) (ts-73) (22 mm. kalınlıkta)	m ²
Kontraplak (ts-46) (4 mm. kalınlıkta)	m ²
Kontraplak (ts-46) (6 mm. kalınlıkta)	m ²

Tablo B.1'in Devamı

<u>Madde Adı</u>	<u>Ölçü</u>
Kontraplak (ts-46) (8mm. kalınlıkta)	m ²
Madeni Gereçler	
Beton çelik çubuğu (düz, 8-10-12 mm. çapında) (ts-708)	ton
Beton çelik çubuğu (düz, 14-50 mm. çapında) (ts-708)	ton
Beton çelik çubuğu (nervürlü) (IIIA) (5-12 mm. çapında) (ts-708)	ton
Beton çelik çubuğu (nervürlü) (IIIA) (14-28 mm. çapında) (ts-708)	ton
Lamalar (ts-3024)	kg
Profil demirler (np 1, 80-100) (ts-910,911,912)	kg
Profil demirler (np 1, 120-140) (ts-910,911,912)	kg
Profil demirler (np u, 65-80-100) (ts-910,911,912)	kg
Profil demirler (np 1, 120-140-160-200) (ts-910,911,912)	kg
Profil demirler (omega) (ts-910,911,912)	kg
Çinko levha	kg
Çiviler (ts-155) (inşaat çivisi)	kg
Saç (galvanizli, dalgalı) (ts-822)	kg
Kare profil borular (10x10x1.0)	m
Kare profil borular (20x20x1.0)	m
Kare profil borular (25x25x1.0)	m
Kare profil borular (30x30x1.2)	m
Kare profil borular (40x40x1.5)	m
Dikdörtgen profiller (10x20x1.0)	m
Dikdörtgen profiller (10x30x1.0)	m
Dikdörtgen profiller (20x40x1.0)	m
Dikdörtgen profiller (30x50x1.5)	m
Dikdörtgen profiller (30x50x1.2)	m
Kaplama Gereçleri	
Mermer tozu	ton
Karo fayans (beyaz, ekstra) (150x150x6 mm.)	adet
Karo fayans her renkte	adet
Karo simanlar (20x20 cm) (yivli, renksiz)	adet
Karo simanlar (30x30 cm) (yivli, renksiz)	adet
Mozaik karo (20x20 cm) (düz, her renkte)	adet
Mozaik karo (30x30 cm) (düz, her renkte)	adet
Mozaik karo (20x20 cm) (her renkte desenli, beyaz çimentolu)	adet
Mozaik karo (30x30 cm) (desenli, beyaz çimentolu)	adet
Gre seramikler (düz renkli) (100x200x9 mm veya 200x200x9 mm)	m ²
Gre seramikler (röliefli sırlı) (100x200x9 mm veya 200x200x9 mm)	m ²
Beyaz mermer (levha 2 cm)	m ²

Tablo B.1'in Devamı

<u>Madde Adı</u>	<u>Ölçü</u>
Beyaz mermer (levha 3 cm)	m ²
Renkli mermer (levha 2 cm)	m ²
Renkli mermer (levha 3 cm)	m ²
p.v.c. yer döşeme karosu (25x25 cm) (2.0 mm'lik) (ser)	m ²
p.v.c. esnek yer döşeme karosu (25x25 cm – 30x30 cm) (2.0 mm'lik)	m ²
Lastik conta (çatı örtüsü tespitinde kullanılan)	adet
Sentetik reçineli astar (renksiz)	kg
Sentetik reçineli plastik sıva	kg
Silikon esaslı koruyucu astar (renksiz)	kg
Polyester (yağ esaslı) elyaflı kalın hazır sıva	kg
Boya, Cila ve İzolasyon Gereçleri	
Sülyen boya	kg
Mamul yağlı boya	kg
Plastik badana	kg
Kaynamış bezir (ts-150)	kg
Elostromerik reçine esaslı sıvı plastik kaplama malzemesi	kg
Boya macunu (sentetik veya yağlı)	kg
Özel macun (suni mermerler için)	kg
Akrilik esaslı kalın cephe kaplama malzemesi (sıvı)	kg
Akrilik esaslı ince cephe kaplama malzemesi (sıvı)	kg
Poliüretan esaslı parke cilası (sıvı)	kg
Katranlı urgan (12 mm çapında)	m
Bitümlü karton (ts-114, tip 18)	m ²
Bitümlü karton (ts-114, tip 36)	m ²
Bitümlü karton (kumlu 1 kg/m ³)	m ²
Bitüm (ts-105, asfalt:tip1) penetrasyon (75/100) (57-66)	kg
Bitüm (ts-105, asfalt:tip1) penetrasyon (75/100) (61-77)	kg
Polistren köpüğü (ts-2193) 15 kg/m ³	m ³
Polistren köpüğü (ts-2193) 20 kg/m ³	m ³
Harçta su geçirimsizlik katkısı (sıvı)	kg
Asfalt çatı örtülerinde kullanılan astar (ts-103)	kg
Asfalt kaplı cam tülü pestili (asfalt en az 1100 gr/m ²)	m ²
Kaba kumla kaplanmış cam tülü buhar dengeci (1200 gr/m ²)	m ²
Asfaltlı metal folyo yalıtım pestili (ts-29899)	m ²
Cam ve Benzeri Gereçleri	
Normal düz cam (3 mm kalınlıkta) (ts-347)	m ²
Normal düz cam (4 mm kalınlıkta) (ts-347)	m ²
Normal düz cam (6 mm kalınlıkta) (ts-347)	m ²

Tablo B.1'in Devamı

<u>Madde Adı</u>	<u>Ölçü</u>
Buzlu (sable,mat) cam (3 mm kalınlıkta) (ts-347)	m ²
Buzlu (sable,mat) cam (4 mm kalınlıkta) (ts-347)	m ²
Cam macunu	kg
Çift camlı pencere ünitesi (3+3 mm camlı)	m ²
Çift camlı pencere ünitesi (4+4 mm camlı)	m ²
Diğer İnşaat Gereçleri	
Alüminyum Profiller (ts-1164)	kg
Alüminyum düz levhalar (ts-709) (0.50 mm kalınlıkta)	kg
Alüminyum düz levhalar (ts-709) (0.70 mm kalınlıkta)	kg
Beton döşeme plağı	m ²
Cam yünü (18 kg/m ³ yoğ. silte 6.0 cm kalınlığında)	m ²
Cam yünü (18 kg/m ³ yoğ. silte 8.0 cm kalınlığında)	m ²
Cam yünü (100 kg/m ³ yoğ. plaka 2.0 cm kalınlığında)	m ²
Cam yünü (100 kg/m ³ yoğ. plaka 2.5 cm kalınlığında)	m ²
Yağmur borusu (70 mm çapında, bir ucu muflu pvc.boru)	m
Yağmur borusu (100 mm çapında, bir ucu muflu pvc.boru)	m
Yağmur borusu (125 mm çapında, bir ucu muflu pvc.boru)	m
p.v.c çatı bandı (etek)	m
p.v.c. yağmur oluğu (100 mm'lik)	m
p.v.c. yağmur oluğu (150 mm'lik)	m
Kapı ve Pencere Doğramaları Madeni Aksamı	
Gömme iç kapı kilidi (geniş tip)	adet
Gömme iç kapı kilidi (dar tip)	adet
Gömme makaralı iç kapı kilidi (dar ve geniş tip)	adet
Gömme silindirli iç ve dış kapı kilidi (dar ve geniş tip)	adet
Silindir trajlı dış kapı kilidi	adet
Kapı kolu ve aynaları (kromajlı)	adet
Kapı menteşesi (14 numara)	adet
İspanyolet takımı (kol, demir ve teferruatı)	adet
Vasistas takımı (basit makas)	adet
Vasistas takımı (çelik makas, kromaj kol tutamak)	adet
Mandal (ispanyolet kolu ve damak) sarı prinç montevidası sürgü	adet
Kavramalı ispanyolet takımı (2 kavramalı, kol dahil 80 cm'lik)	adet
Kavramalı ispanyolet takımı (3 kavramalı, kol dahil 100 cm'lik)	adet
Pencere menteşesi (12 numara)	adet
Tesisat Malzemeleri	
Sıhhi Tesisat Malzemeleri	
Lavabo: fayans, camlaşmış, çini, 1.sınıf (28x45 cm), kancalı veya vidalı (ts-605)	adet

Tablo B.1'in Devamı

<u>Madde Adı</u>	<u>Ölçü</u>
Lavabo: fayans, camlaşmış, çini, 1.sınıf (40x50 cm), konsollu (ts-605)	adet
Lavabo tesisatı: uzun musluklu, prinç kum. sız sifonlu, 1. sınıf (musluk ts6/1, sifon ts-378/1)	takım
Lavabo tesisatı: uzun musluklu, prinç kum. sız sifonlu, 1. sınıf (batarya ts325/4, sifon ts-378/1)	takım
Aynalar: adi cam, takriben (40x50 cm)	adet
Etajerler: fayans camlaşmış çini, takriben (50x10 cm) (1.sınıf)	adet
Alaturka hela taşı: fayans camlaşmış çini (50x60 cm), 1.sınıf, pik sifonlu (ts-799)	adet
Alaturka hela taşı: fayans camlaşmış çini (50x60 cm), 1.sınıf, PVC plastik sifon, (ts-799)	adet
Alaturka hela tesisatı: plastik rezervuarlı (ts-823)	takım
Alafranga hela tasları: normal tip, (40x50 cm), 1. sınıf (ts-800)	adet
Alafranga hela tesisatı: plastik rezervuarlı (ts-823)	takım
Pisuar ve tesisatı: normal tip, prinç sifonlu (30x25x40 cm), 1. sınıf (ts-2747)	takım
Pisuar bölmesi: mermer (100x40x2 cm)	adet
Eviyeler: bir gözü damlalıksız, fayans camlaşmış çini, (45x50x15 cm), 1.kalite (ts-698/1)	adet
Eviyeler: bir gözü damlalıklı, fayans camlaşmış çini, (45x100 cm), 1.kalite (ts-698)	adet
Eviye tesisatı: bir gözlü eviye tesisatı, bataryalı, (ts-325/3), prinç sifon, (ts-378/1), 1. sınıf	adet
Eviye tesisatı: bir gözlü eviye tesisatı, uzun musluk, (ts-6/1), prinç sifon, (ts-378/1), 1. sınıf	adet
Banyolar: demir dökme emaye banyo teknesi, oturma (ts-544-4), (70x105x55 cm)	adet
Banyo tesisatı: duş borusu ve baş süzgeci ile komple banyo bataryalı, (ts325/1), 1.sınıf	takım
Duş teknesi: fayans, camlaşmış çini, ts-2750, 1. kalite, (80x80x15 cm)	adet
Duş teknesi: dökme demir emaye, aside dayanıklı, (ts-544/5), normal, (80x80x15 cm)	adet
Duş tesisatı komple: duş borusu ve baş süzgeci ile komple banyo bataryalı, (ts325/1)	takım
Münferit armatürler: musluklar, uzun musluk (ts 6/1, 1. sınıf) 15 q mm (½")	adet
Münferit armatürler: musluklar, uzun musluk (ts 6/1, 2. sınıf) 15 q mm (½")	adet
Münferit armatürler: rekorlu musluk, kromajlı çamaşır musluğu, (ts 6/2-3), 15 q mm (½")	adet
Münferit armatürler: banyo ve duş batır, duş boru ve baş süzgeci komple batarya, (ts-325/1)	adet
Yangın dolabı: pres döküm armatürlü (55x65x15 cm), dp sacdan, 1.5 mm	adet
Su sayaçları: (ts-824'e uygun) soğuk su sayaçları, 15 q mm, 1" vidalı	adet
Su deposu ve yalıtımı: saç depo, 1000 lt, depo	adet
Su deposu ve yalıtımı: saç depo, 2000 lt, depo	adet
Hidrafor: tam otomatik paket hidrafor, 2000 lt, 15 m³/sa, 10 ad/sa, max debi 10 m³/sa	adet
Hidrafor: piston pompalı hidrofor, tank hacmi: 150 lt, pom.karak. 1500 lt/sa, 40 mss, 3.5 Atm	adet
Termosifon: gazyağlı termosifon, takriben 100 lt, işletme basıncı 5 kgf/m², 3 mm çelik saç	adet
Termosifon: katı yakıtlı çift çidarlı çelik termosifon, takriben 75-85 lt, 12 kgf/cm² işletme bas.	adet
Şofben: lpg şofbenli (ts-615), 10 lt/dak.	adet
Şofben: elektrikli su ısıtıcılar ts-77 şofben (termosifon), 60 lt, 1720 kcal/sa, 1800 watt	adet
Kalorifer Tesisatı Malzemeleri	
Sıcak su üretici, duman boru, çelik kalorifer kaz.yar.sil. 3 kgf/cm²kont.b. 180000 kcal/sa ts497	adet
Sıcak su üretici, duman boru, çelik kalorifer kaz.yar.sil. 3 kgf/cm²kont.b. 210000 kcal/sa ts497	adet

Tablo B.1'in Devamı

<u>Madde Adı</u>	<u>Ölçü</u>
Sıcak su üretici, duman boru, çelik kalorifer kaz.yar.sil. 3 kgf/cm ² kont.b. 360000 kcal/sa ts497	adet
Isıtıcılar: dökme dilimli, düz satıh.b serisi radyatör 160/90 mm 4 kgf/cm ² işlet.bas., ts 369/1	m ²
Isıtıcılar: dökme dilimli, düz satıh.b serisi radyatör 160/90 mm 4 kgf/cm ² işlet.bas., ts 392/1	m ²
Isıtıcılar: dökme dilimli kolonlu radyatörler 144/500 mm 4 kgf/cm ² işlet.bas., ts 369/1	m ²
Radyatör mesnetleri: radyatör duvar konsolu (ts-1107), 25x25x2 mm, 1 demirinden	adet
Radyatör musluğu,: köşe tip (ts-579/2) ½", 15 q mm	adet
Radyatör rakoru: köşe tip için, (ts-579/6), ½", 15 q mm	adet
Genleşme ve havalandırma deposu: açık prizmatik gövdesi 3 mm çelik sacdan 1000 lt	adet
Genleşme ve havalandırma deposu: açık prizmatik gövdesi 3 mm çelik sacdan 2000 lt	adet
Müşterek Tesisat Malzemeleri	
Çelik boru: dikişli boru, vidalı, ts-301/3, ½", q 15 mm, 21.3/2.65 mm, 1.22 kg/m	m
Çelik boru: dikişli boru, vidalı, ts-301/3, ¾", q 20 mm, 26.9/2.65 mm, 1.58 kg/m	m
Çelik boru: dikişli boru, vidalı, ts-301/3," q 32 mm, 42.4/3.5 mm, 3.54 kg/m	m
Çelik boru: dikişli boru, vidalı, ts-301/3, 2", q 50 mm, 60.3/3.65 mm, 5.10 kg/m	m
Çelik boru: dikişli galvanizli boru, vidalı, ts-301/3, ½", 15 q mm, 21.3/2.65 mm	m
Çelik boru: dikişli galvanizli boru, vidalı, ts-301/3, ¾", 20 q mm, 26.9/2.65 mm	m
Çelik boru: dikişli galvanizli boru, vidalı, ts-301/3, 1 ¼", 32 q mm, 42.4/3.25 mm	m
Çelik boru: dikişli galvanizli boru, vidalı, ts-301/3, 2", 50 q mm, 60.3/3.65 mm	m
Kır döküm borular: pis su borusu, 70 q mm	m
Kır döküm borular: pis su borusu, 100 q mm	m
Plastik boru: sert pvc 100 plastik pis su borusu (ts-275), 70 q mm, 1.8 mm	m
Plastik boru: sert pvc 100 plastik pis su borusu (ts-275), 110 q mm, 2.3 mm	m
Plastik boru: yumuşak polietilen basınçlı boru, 32 q mm, 3.4 mm, 6 kgf/cm ²	m
Plastik boru: yumuşak polietilen basınçlı boru, 40 q mm, 4.3 mm, 6 kgf/cm ²	m
Soğuk, sıcak su vanası: (ts-15), sürgülü (şiber) prinç, vidalı, boşaltmasız, 15 q mm, ½"	adet
Soğuk, sıcak su vanası: (ts-15), sürgülü (şiber) prinç, vidalı, boşaltmasız, 20 q mm, ¾"	adet
Soğuk, sıcak su vanası: (ts-15), sürgülü (şiber) prinç, vidalı, boşaltmasız, 32 q mm, 1 ¼"	adet
Soğuk, sıcak su vanası: (ts-15), sürgülü (şiber) prinç, vidalı, boşaltmasız, 50 q mm, 2"	adet
Soğuk, sıcak su vanası: sürgülü vana, pik döküm flanşlı, (ts-444-457/1) 50 q mm	adet
Soğuk, sıcak su vanası: sürgülü vana, pik döküm flanşlı, (ts-444-457/1) 65 q mm	adet
Soğuk, sıcak su vanası: sürgülü vana, pik döküm flanşlı, (ts-444-457/1) 80 q mm	adet
Soğuk, sıcak su vanası: sürgülü vana, pik döküm flanşlı, (ts-15/6) 15 q mm, ½"	adet
Soğuk, sıcak su vanası: sürgülü vana, pik döküm flanşlı, (ts-15/6) 25 q mm, 1"	adet
Sirkülasyon pompaları: ıslak rotorlu 1500 devir/dak, 4.1-8 m ³ /sa, 0.50-2.00 mss	adet
Sirkülasyon pompaları: ıslak rotorlu 1500 devir/dak, 25.1-60 m ³ /sa, 2.01-3.50 mss	adet
Geri tepme ventili (sıcak ve soğuk su için): prinç pres döküm vidalı, 20 q mm ¾"	adet
Geri tepme ventili (sıcak ve soğuk su için): prinç pres döküm vidalı, 32 q mm 1 ¼"	adet
İzolasyon: boru izo, oluklu mukav.cam yünü ile, alçı kışırila kaplı, ½", 21 q mm 30 mm	m

Tablo B.1'in Devamı

<u>Madde Adı</u>	<u>Ölçü</u>
İzolasyon: boru izo, oluklu mukav.cam yünü ile, alçı kışır ile kaplı, 1 ¼", 42 q mm 30 mm	m
İzolasyon: boru izo oluklu mukav.cam yünü ile, alçı kışır ile kaplı 2", 60 q mm 30 mm	m
İzolasyon: prefabrik boru cam yünü üzeri bez kaplı boru izolasyonu, 1", 34 q mm, 30 mm	m
Boru boyanması: yağlı boya ile, serbest boruların 2 kat, 15-50 q mm, ½"-2", 2" dahil.	m
Pissu pompaları: monofaze elektrikli, 12-15 m³/sa, 18-24 mss, 1.10 kw	adet
Elektrik Tesisatı Malzemeleri	
Sıva üstü saç tabloları (ts-3367), 0.10-0.20 m².ye kadar (0.20 m² dahil)	adet
Gömme tip saç tabloları (ts-3367), 0.05-0.10 m².ye kadar (0.10 m² dahil)	adet
Gömme tip saç tabloları (ts-3367), 0.10-0.20 m².ye kadar (0.20 m² dahil)	adet
Pako şalterler: tablo arkası montajı için normal tip, 3x25 a.e kad.(trifaze)	adet
Pako şalterler: tablo arkası montajı için normal tip, 3x63 a.e kad.(trifaze)	adet
Koruyucu el ile kumanda şalter: tablo arka, mont. Kuru. Term. Mağne. Koru. S. 3x200 a.(tf)	adet
Koruyucu el ile kumanda şalter: tablo arka, mont. Kuru. Term. Mağne. Koru. S. 3x300 a.(tf)	adet
Kontaktörler: kuru tip termik koruyuculu, 3x10 ampere kadar (ts-3629)	adet
Kontaktörler: kuru tip termik koruyuculu, 3x16 ampere kadar (ts-3629)	adet
Sigortalar: busonlu sigortalar, 25 ampere kadar (ts-50)	adet
Sigortalar: busonlu sigortalar, 63 ampere kadar (ts-50)	adet
Sigortalar: anahtarlı otomatik sigortalar, 16 ampere kadar (ts-5018)	adet
Sigortalar: anahtarlı otomatik sigortalar, 25 ampere kadar (ts-5018)	adet
Ölçü aletleri: tek fazlı sayaçlar, 10 ampere kadar (ts-641)	adet
Ölçü aletleri: üç fazlı sayaçlar, 10 ampere kadar (ts-641)	adet
Ana-tali kablo toplama hattı: peşel, bergman veya pvc boru. 4 mm² çıplak örgü.dolu bakır tel	m
Ana-tali kablo toplama hattı: peşel, bergman veya pvc boru. 10 mm² çıplak örgü.dolu bakır tel	m
Ana-tali kablo toplama hattı: peşel, içine serbest çekilen t.h,50 mm² çıplak örgü.dolu bakır tel	m
Ana hat ve besleme hatları: peşel, bergman, pvc boru nv (nya) iletken, 2x6 mm², p.18	m
Ana hat ve besleme hatları: peşel, bergman, pvc boru nv (nya) iletken, 2x4 mm², p.18	m
Ana hat ve besleme hatları: peşel, bergman, pvc boru nv (nya) iletken, 4x6 mm², p.18	m
Ana hat ve besleme hatları: (ts-833), kurşunsuz pvc izoleli, nvv (nym), 4x6 mm²	m
Ana hat ve besleme hatları: (ts-833), kurşunsuz pvc izoleli, nvv (nym), 4x2.5 mm²	m
Ana hat ve besleme hatları: 1 kV yeraltı kablosu ile kolon ve besleme hat, yvv (ynn), 4x16 mm²	m
Ana hat ve besleme hatları: 1 kV yeraltı kablosu ile kolon ve besleme hat, yvv (ynn), 4x10 mm²	m
Ana hat ve besleme hatları: 1 kV yeraltı kablosu ile kolon ve besleme hat, yvv (ynn), 4x4 mm²	m
Aydınlatma sortisi, normal sorti, peşel, bergman veya pvc boru içersinde sorti hattı dahil	adet
Aydınlatma sortisi, komitatör sorti, peşel, bergman veya pvc boru içersinde sorti hattı dahil	adet
Aydınlatma sortisi, vaevien sorti, peşel, bergman veya pvc boru içersinde sorti hattı dahil	adet
Aydınlatma sortisi, paralel sorti, peşel, bergman veya pvc boru içersinde sorti hattı dahil	adet
Aydınlatma sortisi, avize sorti, peşel, bergman veya pvc boru içersinde sorti hattı dahil	adet
Priz sortisi, (peşel, bergman veya pvc boru içersinde linie ve sorti hattı) priz sortisi	adet

Tablo B.1'in Devamı

<u>Madde Adı</u>	<u>Ölçü</u>
Priz sortisi, (peşel, bergman veya pvc boru içersinde linye ve sorti hattı) güvenlik hattı	adet
Etanş aydınlatma sortisi: (linye ve sorti hattı kurşunsuz antigron nev.inden mlz) normal sorti	adet
Etanş aydınlatma sortisi: (linye ve sorti hattı kurşunsuz antigron nev.inden mlz) komütatör sorti	adet
Lamba armatürleri: enkandesan, tip b1 tavan armatürü	adet
Lamba armatürleri: enkandesan, tip b2 tavan armatürü	adet
Lamba armatürleri: enkandesan, tip c porselen kaideli armatürü	adet
Lamba armatürler,: enkandesan, tip j1 asma tav. armatürü	adet
Fluoresan armatürleri: p1-1x40 watt'lık armatür	adet
Fluoresan armatürleri: p1-2x40 watt'lık armatür	adet

EK-C

Bu ekte proje tipi – ön tahmin yöntemi tablosu verilmektedir.

Tablo C.1: Proje Tiplerine Yönelik Ön Maliyet Tahmini Yöntemleri

Proje Tipleri			Ön Tahmin Yöntemleri (ÖTY)																																							
			İstatistik-Olasılık Analizine Dayalı ÖTY													Benzer Proje İle Karşılaştırma Tekniğine Dayalı ÖTY															Yapay Zekâ Tekniklerine Dayalı ÖTY											
Konut		Birim Yöntemi	Hacim Yöntemi	Alan Yöntemi	Kat Kabuğu Yöntemi	Nedensel ÖTY	Regresyon Analizine Dayalı Parametrik ÖTY	Fonksiyonel Elemanların Analizine Dayalı ÖTY	Beklenen Değer ÖTY	Range ÖTY	Varyasyon İndirgeme ÖTY	Simülasyon Analizine Dayalı ÖTY	Boyutsuz Büyüklükler ile ÖTY	Oran ÖTY	Maliyet-Kapasite Faktörleri ile ÖTY	İlk Maliyet Tahmin Yöntemi	Erken Maliyet Tahmini Y.	İlk (ön) Tahmin Yöntemi	Döşeme Alanına Dayalı Eleman Modeli ile ÖTY	RS Means m ² ÖTY	RS Means m ² Ticari Bina Modeli Yazılımı	RS Means Konut Modeli Yazılımı	RS Means Birim Maliyet Çarpanı, Toplam Maliyet Çarpanı Yöntemi	R.S.Means Çabuk Maliyet Hesaplayıcısı Yazılımı	Marshall & Swift Konutlarla İlgili ÖTY	Marshall & Swift Ticari Binalarla İlgili Yöntem	Marshall & Swift Konutlarla İlgili Tahmin Yazılımı	Marshall & Swift Ticari Binalarla İlgili Tahmin Yazılımı	SAYLOR Ticari Binalar İçin m2 Maliyeti ÖTY	SAYLORKonut Binaları İçin m2 Maliyet ÖTY	SAYLOR S.A.F.E Yazılımı	BCIS m2 Maliyet ÖTY	Esra Bostancıoğlu Konut Binaları Maliyeti Tahmin Çalışması	Y.S.A. ile ÖTY	G.A. Destekli Y.S.A. ile ÖTY	Vaka Tabanlı Gerekçeleme ile ÖTY	G.A. Destekli Vaka Tabanlı Gerekçeleme ile ÖTY	Bulanık Mantık Metodu ile ÖTY	Uzman Sistemler ile ÖTY			
		Otel, Motel, Pansiyon	Dükkan, Mağaza, Pasaj	Sinema, Tiyatro	Ulaştırma (Otogar, Metro İstasyonu, Tren Garı)	Diğer (Depo, Garaj, Düğün Salonu, Banka, Eczane vb.)	Eğitim Binaları (Okul, Yatakhane vb.)	Sağlık Binaları (Hastane, Tıp Merkezi vb.)	Sosyal Binalar (Dernekler, Bakım ve Dinlenme Evleri, Öğrenci Yurtları, Hamamlar vb.)	Spor Binaları	Resmi Daire Binaları	Fabrika	İmalathane	Tarımsal	Diğer Sanayi: Sanayi yapılar sahası dahilinde yapılan ve sanayi yapılarına yardımcı bina	Askeri Yapılar	Dini Yapılar	Diğer (Depo, Hangar, Marina vb.)	Nükleer Santral	Tünel İnşaatı	Karayolu İnşaatı	Baraj İnşaatı	Köprüler	Havalimanı																		
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X	X		X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bina İnşaatı	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X		X	X		X		X							X	X	X	X	X	X	X	
		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X			X	X		X		X						X	X	X	X	X	X	X	
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X		X	X		X		X						X	X	X	X	X	X	X	X	
		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X		X	X		X		X							X	X	X	X	X	X	X	
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X		X	X		X		X							X	X	X	X	X	X	X	
		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X		X	X		X		X						X	X	X	X	X	X	X	
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X		X	X		X		X							X	X	X	X	X	X	X	
		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X		X	X		X		X							X	X	X	X	X	X	
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X		X	X		X		X							X	X	X	X	X	X	
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X		X	X		X		X							X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X		X	X		X		X							X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X		X	X		X		X							X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X		X	X		X		X							X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X		X	X		X		X							X	X	X	X	X	X	X
	Diğer	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X																				X	X	X	X	X	X	X
			X		X	X	X	X	X	X	X																									X	X	X	X	X	X	
			X		X	X					X																									X	X	X	X	X	X	
					X	X	X	X	X	X	X				X																					X	X	X	X	X	X	
			X		X	X	X	X	X	X	X				X																					X	X	X	X	X	X	
						X					X				X																					X	X	X	X	X	X	

EK-D

Bu ekte Mike Bauer Parametrik Maliyet Tahmin Tablosu verilmektedir.

Tablo D.1: Mike Bauer Parametrik Maliyet Tahmin Tablosu

GİRDİ PARAMETRELERİ	DEĞER
Konu Açıklaması (isteğe bağlı)	
Kullanılabilir Döşeme Alanı (s.f)	
Ortalama Kat Yüksekliği (f) (döşeme üstünden döşeme üstüne)	
Döşeme Adedi	
Büro Alanının Toplam Alan İçindeki Yüzdesi	
Islak Laboratuar Alanının Toplam Alan İçindeki Yüzdesi	
Kuru Laboratuar Alanının Toplam Alan İçindeki Yüzdesi	
Isıtılan Alanların Toplam Alan İçindeki Yüzdesi	
Soğutulan Alanların Toplam Alan İçindeki Yüzdesi	
Bina Köşelerinin Sayısı	
Altyapı Mukavemet İndeksi	(0) 50 lbs/sf
	(1) 96 lbs/sf
	(2) 142 lbs/sf
	(3) 188 lbs/sf
	(4) 234 lbs/sf
	(5) 280 lbs/sf
	(6) 326 lbs/sf
	(7) 364 lbs/sf
	(8) 410 lbs/sf
	(9) 456 lbs/sf
Üstyapı Mukavemet İndeksi	(10) 500 lbs/sf
	(0) 50 lbs/sf
	(1) 96 lbs/sf
	(2) 142 lbs/sf
	(3) 188 lbs/sf
	(4) 234 lbs/sf
	(5) 280 lbs/sf
	(6) 326 lbs/sf
	(7) 364 lbs/sf
	(8) 410 lbs/sf
Dış Bitirme Kalitesi / Hizmet İndeksi	(9) 456 lbs/sf
	(10) 500 lbs/sf
	(1) Düşük Kalite / Düşük Hizmet
	(2) Ortalama Altı Kalite / Düşük Hizmet
	(3) Ortalama Kalite / Kolay Hizmet (Means)
	(4) Ortalama Üstü Kalite / Kolay Hizmet
	(5) Ortalam Üstü Kalite/Normal Hizmet
	(6) Yüksek Kalite / Normal Hizmet
	(7) Yüksek Kalite / Ağır Hizmet
	(8) Daha Yüksek Kalite / Ağır Hizmet
	(9) Daha Yüksek Kalite / Daha Ağır Hizmet
	(10) En Yüksek Kalite / En Ağır Hizmet

Tablo D.1'in Devamı

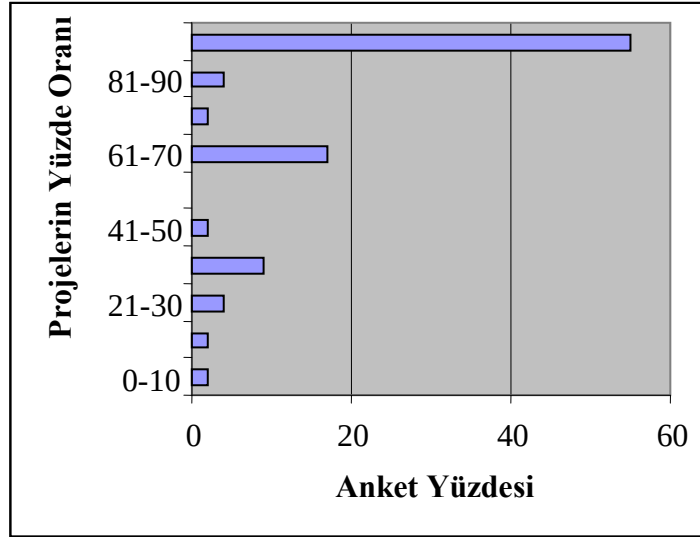
GİRDİ PARAMETRELERİ	DEĞER
İç Bitirme Kalitesi / Hizmet İndeksi	(1) Düşük Kalite/Düşük Hizmet
	(2) Ortalama Altı Kalite/Düşük Hizmet
	(3) Ortalama Kalite/Kolay Hizmet (Means)
	(4) Ortalama Üstü Kalite/Kolay Hizmet
	(5) Ortalam Üstü Kalite/Normal Hizmet
	(6) Yüksek Kalite / Normal Hizmet
	(7) Yüksek Kalite / Ağır Hizmet
	(8) Daha Yüksek Kalite / Ağır Hizmet
	(9) Daha Yüksek Kalite / Daha Ağır Hizmet
	(10) En Yüksek Kalite / En Ağır Hizmet
Mekanik Servis Kalitesi / Hizmet İndeksi	(1) Düşük Kalite/Düşük Hizmet
	(2) Ortalama Altı Kalite/Düşük Hizmet
	(3) Ortalama Kalite/Kolay Hizmet (Means)
	(4) Ortalama Üstü Kalite/Kolay Hizmet
	(5) Ortalam Üstü Kalite/Normal Hizmet
	(6) Yüksek Kalite / Normal Hizmet
	(7) Yüksek Kalite / Ağır Hizmet
	(8) Daha Yüksek Kalite / Ağır Hizmet
	(9) Daha Yüksek Kalite / Daha Ağır Hizmet
	(10) En Yüksek Kalite / En Ağır Hizmet
Elektrik Servis Kalitesi / Hizmet İndeksi	(1)Düşük Kalite/Düşük Hizmet
	(2) Ortalama Altı Kalite/Düşük Hizmet
	(3) Ortalama Kalite/Kolay Hizmet (Means)
	(4) Ortalama Üstü Kalite/Kolay Hizmet
	(5) Ortalama Üstü Kalite/Normal Hizmet
	(6) Yüksek Kalite / Normal Hizmet
	(7) Yüksek Kalite / Ağır Hizmet
	(8) Daha Yüksek Kalite / Ağır Hizmet
	(9) Daha Yüksek Kalite / Daha Ağır Hizmet
	(10) En Yüksek Kalite / En Ağır Hizmet
Eskalâsvon Faktörü (Temel 1995'te A.B.D. \$)	1.0
Bölgesel Faktörler	Köyler (Kırsal Alanlar)
	A.B.D. Ortalaması
	Büyük veya Merkez Şehir
Üretkenlik Faktörü	İyi
	Orta
	Yetersiz
	Cok yetersiz

EK-E

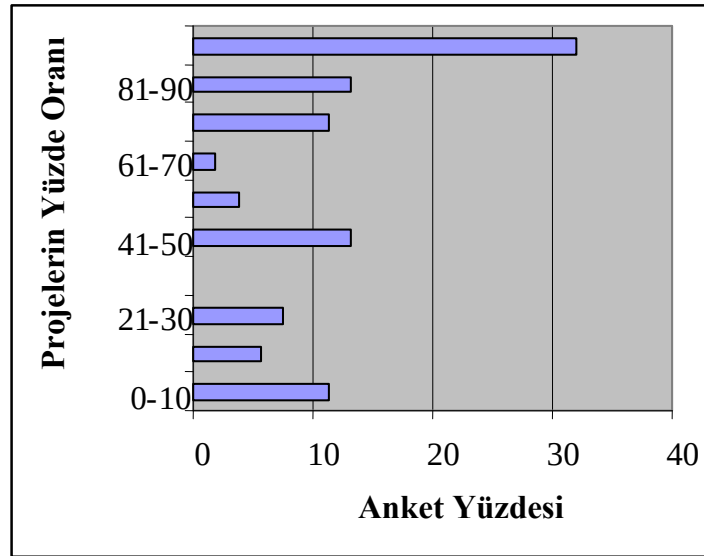
Bu ekte Türkiye’de inşaat sektöründe kullanılan ön maliyet tahmini yöntemleri ile ilgili gerçekleştirilen e-anket sonuçlarından bazıları yer almaktadır.

Tablo E.1: Ankete Katılan Firmaların Ön Maliyet Tahminin Amacı Değerlemesi

Ön Maliyet Tahminin Amacı (1-asla, 2-düşük ihtimalle, 3-belki, 4-büyük ihtimalle, 5-kesinlikle)						
	1	2	3	4	5	Cevapların Ortalaması
Malsahibine yaklaşık maliyeti belirtmek	%15 (8)	%9 (5)	%15 (8)	%17 (9)	%44 (24)	3,67
Projenin yürütülmesini kontrol etmek	%9 (5)	%11 (6)	%11 (6)	%19 (10)	%50 (27)	3,89
Projenin başarısını denetlemek	%13 (7)	%9 (5)	%19 (10)	%22 (12)	% 37 (20)	3,61
Projenin iş programını gerçekleştirmek	%9 (5)	%13 (7)	%15 (8)	% 24 (13)	%39 (21)	3,70
Teklif verilecek projeleri seçmek	%7 (4)	%9 (5)	%9 (5)	% 31 (17)	%43 (23)	3,93
Alternatif projeleri değerlendirmek	%11 (6)	%13 (7)	%28 (15)	%26 (14)	%22 (12)	3,35
Proje tahmincisinin performansını değerlendirebilmek	%26 (14)	%20 (11)	%24 (13)	%11 (6)	%19 (10)	2,76
Malsahibini değerlendirmek	%31 (17)	%13 (7)	%17 (9)	%20 (11)	%19 (10)	2,81



Şekil E.1: Büyük Çaplı Projelerde Ön Maliyet Tahmini Uygulama Yüzdesi



Şekil E.2: Küçük Çaplı Projelerde Ön Maliyet Tahmini Uygulama Yüzdesi

ÖZGEÇMİŞ

Levent Yaşar Çelik, 1979 yılında İstanbul’da doğdu. 1990 yılında Hasip Dinçsoy İlkokulu’nu, 1993 yılında Çapa Ortaokulu’nu, 1996 yılında Şehremini Lisesi’ni bitirdi. 1996 yılında girdiği İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü’nden 1998 yılında üniversite içi yatay geçişle geçtiği İTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2002 yılında mezun oldu. Aynı yıl İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.