

## Yığma Konutların Maliyet Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının (YSA) Kullanılması

Latif Onur Uğur<sup>1</sup>, Umut Naci Baykan<sup>2</sup>, Serdar Korkmaz<sup>1</sup>

### Özet

Bu çalışmada tek katlı yığma konut yapılarının inşaat maliyetlerinin Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için uygulamada sıklıkla rastlanan tipte bir yığma konut projesi dizayn edilmiştir. Bundan sonra benzer mimari özelliklere sahip ve farklı ebatlarda 21 adet proje dizayn edilmiş; her bir projenin metrajları çıkarılmış, Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyat Rayiçleri kullanılarak inşaat maliyetleri belirlenmiştir. Bu veriler esas alınarak bir YSA modeli oluşturulmuştur. Yapılan modellemede yapı dış boyutları, yapı alanı ve temel yapı karakteristikleri girdi vektörlerini oluştururken; yapı maliyet bedeli ise çıktı vektörü olarak kullanılmıştır. Bu modelleme ile elde edilen sonuçlar tablo ve şekillerle yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda esas alınan kat planına sahip tek katlı yığma konutların maliyetlerinin tahmininde oluşturulan YSA modeli ile % 5'lik hata oranı dâhilinde kabul edilebilir maliyet değerleri elde edilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Yapı maliyeti, yığma konutlar, Yapay Sinir Ağları

### Giriş

Bir inşaat projesinin maliyet, süre ve kalite açısından analizinin yapılması, planlamada karşılaşılan en önemli problemdir. Yatırım kararının alınacağı, yatırım için gerekli kaynak miktarının ve sonunda proje maliyetinin belirleneceği ön tahmin aşamasında, tahmincinin elinde detay seviyesi yüksek çizimler bulunmamaktadır. Yararlanılacak yegane bilgi, önceki projelerdeki tecrübelerle elde edilen verilerdir. İnşaat sektörünün içinde bulunduğu yoğun rekabet ortamı düşünüldüğünde, planlama ve maliyet kontrolü işiyle uğraşan teknik elemanların çözüm için kullanabileceği, hızlı ve verimli bir takım yöntemlere ihtiyaç bulunduğu açıktır.

Yapı üretim sürecinde yapım yöntemleri, yapım işlerinin zamanlaması ve yapıya ilişkin çeşitli özellikler göz önüne alınarak karar vericilerin aldığı kararların maliyete olan etkisinin tespiti ve maliyetin planlanarak kontrol edilebilmesi için yapılan araştırmalar sonucunda çeşitli maliyet modelleri geliştirilmiştir. Kullanılacak olan model yardımıyla maliyet ve maliyeti etkileyen malzeme, zaman, üretim süreci gibi faktörler kontrol altına alınabilir. Etkin bir maliyet kontrolü sağlayan bir maliyet modelinin bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Böyle bir model; kullanılacağı süreç ya da

<sup>1</sup> Ahi Evran Üniversitesi, Kaman MYO, İnşaat Programı, Kaman/Kırşehir  
Tel: (386) 712 64 49

<sup>2</sup> Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Mesleki Hizmetler Genel Ankara  
latifugur@mynet.com, 1serdarkorkmaz1984@gmail.com, 2 ubaykan@gmail.com

süreçler için uygun olmalıdır. Modele girilecek olan bilgiler doğru ve belirli bir düzeyi yakalamış olmalı, bu bilgilerin zaman faktöründen etkilenmemesi için zamanında girilmeli ve güncelliği sağlanmalıdır. Model tüm gruplarca (işveren, inşaat firması, taşeron vb.) kullanılabilir olmalıdır (Akinbingöl ve Gültekin, 2005).

Adeli ve Karim, inşaat projelerinin programlanması için genel bir matematik formülasyon sunarak bunu otoyol projelerine uygulamışlardır. Burada, tekrarlanan ve tekrarlanmayan faaliyetler, iş süreklilik kararları, çoklu-ekip stratejileri ve değişik iş koşullarının performans üzerindeki etkisi modellenmiştir. Doğrudan proje maliyetini minimize edecek bir optimizasyon formülasyonu sunularak, bu nonlineer karakterli optimizasyon problemi Adeli ve Park'a ait nöral dinamik model ile çözülmüştür. İnşaat projelerinin programlanması, maliyet optimizasyonu için Adeli ve Karim'in modeline dayalı nesne yönelimli bir bilgi modeli ortaya koyarak, bunu CONSCOM adı verilen bir prototip yazılım ile gerçekleştirmişlerdir. Mohammad ve diğerleri köprü rehabilitasyon ve yenileme projeleri arasında kullanılabilir yıllık bütçenin optimal tahsisini, Hopfield ağı kullanarak bir optimizasyon problemi olarak ele almışlardır. Williams, inşaat maliyet indekslerindeki aylık ve altı aylık değişimleri ile tahmin etmek için BP algoritmasını denemiş, ancak yapı malzemeleri, ekipmanları ve işgücü maliyetinin kesin matematik formülü yada kuralı olmayan bir çok farklı faktörden etkilenmesi nedeniyle, bu problemin BP algoritması ile çözülemeyecek kadar karmaşık bir problem olduğuna karar vermiştir. Adeli ve Wu, otoyol inşaatı maliyetlerinin çok gürültülü olduğunu ve bu gürültünün yönetici kararları, rasgele pazar değişimleri ve hava durumu gibi tahmin edilemeyen birçok faktörden ileri geldiğini göstermiştir. Kamarthi ve diğerleri tarafından şantiyede perde ve kolonlara ait düşey kalıp seçiminde; Chao ve Skibniewski ile Sönmez ve Rowings tarafından inşaat verimliliğinin tahmininde; Hegazy ve Moselhi tarafından Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki yüklenicilerden elde edilen bilgiler kullanılarak brüt kar tahmininde; Chao ve Skibniewski tarafından yeni yapım teknolojilerinin kabul edilebilirliğinin değerlendirilmesinde; Sinha ve McKim tarafından bir inşaat firmasında organizasyon etkinliğini seviyesinin ölçülmesinde BP algoritması kullanılmıştır (Adeli ve Karim, 2001).

Günaydın ve Doğan, inşaat tasarımının erken aşamalarında, proje yöneticileri ve tasarımcılar tarafından bir maliyet tahmin aracı kullanılması ihtiyacına işaret ederek; dört ila sekiz katlı 30 adet konuta ait verilerin öğretildiği bir BP ağının, maliyeti %93 doğrulukla tahmin edebileceğini ortaya koymuştur (Günaydın ve Doğan, 2004).

Kim ve diğerleri tarafından uygun maliyet tahmininin inşaat projeleri için anahtar faktör olduğu belirtilerek, 530 adet geçmiş maliyet verisi YSA, çoklu regresyon analizi ve olay tabanlı muhakeme tekniği kullanılarak değerlendirilmiş ve YSA yaklaşımının diğer iki yaklaşıma göre daha doğru tahmin yeteneği olsa da açıklama kabiliyetinin bulunmadığı, dolayısıyla uzun vadede olay tabanlı muhakeme tekniğinin daha iyi sonuç vereceğinin altı çizilmiştir (Kim ve arkadaşları, 2004).

Chua ve diğerleri, bir projede bütçe performansını etkileyen 8 adet anahtar faktörü ele alarak bu faktörlere ait verileri öğrenen ağın yapılan testlerde %90 oranında başarılı

olduğunu göstermiş ve bu modelin proje takımı tarafından iyi bütçe performansı elde etmek için yönetim faktörleri ve stratejisi belirlemelerine yardımcı olmakta kullanılabileceğini ortaya koymuştur (Chua ve arkadaşları, 1997).

Uğur, Yapay Sinir Ağı ile tahmin edilmesi amacıyla; betonarme taşıyıcı sistemli ve benzer nitelikteki çok katlı toplu konut projelerinin inşaat maliyetlerini hesaplamış ve mevcut verilerden yararlanarak oluşturduğu çok katmanlı, geri beslemeli, danışmanlı öğrenme özelliklerindeki YSA' ya veri olarak girmiştir. Bu yapıların projelerinden hesapladığı; yapı yükseklikleri, tip katlardaki daire sayıları, tip kat alanları, kat yükseklikleri, toplam kat sayıları, kat yükseklikleri, cephe alanları, cephe boşluğu alanları ve ortalama daire alanlarını ağ mimarisinde ana değerlendirme kriterleri olarak alınmıştır. Ağa hesaplattığı maliyet tahminlerini, Birim Fiyat Yöntemi ve Regresyon Analizi ile yapılan maliyet hesaplamaları ile karşılaştırmış ve uygulanan YSA yönteminin sağladığı performansı değerlendirmiştir. Elde ettiği bulgulara göre YSA' dan sağlanan veriler, Regresyon Analizi verilerine göre gerçeğe daha yakın ve uygulanabilir sonuçlar sağlamıştır (Uğur, 2007).

Yapay zekâ, insanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanır. Yani programlanmış bir bilgisayarın düşünme girişimidir. Daha geniş bir tanıma göre ise, yapay zekâ; bilgi edinme, algılama, görme, düşünme ve karar verme gibi insan zekâsına özgü kapasitelerle donatılmış bilgisayarlardır.

Yapay zekânın bir alt kolu olan Yapay Sinir Ağları (YSA) genel anlamda, beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle ya da bilgisayarlarda yazılım olarak gerçekleştirilebilir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak YSA, bir öğrenme sürecinden sonra; bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip, paralel dağılımı bir işlemcidir. Öğrenme süreci, arzu edilen amaca ulaşmak için YSA ağırlıklarının yenilenmesini sağlayan öğrenme algoritmalarını içerir.

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. YSA günümüzde birçok probleme çözüm üretebilecek yeteneğe sahiptir. Biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri olduğu gibi YSA' nın da yapay sinir hücreleri vardır (Terzi ve Kardeşahin, 2004).

Yapay bir sinir hücresi girdiler ( $X_n$ ), ağırlıklar ( $W_n$ ), toplam fonksiyonu ( $\Sigma$ ), aktivasyon fonksiyonu  $F(\Sigma)$  ve çıktı ( $y$ ) olmak üzere beş ana kısımdan oluşur (Kızılkın ve arkadaşları, 2006; Tsoukalas ve Uhrig, 1997).

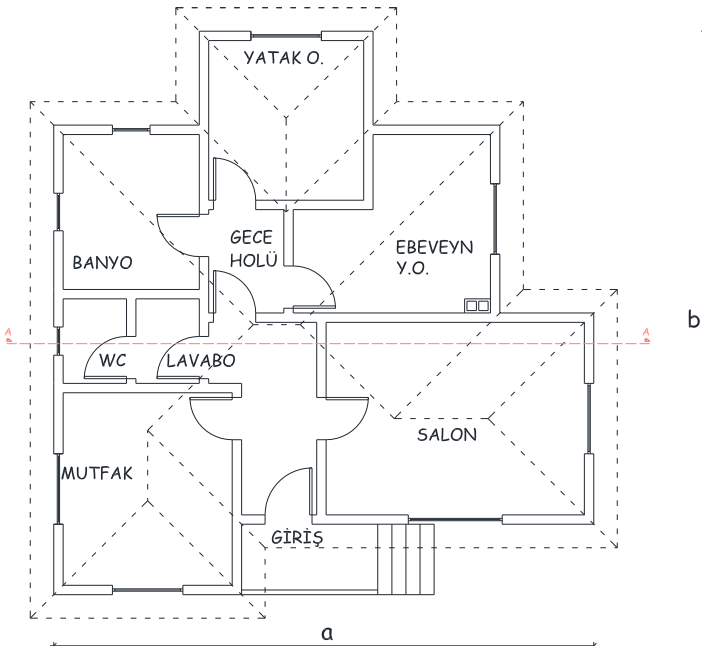
Girdiler, diğer hücrelerden ya da dış ortamlardan hücreye giren bilgilerdir. Bunlar ağırlık öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir. Ağırlıklar, girdi seti veya kendinden önceki bir tabakadaki başka bir işlem elemanının bu işlem elemanı üzerindeki etkisini

ifade eden değerlerdir. Toplam fonksiyonu girdiler ve ağırlıkların tamamının bu işlem elemanına etkisini hesaplayan bir fonksiyondur. Bu fonksiyon bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Aktivasyon fonksiyonu ise toplam fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemde geçirerek hücre çıktısını belirleyen bir fonksiyondur. Genel olarak çok tabakalı algılayıcı modelinde aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır (Saltan ve Terzi, 2007).

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağını oluştururlar. Sinir hücrelerinin bir araya gelmesi rastgele olmaz. Genel olarak hücreler 3 katman halinde ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelerek ağı oluştururlar. Bu katmanlar; Girdi Katmanı, Ara Katmanlar (Gizli Katman) ve Çıktı Katmanı'dır (Saltan ve Terzi, 2007).

## Yöntem

Bu çalışmada yığma konutların maliyetlerinin tahmininde yapay sinir ağları kullanılarak daha az hesaplama ve daha kısa süre içinde gerçek değerlere en yakın maliyet tahminleri yapılabilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak iki oda, bir salon, bir mutfak, bir banyo, bir tuvalet ve ara holünden oluşan tek katlı bir yığma yapı örneği dizayn edilmiştir. Dizayn edilen bu projedeki yapının eni, boyu ve yüksekliğine farklı değerler verilerek (en 10m-16m, 10m-17,6m ve yükseklik 2,6m-3,2m arasında) 24 farklı konut projesi üretilmiştir. Dizayn edilen konut projesinin örneği Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Dizayn edilen konut projesi

Üretilen her proje için Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyat Tarif ve Analizleri esas alınarak her yapı projesi için metraj ve keşif hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalara esas teşkil eden kalemler ilgili poz numaraları ile birlikte aşağıda listelenmiştir:

- Islak hacimler (banyo, wc, lavabo, mutfak) için 2,5 cm kalınlığında 500 dozlu şap yapılması (Poz no: 27.585),
- Islak hacimler dışındaki yaşam alanları için 4 cm kalınlığında 500 dozlu şap yapılması (Poz no: 27.586),
- Düzey delikli tuğla ile taşıyıcı duvar (bina iç ve dış duvarların) yapılması (Poz no: 18.0813)
- Kapı ve pencere üstlerine basınç dayanımı C16/20 olan betonarme betonu ile lento yapılması (Poz no: 16.0352),
- Kapı ve pencere üstü lentolarına ahşaptan seri kalıp yapılması (Poz no: 21.001),
- Yatay delikli tuğla ile korkuluk duvarı yapılması (18.0711),
- 250/400 dozlu harçla dış duvarlara sıva yapılması (Poz no: 27.503),
- Kireç-çimento karışımı harçla dış cephe tavan sıvası yapılması (Poz no: 27.53501),
- Bina iç duvarlarına kireç harçlı düz sıva yapılması (Poz no: 27.511),
- Kireç-çimento karışımı harçla bina içi tavan sıvası yapılması (Poz no: 27.53501),
- Bina iç duvarlarına alçı sıva yapılması (Poz no: 27.525),
- Badanasız, sıvanmış dış cephe duvar yüzeylerine iki kat yağlı boya yapılması (Poz no: 25.0201),
- Badanasız, sıvanmış dış cephe tavan yüzeylerine iki kat yağlı boya yapılması (Poz no: 25.0201),
- Bina iç duvarlarında saten alçılı yüzeylere iki kat plastik badana yapılması (Poz no: 25.0482),
- Bina içi tavan yüzeylerine üç kat kireç badana yapılması (Poz no: 25.049),
- Bina içi ıslak hacimlerinde (wc, mutfak, lavabo, banyo) her renkte 150x150 mm' lik karo seramik ile kaplama yapılması (26.121),
- Bina ıslak hacimleri dışındaki yaşam alanlarında beton zemin üzerine latalı 16 mm 1. sınıf meşe parke yapılması (Poz no: 21.286),
- Parke kaplama yapılan bina içi yaşam alanlarında ahşap süpürgelik yapılması (Poz no: 21.281),
- 1. sınıf çam kerestesinden pencere yapılması (Poz no: 22.0511),
- 1. sınıf çam kerestesinden pencere kanadı yapılması (Poz no: 22.0510),

- Ahşap doğrama imalatına uygun 12 mm ara boşluklu (4+4 mm) cam tespiti (Poz no: 28.087),
- Pencere imalatlarına ait madeni aksamların tespiti (Poz no: Özel1),
- Bina içi ahşap kapılarına lamine levha kaplamalı masif kasa ve pervaz yapılması (Poz no: 22.0011),
- Bina içi ahşap kapılara 1.sınıf çam kereste lamine levha kaplamalı kapı kanadı yapılması (Poz no: 22.00931),
- Giriş (bina dış) kapısına 1. sınıf çam kereste masif kapı kasa yapılması (Poz no: 22.002),
- Giriş (bina dış) kapısına 1. sınıf çam kereste masif tablalı kapı kanadı yapılması (Poz no: 22.011),
- Kapı imalatlarına ait madeni aksamların tespiti (Poz no: Özel2),
- Banyo, wc, lavabo ve giriş kapısına beyaz mermerden kapı eşiği yapılması (Poz no: 26.2074),
- 3 cm beyaz mermer plaklar ile dış denizlik yapılması (Poz no: 26.7011),
- 3 cm beyaz mermer plaklar ile parapet yapılması (Poz no: 26.7511),
- Giriş sahanlığına 3 cm kalınlıkla beyaz mermer ile döşeme kaplaması yapılması (Poz no: 26.2021),
- Beyaz mermer plaklar ile merdiven basamaklarında kaplama yapılması (Poz no: 26.6211),
- Çatı örtüsü altı tahta kaplamalı ahşap oturtma çatı yapılması (Poz no: 21.210),
- Beton (döşeme) yüzeyi üzerine 1.50 mm PVC esaslı jeomembran yapılması (Poz no: 18.4681),
- Beton (döşeme) yüzeyi üzerine 5 cm kalınlıkta cam yünü ile ısı yalıtımı yapılması (Poz no: 19.0495),
- Mahya kiremiti ile mahya yapılması (Poz no: 18.2123),
- Oluklu kiremit ile çatı örtüsü yapılması (Poz no: 18.211),
- 14 no' lu çinko levha ile eğimli çatı deresi yapılması (Poz no: 24.016),
- 0.50 mm bakır levha ile baca kenarı yapılması (Poz no: 24.057),
- Çeşitli demir işleri (giriş merdiveni için korkuluk) yapılması (Poz no: 23.176),
- Demir imalata (giriş merdiveni için korkuluk) iki kat antipas iki kat sentetik boya (Poz no: 25.0161) yapılmasıdır.

Yukarıdaki 41 adet maliyet kaleminin ayrı ayrı hesaplanması yerine yalnızca; en, boy, yükseklik, brüt kat alanı, brüt yapı hacmi, duvar, sıva, boya, şap, parke, fayans ve çatı kaplama kalemlerinin bulunduğu 17 inşaat ve maliyet unsuru esas alınarak bir yapay sinir ağı modellemesi yapılmıştır. Burada sıralanan kalemler girdi vektörlerini,

Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyatları kullanarak hesaplanan yapı maliyeti değerleri de çıktı vektörünü oluşturmak üzere; geri yayımlı öğretim algoritması, ileri benzemeli ve iki gizli katmanı olan bir YSA modeli oluşturulmuştur. Üzerinde çalışılan projelerden 21 tanesine ait veriler YSA' nın öğrenmesi için kullanılmış, 3 projeye ait veriler ise test grubu olarak ayrılmıştır. Aşağıdaki Tablo 1 ve Tablo 2' de öğretim ve test grubu elemanları verilmiştir;

Tablo 1. Öğretim grubu verileri

EN	BOY	H	M <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	SAP (2,5 CM 500 DOZLU)	SAP (4 CM 500 DOZLU)	DUVAR (M3)	DIŞ SIVA (DUVAR)	DIŞ SIVA (TAVAN)	İÇ SIVA DUVAR	İÇ SIVA TAVAN	DIŞ BOYA	İÇ BOYA	PARKE KAPLAMA	FAYANS KAPLAMA	ÇATI KAPLAMA	TOPLAM	
1	10	10	2,6	100	260	26,97	28,35	92,52	29,75	216,79	74,84	122,27	291,63	49,07	60,67	122,42	35,051 TL	
2	10,2	10,2	2,7	104,04	280,908	27,35	44,20	158,01	31,32	241,72	68,89	189,33	310,61	43,56	69,71	126,54	33,200 TL	
3	10,4	10,4	2,8	108,16	302,848	19,93	48,05	139,12	29,31	223,09	68,61	168,43	291,70	48,26	56,76	114,59	35,038 TL	
4	11,6	11,6	3	134,56	403,68	29,87	70,33	172,74	34,56	218,92	96,14	207,30	315,06	65,32	70,95	120,12	30,682 TL	
5	12	12	2,8	144	403,2	29,87	61,82	257,48	33,15	247,80	87,19	290,63	334,99	58,52	70,95	132,35	32,660 TL	
6	12,6	12,6	2,7	158,76	428,652	29,87	64,21	162,54	34,51	242,94	93,68	197,05	336,62	65,00	70,95	133,98	33,543 TL	
7	12,8	12,8	2,8	163,84	468,752	59,82	76,30	122,97	33,84	346,25	122,66	156,61	468,91	83,41	90,28	127,65	52,012 TL	
8	13	13	2,9	169	490,1	54,51	92,48	136,52	33,90	422,37	141,28	170,42	563,65	104,60	92,61	127,65	46,973 TL	
9	13,2	13,2	3	174,24	522,72	29,87	68,65	176,94	35,32	284,84	98,12	212,26	382,96	58,52	70,97	132,77	32,488 TL	
10	13,4	13,4	3,1	179,56	556,636	29,87	77,63	37,74	35,63	249,74	96,68	73,37	346,42	65,00	75,82	168,14	43,340 TL	
11	13,6	13,6	3,2	184,96	591,872	23,93	56,05	155,38	31,26	278,35	88,57	186,64	366,92	58,44	64,78	123,78	39,051 TL	
12	14	14	3	196	588	42,56	88,79	189,70	56,50	269,96	116,20	246,20	386,16	79,66	80,33	142,50	33,167 TL	
13	15	15	2,7	225	607,5	29,87	84,31	41,07	226,66	37,20	157,40	110,33	263,86	267,73	58,52	133,98	40,797 TL	
14	16	16	3,2	256	819,2	56,03	92,03	52,07	246,25	45,50	361,58	131,18	291,75	492,76	74,34	115,86	224,90	56,592 TL
15	16,4	16,4	3	246	738	57,07	84,57	49,40	191,10	48,15	267,46	125,81	239,25	393,29	72,99	119,53	208,84	50,200 TL
16	14,5	16,6	2,9	240,7	698,03	57,07	83,18	49,23	216,07	43,04	337,72	116,40	259,11	454,12	71,49	88,71	195,04	47,579 TL
17	14	16,8	2,8	235,2	658,56	53,43	112,29	47,37	207,74	42,72	347,27	168,90	250,46	516,17	111,25	110,84	156,29	61,599 TL
18	12	17,6	2,8	211,2	591,36	41,07	103,83	42,57	199,34	33,15	326,50	142,35	232,49	468,85	102,18	92,91	139,48	46,277 TL
19	10,5	17	3,1	178,5	553,35	39,09	71,17	43,15	226,64	37,70	299,31	110,81	264,34	410,12	72,96	83,22	131,46	46,768 TL
20	10	16	3,2	160	512	29,87	57,72	41,54	236,01	33,75	288,52	84,38	269,76	372,90	55,67	70,95	133,98	40,679 TL
21	10	15	3,2	150	480	30,95	64,88	44,18	185,61	35,75	315,99	97,93	221,36	413,92	68,18	61,48	148,47	45,571 TL

Tablo 2. Test grubu verileri.

EN	BOY	H	M <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	SAP (2,5 CM 500 DOZLU)	SAP (4 CM 500 DOZLU)	DUVAR (M3)	DIŞ SIVA (DUVAR)	DIŞ SIVA (TAVAN)	İÇ SIVA (DUVAR)	İÇ SIVA TAVAN	DIŞ BOYA	İÇ BOYA	PARKE KAPLAMA	FAYANS KAPLAMA	ÇATI KAPLAMA	TOPLAM
1	10,6	10,6	2,9	112,4	325,8	29,9	49,4	143,2	29,4	243,1	78,9	172,6	322,0	50,2	71,0	134,0	37,745 TL
2	11	18	3	198	584	36,3	97,9	220,1	41,1	326,6	135,2	261,1	461,8	103,6	94,3	176,5	48,722 TL
3	11	11	3,1	121	375,1	29,9	52,4	159,3	33,2	270,4	81,8	192,5	362,2	53,2	74,7	117,7	30,526 TL



Bu çalışmada kullanılan algoritma varyantları ölçekli birleşik değişim (SCG), Pola Ribier ve birleşik değişim (CGP) ve Levenberg-Marquard /LM'dir. Girdi ve çıktılar (-1,1) arasında normalize edilmiştir. Girdi katmanlarındaki nöronların transfer fonksiyonu bulunmamaktadır. Kullanılan transfer fonksiyonu Maadderal Sigmoid (logsig) transfer fonksiyonu  $f(z)$  olup ikinci girdinin ağırlıklı toplamıdır.

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (1)$$

17 girdi vektörü ve bir çıktı vektöründen oluşan verilerin öğrenme işleminin en uygun biçimde gerçekleştirilebilmesi için yapılan denemeler sonucunda öğrenme katsayısı 0.2, momentum katsayısı 0.5 ve hesaplamayı durduracak olan kabul edilebilir minimum hata düzeyi RMSE=0.01 değerleri yapılan modelleme için en uygun sonuçları vermiştir. YSA analizinde, çalışmanın amacına uygunluğu, kullanım kolaylığı ve sonuçların gösterimi açısından en uygun yazılımlardan biri olan, *CPC-X NeuralPower* paket programı kullanılmıştır.

Yapılan denemeler sonucunda 74.362 iterasyonun ardından oluşturulan YSA modelinin öğrenme işlemi tamamlanmıştır. Daha önce ayrılan test grubu vektörleri YSA' ya girilerek bu yapılar için maliyet tahmini hesabı yaptırılmıştır. Söz konusu üç yapının Birim Fiyat esaslı gerçek maliyetleri, YSA modeli ile elde edilen tahmini maliyetleri her iki yolla ulaşılan maliyetler arasındaki farklar ve her yapı için gerçek maliyet-tahmin edilen maliyet hata oranları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

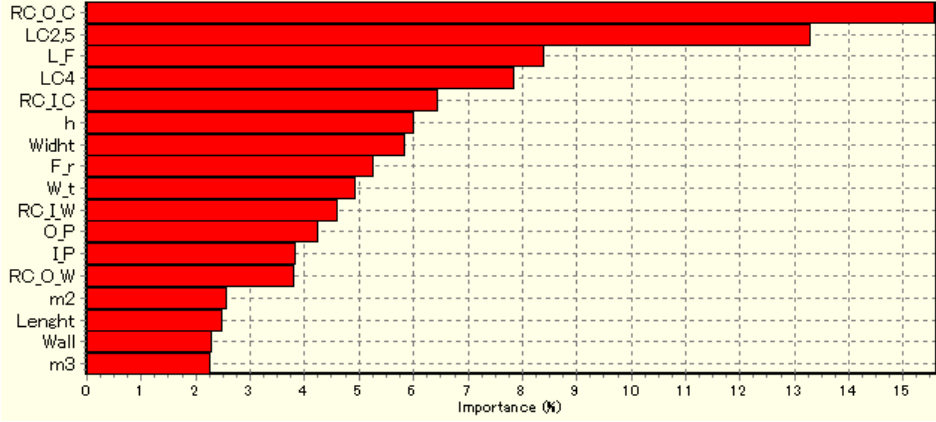
**Tablo 3. Test grubu verileri ve YSA ile elde edilen yapı maliyeti değerleri ve hata oranları**

Test Grubu (TL)	YSA Tahmin Değerleri (TL)	Hata Oranı (%)
37745	32929,44	14,62
48722	49451,06	1,48
30526	30071,363	1,51

Elde edilen verilere göre yapılan her üç tahminin hatalarının ortalama değeri % 5,87 olarak hesaplanmıştır. Bunun anlamı yapılan modellemenin % 6' dan daha düşük bir hata payı ile maliyet tahmini yaptığıdır. Söz konusu tipteki bir yapının toplam maliyeti göz önüne alındığında bu hata oranı ile yapılan tahminlerin kabul edilebilir limitler içinde olduğu düşünülmektedir.

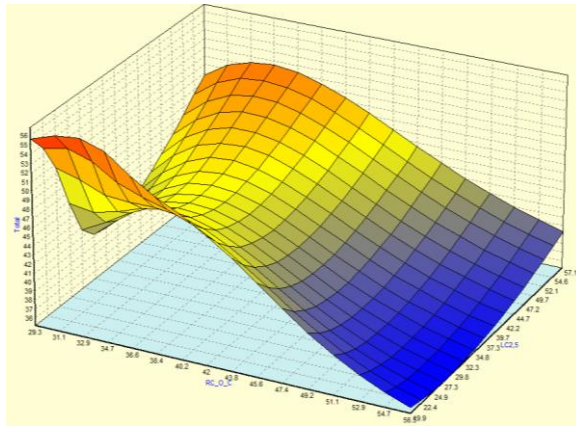
Yapılan modellemede girdi vektörü bileşenleri parametrelerinin öğrenme işlemi sonucunda yapı maliyeti değerine katkılarının oransal ifadeleri Şekil 1' de gösterilmiştir. Bu verilere göre maliyet hesabına etkime oranları sırası ile; Dış sıra

tavan (saçak altı sıvası) %15,65, şap 2,5 cm dozlu % 13,25, parke kaplama % 8,45, şap 4 cm dozlu % 7,9, iç sıva tavan % 6,5, yükseklik % 6, en % 5,9, çatı kaplama % 5,25, fayans kaplama % 4,9, iç sıva duvar % 4,7, dış boya % 4,25, iç boya % 3,8, dış sıva duvar %3,75, m<sup>2</sup> % 2,65, boy % 2,5, duvar % 2,3 ve m<sup>3</sup> % 2,25 değerlerinde olduğu görülmektedir.



**Şekil 1.** YSA önemlilik analizi

Yapılan YSA modellemesi sonucu yapı maliyetine en çok etkileyen iki parametre (Dış sıva tavan ve şap 2,5 cm dozlu) ile toplam maliyet arasındaki ilişki Şekil 2’de verilmiştir.



**Şekil 2.** En önemli görünen iki parametre ile total maliyet arasındaki ilişki

## Değerlendirme

Dizayn edilmiş bir yığma konut projesi esas alınarak farklı ebatlardaki benzer yapıların inşaat maliyetlerinin tahmin edilebilmesinde Yapay Sinir Ağları kullanılması orijinal bu çalışma kapsamında aşağıda ifade edilen değerlendirmeler yapılabilir:

- Yapay Sinir Ağı yönteminin uygulamasında örnek/veri miktarı ne kadar fazla olursa yapılacak modellemenin niteliği aynı derecede artacaktır. Bu çalışmada kullanılan örnekleme sayısı belli bir limit değerinde olup daha fazla örnek sayısı ile başka çalışmaların yapılması daha nitelikli sonuçlara ulaşılmasında fayda sağlayacaktır.
- Tasarlanmış bir tip yığma konut projesinin en, boy ve yükseklik değerleri değiştirilerek oluşturulan projelerin maliyete etkiyen bazı bileşenlerinin metraj değerleri YSA'ya öğretildikten sonra öğrenme grubundan farklı yığma konut projesi değerleri modele veri olarak girildiğinde %5,87' lik bir hata payı ile maliyet tahmini elde etmek mümkün olmaktadır.
- Farklı taşıyıcı sistem ve ebatlara sahip yapıların maliyetlerinin tahmin edilmesinde YSA yönteminden faydalanılabilir.
- Yapılan modellemede girdi vektörü bileşenlerinden dış sıva tavan (saçak altı sıvası) ve 2,5 cm kalınlığında şap dökülmesi faaliyetlerinin projelendirilen yığma konutların maliyetlerinde en önemli parametreler olduğu belirlenmiştir. Bu; saçak altı imalatı sırasında teşkil edilecek iskele maliyetinin yüksek olması ve ıslak mahaller dışındaki tüm zeminlerde (plandaki en büyük toplam alan) 2,5 cm kalınlığında şap kullanılması ile açıklanabilir.
- Yapı maliyeti tahmin edilmesi sürecinde YSA yaklaşımı diğer maliyet tahmini yöntemleri ile birlikte kullanılabilir.

## Kaynaklar

- Akınbingöl, M., Gültekin, A. T., (2005) Bina Üretimi Yapım Evresinde Maliyet Planlama ve Denetimine Yönelik Bir Maliyet Yönetim Modeli Önerisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20 (4): 499-505.
- Adeli H. ve Karim A., (2001) Construction Scheduling, Cost Optimization and Management, Spon Pres, London, 7-12.
- Chua, D.,K.,H., Kog, Y.,C., Jaselskis, E.,J., (1997) Model for Construction Budget Performance-Neural Network Approach, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 123 (3): 214-222.

- Günaydın H., M., ve Doğan Z.,S., (2004) A Neural Network Approach For Early Cost Estimation Of Structural Systems Of Buildings, International Journal of Project Management, 22: 595–602.
- Kızılkınan Ö., Şencan A., Yakut A.K., (2006) R410a Soğutucu Akışkanının Termodinamik Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Metoduyla Modellenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 21, No 2, 395-400.
- 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.
- Saltan M., Terzi S. (2007). Modeling Deflection Basin Using Artificial Neural Networks With Cross-Validation Technique in Backcalculating Flexible Pavement Layer Moduli, Advances in Engineering Software.
- Terzi S., Kardeş M. (2004). “Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Esnek Üstyapı Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi”. 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s. 344-357, Ankara.
- Tsoukalas, L.H., Uhrig, R.E., (1997) Fuzzy and Neural Approaches In Engineering”. John Wiley&Sons Inc, p. 587.
- Uğur L. O., “Yapı Maliyetinin Yapay Sinir Ağı İle Analizi”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, (2007)