

Üst Yapı Projelerde, Maliyet Tahmin Çalışmalarında, Belirsizliklerin Yapay Zeka Teknikleriyle Analizi

Ömer Bisen¹, S. Ümit Dikmen²

Özet

İnşaat projelerinin farklı aşamalarında yapılan bütçe çalışmalarında, maliyet tahmin zorlukları dolayısıyla, satış tutarı ve karlılık analizleri gerçekçi hesaplanamamaktadır. Bu zorluklar, proje karakteristik özelliklerinden kaynaklandığı gibi, kontrol dışı bilgi eksikliğinden, bilgilerin değerlendirilmesindeki subjektif yorumlardan, maliyet analiz çalışmalarında, direkt ve endirekt maliyet ayırım hatalarından ve proje risklerinin tam olarak öngörülememesinden kaynaklanabilmektedir. Maliyet tahmin ve tasnifinde kullanılan muhtelif yöntemler bulunmaktadır. Ancak bu yöntemler belirtilen zorlukların aşılmasında yeterli olmamaktadır. Bu makale ile bütçe çalışmalarında, proje karakteristik özelliklerinden kaynaklanan belirsizliklerin aşılmasında, yapay zeka metodlarının kullanılabilirliği tetkik edilecektir.

Anahtar kelimeler: Yapay Zeka Metotları, Proje Karakteristik Özellikleri

Giriş

İnşaat projelerinin teklif ve bütçe çalışmalarında, bir takım belirsizliklerden ötürü, projenin farklı aşamalarında yapılan bütçe tahminleri belirli oranlarda hatalar içerebilmektedir.

Hesaplanamayan bu maliyetler için “öngörülme-yen maliyetler” veya “risk maliyeti” olarak, genellikle tecrübelerden hareketle, proje bazında farklı ve genellikle proje tutarının belirli bir oranı nispetinde bir tutar tespit edilerek bütçeye ilave edilmektedir.

Bu belirsizlikler projenin karakteristik özelliklerinden kaynaklanabildiği gibi, yüklenici firmaların teknik, finansal, organizasyonel ve ticari kabiliyetlerinin tam ve doğru değerlendirilememesinden, direkt ve endirekt maliyetlerinin yeterli analiz edilmemesinden, hatalı maliyet tahmin yönteminin seçilmesinden, direkt ve endirekt maliyetlerin ayrıştırılamamasından ve mevcut bilgilerin değerlendirilmesindeki yanlışlıklardan da kaynaklanabilmektedir.

¹ BİSEN Uluslararası Müşavirlik ve Mühendislik, Divanyolu cad., Oğul han No:62/3 Sultanahmet, Fatih, 34110, İstanbul Tel: (212) 511 48 04, obisen@bisenconsulting.com

² İstanbul Kültür Üniversitesi - İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bakırköy, 34156, İstanbul Tel: (212) 498 471, udikmen@iku.edu.tr

Projedeki belirsizlikler ve hesaplanacak bütçe tutarı, projenin karakteristik özellikleri ile beraber, projede yer alan taraflara ve projenin aşamasına göre farklılık göstermekte ve farklı metotlarla analiz edilebilmektedir.

Proje döngüsü içerisinde yer alan ve her projede değişkenlik gösteren, işveren, finansör, yatırımcı, sponsor, ana yüklenici, alt yükleniciler, tedarikçiler, tasarımcı ve müşavir gibi taraflar yer almaktadır. Tarafların bu karakteristik özelliklerindeki belirsizlikler, projenin farklı aşamalarında maliyet tahmin çalışmalarını güçleştirmektedir.



Şekil 1. Proje Tarafları

Teklif aşamasında kullanılan maliyet tahmin yöntemi ile, planlama veya projenin uygulama aşamasında kullanılan maliyet tahmin yöntemi farklı olabilir. Projenin başlangıç aşamasında belirsizlikler çok fazla ve m^2 , m^3 veya yapay zeka metotlarından hareketle maliyet tahmininde bulunulabilirken, planlama ve uygulama aşamasında birim fiyat analizi yöntemi kullanılabilir. Başlangıç aşamasında, projenin sadece m^2 veya kapasitesine ait bilgilerin belli olup, sözleşme tipi, proje süresi, nakit durumu, ihale koşullarına ilişkin ön yeterlilik ve ihale tipi gibi bilgilerin belli olmadığı bir aşamada birim maliyet analizlerinin yapılması çok güçtür. Dolayısıyla projenin başlangıç aşamasındaki belirsizlikler nispetinde risk maliyeti de yüksek hesaplanmaktadır.

Projenin maliyet analizleri genellikle iki başlık altında hesaplanmaktadır. Direkt (imalat maliyeti, productive maliyet) ve endirekt (genel gider, unproductive) maliyetler. Yapı elemanlarının üretiminde direkt girdi olan kaynaklar direkt maliyetleri, birden fazla veya tüm yapı elemanlarının üretimine etkileyen maliyetler endirekt maliyetleri oluşturmaktadır. Direkt maliyetler temel kaynak olarak adlandırılan malzeme, işçilik, makine ekipman ve taşerondan meydana gelmektedir. Endirekt maliyetler ise,

mobilizasyon makine ekipman, şantiye işletme gideri, finansal giderler ve diğer genel giderler olarak tariflenmektedir. 14 farklı firmada yapılan genel gider hesapları incelenmiş, yapılan endirekt maliyet hesabı neticesinde bu hesaplamanın ne denli güç olduğu sonucuna ulaşılmıştır. (James 2002). “İnderect Cost Categorization and Allocation By Construction Contractors” isimli çalışmada ise, endirekt maliyetlerin tespit ve hesabına yönelik 44 farklı müteahhit ile yapılan anket çalışmasında, maliyetlerin kategorize edilişi hususunda farklılıkların olduğu, %31 oranında genel giderlerin detaylı analiz edilemediği, %56,3 oranında, yıllık bazda irdelendiği sonucuna ulaşılmıştır (Holland, Hobson, 1999).

Maliyet tahmin çalışmalarında belirsizliklerden dolayı bütçeye eklenen edirekt maliyetler genellikle risk değerlendirmeleriyle beraber ele alınmıştır. ((Smith, Bohn, 1999), (Moselhi, 1997)) Doğru ve gerçekçi bir bütçenin oluşturulabilmesi, belirsizliklerin doğru tahmin edilebilmesi ve yukarıda özetlenen direkt ve endirekt maliyetlerin tek tek detaylı olarak analiz edilmesine bağlıdır. Zaman zaman çok ciddi rakamlara ulaşan risk maliyetlerinin de üçüncü bir başlık altında ele alınıp analiz edilmesi gerekir.

Proje karakteristik özelliklerindeki belirsizliklere, direkt ve endirekt maliyet analizlerinin ayrıştırılmasındaki, özellikle endirekt maliyetlere giren, işgücü ve amortisman hesabı gibi kaynakların hesaplanması ve direkt endirekt maliyetlerin ayrıştırılmasındaki güçlükler de ilave edilince, maliyet tahmin çalışmaları zorlaşmaktadır.

Ayrıca projeye ilişkin elde edilen bilgilerin yorumlanmasında farklı deneyim düzeyine sahip yönetici ve teknik personel bir birine zıt değerlendirmelerde bulunabilmektedir. Bilgi birikimi doğrultusunda yapılan bu değerlendirmelerin, proje belirsizliklerine bu değerlendirme hataları da eklenince, abartılı veya eksik bütçelerin hesaplanmasına neden olmaktadır.

Proje Karakteristik Özellikleri

Proje karakteristik özelliklerine, projeye dahil olan taraflar açısından ayrı ayrı bakmak gerekir. İşveren'in büyüklüğü, finansal yapısı, organizasyonel alt yapısı gibi hususlar işveren karakteristik özelliklerini yansıtmaktadır. Yüklenici karakteristik özellikleri ise kurumsal, finansal, ticari ve organizasyonel olarak özetlenebilir. Bunun gibi tüm proje taraflarının karakteristik özellikleri farklı farklıdır. Bu çalışmada, işveren, tasarımcı, müşavir ve tedarikçiler kapsam dışında tutularak, yüklenici bakış açısıyla proje karakteristik özellikleri irdelenmiştir.

Proje karakteristik özellikleri ise projenin tipi, parasal boyutu, süresi, teknolojik gereklilikleri, ihale koşulları, yapım metotları, dökümanların niteliği gibi kriterlerden meydana gelmektedir. Projeye ilişkin karakteristik özelliklerin belirsizliği, projenin maliyet hesaplamalarını doğrudan etkilemektedir.

Proje karakteristik özellikleri zaman, maliyet, sözleşme koşulları, proje dokümantasyonu ve diğer olmak üzere 5 başlık altında Tablo 1’de görüldüğü gibi gruplanmış, aynı zamanda bu gruplar modelde input olarak kullanılmıştır.

Tablo 1. Proje Karakteristik Özellikleri

GRUP	GRUP KODU	AÇIKLAMA
ZAMAN	ZMN	Proje Süresi
SÖZLEŞME	SZL	Sözleşme Koşulları
SÖZLEŞME	SZL	Sözleşme Tipi
MALİYET	MLY	Projenin Ciro
MALİYET	MLY	Benzer Projelerdeki Kar Marjı
MALİYET	MLY	Teminat Talepleri
DOKÜMANTASYON	DKM	Tasarım Kalitesi
DOKÜMANTASYON	DKM	Keşif Detay Seviyesi ve Niteliği
DOKÜMANTASYON	DKM	Teknik ve İdari Şartnamelerin Durumu
DİĞER	DGR	Coğrafi Koşullar
DİĞER	DGR	Lojistik Koşulları
DİĞER	DGR	Teknolojik Gereklilikler
DİĞER	DGR	Nitelikli Kaynak İhtiyacı

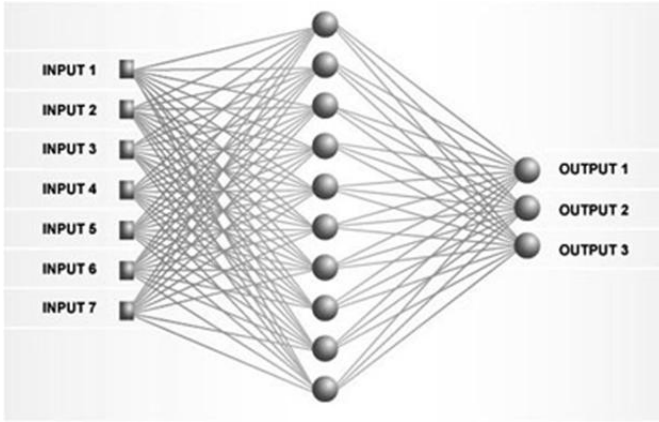
Yapay Zeka Metotları

Yapay zekâ metotları, ağırlıklı olarak geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısında, insan beyni üzerinde yapılmış olan araştırmalara paralel olarak insan beyninin çalışma prensipleri üzerine geliştirilmiş yöntemlerdir. Bu çerçevede, uzman sistemler (US), bulanık mantık (BM), genetik algoritma (GA) ve yapay sinir ağları (YSA) gibi yapay zekâ alt dalları gelişmiştir. (Elmas, 2007). Bu yöntemler 1980’lerin ikinci yarısından başlayarak yapı ve proje yönetiminde de kullanılabilirliği araştırmacılar tarafından geniş şekilde araştırılmıştır (Adeli ve Karim, 2001; Dikmen ve diğ. 2009). Bununla beraber inşaat proje yönetiminin alt dalları olan, risk yönetimi, maliyet yönetimi, zaman yönetimi, tedarik zinciri yönetimi, sözleşme yönetimi alanlarında yapay zekâ metotlarına ilişkin muhtelif uygulama yapılmıştır.

Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları yöntemi (YSA) temel olarak insan beyninin görsel verileri nasıl işlediği ve nesneleri nasıl ayırdığı, yani öğrendiği prensibi üzerine kurulmuştur.

Yöntem, insan beyninin “nöron” adı verilen birimlerin ağı şeklinde çalıştığı ile ilgili olan biyolojik bulgulardan esinlenmiştir. Tipik bir yapay sinir ağları modelinde girdi, gizli ve çıktı katmanları vardır. Çıktı katmanı, girdi katmanından, aradaki gizli katmanlardan da geçerek, girdi ve sinyalleri sinyali alır. Gizli katman sayısı, uygulama alanına bağlı olarak değişiklik gösterir. Yapay sinir ağları, verimlilik tahmini, ses tanıma veya görüntü tanıma gibi verilen bir uygulamaya uygun olarak tasarlanırlar. Konu hakkında daha detaylı bilgi bu alanda yayınlanmış olan çok sayıda kitap ve çalışmadan elde edilebilir. (Zurada, (1992); Veelenturf, (1995); Elmas, (2007)).

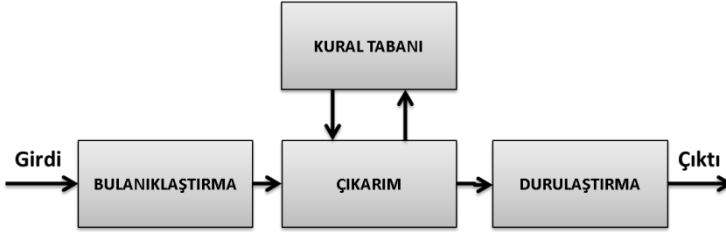


Şekil 2. Yapay Sinir Ağı

Bulanık Mantık

Bulanık küme teorisinden türetilmiş olan bulanık mantık yöntemi de diğer bir yapay zekâ metodudur. Bulanık kümeler konusu ilk kez 1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından ortaya konmuştur (Zadeh, 1965). Teori, gerçek hayatta karşılaştığımız beklenmedik durumlar ve belirsizlik içeren problemlere bir çözüm oluşturmayı hedeflemektedir. Bulanık mantık metodu, çözümde hassasiyet eksikliği kaynağının yeterince açık ve kesin olmayan kıstas veya matematik modellerin eksikliğinden olan problemlerin çözümüne imkân tanımaktadır. Metodun diğer bir önemli özelliği de diğer tahmin metotları kadar çok sayıda veriye ihtiyaç göstermemesidir. Bu bağlamda bulanık mantık metodu az veya eksik veri kümesinin mevcut olduğu durumlar için uygun bir yöntemdir.

İnsanlar karar vermeleri gereken bir durumla karşı karşıya kaldıklarında, deneyimlerimiz paralelinde, zihnimizde oluşturduğumuz kurallar ile beraber, sezgilerimizi de dikkate alarak değerlendirme yapıp, bir karar veririz. Bilgisayarlardan böyle bir karar vermesi beklendiğinde aynen insandaki gibi, tecrübe ve sezgilerden meydana gelen kuralları dikkate alması beklenir. Bunun için de bu kuralların bilgisayara aktarılabilmesi gerekir.



Şekil 3. Bulanık Mantık ve Çalışma Sistemi

Üyelik fonksiyonunun şekli, kümenin ifade etmek istediği uygulama alanına göre değişiklik gösterir. Genelde kullanılan üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk, gauss dağılımı veya çan eğrisi şekillerinde ya da Z veya S’e benzeyen sigmoid’ler şeklindedir.

Bulanık mantığa bulanıklığı kümeler verirken bu kümelerle mantık yürütme işini operatörler yapar. İnsanlar karar verirken, gözlemlediği durumlardan sonuç çıkarırken belirli bir düşünce sistematığı içinde mantık yürütürler. Bulanık mantık modeli, bir sistemin giriş ve çıkışları arasındaki bağıntıyı kurarken transfer fonksiyonu, diferansiyel denklem gibi bir formül kullanmak yerine kurallar adını verdiğimiz “EĞER” durum = x ise “O HALDE” denetim = y gibi yargı cümlelerinden oluşan bir dizi sözel ifadenin mantıksal karşılığını kullanır (Elmas, 2007).

Bilgisayara ölçüm yoluyla alınan ve kesin sayısal değere sahip olan giriş verisi, bilgi tabanındaki üyelik fonksiyonları tarafından sözel ifadelere ve giriş verisinin bu ifadeyi ne oranda desteklediğini gösteren üyelik derecelerine dönüştürür. Bu aşamaya bulanıklaştırma adı verilmektedir.

Bulanıklaştırma sonunda elde edilen sözel ifadeler, insanların karar verme sürecinde olduğu gibi, kural tabanındaki önermelerle karşılaştırılır ve yine sözel yargı sonuçlarına varılır, bu sonuçların hangi oranda geçerli olduğu gerektirme (implication) mantığı uyarınca yine girişteki üyelik derecelerinin üzerinde uzlaştığı bir doğruluk derecesi tarafından belirlenir. Her bir kuraldan elde edilen sonuçlar birleştirilerek (aggregation) genel bir sonuç kümesi (bölgesi) elde edilir. Bu kısma bulanık sonuç çıkarma (fuzzy inference) adı verilmektedir. Bulanık sonuç çıkarma sürecinin çıkışında yargı sonuçlarına ait sözel ifadeleri temsil eden üyelik fonksiyonları ve bunların destek dereceleri vardır ve bunlar bulanık çıkışlar olarak adlandırılır (Yılmaz, 2007).

Bulanık sonuç çıkarma sistemleri, İngiliz bilim adamı Mamdani’nin önerdiği Mamdani modeli, Sugeno ve arkadaşlarının önerdiği Takagi Sugeno Kang modeli ve Tsukamoto modeli, bunlardan başlıcalarıdır.

Bulanık mantık ve yapay sinir ağları her birinin kendisine özgü yetenekleri nedeniyle bazı durumlarda birbirlerini tamamlar nitelikte olduklarını yakın zamanda her ikisinin

beraberce kullanıldığı hibrid teknikler oluşmuştur. Diğer taraftan yapay sinir ağlarının daha ziyade öğrenme ve tanıma konusunda başarılı metot olmasına karşın bulanık mantık yöntemi bilhassa karar verme konusunda daha başarılı sonuçlar vermektedir.

Bulanık Model Tasarımı

Yapay zekâ metotlarından yapay sinir ağları, bulanık mantık ve genetik algoritma teknikleri, inşaat proje yönetiminin alt bilgi alanlarında kullanılmıştır.

İnşaat proje yönetim bilgi alanlarından **zaman yönetimi** çerçevesinde, inşaat projelerinde kaynak ihtiyacının yapay sinir ağları yaklaşımı ile tahmini (Baykan, 2007), kaynakların planlanması (Senouci, Adeli, 2001), bulanık mantık yönetimini kullanarak, belirsizlikler altında aktivite sürelerinin tahminine (Ock, 1996) yönelik çalışmalar bulunmaktadır.

İnşaat proje yönetim bilgi alanlarından **maliyet yönetimi** çerçevesinde, yapı maliyetinin yapay sinir ağları ile analizi (Uğur, 2007), maliyet tahmininin, regresyon analizi ve yapay sinir ağları ile karşılaştırmalı mukayesesi yapılmış (Kim, An, Kang, 2004), maliyet tahmin aralığı tespiti (Shaheen, Fayek ve AbouRizk, 2007), inşaat maliyet tahminlerinin, yapay sinir ağları ile yapılması (Adeli, Wu, 1998), gelecekte yapılacak otoyolların maliyet tahmini (Wilmot, Cheng, 2003), otoyol inşaat maliyetlerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi (Wilmot, Mei, 2005), markup tahmini (Liu, Ling, 2003) konularında çalışmalar yapılmış.

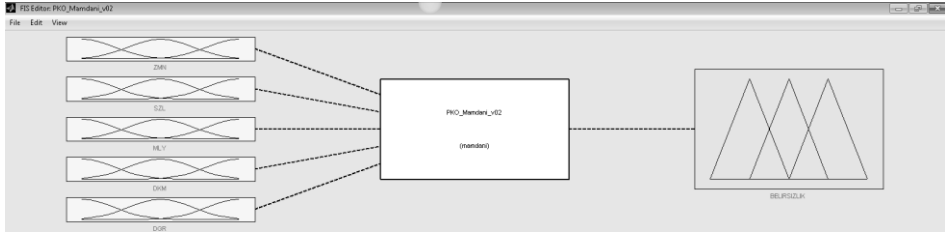
Bütçe ve nakit akışı konusunda, nakit akış tahmini (Boussabaine, Kaka, 1998), yapay sinir ağlarıyla inşaat verimlilik tahmini çalışmaları;

Sözleşme yönetimi konularında, Yüklenici ön yeterlilik seçimi (Fayek, 1998), tedarikçi seçimi (Kahraman, Cebeci, Ulukan, 2003) çalışmaları;

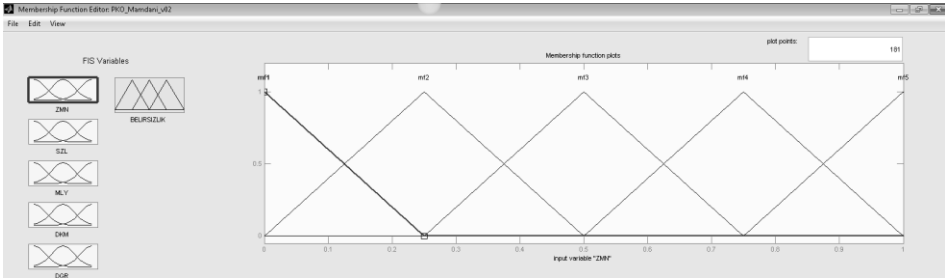
Risk Yönetimi konusunda, proje risklerinin bulanık mantık ile değerlendirilmesi (Tah, Carr, 2000) yapılmıştır.

Proje karakteristik özelliklerinden oluşturulan girdi, matlab fuzzy (FIS) modülünde oluşturulan kural tabanı ile bulanıklaştırılarak, proje karakteristik özelliklerinden kaynaklanan belirsizliklerin derecesi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Model, Şekil 4'te görüldüğü gibi 5 girdi, her bir girdinin 5 üyelik fonksiyonu ve 5 üyelik fonksiyonundan oluşan bir çıktıdan oluşmaktadır.

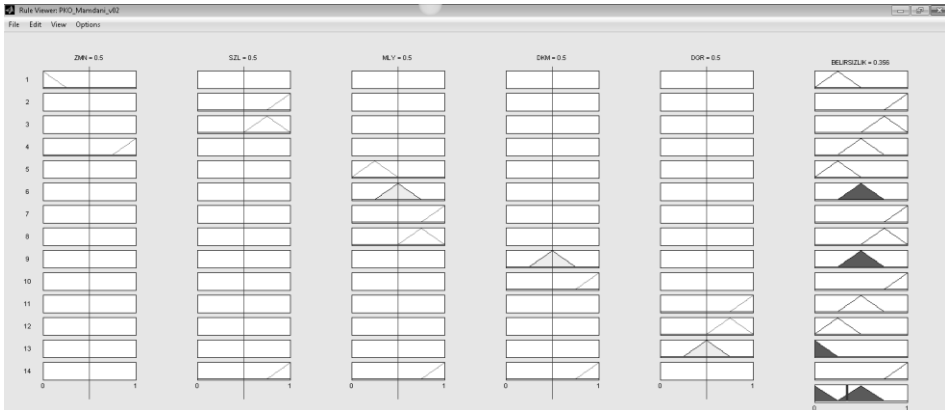


Şekil 4. Mamdani Girdi ve Çıktıları (FIS Editörü)



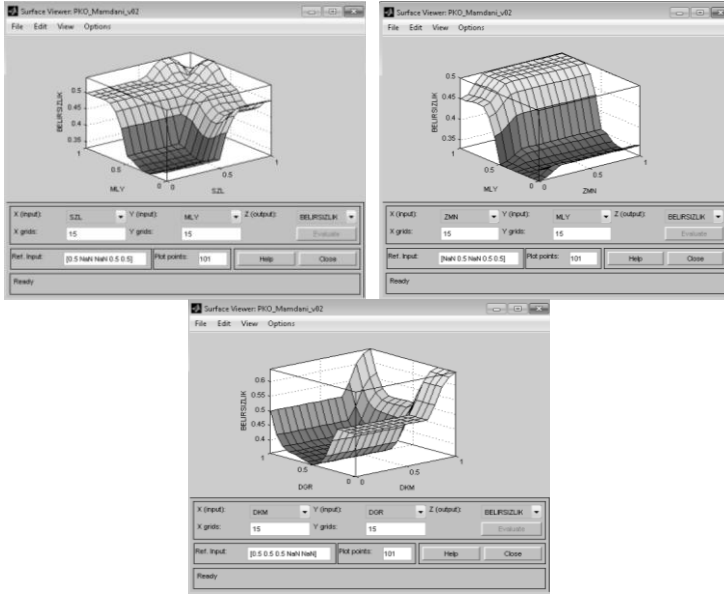
Şekil 5. Üyelik Fonksiyonları

Model mamdani tekniği kullanılarak oluşturulmuştur. Modelde üyelik fonksiyonları, üçgen eğrilerinden oluşmaktadır. Modelde, kural sonuçlarının birleştirilmesinde (Aggregation), maksimum yöntemi, durulaştırma (Defuzzification)'da centroid metodu dikkate alınmıştır.



Şekil 6. Kural Tabanı

Tasarlanan Bulanık mantık kontrol yüzeyleri Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 7. Maliyet–Sözleşme / Maliyet–Zaman /
Doküman–Diğer Parametreler Kural Grafiği

Sonuç

Mali parametreler, süre, sözleşme koşulları, proje dokümanları ve diğer olmak üzere beş başlık altında toplanan proje karakteristik özelliklerinin, uzman görüşleri doğrultusunda belirsizlik mertebelerinin girilmesi ile, uzman görüşlerinden hareketle oluşturulan kural tabanı dikkate alındığında, proje karakteristik özelliklerinden kaynaklanan belirsizlik seviyesinin tespiti yapay zeka metotları ile yapılması daha uygulanabilir olmaktadır. Proje karakteristik özelliklerinden hareketle belirsizliklerin tespitine yönelik oluşturulan bu model, projenin farklı aşamalarında uzman görüşleri ile karara bağlanan farklı konularda uygulanabilir. Bir yatırımcı açısından proje başlangıç aşamasında yatırım kararının verilmesi, yüklenici ve alt yüklenici firmalar açısından ihaleye katılma kararının alınması gibi.

İleriki çalışmalarda, proje karakteristik özellikleri gerçek proje verilerinden hareketle oluşturulacak veri seti ile ANFIS’te test edilerek, uzman görüşleri ile beraber, geçmiş tecrübelerin de dikkate alındığı modelde, sonuçlar karşılaştırmalı tartışılmalıdır. Diğer taraftan yüklenici bakış açısıyla yapılan bu değerlendirme işveren, yatırımcı ve müşavir bakış açılarıyla da değerlendirilip, sonuçlar mukayese edilmelidir.

Kaynaklar

- Adeli, H. & Karim, A., (2007) Construction scheduling, cost optimization, and management – a new model based on neurocomputing and object Technologies, London and New York: Spon Press
- Adeli, H. ve Wu, M., (1998) Regularization neural network for construction cost estimation, Journal of Construction Engineering and Management, January/February 1998, 18–24
- Baykan, U.N., (2007) İnşaat projelerinde kaynak ihtiyacının yapay sinir ağları yaklaşımı ile tahmini”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara
- Boussabaine, A.H. ve Kaka, A.P., (1998) A neural networks approach for cost flow forecasting, Construction Management and Economics, (16), 471-479
- Eastman C., Sacks R., Lee G., (2007) Strategies for Realizing the Benefits of 3D Integrated Modeling of Buildings for the AEC Industry
- Elmas, Ç., (2007) Yapay Zeka Uygulamaları, 1. Baskı, Seçkin Kitabevi, İstanbul
- Fayek, A., (1998) Competitive bidding strategy model and software system for bid preparation, ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 124(1), 1-10
- Holland, N.L., Hobson,D. (1999) Indirect Cost Categorization and Allocation By Construction Contractors, Journal of Architectural Engineering
- Kahraman, C., Cebeci, U. ve Ulukan, Z., (2003) Multi Criteria Supplier Selection Using Fuzzy Ahp”, Logistics Information Management, 16(6), 382-394
- Kim, G., An, S. ve Kang, K., (2004) Comparison of Construction Cost Estimating Models Based on Regression Analysis, Neural Networks and Case-Based Reasoning. Building and Environment, 39, 1235–1242
- Liu, M. ve Ling, Y.Y., (2003) Using fuzzy neural network approach to estimate contractors’ markup, Building and Environment, 38, 1303–13089
- Moselhi, O., (1997) Risk Assessment and Contingency Estimating, AACE International Transactions, 1997
- Ock, J.H., (1996) Activity Duration Quantification Under Uncertainty: Fuzzy Set Theory Application. Cost Engineering, 38(1), 26–30

- Portas, J. ve AbouRizk, S., (1997) Neural network model for estimating construction productivity, ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 123(4), 399-410
- Senouci, A. ve Adeli, H., (2001) Resource Scheduling Using Neural Dynamics Model of Adeli and Park, ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 127(1), 28-34
- Shaheen, A.A., Fayek, A.R. ve AbouRizk, S.M., (2007) Fuzzy numbers in cost range estimating, ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 133(4), 325-334
- Tah, J.H.M. ve Carr, V., (2000) “A proposal for construction Project risk assesment using fuzzy logic”, Construction Management and Economics, 121(1), 130-142
- Uğur, L.O., (2007) “Yapı maliyetinin yapay sinir ağı ile analizi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara
- Veelenturf, L.P.J., (1995) Analysis and Applications of Artificial Neural Networks. Prentice Hall
- Wilmot, C.G. ve Mei, B., (2005) Neural network modeling of highway construction costs, ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 131(7), 765-771
- Wilmot, C.G. ve Cheng, G., (2003) Estimating future highway construction costs. ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 129(3), 272-279
- Yılmaz S., (2007) Bulanık Mantık ve Mühendislik Uygulamaları. 2. Baskı, Kocaeli Üniversite Yayınları, Kocaeli
- Zack, J. G. (2002) Calculation and Recovery of Home / Head Office Overhead, International Cost Engineering Council
- Zadeh, L.A., (1965) Fuzzy sets. Information and Control, 8: 338–353, 1965
- Zurada, J.M., (1992) Introduction to Artificial Neural Systems. West Publishing Company