

## ESNEK İMALAT SİSTEMLERİNDE PERFORMANS ÖLÇÜMÜ İÇİN BİLİŞSEL BİR YAKLAŞIM

**Ergün Eraslan**

*Başkent Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06530, Ankara*

**Mustafa Kurt**

*Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570, Ankara*

**Özet:** Teknolojinin etkisiyle üretim sistemlerinin oldukça karmaşık bir yapıya sahip olmasıyla birlikte, bilişsel karmaşıklıklar ve karar verme görevlerinde aşırı zorlanmaya bağlı olarak hem bireylerin ve hem de üretim sistemlerinin performansı oldukça önemli bir duruma gelmiştir. Bu gelişmelerin yanında, fiziksel ergonomiden bilişsel ergonomiye doğru olan gelişmeyle iş kavramı da zaman içinde değişmiştir. Bu çalışmada; insan ve sistem için bilişsel haritaların kullanımı, performansı etkileyen faktörleri tanımlamada Bulanık Mantık göz önünde tutularak Analitik Hiyerarşi Prosesi'nin uygulanması ve performans ölçüm sistemlerinin geliştirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Çalışılan kavramların daha iyi açıklanması ve tartışılması amacıyla Esnek İmalat Sistemleri için bir örnek uygulama yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Bulanık AHP, Bilişsel Ergonomi, Performans Ölçümü, Esnek İmalat Sistemleri*

### A COGNITIVE APPROACH FOR PERFORMANCE MEASUREMENT IN FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS

**Abstract:** As modern manufacturing systems become more and more complex being affected from high technology, performance measurements of both individuals and systems become more critical due to the overloading of cognitive and decision-making tasks. Besides, even the nature of the work has changed significantly in time since ergonomics has changed from physical to cognitive for investigating systems. In this paper, we study on developing quantitative models for performance measurement systems using cognitive maps and analytical hierarchy process in fuzzy theory to identify factors affecting performance, and express them quantitatively. An example in Flexible Manufacturing Systems is used throughout the paper to explain the concepts and discussion.

**Keywords:** *Fuzzy AHP, Cognitive Ergonomics, Performance Measurement, Flexible Manufacturing Systems*

#### 1. Giriş

Bilimsel çalışmalarda işin insanı nasıl etkilediği fiziksel ergonominin konusuyken 1980'lerin başından itibaren bu konsept yerini Bilişsel Ergonomi kavramına bırakmaya başlamıştır. Bilişsel Ergonomi, insan-teknoloji sistemlerinde uygulamalı bir sistem tasarımı bilimi olarak tanımlanabilir. Bu bilim, yanında bilişsel psikoloji ve zihinsel davranışlar kavramlarını da beraberinde getirmektedir ve düşünsel faaliyetlerimiz fiziksel faaliyetlerimizden fazladır prensibine odaklanmaktadır. Hollnagel(2001)'in belirttiği gibi, günümüzde teknolojik değişimler sonucunda Bilişsel Ergonominin daha iyi tanınmasıyla birlikte zihinsel işin (düşünme) fiziksel işten (yapma) çok çok daha önemli olduğunu ortaya konulmuştur.

Tang ve arkadaşları (1999) bilişselliği tanımlamanın bir yolu olarak, iş gerekleri arası etkileşimi ifade eden zihinsel iş yükünü göstermişlerdir. Bu gerekler, işin yapılması ve operatörün beceri, davranış ve algılamasıdır. Zihinsel iş yükü, işin ortaya çıkarılması ve beklentilerin taminkar bir şekilde karşılanması için gerekli zihinsel eforu ifade ettiğinden bu çalışma bilişsel performansı etkileyen faktörlerin ağırlıklarının belirlenmesi konusuna odaklanmıştır. Hiyerarşik yapı kurularak karmaşık problemlerin çözümü kolaylaştırılmaktadır.

#### 2. Modern Üretim Sistemleri

Üreticiler, müşteri beklentileri, global rekabet ve gelişen teknolojiye bağlı olarak ölçüsünde her geçen gün dahada artan belirsiz bir dış çevreyle karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu sebeple üretim esnekliği oldukça kritik bir boyut kazanmaktadır. Tüm bunlar, modern üretim sistemleri içinde kendine yer bulan Esnek İmalat Sistemleri'nin (FMS) bu çalışmada örnek olarak seçilmesine neden olmuştur. Bir FMS, NC ve CNC makineler, bir malzeme taşıma sistemi (MHS) ve işi kontrol edecek bir bilgisayardan oluşur.

### 3. Bilişsel Modellerin Tanımlanması

Araştırmacıların önemli bir bölümü, zihinsel model görüşlerinin çok karıştırılan ve şartıcı kabuller olduğuna işaret etmektedirler. Soyut mantıksal problemlerin karmaşık yapısı, operatör, bakım ekibi ve diğer çalışanların sistemle etkileşimlerinin anlaşılması ile açıklanmalıdır. Morray (1998) ve Fjeld ve arkadaşları (1998), çalışanların görev ve üretimin gerektirdiği çevreyle nasıl eşleştirildiği belirlenirse bu karmaşıklığın ortadan kaldırılabileceğini söylemişlerdir.

Rauterberg (1992), bilişsel karmaşıklığın (BK) çerçevesini,  $BK=SK+GK-DK$  eşitliğindeki gibi çizmektedir. Burada Sistem Karmaşıklığı; SK, Görev Karmaşıklığı; GK ve Davranışsal Karmaşıklık; DK ile gösterilmektedir. Sistem performansı açısından düşünülürse,  $BK=ES+ÜH+MM-ÜÇ$  formülü bulunabilir. Burada Esneklik; ES, Üretim Hızı; ÜH, Müşteri Memnuniyeti; MM ve Ürün Çeşitliliği; ÜÇ olarak gösterilebilir.

### 4. Bilişsel Faktörlerin Belirlenmesi

Bilişsel faktörlerin belirlenmesi oldukça karmaşık bir prosedürdür. Firma yöneticileriyle yapılan beyin fırtınası, üretim gerçekleri ve firmadaki gözlemlerle faktörler ve alt faktörler belirlenmiştir. Bu faktörler, bilişsel haritalama yöntemiyle hiyerarşik yapıda incelenmiş, bu amaçla AHP yönteminden ve bulanık sayılardan yararlanılmıştır.

#### 4.1. Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) ve Bulanık Sayıların Kullanılması

Bu yöntemin görelî ölçümleri ve her faktör için verilen yargılar ile birlikte hiyerarşik yapı incelenmiş ve her alt faktör bir üst seviye ile ilişkilendirilmiştir. AHP'nin temel ikili karşılaştırma matrisleri kullanılmış ve karşılaştırmalar için Saaty(1999)'nin temel ölçüğü kullanılmıştır.

İkili karşılaştırma prosesinde her bir yönetici farklı görüşler öne sürebilir ve verilen yargılarda farklar oluşabilir. Farklı görüşleri içine alabilmesi için modelde ikili karşılaştırmalar bulanık sayılar yardımıyla yapılmıştır. Bu amaçla üçgensel bulanık sayılar ve bulanık aritmetik kullanılmıştır. Temel ölçek için kullanılan sayılar Deng(1999)'in skalası yardımıyla üçgensel bulanık sayılara dönüştürülerek işlemlere devam edilmiştir.

#### 4.2. Bilişsel Haritaların Oluşturulması ve Hiyerarşik Yapının Kurulması

Bu çalışmada Türkiye'nin en önemli ve dünyanın sayılı döküm firmalarından biri seçilmiştir. Firma gerekleriyle ilgili yöneticilerle yapılan çalışmalar sonucunda hiyerarşik yapı kurulmuştur. Oluşturulan yapı literatürde bilişsel harita olarak geçmektedir. Bu yapı sadece bu firmaya yönelik bir yapı olmakla birlikte küçük birtakım değişikliklerle benzer firmalara uygulanabilir.

Oluşturulan haritalarda bireysel performans için 3 seviyeli, sistem performansı için 5 seviyeli bir yapıyla karşılaşılmıştır. Dikey ilişkilerin yanında hesaplamaları zorlaştıran yatay ilişkiler Bölüm 3'te bahsedilen ana yapı korunarak analiz edilmiştir.

#### 4.3. Faktörlerin Sayısal Değerlerinin Hesaplanması

Bu bölümde, bilişsel haritalar üzerinden hiyerarşik yolla ve bulanık mantık teorisi göz önüne alınarak, performansı etkileyen faktörler sayısal olarak hesaplanmaktadır. Bu amaçla ilk adımda dikey ilişkiler AHP ile analiz edilmiş ve ikili karşılaştırmalarla ilişkiler sorgulanmıştır. İkili karşılaştırmalardaki subjektifliğin önlenmesi amacıyla matrisler Deng'in skalası yardımıyla bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Matrislerin tutarsızlıkları %10 değerinin altında tutulmuştur. Her gerçek sayı üçgensel sayılara dönüştürülerek ağırlıklar aşağıdaki formülle bulunur:

$$W_j = \frac{\sum_{j=1}^k \bar{a}_{ij}}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \bar{a}_{ij}} \quad (1)$$

Burada  $W = (W_1, W_2, W_3, \dots, W_m)$  şeklinde ifade edilir. Karar matrisi ile her seviye için ağırlıklar çarpılarak global matris (Z) ,(2) nolu eşitlikteki gibi şekillenir:

$$Z = \begin{bmatrix} w_1x_{11} & w_2x_{12} & \dots & w_mx_{1m} \\ w_1x_{21} & w_2x_{22} & \dots & w_mx_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1x_{n1} & w_2x_{n2} & \dots & w_mx_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Bu şekilde her seviye için global etkiler elde edilerek bir tabloda belirtilir. Fakat burada elde edilen ağırlıklar halen bulanık sayılar olduğu için bu sayılar üzerinden yorum yapmak oldukça zor olacaktır. Sözkonusu sayılar tekrar gerçek sayılara dönüştürülmelidir. Çalışmamızda kullandığımız bulanık sayıların yapıları doğrultusunda medyan metodu seçilerek bu dönüşüm sağlanmaktadır.

Faktörlerin önem derecelerini tespit etmek için pareto analizi kullanılır. Pareto analizinde 20/80 kuralı uygulanarak, yani faktörlerin %20'si ağırlıkların %80'ini teşkil ettiği düşünülerek yapılan analizler sonucu bireysel performans için 13 faktör, sistem performansı için 15 faktör önemli sınıfa alınmış ve daha sıklıkla gözlenmesi gerekliliği belirlenmiştir.

### 5.Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, bireysel ve sistem performanslarını etkileyen faktörleri belirlemede bilişsel bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışmanın yararları üç yenilikle kendini göstermektedir:

- Bireyler ve FMS sistemi için bilişselliğin karmaşık yapısı bilişsel haritalama tekniği ile çözümlenmiştir.
- Daha uygun bir model olarak, ikili karşılaştırmalardaki subjektifliği önlemek ve sistemin dinamik yapısını yansıtmak için bulanık mantık teorisi uygulanmıştır.
- Üretimde iç ve dış çevrenin sürekli değişen yapısı performans ölçüm sistemi içine dahil edilmiştir.

### Kaynaklar

**Deng, H.**, Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison. *International Journal of Approximate Reasoning*, 21, 215-231, 1999.

**Fjeld, M., Schlupe, S. ve Rauterberg, M.**, Quantification of task related activity by statistical and analytical methods. *Design and Evaluation of Man-Machine Systems*, 591-596, 1998.

**Hollnagel, E.**, Extended cognition and the future of ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomic Science*, (2), 309-315, 2001.

**Murray, N.**, Identifying mental models of complex human-machine systems. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 22, 293-297, 1998.

**Rauterberg, M.**, A method of quantitative measurements of cognitive complexity. *Human-Computer Interaction: Tasks and Organization*, Roma CUD Publ., 295-307, 1992.

**Saaty, T.L.**, The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes. *The Conference notes ISAHP, Kobe, Japan*, August 1999.

**Tang, K., Koubek, R.J., Lighter, N.J. ve Salvendy, G.**, Development and validation of a theoretical model for cognitive skills acquisition. *International Journal of Industrial Ergonomics*, (24), 25-38, 1999.