

Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Fabrika İmalat Performansının Ölçümü

The Measurement of Plant Manufacturing Performance with Fuzzy Analytic Hierarchy Process

Gökhan AKYÜZ¹

ÖZET

İmalat sistemlerinin rekabetçiliğini artırmada performans ölçüm sistemleri kritik rol oynamaktadır. Bu nedenle imalatçılar, mevcut durumlarını analiz etmek, iyileştirilebilir ve geliştirilebilir alanları belirlemek için çeşitli yöntemlerle performans ölçümleri yapmaktadır. Bu çalışmada, cam endüstrisindeki bir fabrikanın imalat performansını ölçen bir model önerilmiştir. Modelde kullanılan performans boyut ve göstergelerinin katsayıları Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) yöntemi ile belirlenmiştir. Önerilen model ile fabrikanın altı aylık imalat performansı ölçülmüş, performans ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İmalat performansı, bulanık analitik hiyerarşi prosesi, bulanık sıralama

ABSTRACT

The performance measurement system plays a critical role in achieving the competitiveness of manufacturing systems. For that reason the manufacturers are conducting performance measurements via several methods in order to analyze their current situations and determine recoverable and improvable fields. In present study, a model which can measure manufacturing performance of a plant in glass industry has been proposed. The coefficients of the performance dimensions and indicators used in this model have been detected via Fuzzy Analytic Hierarchy Process method. The six-month manufacturing performance of the plant has been measured via proposed method; performance measurement results have been compared.

Keywords: Manufacturing performance, fuzzy analytic hierarchy process, fuzzy ranking

1. GİRİŞ

Küreselleşen pazarlar, yerel, ulusal ve uluslararası düzeyde rekabetçiliğin önemini artırmıştır. Ürün çeşitliliği, kalite, talepteki değişimlere uyum sağlama, güvenilirlik, hız, maliyet ve fiyat gibi birçok faktör imalatçı firmaların rekabet başarısını etkilemektedir. Bu nedenle imalatçılar, mevcut durumlarını analiz etmek, kıyaslamalar yapmak ve iyileştirme alanlarını belirlemek için çeşitli yöntemlerle imalat performanslarını ölçmektedir. Bu ölçümlerin çoğu, bir ya da birkaç göstergeye odaklanmaktadır. Böyle bir yaklaşım, seçilmiş göstergeler bazında performansın geliştirilmesine yardımcı olurken sistemin genel performansı hakkında bilgi vermemektedir. Ayrıca, kullanılan göstergeler zaman zaman birbirleriyle çelişebilmekte ve/veya farklı birimlerle ifade edilebilmektedir. Bu durum, genel imalat performansını takip etmeyi ve iyileştirmeyi daha da zorlaştırmaktadır. Diğer taraftan, operasyonel performansı artırabilmesi, imalat süreçlerinin performansının etkili yöntemlerle ölçülmesi ve değerlendirilmesine bağlıdır. Nitekim bugünkü imalat işletmelerinin en önemli konularından biri etkili ölçüm konusudur (Jain, Triantis ve Liu, 2011:616).

İmalat sisteminin genel performansı hakkında değerlendirme yapabilmek için performans göstergelerini birbirleriyle entegre eden çok boyutlu performans ölçüm sistemlerinin tasarlanması gerekmektedir. 1965 yılında Saaty tarafından önerilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), bu tür problemlerin yapılandırılmasında ve çözümünde yaygın olarak kullanılan tekniklerden birisi olmuştur. AHP, nicel ve nitel kriterleri birlikte değerlendiren ve bu kriterlerin birbirlerine göre önceliklerini bularak önem sıralamasını belirleyen bir tekniktir (Sekreter, Akyüz ve Çetin, 2004:141). Klasik AHP, uzman görüşlerini modellemesine rağmen, kesin olmayan veya muğlak bilgiyi yansıtmakta yetersiz kalmaktadır (Wang ve Chen, 2008: 3755). Zadeh, kesin olmayan veya muğlak bilgiyle oluşan belirsizliği ifade etmek için 1965 yılında bulanık küme teorisini önermiştir. Bu teori günümüze kadar gelişerek birçok uygulama alanı bulmuştur. Bu alanlardan birisi de AHP'dir. Bulanık AHP tekniğinde karar vericiler, kesin yargılar içeren değerlendirmeler yapmak yerine, aralıklı değerlendirme yapmaktadır. Gerçek dünya karar problemlerindeki karmaşıklık ve

¹ Yrd. Doç. Dr., Akdeniz Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, akyuz@akdeniz.edu.tr

belirsizlik dikkate alındığında aralıklı değerlendirme daha güvenilir bulunmaktadır (Göksu ve Güngör, 2008:8).

Bu çalışmada, cam sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikanın imalat performansını ölçen bir model önerilmiştir. Model, yukarıdaki iki temel soruna çözüm getirmeyi amaçlamıştır. Bunlardan ilki genel imalat ve imalat süreçlerinin performansının ölçümüdür. Modelin hiyerarşik yapısı, imalat hatlarının performansını da eş anlı ölçebilecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece hem genel imalat performansı hem de hat performansları aynı model içerisinde ölçülebilmektedir. İkincisi ise mutlak değerler yerine aralıklı değerlerle ifade edilebilen bilgiyi modele yansıtılabilmektedir. Bu amaçla çalışmada Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) yönteminden yararlanılmıştır.

Çalışmanın genel yapısı şu şekildedir: İkinci bölüm, imalat performansının ölçümünde kullanılan performans boyut ve göstergeleri ile ilgili literatür taramasına ayrılmıştır. Üçüncü bölümde BAHP yaklaşımı ve kullanılan yöntem açıklanmıştır. Dördüncü bölüm uygulama bölümüdür. Bu bölümde, uygulamada izlenen adımlar ve modelin yapısı anlatılmış, imalat performansının ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına ilişkin değerlendirmeler ve çalışmanın geliştirilebilir yönleri sonuç ve değerlendirmeler bölümünde ele alınmıştır.

2. İMALAT PERFORMANSI İÇİN ANAHTAR BOYUTLAR VE GÖSTERGELER

Geleneksel performans ölçüm sistemleri, muhasebe standartlarından geliştirilen finansal göstergeleri kullanmaktadır. Parasal birimlerle ifade edilen bu göstergeler, yapısal özellikleri yansıtmaktan uzak, kısa dönemli göstergelerdir. Bu özelliklerinden dolayı, karar vericilerin imalat sistemlerini sürekli olarak izlemesini, kontrol etmesini ve iyileştirmesini kısıtlamaktadırlar (Yang, Chuang ve Huang, 2009:11370). Diğer taraftan, sosyal çevredeki ve teknolojiye gelişmeler, kalite, maliyet, esneklik, dağıtım hızı gibi konuları ön plana taşımıştır. İmalat sistemlerinde performans ölçümü de bu gelişmelere paralel olarak, 1960'larda maliyet, 1970'lerde verimlilik, 1980'lerde kalite ve 1990'lardan sonra çok boyutluluk üzerine odaklanmıştır (Hon, 2005:139).

İlgili literatürdeki çalışmalar, genellikle beş boyut üzerine yoğunlaşmaktadır: esneklik, kalite, hız, verimlilik ve maliyet. Bu çalışmaların bazıları tek bir boyut üzerine odaklanırken (Chenhall, 1996; Tsubone ve Horikawa, 1999; Agrell ve West, 2001), bazıları birden fazla performans boyutunu entegre eden ölçüm sistemlerine odaklanmaktadır (Tablo 1).

İmalat esnekliği, imalat sisteminin, içsel ve dışsal çevredeki planlanmış veya önceden tahmin edilemeyen değişimlere, uygun bir hızda ve kabul edilebilir bir

Tablo 1: Literatürdeki Çalışmalardan Örnekler

Literatür	Boyutlar				
	Esneklik	Kalite	Hız	Verimlilik	Maliyet
Wheelwright (1978)	√	√			√
Popplewell ve Bing (1995)			√	√	√
Chenhall (1996)	√				
Youndt vd. (1996)	√	√			√
Lo ve Pushpakumara (1999)	√	√	√		√
Tsubone ve Horikawa (1999)	√				
Agrell ve West (2001)				√	
Bititçi, Suwignjo ve Carrie (2001)	√	√	√		√
Chan, Yung ve Ip (2002)	√	√	√		√
Yurdakul (2002)	√	√	√		√
Ahmad ve Dhafr (2002)		√		√	
Bamber vd. (2003)		√		√	
Sarkis (2003)	√	√	√		√
Kodali, Sangwan ve Sunnapwar (2004)	√	√		√	√
Chen (2008)		√	√		√
Yang, Chuang ve Huang (2009)	√	√	√		√
Yu ve Hu (2010)				√	√

maliyetle cevap verme yeteneği olarak tanımlanabilir. İmalat performansını esneklik açısından değerlendirilen çalışmalar, genellikle, ürün çeşitliliği, miktar, hacim, makine, rotalama ve dağıtım esnekliklerinin imalat performansı üzerindeki etkilerini incelemektedir (Whelewright, 1978; Lo ve Pushpakumara, 1999; Tsubone ve Horikawa, 1999; Yang, Chuang ve Huang, 2009; Sarkis, 2003).

Spesifikasyonlara ve ihtiyaçlara uygunluk olarak tanımlanan kalite, müşteri beklentilerinin karşılanması ve rekabetçilik açısından önemli bir boyuttur. Literatürde kalite boyutu, kaliteli ürün oranı, hata oranı, yeniden işleme oranı, hurda oranı, gibi göstergelerle ölçülmektedir (Lo ve Pushpakumara, 1999; Yang, Chuang ve Huang, 2009; Chan, Yung ve Ip, 2002; Chen, 2008; Yurdakul, 2002; Kodali, Sangwan ve Sunnapwar, 2004).

Müşteri tatminini artırmada diğer bir konu siparişlerin eksiksiz ve zamanında teslim edilmesidir. Bu nedenle hız, imalat performans açısından önemli bir boyutu oluşturmaktadır. İmalat performansında hız, hammadde, sipariş ve temin süreleri, imalat hazırlık süreleri, hammadde ve yarı mamullerin fabrika içerisinde aktarım süreleri, birim üretim zamanı, hat hızı, çevrim zamanı, dağıtım hızı gibi göstergeler itibarıyla belirli bir tempoya ulaşmayı ifade etmektedir (Yang, Chuang ve Huang, 2009; Lo ve Pushpakumara, 1999; Chan, Yung ve Ip, 2002; Chen, 2008; Yurdakul, 2002; Sarkis, 2003).

Verimlilik, üretilmiş mal ve hizmet miktarı ile bu mal ve hizmetin üretiminde kullanılan kaynakların miktarı arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadır. Kaynakların ne kadar etkin kullanıldığını gösteren verimliliğin ölçümünde, çıktı/girdi oranı, makine kullanımı, direkt işgücü verimliliği, verimlilik indeksi, tüm ekipman etkinliği oranı (OEE) gibi göstergelerden yararlanılmaktadır (Kodali, Sangwan ve Sunnapwar, 2004; Yu ve Hu, 2010; Popplewell ve Bing 1995; Bamber vd., 2003; Ahmad ve Dhafr, 2002; Agrell ve West, 2001).

Fiyat kararlarında, karlılıkta ve rekabetçilikte imalat maliyetleri anahtar değişkenlerdir (Yu ve Hu, 2010). İmalat performansının maliyet boyutu, hammadde, stok, işgücü, enerji, kalite gibi maliyet kalemlerinin performansını ölçen göstergelerden oluşmaktadır (Kodali, Sangwan ve Sunnapwar, 2004; Wheelwright, 1978; Yu ve Hu, 2010; Lo ve Pushpakumara, 1999; Yang, Chuang ve Huang, 2009; Chan, Yung ve Ip, 2002; Sarkis, 2003; Popplewell ve Bing 1995).

İmalat performansını ölçmede, bu beş boyuta ek olarak, stok (Kodali, Sangwan ve Sunnapwar, 2004; Yu ve Hu, 2010), güvenlik ve çevre (Li ve Huang, 2009), güvenilirlik (Wheelwright, 1978; Yurdakul, 2002) gibi farklı boyutlarda kullanılmaktadır.

3. BULANIK AHP (BAHP) VE BULANIK SAYILARIN SIRALANMASI

Bulanık küme teorisine dayanan bulanık mantıkta nesne kümenin üyesidir veya değildir şeklinde kesin bir tanımlama yapılmamaktadır. Bir kümede, 0 ve 1 nesnenin, minimum ve maksimum üyelik derecelerini belirtirken, ara değerler kısmi üyelikleri belirtmektedir. Bulanık mantığı AHP üzerinde uygulayan ilk çalışma, 1983 yılında van Laarhoven ve Pedrycz tarafından yapılmıştır (Kahraman, Cebeci ve Ruan, 2004:175). Bu çalışmada, bulanık ilişkiler için üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Buckley (1985), hiyerarşik analizde yamuk üyelik fonksiyonlarını kullanmıştır. Chang (1996), α -kesme yaklaşımına ihtiyaç duymayan genişletilmiş bulanık AHP yöntemini önermiştir. BAHP gelişim süreci içerisinde birçok alanda başarıyla uygulanmıştır. BAHP'nin uygulandığı alanlardan bazıları şunlardır: Silah sistemlerinin değerlendirilmesi (Dağdeviren, Yavuz ve Kılınç 2009), yemek servisi veren firmalarda müşteri memnuniyetinin değerlendirilmesi (Kahraman, Cebeci ve Ruan, 2004), optimum bakım stratejilerinin seçimi (Wang, Chu ve Wu, 2007), insan sermayesi ölçüm göstergelerinin önceliklendirilmesi (Bozbura, Beskese ve Kahraman, 2007), bilgisayar destekli takım tezgahlarının seçimi (Durán ve Aguilo, 2008), stok sınıflandırması (Çakır ve Canbolat, 2008), tehlikeli atıkları taşıyan firmaların değerlendirilmesi (Gümüş, 2009), çimento fabrikalarının performans değerlendirmesi (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2009), bankacılık sektörünün performans değerlendirmesi (Seçme, Bayrakdaroğlu ve Kahraman, 2009), imalat sistemi seçimi (Li ve Huang, 2009), tedarikçi seçimi (Chamodrakas, Batis ve Martakos, 2010).

Bulanık mantıkla yapılan çözümlenelerde, kriter ve alternatiflerin aldıkları son değerler bulanık sayı olarak ortaya çıktığından, karar aşamasında bu sayıların sıralanması gerekmektedir (Göksu ve Güngör, 2008:3). Sıralama, çekim merkezi, üyelik derecesi fonksiyonunun altındaki alan veya kesişim noktaları gibi değişik özelliklere göre yapılabilmektedir. Bu nedenle farklı sıralama yöntemleri aynı veriler için farklı sıralama sonuçları verebilmektedir. Bulanık sayıları sıralamak için yaygın olarak kabul görmüş yöntemlerden ilkini 1977 yılında Baas ve Kwakernaak önermiştir (Kaptanoğlu ve Özok, 2006:198). Bu tarihten sonra literatürde pek çok sıralama yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır: Chen (1985); Kim ve Park (1990); Liou ve Wang (1992); Cheng (1998); Yao ve Wu (2000); Abdel-Kader ve Dugdale (2001); Liu ve Han (2005); Sun ve Wu (2006); Ma ve Li (2008).

Bu çalışmada, bulanık yapay değerlerin hesaplanmasında Chang'ın (1996) genişletilmiş analiz yöntemi kullanılmıştır. Yöntem, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ nesnel kümesini, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ hedef kümesini tanımlaması durumunda, nesnelere her birini ele alır ve her bir hedef için, g_i , genişletilmiş analizini uygular. Böylece, her bir nesne için m genişletilmiş analiz değerleri $M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m$, $i=1,2,\dots,n$ şeklinde elde edilir (Göksu ve Güngör, 2008:8).

Chang'ın sıralama yöntemi, çoğu kez, çok küçük olan değerleri "0", büyük değerleri ise "1" olarak seçmektedir. Bu durum, iyi olanın olması gerekenden daha iyi, kötü olanın ise olması gerekenden daha kötü bir değerle ifade edilmesine neden olmaktadır. Diğer bir ifadeyle Chang'ın yönteminde ayrıştırma özelliği ön plana çıkmakta ve hesaplamalardaki duyarlılık azalmaktadır. Bu nedenle bulanık sayıların sıralanmasında Liou ve Wang'ın (1992) toplam entegral değer yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde sıralama, entegral değerli bulanık sayılarla yapılmaktadır. Sol entegral değeri kötümser bakış açısını, sağ entegral değeri ise iyimser bakış açısını yansıtmaktadır. Önerdikleri toplam entegral değer yöntemi, sağ ve sol entegral değerlerinin iyimserlik endeksi ($\alpha \in [0, 1]$) aracılığıyla oluşturulan konveks kombinasyondur. α 'ın büyük değerleri iyimser bir karar vericiyi, küçük değerleri ise kötümser bir karar vericiyi ifade etmektedir.

Çalışmada uygulanan yöntemin algoritmik adımları aşağıda verildiği gibidir:

1.Adım: i . nesneye göre bulanık yapay büyüklük değeri aşağıdaki gibi tanımlanır (Bozbura, Beskese ve Kahraman, 2007:1104-1105):

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ yi elde etmek için m genişletilmiş analiz değerlerinin bulanık toplama işlemi belirli bir matris için şu şekilde yapılır:

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m a_j, \sum_{j=1}^m b_j, \sum_{j=1}^m c_j \right) \quad (2)$$

ve $\left[\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$ değerini elde etmek için $M_{g_i}^j$ ($j=1,2,\dots,m$) değerlerinin bulanık toplama işlemi yapılır:

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^m a_i, \sum_{i=1}^m b_i, \sum_{i=1}^m c_i \right) \quad (3)$$

Bu adımın son aşamasında (3).denklemden elde edilen vektörün tersi hesaplanır.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n c_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n b_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_i} \right) \quad (4)$$

2.Adım: 1.Adımda elde edilen bulanık yapay büyüklük değerlerinin toplam entegral değerleri $\alpha \in [0, 1]$ iyimserlik endeksi olmak üzere, aşağıdaki gibi hesaplanır (Liou ve Wang, 1992:251).

$$I_T^\alpha(\tilde{A}) = \frac{1}{2} [\alpha c + b + (1 - \alpha)a] \quad (5)$$

Hesaplanan toplam entegral değerleri ağırlık vektörünü oluşturur.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (6)$$

Burada A_i ($i=1,2,\dots,n$) n elemandan oluşur.

3.Adım: (6). denklemden verilen ağırlık vektörü standardize edilerek bulanık sayılardan oluşmayan ağırlık vektörü elde edilir.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (7)$$

4. UYGULAMA

Uygulamanın yapıldığı fabrika, cam sektöründe faaliyet göstermekte ve ayna, satina ve dekoratif cam olmak üzere üç tip ürün imal etmektedir. Ayna ve satina imalatında akış tipi imalat özellikleri hakimdir ve genellikle stoka üretim yapılmaktadır. Atölye tipi imalat özelliklerini taşıyan dekoratif cam ise siparişe göre üretilmektedir. İmalat, stoka üretim ve alınan siparişler dikkate alınarak hazırlanan günlük planlara göre yapılmaktadır. Gün sonunda imalat hatlarının durum raporları veri tabanında kayıt altına alınmaktadır. Karar vericiler, imalat performansını belirlenmiş göstergeler bazında izlemektedirler. Ancak mevcut veri tabanı, performans göstergeleri arasındaki ilişkileri ve etkileşimleri dikkate almadığından, genel imalat performansı hakkında genel bir fikir vermemektedir.

Çalışmanın uygulama aşaması genel olarak 5 adımdan oluşmaktadır:

Adım 1: İmalat performansını ölçmede kullanılacak performans boyut ve göstergeleri belirlenerek modelin hiyerarşik yapısı oluşturulmuştur.

Adım 2: Bu boyut ve göstergelere ilişkin ikili karşılaştırmalar fabrikanın karar vericileri tarafından yapılmıştır. Karşılaştırmalarda kullanılan bulanık üçgensel sayılardan oluşan ölçek Tablo 2'de verilmiştir (Chan vd., 2008:3853). Yapılan karşılaştırmalar üzerinde BAHP tekniği uygulanarak ağırlık vektörleri hesaplanmıştır.

Tablo2: Bulanık Önem Dereceleri

Dilsel Önem Derecesi	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Eşit Önem	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Biraz Önemli	(0.67, 1, 1.5)	(0.67, 1, 1.5)
Daha Önemli	(1.5, 2, 2.5)	(0.4, 0.5, 0.67)
Çok Daha Önemli	(2.5, 3, 3.5)	(0.29, 0.33, 0.4)
Tamamıyla Önemli	(3.5, 4, 4.5)	(0.22, 0.25, 0.29)

Adım 3: Günlük veri setleri, aylık veri setlerine dönüştürülerek, performans göstergelerinin aylık değerleri hesaplanmıştır. Farklı büyüklükteki göstergeleri ortak bir skala ile ifade etmek için göstergelerin değerleri standardize edilmiştir.

Adım 4: BAHP ile hesaplanan ağırlık vektörleri modelde göstergelerin katsayılarını oluşturmaktadır. Modelin hiyerarşik yapısı dikkate alınarak her bir düzey için hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda imalat hatlarının aylık performans ölçüm değerleri elde edilmiştir.

Adım 5: İmalat hatlarının aylık performans ölçüm değerleri, aylık imalat payları ile ağırlıklandırılarak fabrikanın aylık imalat performansı hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.1. Performans Boyutlarının ve Göstergelerinin Belirlenmesi

Fabrikanın veri tabanında yer alan verilerin incelenmesi ve karar vericilerle yapılan görüşmeler sonucunda dört performans boyutu belirlenmiştir: verimlilik, kalite, esneklik ve hız.

Verimlilik boyutu, işgücü verimliliği, çalışma süresi verimliliği ve siparişe uyum oranı ile ölçülmüştür. Yukarıda da belirtildiği gibi imalat, günlük planlar çerçevesinde yapılmaktadır. Çalışmada, siparişe uyum oranı, siparişleri karşılama verimliliğinin göstergesi olarak kullanılmıştır. Bu göstergenin değerinin 1'den küçük olması siparişlerin karşılanmadığını, 1'den büyük olması stoka üretim yapıldığını, 1'e eşit olması ise siparişlerin tümünün karşılandığını ifade etmektedir.

Fabrika, nihai ürünleri kalite kontrol aşamasında 1., 2., 3. sınıf ürünler ve hatalı ürünler olarak ayırmaktadır. Hata türüne göre ürünlerin bazıları yeniden işlenebilmektedir. Yeniden imal edilemeyecek hatalı

ürünlerin ise müşteriye nakledilmesi engellenmektedir. Kalite boyutunda benzer göstergelerin yanı sıra imalat hatlarının özelliklerine göre farklı göstergeler de kullanılmaktadır.

Farklı ürün siparişleri nedeniyle gün içerisinde imalat hattında yapılan düzenlemelerle farklı ürünler üretilebilmektedir. Farklı siparişlere cevap verebilme yeteneği esnekliğin bir göstergesidir. Çalışmada esneklik boyutunun ölçümünde üretilen aylık ürün çeşidi sayısı ve farklı siparişlere göre imalat hattındaki hazırlık süresi esnekliğini ölçen ortalama hazırlık süresi göstergeleri kullanılmıştır.

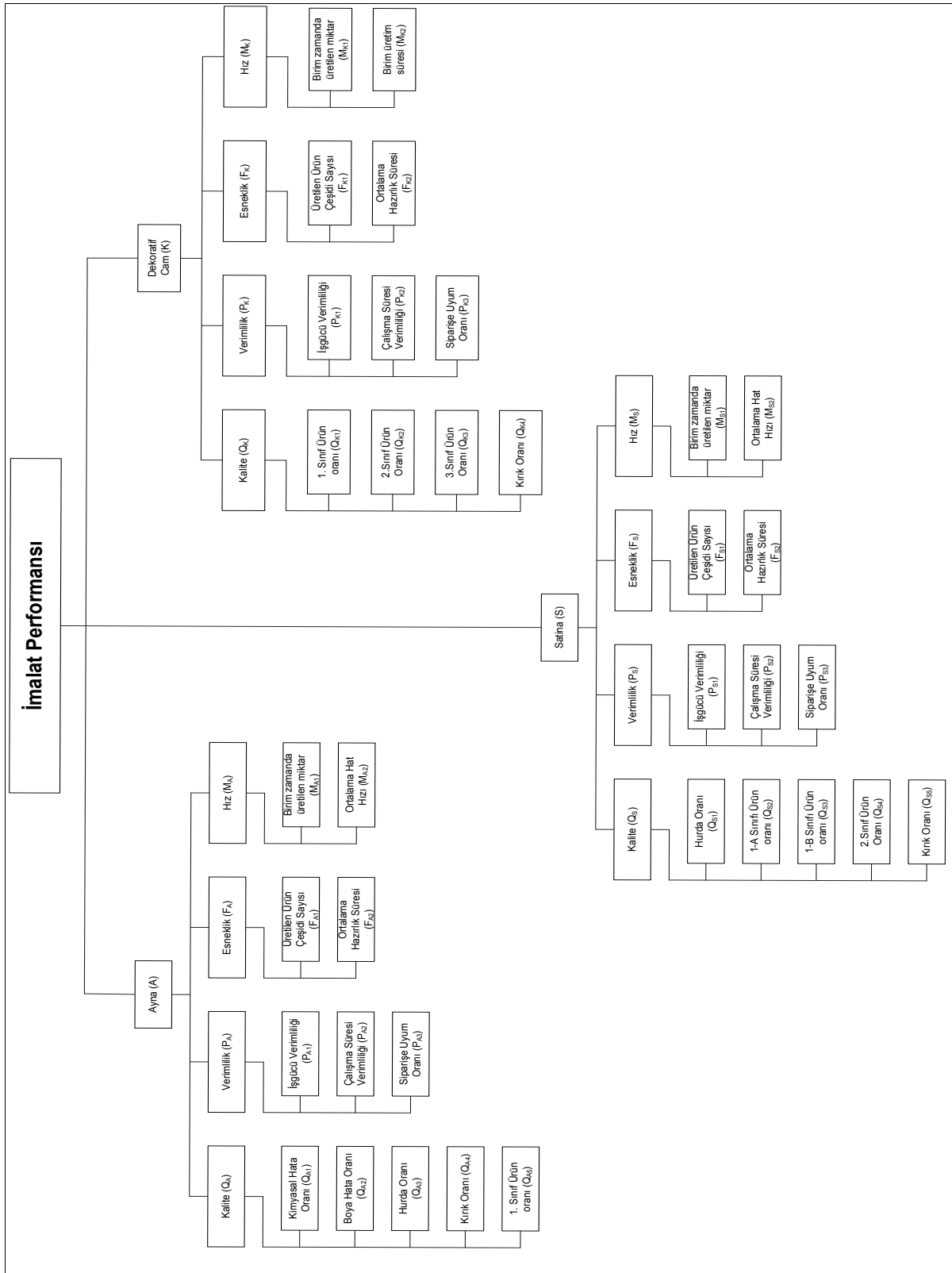
Hız boyutunun ölçümünde ise, imalat hattının aylık ortalama hat hızı ve birim zamanda üretilen miktar göstergelerinden yararlanılmıştır. Dekoratif cam imalatı, montaj imalat özelliğini taşıdığından hat hızı ölçümü yapılmamaktadır. Bu nedenle dekoratif cam imalat hattının hız ölçümünde ortalama hat hızının yerine birim üretim süresi kullanılmıştır. Modelde kullanılan göstergeler ve formülleri performans boyutlarına göre Ek-A'da verilmiştir. Şekil-1, fabrikanın imalat performansını ölçmede kullanılan modelin hiyerarşik yapısını göstermektedir.

Modelde tüm boyutlar performansı artırıcı etkiye sahiptir. Bu nedenle, imalat performansı ile boyutlar arasında pozitif yönlü ilişki vardır. Verimlilik, esneklik ve hız boyutlarında kullanılan alt göstergeler de benzer şekilde performansı artırıcı etkiye sahiptir. Ancak kalite boyutunda hata oranları kalite performansını azaltmaktadır. Bu nedenle modelde, ayna imalatında, kimyasal hata oranı (QA1), boya hata oranı (QA2), hurda oranı (QA3) ve kırık oranı (QA4); satına imalatında, kırık oranı (QS5) ve hurda oranı (QS1); dekoratif cam imalatında kırık oranı (QK4) göstergelerinin işaretleri negatif yönlüdür.

4.2. İmalat Performansının Ölçümü

4.2.1. Performans Boyut ve Göstergelerinin Ağırlıklarının Hesaplanması

Çalışmanın 2. adımını oluşturan bu bölümde, boyutlar ve göstergeler arası ikili karşılaştırma matrisleri dikkate alınarak ağırlık vektörleri hesaplanmıştır. Bulanık ikili karşılaştırma matrisleri ve hesaplanan yapay bulanık değerler Ek-B'de verilmiştir. Tablo 3, imalat hatlarının performans boyutları ve alt göstergeleri için hesaplanan standardize edilmiş ağırlık vektörlerini göstermektedir. Karar vericilerin ılımlı bakış açısını yansıtmak için iyimserlik katsayısı $\alpha=0.5$ olarak alınmıştır.



Şekil 1: Modelin Hiyerarşik Yapısı

Tablo 3: İmalat Hatlarının Performans Boyut ve Alt Göstergelerinin Standardize Edilmiş Ağırlık Değerleri (W)

İMALAT HATTI											
Ayna (A)				Satina (S)				Dekoratif Cam (K)			
Boyut	W	Alt-Gösterge	W	Boyut	W	Alt-Gösterge	W	Boyut	W	Alt-Gösterge	W
Q _A	0.314	Q _{A1}	0.205	Q _S	0.277	Q _{S1}	0.131	Q _K	0.316	Q _{K1}	0.402
		Q _{A2}	0.131			Q _{S2}	0.388			Q _{K2}	0.277
		Q _{A3}	0.249			Q _{S3}	0.220			Q _{K3}	0.203
		Q _{A4}	0.086			Q _{S4}	0.175			Q _{K4}	0.119
		Q _{A5}	0.329			Q _{S5}	0.086				
P _A	0.123	P _{A1}	0.274	P _S	0.128	P _{S1}	0.274	P _K	0.094	P _{K1}	0.274
		P _{A2}	0.152			P _{S2}	0.152			P _{K2}	0.152
		P _{A3}	0.574			P _{S3}	0.574			P _{K3}	0.574
F _A	0.386	F _{A1}	0.665	F _S	0.402	F _{S1}	0.665	F _K	0.431	F _{K1}	0.750
		F _{A2}	0.335			F _{S2}	0.335			F _{K2}	0.250
M _A	0.177	M _{A1}	0.665	M _S	0.193	M _{S1}	0.665	M _K	0.159	M _{K1}	0.750
		M _{A2}	0.335			M _{S2}	0.335			M _{K2}	0.250

4.2.2. İmalat Performansının Ölçümü

İmalat performansının ölçüm değerine, modelin hiyerarşik yapısındaki her bir düzey değerinin hesaplanmasıyla ulaşılmaktadır. Önerilen modelde dört düzey bulunmaktadır ve her bir düzeyde aşağıda anlatılan hesaplamalar yapılmıştır.

(1) *İmalat hatlarının performans göstergelerinin hesaplanması:* Günlük veri setleri, aylık veri setlerine dönüştürülerek, performans göstergelerinin aylık değerleri hesaplanmıştır. Altı aylık dönem için hesaplanan performans göstergeleri, modelde kullanılmadan önce standardize edilmiştir. Standardize değerler, altı aylık dönemde her bir göstergenin en büyük değeri 100 olacak şekilde endeks değerlerinin hesaplanmasıyla elde edilmiştir (Ek-C). Buradaki amaç, farklı büyüklükteki göstergelerin sonuçlar üzerindeki etkilerini ve performans ölçüm skorlarını ortak bir skala ile ifade edebilmektir. Örneğin ayna imalatının işgücü verimliliği, 1. ay için 237.31 m²/kişi iken, çalışma süresi verimliliği 0.80, siparişe uyum

oranı 0.85'dir. Göstergelerin bu değerlerinin kullanılması durumunda temel belirleyici işgücü verimliliği olmaktadır. Yapılan standardizasyon ile bu değerler sırasıyla 81.13, 93.02 ve 61.21 olarak hesaplanmıştır. Böylece, her bir göstergenin performans ölçüm değerleri ortak bir skalaya göre etki etmesi sağlanmıştır. Kullanılan bu standardizasyon yöntemi, aynı zamanda performans ölçüm skorunun üst limitini 100 puan olarak belirlemektedir. Dolayısıyla bu ortak skala, hem imalat hatlarının hem de fabrikanın imalat performansının görece karşılaştırılmasını kolaylaştırmaktadır.

(2) *İmalat hatlarının performans boyutlarına ait performans skorlarının hesaplanması:* Bu aşamada Tablo 3'de verilen ağırlık değerleri, göstergelerin katsayısı olarak kullanılmıştır. Modelin hiyerarşik yapısı ve performans boyutu ile gösterge arasındaki ilişkinin yönü dikkate alınarak, imalat hatlarının boyutlar itibarıyla performans skorları hesaplanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4: İmalat Hatlarının Boyutlar İtibarıyla Performans Skorları

Ay	Ayna Hattı				Satina Hattı				Dekoratif Cam Hattı			
	Q _A	P _A	F _A	M _A	Q _S	P _S	F _S	M _S	Q _K	P _K	F _K	M _K
1	18.86	71.50	64.03	88.95	43.13	70.21	65.99	87.47	56.39	81.54	85.99	90.63
2	18.20	96.51	73.62	95.94	44.21	77.52	54.85	97.26	58.98	88.20	81.46	78.87
3	-4.04	83.38	68.28	99.12	54.00	86.75	63.93	98.09	68.38	97.21	88.19	85.09
4	0.67	80.06	72.68	86.64	53.46	73.49	68.97	86.90	57.03	75.08	76.17	84.55
5	1.52	81.39	79.73	95.14	59.56	68.24	71.42	82.77	46.44	76.13	72.22	84.73
6	-18.82	82.43	61.38	90.22	52.95	98.24	80.70	85.18	47.40	80.93	92.73	92.96

Birinci ay için imalat hatlarının performans boyut skorlarını hesaplamada aşağıdaki formüller kullanılmıştır. Ayna imalat hattının 1. Ayı için örneklendirilen verimlilik, esneklik ve hız boyutlarına ait formüller, katsayı ve göstergelerinde yapılan revizyonlarla diğer imalat hatları için de benzer şekilde uygulanmıştır. İlgili alt gösterge değerleri Ek-C'de verilmiştir.

$$QA=0.329Q_{A5} - 0.205Q_{A1} - 0.131Q_{A2} - 0.249Q_{A3} - 0.086Q_{A4}$$

$$QS=0.388Q_{S2} + 0.220Q_{S3} + 0.175Q_{S4} - 0.131Q_{S1} - 0.086Q_{S5}$$

$$QK=0.402Q_{K1} + 0.277Q_{K2} + 0.203Q_{K3} - 0.119Q_{K4}$$

$$PA=0.274P_{A1} + 0.152P_{A2} + 0.574P_{A3}$$

$$FA=0.665F_{A1} + 0.335F_{A2}$$

$$MA=0.665M_{A1} + 0.335M_{A2}$$

Ayna imalat hattının 1. Ay için kalite boyutunun performans skoru değerler yerine konulduğunda:

$$QA=0.329 \times 98.68 - 0.205 \times 11.86 - 0.131 \times 15.10 - 0.249 \times 17.83 - 0.086 \times 54.99 = 18.86$$

olarak hesaplanır. Tablodaki diğer değerlerin hesaplanmasında da benzer yöntem kullanılmıştır. (Tablolardaki değerler üstünden hesaplamalar yapıldığında ondalık hanelerde küçük farklılıklarla karşılaşmak olasıdır. Bu durum, hesaplamaların Excel ortamında yapılmış olması ve tablosal gösterimlerde ondalık kısmın iki/üç hane olarak verilmesinden kaynaklanmaktadır.)

(3) İmalat hatlarının performans skorlarının hesaplanması: Bu düzeyde, bir önceki düzeyde hesaplanan performans boyut skorları (Tablo 4), boyutlar için hesaplanan ağırlıklar (Tablo 3) ile çarpılarak imalat hatlarının performans skorları hesaplanmıştır (Tablo 5).

$$A=0.314Q_A + 0.123P_A + 0.386F_A + 0.177M_A$$

$$S=0.277Q_S + 0.128P_S + 0.402F_S + 0.193M_S$$

$$K=0.316Q_K + 0.094P_K + 0.431F_K + 0.159M_K$$

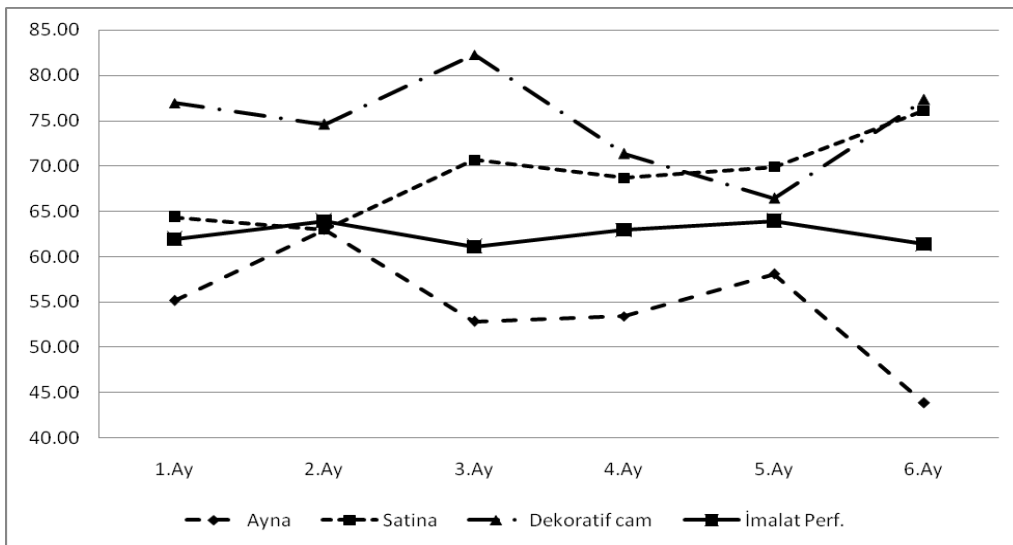
Tablo 5: İmalat Hatlarının Performans Ölçüm Skorları

Ay	Ayna Hattı (A)	Satına Hattı (S)	Dekoratif Cam Hattı (K)
1	55.17	64.34	76.95
2	62.97	62.99	74.57
3	52.88	70.70	82.29
4	53.44	68.71	71.35
5	58.10	69.92	66.42
6	43.88	76.11	77.32

(4) Fabrika imalat performans skorunun hesaplanması: Nihai performans skorunun hesaplandığı bu aşamada, ağırlık vektörü olarak imalat hatlarının aylık imalat payları kullanılmıştır. İmalat hatlarının aylık performans skorları (Tablo 5) bu paylar ile ağırlıklandırılmış ve fabrikanın aylık imalat performans skoru hesaplanmıştır (Tablo 6; Şekil 2).

Tablo 6: Fabrikanın Aylar İtibariyle İmalat Performans Skoru

Ay	İMALAT PAYLARI			İmalat Performansı
	Ayna Hattı	Satına Hattı	Dekoratif Cam Hattı	
1	0.44	0.43	0.13	61.95
2	0.52	0.40	0.08	63.91
3	0.59	0.33	0.08	61.11
4	0.39	0.52	0.09	62.96
5	0.48	0.45	0.07	63.95
6	0.46	0.43	0.11	61.39



Şekil 2: Aylar İtibariyle İmalat Hatlarının ve Fabrikanın İmalat Performansı

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, üç farklı imalat hattına sahip bir fabrikanın imalat performansını ölçen bir model önerilmiştir. Modelde kullanılan göstergeler, fabrikanın uygulamada ölçmüş olduğu göstergelerdir. Belirli bir hiyerarşik yapı içerisinde birbirleriyle entegre edilen bu göstergelerin ve performans boyutlarının katsayıları BAHP tekniği ile belirlenmiştir.

Tablo 6'daki ve Şekil.2'deki performans değerleri incelendiğinde, en iyi performansın 100 puan olduğu bir skalada, fabrika ortalamasının üstünde bir imalat performansı ile çalışmaktadır. Fabrikanın imalat performansı genellikle birbirine yakın değerler almış ve en yüksek değerine beşinci ayda ulaşmıştır. En düşük değerler ise sırasıyla üçüncü, altıncı ve birinci aylardadır. İmalatın büyük bir oranı Ayna ve Satınadan oluşmaktadır. Dolayısıyla bu hatların performansı genel imalat performansını da doğrudan etkilemektedir. Nitekim Ayna imalat hattının altıncı, üçüncü ve birinci aylardaki düşük performansı genel imalat performansı üzerinde etkili olmuştur. Diğer taraftan, Ayna imalat hattı görece en kötü performansa sahip imalat hattıdır. Bu imalat hattının en düşük performansı altıncı ayda gerçekleşmiştir. Bu durumun en önemli nedeni kalite boyutundaki performans düşüştür (Tablo 4). Satına imalat hattının performansı ikinci aydan sonra genellikle yüksek değerler almıştır. Dekoratif cam imalat hattı ise görece en iyi performansa sahip imalat hattıdır. En yüksek performansı üçüncü, en kötü performansı ise beşinci ayda göstermiştir.

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, özellikle Ayna imalat hattı performansındaki dalgalanmanın araştırılması gerekmektedir. Bu hatta ilişkin göze çarpan ilk nokta kalite boyutundaki düşük performans skorlarıdır. Dolayısıyla öncelikle bu boyuta odaklanılmalıdır. Kaliteyi olumsuz etkileyen faktörler tespit edilmeli ve bunları önlemeye dönük önlemler alınmalıdır. Ayrıca, gerek Ayna imalat hattı gerekse diğer hatların performanslarındaki dalgalanmaların sebepleri de araştırılmalıdır.

Önerilen modeldeki katsayılar performans skorlarını doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla farklı katsayılar, farklı performans skorları üretecektir. Katsayılarıdaki değişkenliğin iki temel nedeni olabilir. Birincisi, ikili karşılaştırmalarda önem düzeylerinin değişmesidir. İkili karşılaştırmalar, karar vericilerin sübjektif ve deneysel değerlendirmeleri ile yapılmaktadır. Farklı değerlendirmelerin yapılması durumunda karşılaştırma matrislerinde yapılacak düzenlemelerle yeni katsayı değerlerini hesaplamak mümkün olacaktır. İkinci neden ise bulanık sayıların sıralanmasında kullanılan yöntemdir. Keza sıralama yöntemine göre farklı ağırlık vektörleri elde etmek olasıdır.

Çalışmada, imalat performansını ölçmek için dört boyut ve toplam 17 gösterge kullanılmıştır. Maliyet ve müşteri boyutu gibi birçok faktörün imalat performansı üzerinde etkisi vardır. İmalat performansını etkileyen başka faktörlerin de modele dahil edilmesi, bu çalışmanın gelecekte odaklanacağı noktalardan biridir. Diğer bir nokta ise performans göstergelerinin stratejik planlar çerçevesinde belirlenecek hedef değerlere göre standardize edilmesi. Böyle bir standardizasyon ile imalat performansı stratejik hedeflere göre ölçülebilecek ve izlenebilecektir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Kader, M.G. ve Dugdale, D. (2001) "Evaluating Investments in Advanced Manufacturing Technology: A Fuzzy Set Theory Approach" *British Accounting Review*, 33 (4): 455-489.
- Agrell, P.J. ve West, B.M. (2001) "A Caveat on the Measurement of Productive Efficiency" *International Journal of Production Economics*, 69(1):1-14.
- Ahmad, M. ve Dhafir, N. (2002) "Establishing and Improving Manufacturing Performance Measures" *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 18(3-4):171-176.
- Bamber, C.J., Castka, P., Sharp, J.M. ve Motara, Y. (2003) "Cross-Functional Team Working for Overall Equipment Effectiveness (OEE)" *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 9 (3):223-238.
- Bititci, U.S., Suwignjo, P. ve Carrie, A.S. (2001) "Strategy Management Through Quantitative Modelling of Performance Measurement Systems" *International Journal of Production Economics*, 69(1):15-22.
- Bozbura, F.T., Beskese, A. ve Kahraman, C. (2007) "Prioritization of Human Capital Measurement Indicators Using Fuzzy AHP" *Expert Systems with Applications*, 32(4):1100-1112.
- Buckley, J.J. (1985) "Fuzzy Hierarchical Analysis" *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3): 233-247.
- Çakır, O. ve Canbolat, M.S. (2008) "A Web-Based Decision Support System for Multi-Criteria Inventory Classification Using Fuzzy AHP Methodology" *Expert Systems with Applications*, 35(3):1367-1378.
- Chamodrakas, I., Batis, D. ve Martakos, D. (2010) "Supplier Selection in Electronic Marketplaces Using Satisficing and Fuzzy AHP" *Expert Systems with Applications*, 37(1): 490-498.
- Chan, D.C.K., Yung, K.L. ve Ip, A.W.H. (2002) "An Application of Fuzzy Sets to Process Performance Evaluation" *Integrated Manufacturing Systems*, 13(4):237-246.
- Chan, F.T.S., Kumar, N., Tiwari, M.K. Lau, H.C.W. ve Choy, K.L. (2008) "Global Supplier Selection: A Fuzzy-AHP Approach" *International Journal of Production Research*, 46(14): 3825-3857.
- Chang, D.Y. (1996) "Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP" *European Journal of Operational Research*, 95(3): 649-655.
- Chen, C.C. (2008) "An Objective-Oriented and Product-Line-Based Manufacturing Performance Measurement" *International Journal of Production Economics*, 112(1):380-390.
- Chen, S.H. (1985) "Ranking Fuzzy Numbers with Maximizing Set and Minimizing Set" *Fuzzy Sets and Systems*, 17(2):113-129.
- Cheng, C.H. (1998) "A New Approach for Ranking Fuzzy Numbers by Distance Method" *Fuzzy Sets and Systems*, 95(3):307-317.
- Chenhall, R.H. (1996) "Strategies of Manufacturing Flexibility, Manufacturing Performance Measures and Organizational Performance: An Empirical Investigation" *Integrated Manufacturing Systems*, 7(5):25-32.
- Dağdeviren, M., Yavuz, S. ve Kılınc, N. (2009) "Weapon Selection Using the AHP and TOPSIS Methods Under Fuzzy Environment" *Expert Systems with Applications*, 36(4): 8143-8151.
- Durán, O. ve Aguilo, J. (2008) "Computer-Aided Machine-Tool Selection Based on A Fuzzy-AHP Approach" *Expert Systems with Applications*, 34 (3):1787-1794.
- Ertuğrul, İ. ve Karakaşoğlu, N. (2009) "Performance Evaluation of Turkish Cement Firms with Fuzzy Analytic Hierarchy Process and TOPSIS Methods" *Expert Systems with Applications*, 36 (1): 702-715.
- Göksu, A. ve Güngör, İ. (2008) "Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması" *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 13(3):1-26.
- Gümüş, A.T. (2009) "Evaluation of Hazardous Waste Transportation Firms by Using A Two Step Fuzzy-AHP and TOPSIS Methodology" *Expert Systems with Applications*, 36(2):4067-4074.
- Hon, K.K.B. (2005) "Performance and Evaluation of Manufacturing Systems" *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 54(2):139-154.
- Jain, S., Triantis, K. P. ve Liu, S. (2011) "Manufacturing Performance Measurement and Target Setting: A Data Envelopment Analysis Approach" *European Journal of Operational Research*, 214: 616-626.
- Kahraman, C., Cebeci, U. ve Ruan, D. (2004) "Multi-Attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey" *International Journal of Production Economics*, 87(2):171-184.
- Kaptanoğlu, D. ve Özok, A.F. (2006) "Akademik Performans Değerlendirmesi için Bir Bulanık Model" *İTÜ Dergisi/İd mühendislik*, 5(1):193-204.
- Kim, K. ve Park, K.S. (1990) "Ranking Fuzzy Numbers With Index of Optimism" *Fuzzy Sets and Systems*, 35(2):143-150.

- Kodali, R., Sangwan, K.S. ve Sunnapwar, V.K. (2004) "Performance Value Analysis for The Justification of World-Class Manufacturing Systems" *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 3(1): 85-102.
- Li, T.S. ve Huang, H.H. (2009) "Applying TRIZ and Fuzzy AHP to Develop Innovative Design for Automated Manufacturing Systems" *Expert Systems with Applications*, 36(4): 8302-8312.
- Liou, T.S. ve Wang, M.J.J. (1992) "Ranking Fuzzy Numbers with Integral Value" *Fuzzy Sets and Systems*, 50(3):247-255.
- Liu, X.W. ve Han, S.L. (2005) "Ranking Fuzzy Numbers with Preference Weighting Function Expectations" *Computers and Mathematics with Applications*, 49(11-12):1731-1753.
- Lo, E.K. ve Pushpakumara, C. (1999) "Performance and Partnership in Global Manufacturing-Modelling Frameworks and Techniques" *International Journal of Production Economics*, 60-61: 261-269.
- Ma, L.C. ve Li, H.L. (2008) "A Fuzzy Ranking Method with Range Reduction Techniques" *European Journal of Operational Research*, 184 (3):1032-1043.
- Popplewell, K. ve Bing, Y. (1995) "Reporting Requirements and Performance Measures in Integrated Approximate Factory Modeling" *Integrated Manufacturing Systems*, 6(5):4-12.
- Sarkis, J. (2003) "Quantitative Models for Performance Measurement Systems-Alternate Considerations" *International Journal of Production Economics*, 86(1):81-90.
- Seçme, N.Y., Bayraktaroğlu, A. ve Kahraman, C. (2009) "Fuzzy Performance Evaluation in Turkish Banking Sector Using Analytic Hierarchy Process And TOPSIS" *Expert Systems with Applications*, 36(9):11699-11709.
- Sekreter, M. S., Akyüz, G. ve Çetin, E. İ. (2004) "Şirketlerin Derecelendirilmesine İlişkin Bir Model Önerisi: Gıda Sektörüne Yönelik Bir Uygulama" *Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(8):139-155.
- Sun, H. ve Wu, J. (2006) "A New Approach for Ranking Fuzzy Numbers Based on Fuzzy Simulation Analysis Method" *Applied Mathematics and Computation*, 174(1):755-767.
- Tsubone, H. ve Horikawa, M. (1999) "Impact of Various Flexibility Types in A Hybrid Fabrication/ Assembly Production System" *International Journal of Production Economics*, 60-61:117-123.
- Wang, L., Chu, J. ve Wu, J. (2007) "Selection of Optimum Maintenance Strategies Based on A Fuzzy Analytic Hierarchy Process" *International Journal of Production Economics*, 107 (1): 151-163.
- Wang, T.C. ve Chen, Y.H. (2008) "Applying Fuzzy Linguistic Preference Relations to The Improvement of Consistency of Fuzzy AHP" *Information Sciences*, 178 (19):3755-3765.
- Wheelwright, S.C. (1978) "Reflecting Corporate Strategy in Manufacturing Decisions" *Business Horizons*, 21(1):57-66.
- Yang, C.L, Chuang, S.-P. ve Huang, R.H. (2009) "Manufacturing Evaluation System Based On AHP/ ANP Approach for Wafer Fabricating Industry" *Expert Systems with Applications*, 36(8):11369-11377.
- Yao, J.S. ve Wu, K. (2000) "Ranking Fuzzy Numbers Based on Decomposition Principle and Signed Distance" *Fuzzy Sets and Systems*, 116(2):275-288.
- Youndt, M.A., Snell, S.A., Dean, J.W. ve Lepak, D.P. (1996) "Human Resource Management, Manufacturing Strategy, and Firm Performance" *Academy of Management Journal*, 39(4):836-866.
- Yu, V.F. ve Hu, K.J. (2010) "An Integrated Fuzzy Multi-Criteria Approach for The Performance Evaluation of Multiple Manufacturing Plants" *Computers & Industrial Engineering*, 58(2):269-277.
- Yurdakul, M. (2002) "Measuring A Manufacturing System's Performance Using Saaty's System With Feedback Approach" *Integrated Manufacturing Systems*, 13(1):25-34.

EKLER

Ek-A: İmalat Hatlarının Performansını Ölçmede Kullanılan Göstergeler

Boyut	Gösterge	Kod(lar)	Formül
Kalite (Q _j)	Kimyasal hata oranı (%)	Q _{A1}	[Kimyasal hatalı ürün miktarı (adet) / Toplam üretim miktarı (adet)]x100
	Boya hata oranı (%)	Q _{A2}	[Boya hatalı ürün miktarı (adet) / Toplam üretim miktarı (adet)]x100
	Hurda oranı (%)	Q _{A3} , Q _{S1}	[Hurda ürün miktarı (adet) / Toplam üretim miktarı (adet)]x100
	1-A sınıfı ürün oranı (%)	Q _{S2}	[1-A sınıfı ürün miktarı (adet) / Toplam üretim miktarı (adet)]x100
	1-B sınıfı ürün oranı (%)	Q _{S3}	[1-B sınıfı ürün miktarı (adet) / Toplam üretim miktarı (adet)]x100
	1. Sınıf ürün oranı (%)	Q _{A5} , Q _{K1}	[1.Sınıf ürün miktarı (adet) / Toplam üretim miktarı (adet)]x100
	2. Sınıf ürün oranı (%)	Q _{S4} , Q _{K2}	[2.Sınıf ürün miktarı (adet) / Toplam üretim miktarı (adet)]x100
	3. Sınıf ürün oranı (%)	Q _{K3}	[3.Sınıf ürün miktarı (adet) / Toplam üretim miktarı (adet)]x100
	Kırık oranı (%)	Q _{A4} , Q _{S5} , Q _{K4}	[Kırık ürün miktarı (adet) / Toplam üretim miktarı (adet)]x100
	Verimlilik (P _j)	İşgücü verimliliği	P _{A1} , P _{S1} , P _{K1}
Çalışma süresi verimliliği		P _{A2} , P _{S2} , P _{K2}	Toplam üretim süresi (saat) / Toplam çalışma süresi (saat)
Siparişe uyum oranı		P _{A3} , P _{S3} , P _{K3}	Toplam üretim miktarı (adet) / Planlanan üretim miktarı (adet)
Esneklik (F _j)	Aylık üretilen ürün çeşidi sayısı	F _{A1} , F _{S1} , F _{K1}	
	Ortalama hazırlık süresi	F _{A2} , F _{S2} , F _{K2}	[Toplam çalışma süresi (saat) - Toplam üretim süresi (saat)] / İmalat hattında yapılan hazırlık sayısı (aylık)
Hız (M _j)	Birim zamanda üretilen miktar	M _{A1} , M _{S1} , M _{K1}	Toplam üretim miktarı (m ²) / Toplam üretim süresi (saat)
	Ortalama hat hızı (cm/dk)	M _{A2} , M _{S2}	
	Birim üretim süresi	M _{K2}	Toplam üretim süresi (saat) / Toplam üretim miktarı (adet)
J, imalat hattını gösteren alt indistir. A:Ayna, S: Satina ve K: Dekoratif cam imalat hatlarını temsil etmektedir.			

Ek-B: Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisleri Ve Bulanık Yapay Değerler

Tablo B. 1: Performans Boyutlarının Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisleri ve Bulanık Yapay Değerleri

İmalat Hattı	Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisi				Bulanık Yapay Değerler
	Q_A	P_A	F_A	M_A	
Ayna	Q_A	1, 1, 1	1.5, 2, 2.5	0.4, 0.5, 0.67	$S_{QA} = (5.400, 6.500, 7.667) \otimes (0.041, 0.048, 0.058) = (0.221, 0.315, 0.446)$
	P_A	0.4, 0.5, 0.67	1, 1, 1	0.4, 0.5, 0.67	$S_{PA} = (2.200, 2.500, 3.000) \otimes (0.041, 0.048, 0.058) = (0.090, 0.121, 0.175)$
	F_A	1.5, 2, 2.5	1.5, 2, 2.5	1, 1, 1	$S_{FA} = (6.500, 8.000, 9.500) \otimes (0.041, 0.048, 0.058) = (0.226, 0.387, 0.553)$
	M_A	0.29, 0.33, 0.4	1.5, 2, 2.5	0.29, 0.33, 0.4	$S_{MA} = (3.071, 3.667, 4.300) \otimes (0.041, 0.048, 0.058) = (0.126, 0.177, 0.250)$
Satın	Q_S	1, 1, 1	1.5, 2, 2.5	0.4, 0.5, 0.67	$S_{QS} = (4.400, 5.500, 6.667) \otimes (0.042, 0.050, 0.061) = (0.185, 0.277, 0.409)$
	P_S	0.4, 0.5, 0.67	1, 1, 1	0.4, 0.5, 0.67	$S_{PS} = (2.200, 2.500, 3.000) \otimes (0.042, 0.050, 0.061) = (0.093, 0.126, 0.184)$
	F_S	1.5, 2, 2.5	1.5, 2, 2.5	1, 1, 1	$S_{FS} = (6.500, 8.000, 9.500) \otimes (0.042, 0.050, 0.061) = (0.274, 0.403, 0.583)$
	M_S	0.4, 0.5, 0.67	1.5, 2, 2.5	0.29, 0.33, 0.4	$S_{MS} = (3.186, 3.833, 4.567) \otimes (0.042, 0.050, 0.061) = (0.134, 0.193, 0.280)$
Dekoratif Cam	Q_K	1, 1, 1	2.5, 3, 3.5	0.29, 0.33, 0.4	$S_{QK} = (6.286, 7.333, 8.400) \otimes (0.038, 0.043, 0.050) = (0.236, 0.317, 0.424)$
	P_K	0.29, 0.33, 0.4	1, 1, 1	0.29, 0.33, 0.4	$S_{PK} = (1.971, 2.167, 2.467) \otimes (0.038, 0.043, 0.050) = (0.074, 0.094, 0.124)$
	F_K	2.5, 3, 3.5	2.5, 3, 3.5	1, 1, 1	$S_{FK} = (8.500, 10.000, 11.500) \otimes (0.038, 0.043, 0.050) = (0.319, 0.432, 0.580)$
	M_K	0.29, 0.33, 0.4	1.5, 2, 2.5	0.29, 0.33, 0.4	$S_{MK} = (3.071, 3.667, 4.300) \otimes (0.038, 0.043, 0.050) = (0.115, 0.158, 0.217)$

Tablo B.2: Kalite Boyutunun Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisleri ve Bulanık Yapay Değerleri

İmalat Hattı	Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisi				Bulanık Yapay Değerler			
	Q_{A1}	Q_{A2}	Q_{A3}	Q_{A4}	Q_{A5}	Q_{A6}	Q_{A7}	Q_{A8}
Ayna	Q_{A1}	1.5, 2, 2.5	0.4, 0.5, 0.67	0.29, 0.33, 0.4	0.4, 0.5, 0.67	1.5, 2, 2.5	$S_{0A1} = (5.686, 6.833, 8.067) \otimes (0.025, 0.030, 0.036) = (0.144, 0.205, 0.293)$	
	Q_{A2}	1.5, 2, 2.5	0.4, 0.5, 0.67	0.4, 0.5, 0.67	0.4, 0.5, 0.67	1.5, 2, 2.5	$S_{0A2} = (3.586, 4.333, 5.233) \otimes (0.025, 0.030, 0.036) = (0.091, 0.130, 0.190)$	
	Q_{A3}	1.5, 2, 2.5	0.29, 0.33, 0.4	1, 1, 1	0.29, 0.33, 0.4	1.5, 2, 2.5	$S_{0A3} = (6.786, 8.333, 9.900) \otimes (0.025, 0.030, 0.036) = (0.171, 0.250, 0.359)$	
	Q_{A5}	2.5, 3, 3.5	1, 1, 1	2.5, 3, 3.5	1, 1, 1	2.5, 3, 3.5	$S_{0A5} = (9.000, 11.000, 13.000) \otimes (0.025, 0.030, 0.036) = (0.227, 0.330, 0.472)$	
	Q_{A4}	1, 1, 1	0.29, 0.33, 0.4	0.4, 0.5, 0.67	0.29, 0.33, 0.4	1, 1, 1	$S_{0A4} = (2.486, 2.833, 3.400) \otimes (0.025, 0.030, 0.036) = (0.063, 0.085, 0.123)$	
Satın	Q_{S1}							
	Q_{S1}	1, 1, 1	0.29, 0.33, 0.4	0.4, 0.5, 0.67	0.4, 0.5, 0.67	1.5, 2, 2.5	$S_{S1} = (3.586, 4.333, 5.233) \otimes (0.025, 0.030, 0.036) = (0.091, 0.130, 0.190)$	
	Q_{S2}	2.5, 3, 3.5	1, 1, 1	2.5, 3, 3.5	2.5, 3, 3.5	2.5, 3, 3.5	$S_{S2} = (11.000, 13.000, 15.000) \otimes (0.025, 0.030, 0.036) = (0.278, 0.390, 0.545)$	
	Q_{S3}	1.5, 2, 2.5	0.29, 0.33, 0.4	1, 1, 1	1.5, 2, 2.5	1.5, 2, 2.5	$S_{S3} = (5.786, 7.333, 8.900) \otimes (0.025, 0.030, 0.036) = (0.146, 0.220, 0.323)$	
	Q_{S5}	1.5, 2, 2.5	0.29, 0.33, 0.4	0.4, 0.5, 0.67	1, 1, 1	1.5, 2, 2.5	$S_{S4} = (4.686, 5.833, 7.067) \otimes (0.025, 0.030, 0.036) = (0.118, 0.175, 0.257)$	
Q_{S4}	0.4, 0.5, 0.67	0.29, 0.33, 0.4	0.4, 0.5, 0.67	0.4, 0.5, 0.67	1, 1, 1	$S_{S5} = (2.486, 2.833, 3.400) \otimes (0.025, 0.030, 0.036) = (0.063, 0.085, 0.123)$		
Dekoratif Cam	Q_{K1}							
	Q_{K1}	1, 1, 1	1.5, 2, 2.5	1.5, 2, 2.5	2.5, 3, 3.5	1.5, 2, 2.5	$S_{K1} = (6.500, 8.000, 9.500) \otimes (0.042, 0.050, 0.061) = (0.274, 0.403, 0.583)$	
	Q_{K2}	0.4, 0.5, 0.67	1, 1, 1	1.5, 2, 2.5	1.5, 2, 2.5	1.5, 2, 2.5	$S_{K2} = (4.400, 5.500, 6.667) \otimes (0.042, 0.050, 0.061) = (0.185, 0.277, 0.409)$	
	Q_{K3}	0.4, 0.5, 0.67	0.4, 0.5, 0.67	1, 1, 1	1.5, 2, 2.5	1.5, 2, 2.5	$S_{K3} = (3.300, 4.000, 4.833) \otimes (0.042, 0.050, 0.061) = (0.139, 0.202, 0.297)$	
Q_{K4}	0.29, 0.33, 0.4	0.4, 0.5, 0.67	0.4, 0.5, 0.67	1, 1, 1	1, 1, 1	$S_{K4} = (2.086, 2.333, 2.733) \otimes (0.042, 0.050, 0.061) = (0.088, 0.118, 0.168)$		

Tablo B.3: Esneklik Boyutunun Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisleri ve Bulanık Yapay Değerleri

İmalat Hattı	Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisi		Bulanık Yapay Değerler	
	F_{A1i}, F_{S1}	F_{A2i}, F_{S2}	F_{K1}	F_{K2}
Ayna ve Satına	F_{A1i}, F_{S1}	1, 1, 1		
	F_{A2i}, F_{S2}	0,4, 0,5, 0,67	1, 1, 1	
Dekoratif cam	F_{K1}	1, 1, 1		
	F_{K2}	0,29, 0,33, 0,4	1, 1, 1	

Tablo B.4: Hız Boyutunun Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisleri Ve Bulanık Yapay Değerleri

İmalat hattı	Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisi		Bulanık Yapay Değerler	
	M_{A1i}, M_{S1}	M_{A2i}, M_{S2}	M_{K1}	M_{K2}
Ayna ve Satına	M_{A1i}, M_{S1}	1, 1, 1		
	M_{A2i}, M_{S2}	0,4, 0,5, 0,67	1, 1, 1	
Dekoratif cam	M_{K1}	1, 1, 1		
	M_{K2}	0,29, 0,33, 0,4	1, 1, 1	

Tablo B.5. Verimlilik Boyutunun Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisleri Ve Bulanık Yapay Değerleri

İmalat hattı	Bulanık İkili Karşılaştırma Matrisi			Bulanık Yapay Değerler		
	P_{A1i}, P_{S1i}, P_{K1}	P_{A2i}, P_{S2i}, P_{K2}	P_{A3i}, P_{S3i}, P_{K3}	$S_{PA1i}, S_{PS1i}, S_{PK1}$	$S_{PA2i}, S_{PS2i}, S_{PK2}$	$S_{PA3i}, S_{PS3i}, S_{PK3}$
Ayna, Satına ve Dekoratif cam	P_{A1i}, P_{S1i}, P_{K1}	1, 1, 1	1,5, 2, 2,5	0,29, 0,33, 0,4	$S_{PA1i}, S_{PS1i}, S_{PK1} = (2,786, 3,333, 3,900) \otimes (0,072, 0,082, 0,095) = (0,199, 0,274, 0,372)$	
	P_{A2i}, P_{S2i}, P_{K2}	0,4, 0,5, 0,67	1, 1, 1	0,29, 0,33, 0,4	$S_{PA2i}, S_{PS2i}, S_{PK2} = (1,686, 1,833, 2,067) \otimes (0,072, 0,082, 0,095) = (0,121, 0,151, 0,197)$	
P_{A3i}, P_{S3i}, P_{K3}	2,5, 3, 3,5	2,5, 3, 3,5	1, 1, 1	$S_{PA3i}, S_{PS3i}, S_{PK3} = (6,000, 7,000, 8,000) \otimes (0,072, 0,082, 0,095) = (0,430, 0,575, 0,764)$		

Ek-C: Performans Göstergelerinin Standardize Edilmiş Değerleri

İmalat Hattı	Ay	Kalite						Verimlilik						Esneklik			Hız	
		Q _{A1}	Q _{A2}	Q _{A3}	Q _{A5}	Q _{A4}	P _{A1}	P _{A2}	P _{A3}	F _{A1}	F _{A2}	F _{A3}	M _{A1}	M _{A2}	M _{A3}	M _{A4}	M _{A5}	
Ayna	1	11.86	15.1	17.83	98.68	54.99	81.13	93.02	61.21	46	100	83.4	100	83.4	100	83.4	100	
	2	16.76	6.97	14.4	98.55	72.78	91.73	91.93	100	68	85.65	94.45	98.89	94.45	98.89	94.45	98.89	
	3	24.43	21.44	100	100	48.53	100	100	71.06	76	53.56	100	97.36	100	97.36	100	97.36	
	4	63.86	43.76	8.93	92.19	100	77.77	93.37	77.63	76	66.72	81.09	97.67	81.09	97.67	81.09	97.67	
	5	67.53	44.22	0	89.04	94.57	98.08	97.79	69.09	100	39.43	93.86	97.69	93.86	97.69	93.86	97.69	
	6	100	100	39.37	92.58	68.35	95.83	99.5	71.51	73	38.34	85.81	98.99	85.81	98.99	85.81	98.99	
Satına	1	92.72	100	63.11	45.1	61.51	88.33	100	53.68	75	48.08	84.11	94.16	84.11	94.16	84.11	94.16	
	2	100	92.95	95.78	24.05	46.83	97.06	97.05	63.02	32	100	100	91.8	100	100	91.8	91.8	
	3	0	98.98	71.34	37.17	76.38	100	95.84	78.02	54	84.54	98.3	97.69	98.3	97.69	98.3	97.69	
	4	0	86.18	81.33	58.97	94.91	90.32	94.27	59.96	71	64.07	80.31	100	80.31	100	80.31	100	
	5	0	63.39	100	100	52.76	86.42	93.87	52.79	82	50.08	75.11	98.01	75.11	98.01	75.11	98.01	
	6	0	87.1	84.45	52.58	100	95.59	96.39	100	100	42.33	78.51	98.45	78.51	98.45	78.51	98.45	
Dekoratif Cam	1	98.32	47.7	44.96	45.87	89.18	89.18	96.41	73.96	93	66.16	95.86	74.93	95.86	74.93	95.86	74.93	
	2	100	38.05	73.89	56.54	71.67	71.67	95.8	94.09	89	59.14	71.83	100	71.83	100	71.83	100	
	3	95.21	61.53	100	60.58	89.84	89.84	100	100	96	63.87	85.43	84.08	85.43	84.08	85.43	84.08	
	4	87.86	100	0	50.57	75.04	75.04	87.08	71.93	78	71.36	84.35	85.16	84.35	85.16	84.35	85.16	
	5	98.48	46.65	0	51.09	75.5	75.5	82.42	74.77	63	100	84.7	84.8	84.7	84.8	84.7	84.8	
	6	99.66	35.62	46.13	100	100	100	92.6	68.74	100	70.89	100	71.83	100	71.83	100	71.83	